

Aula 12

NATUREZA ONDULATÓRIA DO SOM

META

- Fazer com que o estudante pense no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação;
- Fazer com que os alunos percebam, através de uma atividade lúdica, que podemos ensinar física através de experimentos muito simples, e que física é uma ciência aplicada e que pode ser aprendida através da observação de vários dispositivos do cotidiano;
- Fazer com que os alunos percebam as aplicações da física no cotidiano;
- Mostrar que existem muitas animações virtuais sobre o tema, e que ensinar e aprender física podem ser uma atividade divertida e interessante.

OBJETIVOS

- Ao final desta aula, o aluno deverá:
 - estar cientes das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências em geral;
 - Que para se ensinar física não precisamos ficar presos ao livro didático;
- Que ensinar física não é ensinar a resolver problemas e que a física é uma mera aplicação da matemática;
- Que ensinar através de exemplos reais (experimentais) pode ser muito mais interessante e divertido;
- Estes devem estar cientes que é possível explorar vários recursos de multimídias e de experimentos de baixo custo em sala de aula;
- Que a acústica é um ramo da ciência que possui muitas aplicações tecnológicas.

PRÉ-REQUISITOS

- Os alunos deveram ter cursado as disciplinas de Psicologia da Educação, Física A, B e C.

Vera Lucia Martins de Mello

INTRODUÇÃO

Relembramos que o objetivo da disciplina Instrumentação é o de analisar os recursos didáticos e não introduzir conteúdos de física. Assim, nesta aula, usaremos o texto produzido para o site da Wikipédia [4], que exemplifica muito bem as diversas aplicações da acústica; o texto para o site de ensino da Weblab [3], que explica de forma muito sucinta o conteúdo desta disciplina, e as notas de aula do Prof. Donoso da UFSCar ^[1].

Essa aula complementa a aula 11 e abordaremos as várias propriedades da física ondulatória, que podemos enumerar em reflexão, refração, difração, interferência e ressonância. O foco principal será a aplicação da ciência acústica na arquitetura e na explicação dos mais diversos fenômenos naturais.

FENÔMENOS SONOROS

Sendo o som uma onda, ele apresenta as seguintes propriedades características: reflexão, refração, difração, interferência e ressonância ^[3].

1ª Propriedade: Reflexão

Quando ondas sonoras AB , $A'B'$, $A''B''$ provenientes de um ponto P encontram um obstáculo plano, rígido, MN , produz-se reflexão das ondas sobre o obstáculo.

Na volta, produz-se uma série de ondas refletidas CD , $C'D'$, que se propagam em sentido inverso ao das ondas incidentes e se comportam como se emanassem de uma fonte P' , simétrica da fonte P em relação ao ponto refletor.

A reflexão do som pode ocasionar os fenômenos eco e reverberação.

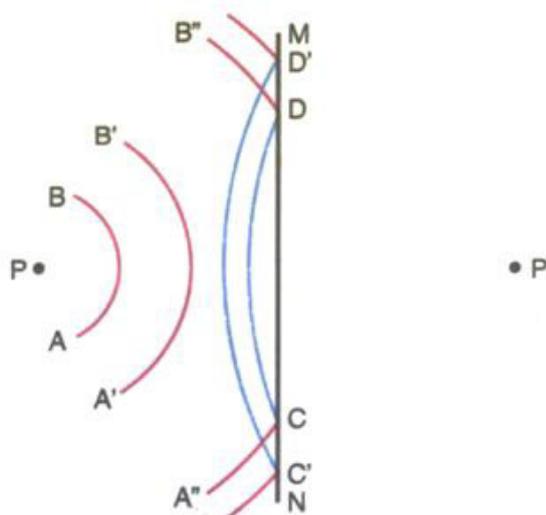


Figura 1 – Reflexão do Som

A reflexão do som pode dar origem ao reforço, à reverberação ou ao eco, dependendo do intervalo de tempo entre a percepção do som direto e do refletido.

O ouvido humano só consegue distinguir dois sons que chegam a ele com um intervalo de tempo superior a um décimo de segundo (0.1 s). Se em algum ponto de uma sala a diferença de caminhos entre o som direto e o refletido for muito grande, a audição será confusa [1].

