

F-609

Tópicos de ensino de física I

**A música sentida na propagação do som em um material metálico
e nos ossos faciais.**



Aluno: Clewton Luís Ferreira da Fonseca (foto)

email: fonseca@ifi.unicamp.br

Orientador: Pedro Holanda

email: holanda@ifi.unicamp.br

Finalização do Relatório: 14/06/2010

Resultados atingidos

Os resultados observados foram satisfatórios. A montagem consiste num violão e numa barra de metal acoplada à ele (Ver a foto 1). Ao fazer o teste da montagem, verificamos que a vibração se propaga pelo metal fornecendo uma alta sensibilidade do som nos ouvidos pelo caminho interno; dentes, ossos e ouvidos; assim, as perdas de intensidade, durante a propagação, não se mostraram um problema para as cordas mais grossas do violão. Para as cordas mais finas a sensibilidade é menor mas ainda sim notável.

O tamanho do metal acoplado à caixa acústica do violão, que foi limitado pela possibilidade de quebra da caixa acústica do violão (limitações do aparato), está ligado ao destaque da sensibilidade ao som pela via interna (dentes, ossos e ouvidos) em relação à sensibilidade ao som pelas vias externas (pelo ar até os ouvidos). Isso fez-se necessário uma vez que, sendo o metal pequeno, ainda teríamos uma pequena sensibilidade nos ouvidos devido ao som que se propaga pelo ar; com um metal maior, conseguimos minimizar esse efeito.

Fotos da experiência

foto 1



foto 2



Foto 3



Dificuldades encontradas

Por ser um projeto simples, não encontramos muitas dificuldades com a preparação do aparato experimental. Contudo, estamos nos preparando para fazer a apresentação da forma mais didática possível, visto que temos um conteúdo que, geralmente, não é passado minuciosamente durante o ensino regular.

Pesquisa realizada

- Referência [3]:

Na nossa pesquisa constatamos que a condução óssea é a condução do som para o ouvido interno através dos ossos do crânio.

A condução óssea é a razão pela qual o som da voz de uma pessoa soa diferente quando é gravado e reproduzido. A condução óssea tende a amplificar as frequências mais baixas, e assim a maioria das pessoas percebem sua própria voz como sendo de um tom mais baixo que os outros ouvem.

Algumas pessoas utilizam aparelhos auditivos de condução óssea, conseguindo um efeito equivalente a ouvir diretamente através das orelhas. Um fone de ouvido é ergonomicamente posicionado na têmpora e na bochecha e o transdutor eletromecânico, que converte sinais em vibrações mecânicas, envia o som para o ouvido interno através dos ossos cranianos. Da mesma forma, um microfone pode ser usado para gravar sons falados via condução óssea.

Produtos de condução óssea são geralmente classificados em três grupos:

- Produtos comuns, tais como HANDS-FREE headset ou headphone
- Aparelhos auditivos e de apoio à escuta
- Produtos de comunicação especializada (ou seja, ambientes subaquáticos e de ruído elevado)

Pudemos verificar que produtos de condução óssea possuem as seguintes vantagens sobre os headsets tradicionais:

- Orelhas livres, proporcionando conforto no uso prolongado e segurança
- Clareza do som alto em ambientes muito ruidosos; pode ser usado com proteção auditiva
- Pode ter a percepção do som estéreo.

Mas existem algumas desvantagens:

- Algumas implementações exigem mais poder do que os fones de ouvido
- Gravações e reproduções menos claras que os fones de ouvido e microfones tradicionais devido à comprimento da banda de frequência reduzida.

Um exemplo de alto-falante de condução óssea é um disco flexível de borracha sobre-moldado piezo-elétrico com cerca de 40 mm de diâmetro e 6 mm de espessura usado por mergulhadores. O cabo de conexão é moldado no disco, resultando numa montagem resistente à prova d'água. Em uso, o alto-falante é preso a uma saliência do osso em forma de cúpula atrás da orelha. Como seria de se esperar, o som produzido parece vir de dentro da cabeça do usuário, mas pode ser surpreendentemente claro e nítido.

A transmissão da condução óssea pode ser utilizada com indivíduos com audição normal ou danificada. Existem diversos produtos no mercado que exploram a transmissão da condução óssea para sons. Alguns deles incluem o AquaFM e o SwiMP3 que são dispositivos para a transmissão de som para os nadadores.

Nesse intuito, estamos buscando, talvez, desenvolver uma forma simples de trazer a sensação da música para pessoas com deficiência auditiva, dentro do estudo sobre a propagação do som.

- Referência [4]:

Pesquisamos uma criação de professores da Universidade Ryerson em Toronto, no Canadá que permite que surdos sintam as vibrações da música e dos som. A essa invenção foi dada o nome de "Emoti-Chair", algo como "Cadeira da Emoção".

