

ESTUDANDO O EFEITO DOPPLER ACÚSTICO COM SMARTPHONES

1. Objetivos

Realizar um experimento simples usando smartphones para o estudo quantitativo do efeito Doppler.

São utilizados dois smartphones, um deles operando como fonte sonora e outro como receptor sonoro. Uma vez que a fonte sonora se move com velocidade variável, utilizando aplicativos gratuitos de análise de áudio e vídeo, será construído um gráfico da frequência detectada pelo receptor em função do tempo, permitindo observar diferentes valores de deslocamento de frequência em um mesmo experimento.

A execução do experimento tem duração de poucos minutos, sendo seguida do processo de organização dos dados e construção de gráficos usando uma planilha eletrônica. A etapa de tratamento e análise de dados dura aproximadamente 35 minutos cabendo, portanto, em uma unidade de aula.

2. Requisitos

Para desenvolver este experimento, os estudantes já devem ter estudado:

- Ondas sonoras: conhecimento sobre frequência, velocidade e amplitude de uma onda sonora.
- Efeito Doppler: conhecer o efeito do deslocamento relativo entre fonte e receptor na frequência sonora percebida.
- Pêndulo simples¹: reconhecer que a velocidade aumenta à medida que o pêndulo se move em direção à sua posição mais baixa na trajetória.

3. Materiais

- 2 smartphones.
- Aplicativo *Physics Tool Box Sensor Suite* (PTSS)².

- Aplicativo Mobizen³.
- Aplicativo Spectroid⁴.
- Fio de nylon para fixar um dos smartphones para executar movimento pendular.
- Computador para análise dos dados.

4. Montagem experimental

A montagem deste experimento é relativamente simples. Um dos smartphones, o receptor sonoro (RS), deve ser mantido fixo sobre uma mesa (ou um suporte que o mantenha na vertical, com seu microfone voltado para cima). A fonte sonora (FS) deve atuar como o corpo de um pêndulo. Para isso, é necessário fixar a ele um fio de nylon preso ao teto de modo que, ao se mover, seu alto-falante fique voltado para a direção oposta à do fio de nylon como mostrado na figura 1. A FS deve ser solta de uma altura $h \cong 1m$ e de modo ao passar por sua posição mais baixa seu alto-falante passando o mais próximo possível do microfone de RS tal como ilustrado no destaque da figura 1.

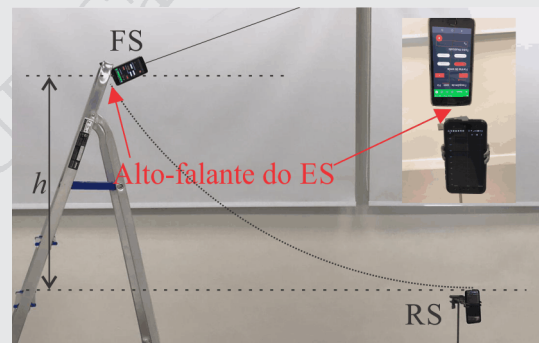


Figura 1: Foto mostrando a montagem experimental. O smartphone indicado por FS é a fonte sonora e por RS é o receptor.

A frequência sonora detectada por RS é dada por:

$$f = \frac{v}{v \pm v_{FS}} f_0 \quad (1)$$

¹ Este conhecimento não é mandatório para a realização deste experimento, porém é desejável.

² <https://www.vieyrasoftware.net>

³ <https://www.mobizen.com/>

⁴ <https://www.appbrain.com/app/spectroid/org.intoor.bit.spectrum>



onde v é a velocidade do som, v_{FS} é a velocidade da fonte sonora e f_0 é a frequência emitida por FS. O sinal “+” deve ser utilizado quando FS e RS apresentam movimento relativo de afastamento e “-”, quando ocorre aproximação relativa.

Em relação aos aplicativos, a FS deve executar a opção “Gerador de Tons” do PTSS, emitindo uma frequência sonora da ordem de 5000 Hz. Já o RS deve executar, simultaneamente, os aplicativos Mobizen que irá gravar sua tela enquanto exibe as informações detectadas pelo Spectroid. Uma vez que o Spectroid não permite exportar os dados lidos, o Mobizen tem a função de, depois de finalizado o procedimento experimental, permitir que os dados da frequência sonora em função do tempo sejam recuperados para serem analisados usando uma planilha eletrônica. Para isso, é necessário salvar o vídeo obtido com o Mobizen e depois passá-lo quadro a quadro tomando manualmente os valores de frequência e tempo. O Tempo é obtido a partir da duração de cada quadro do vídeo.

A figura 2 mostra uma situação característica obtida na execução do experimento. Em (a) é mostrada a tela do PTSS configurado para emitir uma frequência de 5000 Hz. Em (b) é mostrada a tela do Mobizen onde é possível verificar o pico de frequência de 5060 Hz, indicando um deslocamento Doppler de 60 Hz.

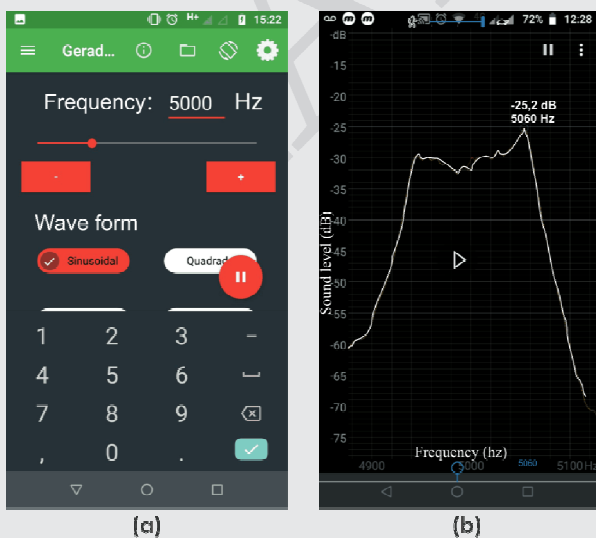


Figura 2: Em (a), tela do PTSS configurado para emitir um som de 5000Hz. Em (b), tela do Mobizen mostrando a frequência de 5060Hz percebida pelo RS devido ao movimento da FS.