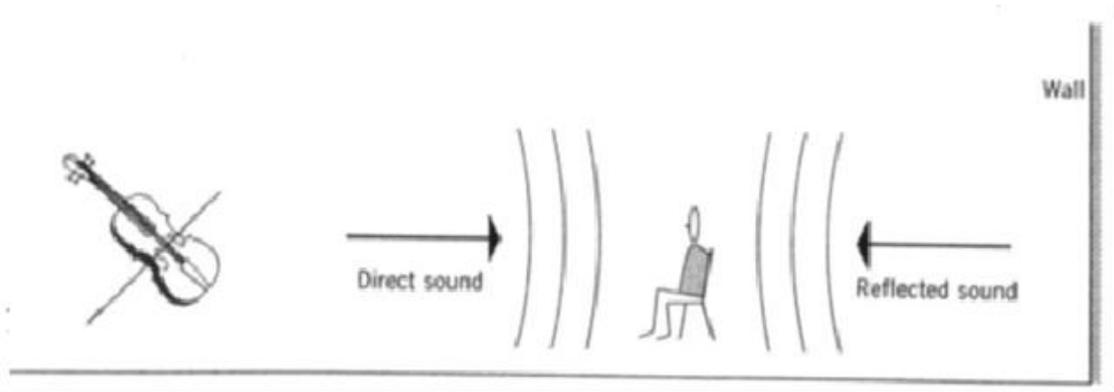


Figura 2 - Fonte: Beranek, Music, acoustic and architecture (Wiley, 1962)

Utilização de superfícies refletoras no forro, com orientação tal que as ondas refletidas atinjam os ouvintes, com intervalos de tempo reduzidos em relação ao som direto.

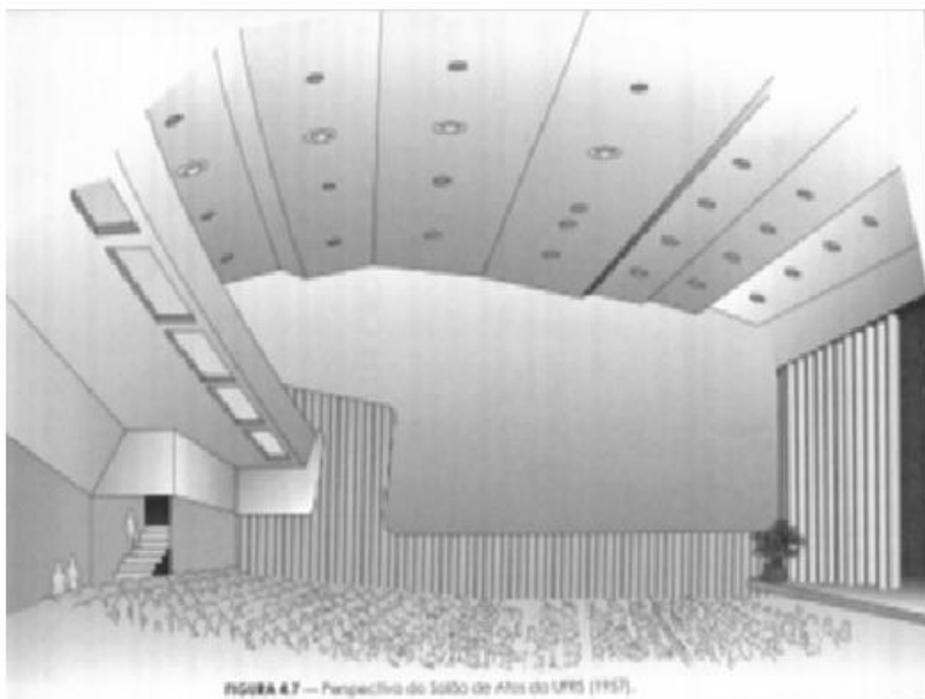


Figura 3 - Fonte: Ennio Cruz da Costa, Acústica Técnica (Editora Blücher, 2003)