A Cadeira da Emoção foi um projeto interdisciplinar desenvolvido por Deborah Fels, diretora do Centro de Tecnologias de Aprendizagem (CLT) e Professora Associada da Ted Rogers School of Information Technology Management; Frank Russo, Diretor do laboratório "Science of Music, Auditory Research and Technology (SMART)"; e o associado do Dra. Fels, artista independente, Graham Smith. A cadeira é parte da "Ryerson's Alternative Sensory Information Display (ASID)", um projeto voltado para a exploração de métodos alternativos para a apresentação de informações sensoriais para usuários que são surdos ou possuem deficiência auditiva.

Modelo teórico

- Resumo

No currículo regular o estudo do som entra no conteúdo de ondulatória onde se estuda o som sem uma ênfase nas características de sua propagação; como o som se propaga por um meio material. Nesse modelo teórico estudaremos como ocorre a propagação das ondas sonoras em meios materiais.

As ondas sonoras são ondas mecânicas, necessitando obrigatoriamente de um meio suporte para sua propagação. Por isso, ao contrário das ondas eletromagnéticas, as ondas sonoras não se propagam no vácuo. São ondas de pressão, determinadas pela propagação através do meio de variações de pressão das moléculas. Por isso, numa onda sonora em propagação, alternam-se regiões de compressão (em que as moléculas estão bem próximas umas das outras) e regiões de rarefação (em que as moléculas estão mais afastadas entre si). Como a direção de vibração das moléculas do meio coincide com a direção de propagação, as ondas sonoras são ondas longitudinais.

Na figura abaixo temos um exemplo da criação de regiões de compressão e rarefação para o bater de um gongo:

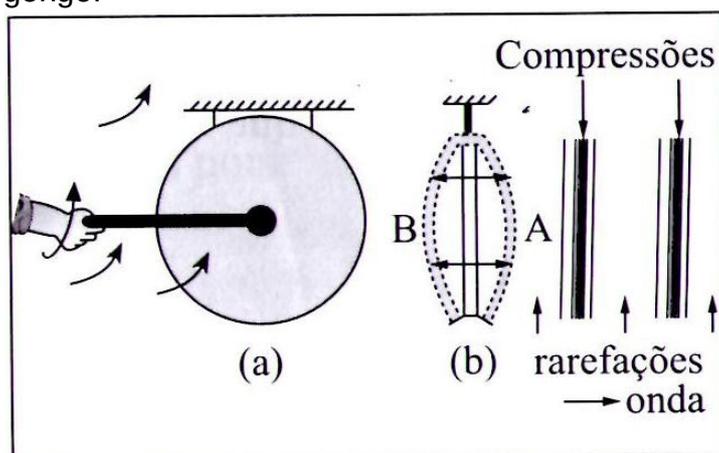


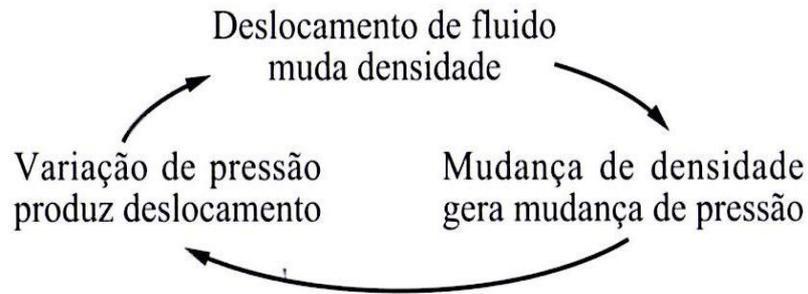
Figura 1 – Soar de um gongo. Regiões de compressão e rarefação.

A figura 1(b) mostra, numa vista lateral, como o gongo se deforma após o golpe, figura 1(a), vibrando entre as posições A e B. Quando o gongo está na posição A, ele comprime as porções adjacentes da atmosfera, e esta compressão vai se transmitindo sucessivamente de cada camada às suas camadas adjacentes. E, quando o gongo voltar à posição B, cria-se uma zona de rarefação.

O deslocamento do ar provocado pelo gongo muda a densidade do ar na camada adjacente (condensação ou rarefação), o que provoca uma mudança de pressão (compressão ou descompressão). Por sua vez, a variação de pressão produz o deslocamento da camada de ar contígua, e assim por diante.

- Descrição

O mecanismo dinâmico de propagação da onda sonora pode ser sintetizado no seguinte ciclo:



A velocidade de propagação das ondas sonoras é função exclusiva das propriedades do meio de propagação que influenciam direto na relação entre uma mudança de densidade e sua correspondente mudança de pressão (figura 2) por exemplo: bater um gongo no ar é diferente que bater um gongo na água. Assim, num determinado meio, todas as ondas sonoras tem a mesma velocidade.