Nas condições do experimento, o valor máximo desse deslocamento é da ordem de 1% em relação à f_0 , exigindo que esta frequência seja da ordem de 5000 Hz, o que leva a uma boa relação sinal ruído.

Portanto, após a análise do vídeo derado pelo aplicativo Mobizen, obter-se-á um tabela com os valores de f e t , permitindo a construção de um gráfico da frequência em função do tempo. Nesse gráfico os estudantes poderão verificar o comportamento da frequência Doppler à medida que a velocidade relativa entre a FS e o RS aumenta e diminui.

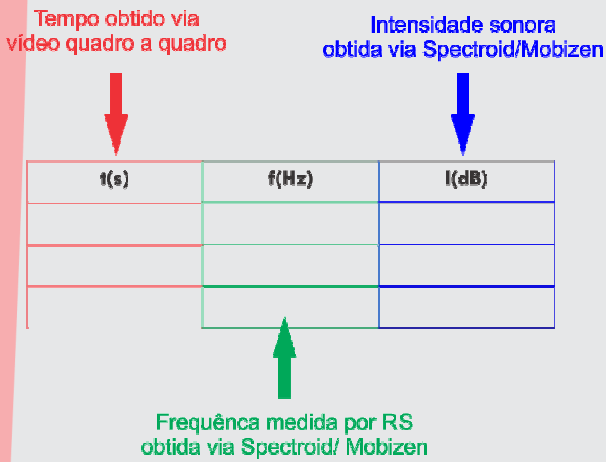
Como a velocidade da FS aumenta à medida que o movimento pendular se desenvolve até a posição mais baixa da trajetória e depois diminui à medida que o smartphone se afasta da posição mais baixa, diferentes valores do deslocamento Doppler serão medidos, permitindo uma boa análise do fenômeno físico.

Como é possível observar na figura 2(b), o Mobizen também detecta a intensidade sonora, permitindo a construção de um gráfico dessa grandeza física em função do tempo. Assim os estudantes poderão verificar o aumento da intensidade sonora à medida que os smartphones ficam mais próximos entre si, isto é, à medida que a FS se move em direção ao RS. Com isso será possível verificar que a máxima frequência Doppler ocorre quando a FS passa exatamente sobre o RS (máximo valor para v_{FS}).

Os aplicativos indicados neste roteiro são os que foram utilizados durante as fases de criação, desenvolvimento e testes desta proposta tecnológica para o ensino experimental quantitativo do Efeito Doppler. Desta forma, tais aplicativos são uma sugestão, podendo ser substituídos por outros que desempenhem as mesmas funções.

5. Exemplo de tabela

A seguir é apresentado um exemplo de tabela que os estudantes devem preencher enquanto executam a análise do vídeo gravado pelo Mobizen.



Para guiar o(a) professor(a) na aplicação deste experimento, a figura 3 apresenta um esboço das curvas a serem obtidas. Em azul está ilustrada a frequência f medida por RS em função do tempo (eixo vertical da esquerda). O gráfico ilustrado em vermelho (eixo vertical à direita) indica a curva esperada experimentalmente para a intensidade sonora.

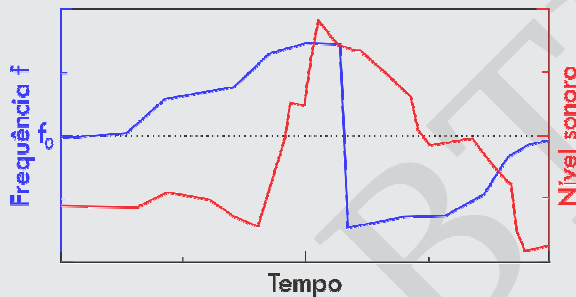


Figura 3: Ilustração (esboço) das curvas que devem ser obtidas com os dados do experimento.

6. Sugestões de aplicação e avaliação

Com este experimento é possível aprofundar junto a estudantes dos ensinos fundamental II (EFII) e ensino médio (EM) algumas características das ondas sonoras e a percepção que o ser humano apresenta quando há movimento relativo entre fonte e receptor do som. Ainda, permite uma análise de cunho quantitativo do efeito Doppler junto a estudantes do EM, levando a uma maior compreensão do fenômeno. Uma vez que o experimento se vale de representação gráfica dos resultados experimentais, permite que os estudantes possam desenvolver a habilidade de interpretar e comunicar informações de cunho científico.

No contexto das ondas sonoras, a análise da intensidade sonora à medida que os smartphones se aproximam, permite que as discussões atinjam temas relacionados à poluição sonora e suas implicações no meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas.

7. Informações adicionais

Esta proposta experimental foi desenvolvida no contexto do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)⁵, tendo seus resultados publicados na revista The Physics Teachers [1].

[1] Antonio Augusto Soares and Ricardo Longhi Henrique, "Smartphones and the Acoustic Doppler Effect in High School," vol. 59, pp. 566-568, 2021.

⁵ Programa de Mestrado em Ensino de Física coordenado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF). O campus Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) sedia o polo de número 42.