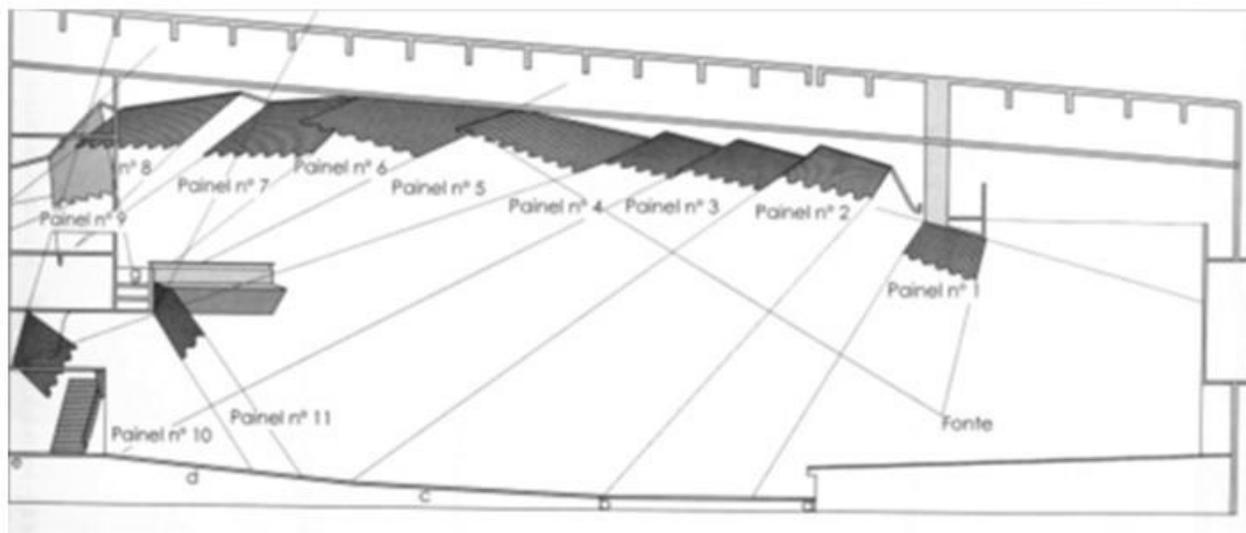


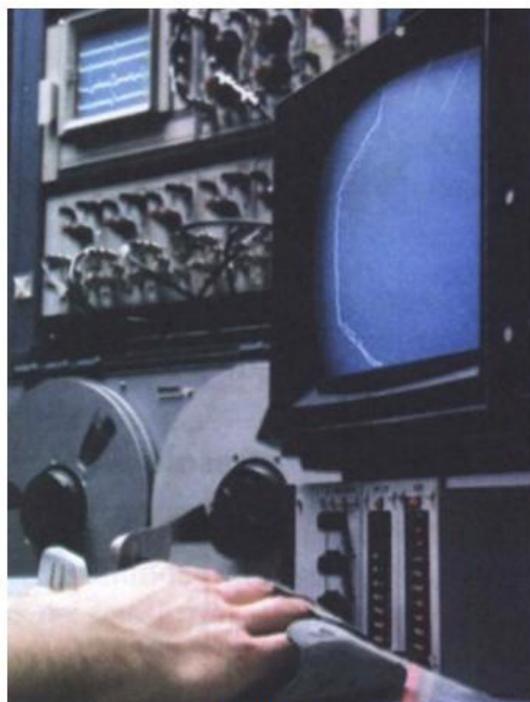
Figura 4 - Fonte: Ennio Cruz da Costa, Acústica Técnica (Editora Blücher, 2003)

ECO

Os obstáculos que refletem o som podem apresentar superfícies muito ásperas. Assim, o som pode ser refletido por um muro, uma montanha etc.

O som refletido chama-se eco, quando se distingue do som direto.

Para uma pessoa ouvir o eco de um som por ela produzido, deve ficar situada a, no mínimo, 17 m do obstáculo refletor, pois o ouvido humano só pode distinguir dois sons com intervalo de 0,1 s. O som, que tem velocidade de 340 m/s, percorre 34 m nesse tempo.



O sonar é um aparelho capaz de emitir ondas sonoras na água e captar seus ecos, permitindo assim, a localização de objetos sob a água.

REVERBERAÇÃO

Em grandes salas fechadas ocorre o encontro do som com as paredes. Esse encontro produz reflexões múltiplas que, além de reforçar o som, prolongam-no durante algum tempo depois de cessada a emissão.

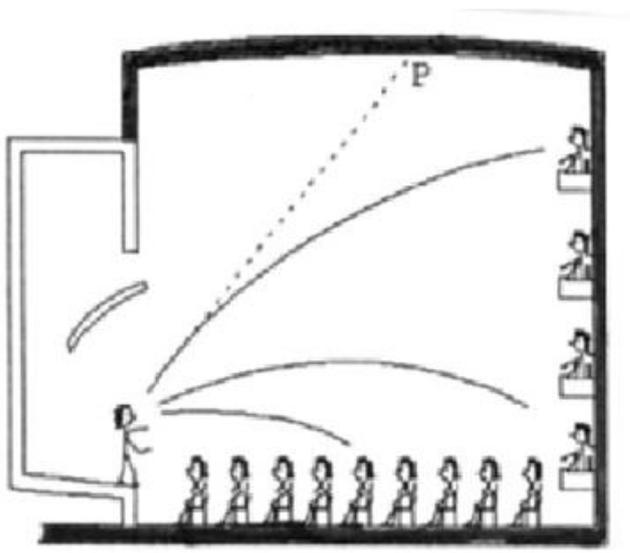
É esse prolongamento que constitui a reverberação. A reverberação ocorre quando o som refletido atinge o observador no instante em que o som direto está se extinguindo, ocasionando o prolongamento da sensação auditiva.

2ª Propriedade: Refração

Consiste em a onda sonora passar de um meio para o outro, mudando sua velocidade de propagação e comprimento de onda, mas mantendo constante a frequência.

A densidade do ar varia como resultado da variação da temperatura. A velocidade do som é maior no ar quente. Como a frequência do som não se altera, o comprimento de onda λ aumenta. A frente de onda se inclina e altera a direção de propagação ^[1].

A figura ilustra a refração do som numa sala de concerto. A maior temperatura na região superior em relação à plateia refrata o som e favorece a sua propagação.