Mas, já que a velocidade de propagação depende do meio (densidade), qual é a mudança de pressão correspondente à uma dada mudança de densidade do meio que gera a propagação?

Geralmente, para uma dada massa de fluido M ocupando um volume V , um acréscimo de pressão ($\Delta P > 0$) provoca uma diminuição ($\Delta V < 0$) de volume. A magnitude a variação percentual de volume correspondente é $-\Delta V/V$, e a razão (para pequenas variações):

$$K = \frac{-\Delta V/V}{\Delta P} \quad (\text{Eq 1})$$

Chama-se módulo de compressibilidade do fluido. Quanto mais compressível ele for, maior a variação percentual de volume provocada por uma dada variação de pressão, e assim maior será o K .

O inverso de K chama-se módulo de elasticidade chama-se módulo de elasticidade volumétrico:

$$B = \frac{1}{K} = \frac{-\Delta P}{\Delta V/V} \quad (\text{Eq 2})$$

A densidade ρ do fluido é

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

de modo que a variação de densidade correspondente é, por diferenciação,

$$\Delta\rho = -M \frac{\Delta V}{V^2} = -\rho \frac{\Delta V}{V} \quad (\text{Eq 3})$$

Assim, a equação 2 se escreve, em função da variação de densidade e da pressão, da seguinte forma:

$$B = \rho \frac{\Delta P}{\Delta\rho} \quad (\text{Eq 4})$$

Numa onda sonora, as variações de pressão e densidade são extremamente pequenas em relação aos valores de equilíbrio dessas grandezas, ou seja, a onda constitui uma pequena perturbação.

Como exemplo calculemos a velocidade do som na água:

Quando submetido à pressão de 20 atm, o volume de 1 litro de água, à temperatura ambiente, diminui de aproximadamente 0,9 cm³, o que nos dá:

$\frac{-\Delta V}{V} = 9 \times 10^{-4}$ para uma variação de pressão $\Delta P = 2 \times 10^6$ N/m², de modo que a equação 2 nos dá:

$$B = 2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

A velocidade de propagação da onda num meio é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta\rho}} \quad (\text{Eq 5})$$

A compararmos a equação 5 com a equação 4 temos que (usando densidade ρ da água igual à 10³ kg/m³):

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{2,2 \times 10^9}{10^3}} = \sqrt{2,2 \times 10^6} \approx 1483 \text{ m/s} .$$

O resultado acima está em excelente acordo com o valor obtido experimentalmente para a velocidade do som na água.

Para ondas, como o som, propagando-se em sólidos, os valores típicos tanto de B como de ρ são maiores que em um fluido; um valor típico de v, num sólido, é da ordem de 3000 m/s.

Logo, dentro da dependência das propriedades do meio, uma influência acentuada sobre a velocidade das ondas sonoras está na densidade, razão pela qual a velocidade das

ondas depende das condições de temperatura e pressão do meio. De modo geral, nos sólidos as ondas sonoras apresentam maiores velocidades e nos meios gasosos as velocidades menores.

Declaração do orientador

Meu orientador realizou o seguinte comentário:

"Considero que o resultado final do projeto é bastante satisfatório. A simplicidade do experimento contrasta com a quantidade de conceitos físicos envolvidos, que o aluno soube apresentar de forma apropriada. É um experimento que tem como finalidade surpreender a audiência com um conceito conhecido apresentado de forma inovadora, então acredito que a prova final será a resposta dos alunos que se disponham a realizar a "medida". Só teremos uma resposta parcial nesse sentido na apresentação final, mas tenho uma boa expectativa. Concluindo, achei o desempenho do estudante muito bom em todos os sentidos."

Comentários do coordenador: Professor Lunazzi

- Ao aprovar o relatório parcial:

"Lembro de uma experiência realizada há uns vinte anos na piscina da UNICAMP, por um músico francês que trouxe um altofalante à prova de água e colocou música na piscina para todos mergulhando ouvir, foi bem interessante, como descrito no seu relatório, onde você ouviu a música sempre dentro de sua cabeça."

Escolha do horário para apresentação

Quinta-feira, dia 17 de junho, das 16h às 19 h no horário da primeira turma (às 16 h)

Referências

1. H. M. Nussenzveig. Curso de física Básica 2, capítulo 6, páginas 122 à 129; 4 Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
2. Halliday, Resnick . Fundamentals Of Physics, capítulo 17, 8 Ed.
3. J. Tonndorf , A. F. Jahn. Velocity of propagation of bone-conducted sound in a human head. J. Acoust. Soc. Am. Volume 70, Issue 5, pp. 1294-1297 (November 1981).
4. http://www.ryerson.ca/news/news/General_Public/20081022_EmotiChair.html