Exemplo: O ar a 0 °C transporta o som a 1180 km/h; à temperatura de uma sala (20 °C) o som viaja a 1250 km/h. Desse modo, quando as ondas do som se movem do ar frio para o ar quente, ganham velocidade. Se entrarem na camada quente em ângulo, a parte superior de cada onda é a primeira a mover-se mais depressa; cada onda é curvada ^[1].

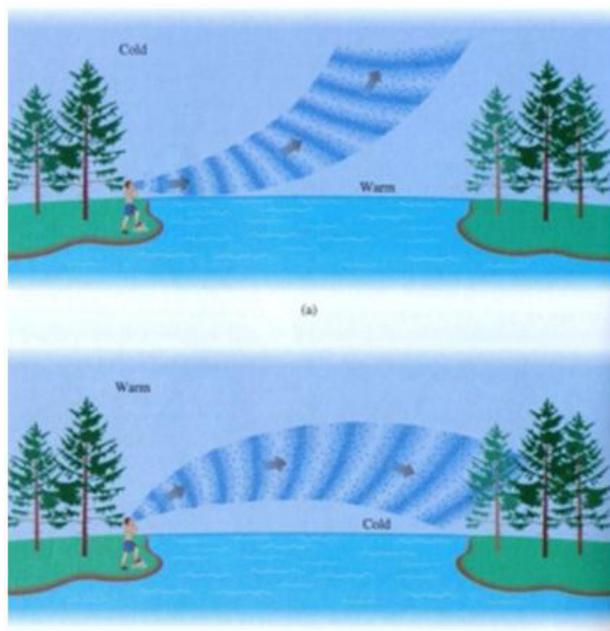


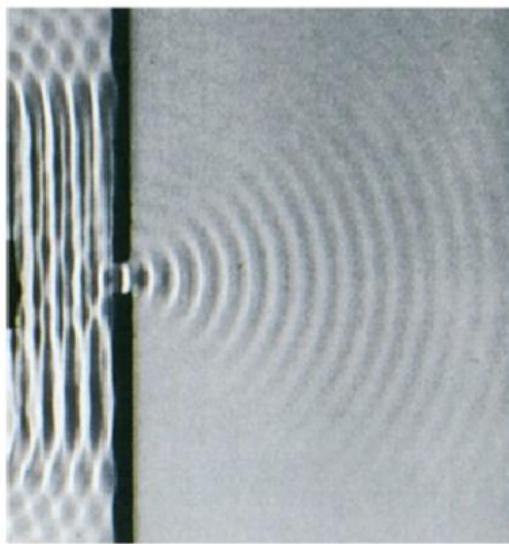
Figura 7 – Refração do Som. E. Hecht, Physics (Brooks Cole, 1994).

3ª Propriedade: Difração

Fenômeno em que uma onda sonora pode transpor obstáculos.

Quando se coloca um obstáculo entre uma fonte sonora e o ouvido, por exemplo, o som é enfraquecido, porém não extinto. Logo, as ondas sonoras não se propagam somente em linha reta, mas sofrem desvios nas extremidades dos obstáculos que encontram.

Na figura abaixo temos ondas planas num tanque de onda incidindo sobre uma barreira que tem uma abertura pequena frente ao comprimento de onda, λ . Depois de superada a barreira, as frentes de onda são circulares, centradas na abertura. Este encurvamento da frente de onda é a difração^[1].



O comportamento de uma onda pode ser estudado num tanque de ondas, geradas por uma lâmina que oscila na água. Esta técnica também é utilizada para simular o comportamento das ondas sonoras frente a obstáculos.



Figura 9 – Tanque de Ondas. Tipler, Física (Editora LTC, 2000).

A figura abaixo ilustra a difração do som, que é a propriedade de propagar-se rodeando obstáculos para chegar a lugares que estão à “sombra”.

Pela difração as ondas sonoras podem contornar obstáculos criando novas séries de ondas. Estas ondas secundárias se irradiam do obstáculo como se este fosse à fonte do som.



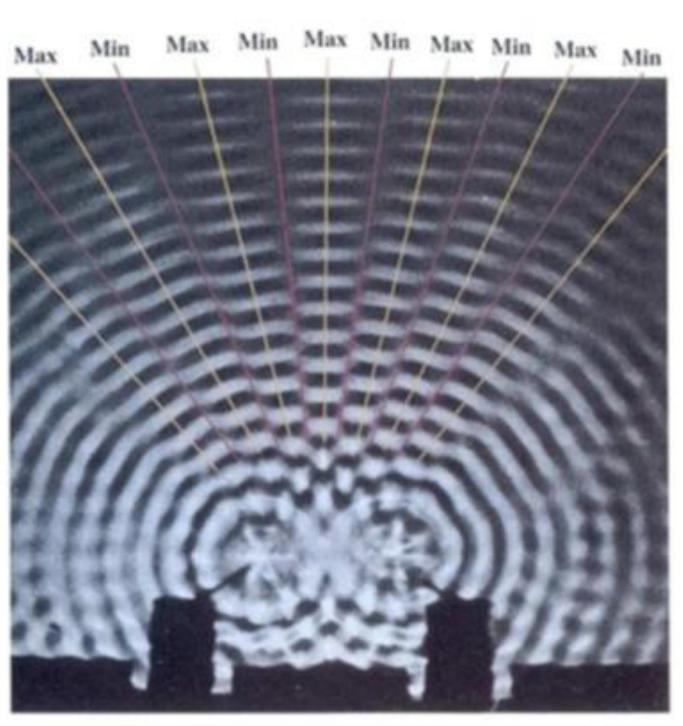
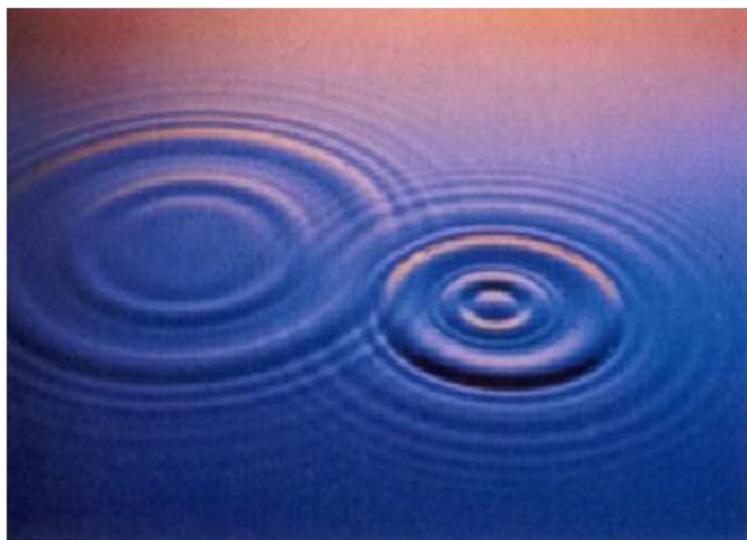
4ª Propriedade: Interferência

Consiste em um recebimento de dois ou mais sons de fontes diferentes. Neste caso, teremos uma região do espaço na qual, em certos pontos, ouviremos um som forte, e em outros, um som fraco ou ausência de som.

Som forte: interferência construtiva

Som fraco: interferência destrutiva

As ondas sonoras são formadas de zonas alternadas de pressão alta (compressões) e baixa (rarefações). Quando ondas de fontes diferentes se chocam, ocorre a interferência. Este fenômeno pode ser observado num tanque de ondas na água ^[1].



5ª Propriedade: Ressonância

Quando um corpo começa a vibrar por influência de outro, na mesma frequência deste, ocorre um fenômeno chamado ressonância. Como exemplo, podemos citar o vidro de uma janela que se quebra ao entrar em ressonância com as ondas sonoras produzidas por um avião a jato.

Todas as estruturas mecânicas têm uma ou mais frequências naturais de oscilação. Se a estrutura for submetida a uma força externa periódica cuja frequência coincida com uma das frequências naturais, a amplitude da oscilação atingirá valores elevados que podem levar ao colapso da estrutura. Este fenômeno é denominado ressonância ^[1].

Um exemplo histórico do fenômeno de ressonância foi a queda da ponte pênsil do estreito de Tacoma (Washington, EUA), quando ventos soprando sobre a ponte provocaram oscilações de ressonância que levaram à sua destruição em novembro de 1940, quatro meses depois de ter sido inaugurada.

A ponte, de 840 m de comprimento e 12 m de largura, foi aberta para o trânsito em 1º de julho. Logo ficou conhecida pelas desagradáveis oscilações quando ventava. No dia 7 de novembro, um vento de 60 a 70 km/h provocou uma oscilação na ponte com uma frequência de 36 vibrações por minuto (0.6 Hz). Quando a amplitude da oscilação ficou muito grande, a ponte foi interditada.

Às 10 h, um cabo cedeu e a ponte começou a vibrar num modo de oscilação ressonante de torção em relação à linha central da estrada (twisting resonant mode, $f_0 = 0.2$ Hz).



Figura 13 - Fonte: E. Hecht, Physics (Brooks & Cole, 1994).

A frequência da oscilação causada pelos vórtices alternados provocados pelo vento coincidia com a frequência de vibração natural da estrutura (condição de ressonância).

Quando a taxa com que a energia era absorvida do vento superou as perdas por atrito as amplitudes das oscilações aumentaram, levando-a ao colapso da ponte pouco depois das 11 h.



Figura 14 - Fonte: E. Hecht, Physics (Brooks & Cole, 1994).

RESSONÂNCIA ACÚSTICA

O fenômeno de ressonância é muito importante na compreensão das propriedades dos instrumentos musicais e o modo como eles produzem seu som característico.

O ar contido numa cavidade possuirá uma série de frequências de ressonância associadas aos modos normais de vibração, constituindo uma cavidade acústica ressonante. O som que se origina das cordas vibrantes de um instrumento musical (violino ou piano) é profundamente influenciado pela “caixa acústica” do instrumento.



ABSORÇÃO POR RESSONADORES

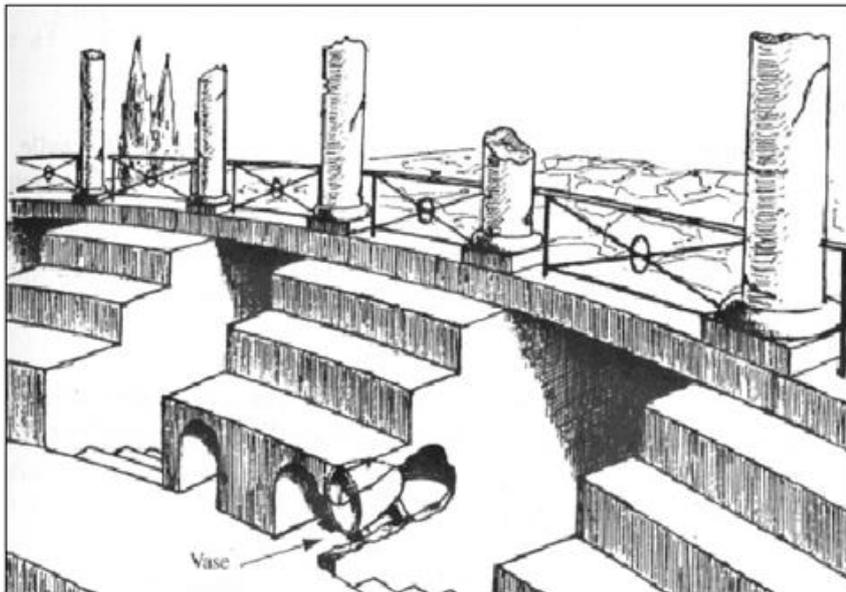


Figura 16 – Fonte: Fischetti, *Initiation à l'acoustique* (Belin, 2003).

Nos teatros antigos e nas igrejas da idade média se encontram cavidades, chamadas de vasos acústicos. Nos teatros, estes ressonadores serviam para amplificar a voz dos atores. Nas igrejas eles tinham uma função de absorção, contribuindo para atenuar a reverberação na região de baixas frequências (a frequência de ressonância destes vasos é da ordem de 200 Hz).

FOCALIZAÇÃO DO SOM

As focalizações se produzem quando o som refletido se concentra numa região, provocando uma excessiva energia sonora no local. A causa principal é a existência de superfícies côncavas: cúpulas parabólicas ou circulares, plantas elípticas, etc.

Exemplo de focalizações: concentrações sonoras numa sala hemisférica com teto refletivo.

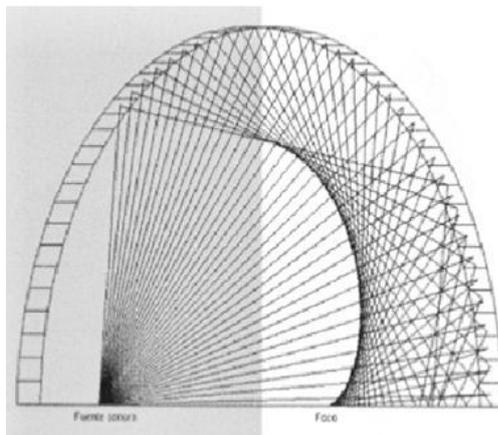


Figura 17 - Fonte: G.R. Vilarroig, J.M. Marzo Diez Tectónica, vol. 14: Acústica (ATC ediciones, Madrid, 1995).

ESPELHOS ACÚSTICOS

As superfícies esféricas podem causar perturbações acústicas importantes porque elas atuam como verdadeiros espelhos acústicos, concentrando as ondas sonoras refletidas.



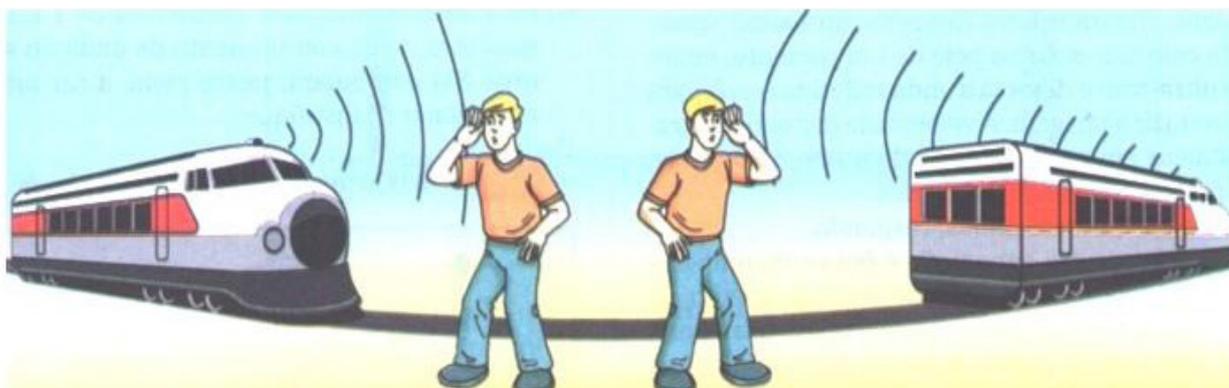
EFEITO DOPPLER [3]

Quando uma pessoa se aproxima de uma fonte sonora fixa, a frequência do som do ouvido é maior do que aquela de quando a pessoa se afasta da fonte.

O mesmo resultado seria obtido se a fonte se aproximasse ou se afastasse de uma pessoa parada.

Você pode observar esse fenômeno ouvido o apito de uma locomotiva em movimento. O apito é mais grave (frequência menor) quando está se afastando, após ter passado por você.

Observe que, quando há aproximação entre o observador e a fonte, o observador recebe maior número de ondas por unidade de tempo e, quando há afastamento, recebe um menor número de ondas:



Essa variação aparente da frequência de onda é chamada efeito Doppler, em homenagem ao físico e matemático austríaco Christian Johann Doppler (1803-1853), que ficou célebre por esse princípio.

Denominando f' a frequência recebida pelo observador e f à frequência emitida pela fonte, temos:

Aproximação: $f' > f$

Afastamento: $f' < f$

Essas grandezas são relacionadas pela expressão:

$$f' = f \left(\frac{v \pm v_0}{v \pm v_F} \right)$$

onde:

v = velocidade da onda;

v_F = velocidade da fonte;

v_0 = velocidade do observador;

f = frequência real emitida pela fonte;

f' = frequência aparente recebida pelo observador.

Os sinais mais (+) ou menos (-) que precedem o v_0 ou v_F são utilizados de acordo com a convenção:



A trajetória será positiva de O para F, portanto:

v_0 { \rightarrow + observador se aproxima da fonte }
 { \leftarrow - observador se afasta da fonte }

v_F { \rightarrow + fonte se afasta do observador }
 { \leftarrow - fonte se aproxima do observador }

$v_0=0$, o observador está parado

$v_F=0$, a fonte está parada

ATIVIDADES EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO

1 – REFLEXÃO DO SOM

Material necessário:

Tubos cilíndricos ocos, de cartão ou de cana, com cerca de 0,5 m de comprimento;

1 relógio com tique-taque audível (ou cronômetro);

1 placa lisa para reflexão do som.



Procedimento:

Dispor na mesa o cronômetro, a placa refletora e os tubos de acordo com o esquema indicado. Deixar um espaço de cerca de 6 cm entre o cartão e as extremidades dos tubos;

Colocar o cronômetro na extremidade livre de um tubo e na extremidade da outra a orelha, em posição tal que ouça nitidamente o tique-taque.

O que se registra:

O som propaga-se ao longo de um tubo e é refletido pelo cartão para dentro do outro tubo.

O que se pode aprofundar:

A direção do 1º tubo é a direção da onda sonora incidente e a do 2º tubo é a direção da onda sonora refletida. Comparar os ângulos que estas direções formam com a perpendicular à parede refletora.

Induzir uma lei da reflexão das ondas sonoras.

Substituir a placa refletora por um feltro ou uma camisola. A reflexão é boa?

2 - CONSTRUIR UM ESTETOSCÓPIO

Material:

2 funis pequenos;
Tubo flexível;
Balão;
Tesoura;
Elástico.



Procedimento:

- Colocar em cada uma das extremidades do tubo os funis, de modo que, fique bem ajustado;
- Encher o balão com ar e deixá-lo cheio durante alguns minutos para que ele dilate;
- Esvaziar o balão e cortar a parte superior para que fique com uma pequena “tampa”;
- Colocar o pedaço de balão sobre a parte aberta do funil, o mais esticada possível, e fixá-la em redor com um elástico.

APPLETS DE ENSINO

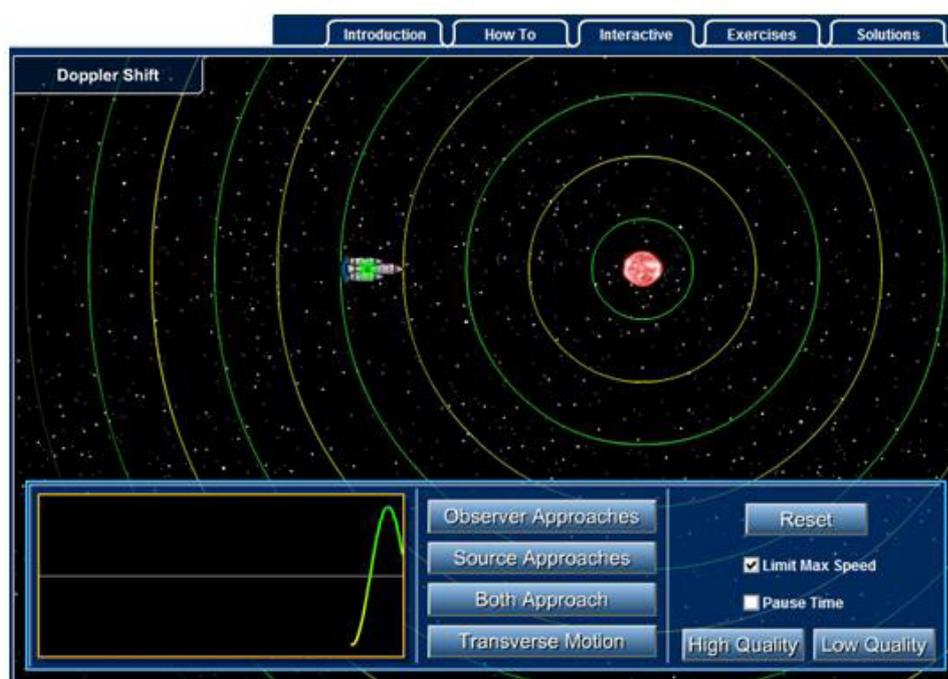
3) Projeto Walter-fendt sobre o efeito Doppler.

http://www.walter-fendt.de/ph14br/dopplereff_br.htm



4) Física Animada sobre o efeito Doppler.

http://www.fisicanimada.net.br/?q=ondas/doppler_nav



VÍDEO AULAS

5 – Novo Telecurso. Aula 30 parte 1 e 2.

<http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&v=tTvI3jvjMKw&NR=1>

<http://www.youtube.com/watch?v=peZ08VsAOVM&feature=relmfu>

6 – Ressonância Acústica.

http://www.youtube.com/watch?v=qy1c5_vYTVo&feature=related

7 - Sua voz é capaz de quebrar uma taça?

<http://www.youtube.com/watch?v=jNeDHUmlTtI&feature=related>

8 – Teatro de Epidauro.

<http://www.youtube.com/watch?v=H7Td1Jk4zlo&feature=related>

CONCLUSÃO

Uma aula sobre o tema “Sons” ilustra muito bem as aplicações da física nos fenômenos e dispositivos do dia a dia. Pelo que foi visto, o fato do som estar ligado a um dos nossos mais importantes sentidos, o da audição, este possui inúmeras aplicações na nossa vida cotidiana. Este também enriquece o conteúdo da disciplina de física e a torna muito mais atraente. Vimos que há uma ampla variedade de applets, vídeo aulas e experimentos sobre este tema, que facilita muito a execução de uma aula sobre este.



RESUMO

Do mesmo modo que na aula sobre o tema “Cores”, nesta aula apresentamos um texto preparado para fazer parte do e-livro do e-física. Esta aula está ricamente ilustrada com figuras, vídeo aulas e applets. Nela tratamos da teoria da natureza ondulatória do som. Explicamos as aplicações da teoria da acústica na engenharia e arquitetura. Terminamos a aula com uma análise de alguns applets de ensino, experimentos de baixo custo, e vídeo aulas.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Os applets de ensino e os experimentos sugeridos são de fácil execução, ilustram e enriquecem bem os conceitos abordados. As vídeo aulas estão bem preparadas e mesmo as mais simples ajudam os estudantes à refazer os experimentos de baixo custo.

REFERÊNCIAS

1 – DONOSO, J. P. Notas de aula. Som e Acústica, 2ª Parte: Natureza Ondulatória do Som. Disponível em: <https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:TpsneK88cP4J:www.fisica.ufs.br/ladmello/F%25C3%25ADsica_c/13_som_acustica_2.pdf+DONOSO,+J.+P.+NA+TUREZA+ONDULAT%25C3%2593RIA+DO+SOM&hl=pt-BR&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEESghRtblUoifDiIOZYlcp4HiQoDJNXe0KG1YnO5obAYRJ2qUR2r7HJmX13WfjvXnOieFG3EHcF-SMEd6y3j6ZJulEAFLB->

cl_QZL994t8n9E1oWvaPOmmFAWcWhkKUVNFUh3WRH_t&sig=AHIEtbQCg163mSvdJB5XoH_EaKq3EXcHYg>. Acesso em 09/09/2012.

2 – Experimentos com o Som. Projeto prof2000. Disponível em: <http://www.prof2000.pt/users/gracsantos/netmag/exper_som.htm>. Acesso em 28/08/2012.

3 – Projeto Weblab. Traduzido pela Unime. Disponível em: <<http://ww2.unime.it/weblab/awardarchivio/ondulatoria/acustica.htm>>. Acesso em 28/08/2012.

4 – Wikipédia. Acústica. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ac%C3%BAstica#Engenharia_Ac.C3.BAstica>. Acesso em 28/08/2012.