



.....

Alexandre Novicki

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: alenovicki@gmail.com

Elder da Silveira Latosinski

Instituto Federal Farroupilha, São Borja, RS, Brasil
E-mail: eelderr@gmail.com

Rodrigo Pogliа

Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Venâncio Aires, RS, Brasil
E-mail: con.rodrigopoglia@gmail.com

.....

No que se refere ao estudo dos fenômenos ondulatórios, o efeito Doppler-Fizeau é um importante tema a ser trabalhado, visto que descreve situações comuns no dia-a-dia do estudante. Um exemplo disso é a diferença na frequência do som percebido por um observador quando passa por ele uma ambulância com a sirene em funcionamento.

Hoje se verifica que, de maneira geral, a metodologia empregada no ensino de física dificulta a aprendizagem de conceitos e leis. Essa dificuldade pode estar relacionada à não utilização de recursos didáticos, como por exemplo o computador e aplicativos, nas aulas de física.

Este artigo apresenta uma proposta metodológica para o ensino do efeito Doppler-Fizeau a alunos de Ensino Médio através do uso de determinadas tecnologias de ensino, como é o caso do computador, gravador de áudio e aplicativo para análise de dados. Com o estudo aqui apresentado mostraremos como é possível determinar a velocidade de um veículo em movimento em relação a um observador.

Deste modo, apresentamos os resultados de um estudo sobre a frequência do som emitido por uma fonte sonora quando em movimento (efeito Doppler-Fizeau), através da aquisição automática de dados. Nessa aquisição dos dados foi utilizado como transdutor o microfone para captar a frequência emitida pelas fontes sonoras, placa de som como interface para a conversão do sinal analógico em digital e o aplicativo Spectrogram® para o registro e armazenamento dos dados coletados.

A idéia do experimento que será apresentado neste artigo pode ser reproduzida por qualquer pessoa, sendo então fácil sua aplicação, ou no mínimo demonstração,

em sala de aula, para estudantes de nível médio.

Fundamentação teórica

O computador pode vir a tornar-se uma ferramenta cognitiva no processo ensino aprendizagem, criando um ambiente em que o aluno construa sua interpretação do mundo real organizando e sistematizando seus conhecimentos. O professor, atuando como mediador, pode utilizar esta ferramenta no sistema de ensino objetivando preparar o aluno para a inserção no mundo informatizado. Em ciências, o computador atua como "instrumento para a modelagem científica e como suporte ao laboratório" [1].

A interação no processo de ensino e aprendizagem baseia-se na teoria da mediação de Vygotsky, que afirma que o desenvolvimento cognitivo ocorre dentro de um contexto histórico, social e cultural [2, p. 109]. Ainda segundo Vygotsky, o desenvolvimento cognitivo é a transformação de relações sociais em funções mentais através da mediação entre instrumentos e signos. O instrumento é aquilo que pode ser usado para fazer algo, enquanto o signo é algo que tem significado. Desse modo, o desenvolvimento cognitivo

se dá na apropriação de instrumentos e signos, via interação social [2, p. 110-111].

Algumas publicações relatam positivamente o uso da

aquisição automática de dados [1, 3]. É nessa perspectiva que o presente trabalho trata o computador como uma versão contemporânea daquilo que Vygotsky chamava de instrumento, propondo uma atividade que faz uso dessa tecnologia.

Ainda segundo Haag (*op. cit.*) verifica-se que atualmente os professores que utilizam o computador em sua prática o fazem apenas como instrumento para

Hoje se verifica que, de maneira geral, a metodologia empregada no ensino de física dificulta a aprendizagem de conceitos e leis

Este trabalho propõe uma atividade de aprendizagem sobre ondas sonoras de fácil aplicação a estudantes de nível médio. O objetivo é, utilizando a aquisição automática de dados através do computador, determinar a velocidade de uma fonte sonora baseada no efeito Doppler-Fizeau. Trata-se de uma proposta que, facilitada pela aquisição automática de dados e mediada pela ação do professor, relaciona teoria e prática.

confeção de materiais textuais e apresentações, ou como simples forma de obtenção de informações e comunicação a partir da internet. Neste enfoque, a aquisição automática de dados no laboratório de física tem um papel importante para a alfabetização científica, pois avança sobre o uso do grande potencial do computador, permitindo uma nova abordagem referente às práticas de laboratório.

O uso do computador como instrumento para a aquisição automática de dados em física permite, segundo Haag [1]: enriquecer as experiências práticas e promover novas abordagens e compreensões; permitir realizar experimentos que, manualmente, são impossíveis; desenvolver novas habilidades e competências a partir da redução do tempo na aquisição de dados; obter nos experimentos medidas mais precisas.

O efeito Doppler-Fizeau

O efeito Doppler-Fizeau é denominado assim em homenagem a Johann Christian Andreas Doppler, que o descobriu em 1842 e acabou descrevendo o fenômeno teoricamente, bem como ao francês Hippolyte Fizeau, o qual descobriu o fenômeno de forma independente em estudos sobre ondas eletromagnéticas [4]. Esse efeito é uma característica observada em todos os tipos de ondas quando estas são emitidas ou refletidas por um objeto que está em movimento em relação ao observador.

Aplicado às ondas sonoras, o efeito Doppler-Fizeau explica o fato de ouvirmos um som de frequência diferente da frequência emitida por uma fonte quando esta se encontra em movimento relativo ao observador. Esse efeito é facilmente constatado quando um carro do corpo de bombeiros com a sirene ligada se aproxima ou se afasta de nós. Quando uma fonte sonora encontra-se em movimento relativo a um observador, o efeito Doppler-Fizeau pode acentuar-se, atenuar-se, ou até mesmo desaparecer. Isso dependerá dos módulos, direções e sentidos das velocidades. Se fonte e observador se aproximam, o som percebido terá frequência maior que a natural, ao passo que quando os dois se afastam, o som terá frequência menor que a natural.

Neste artigo apresentaremos uma maneira de calcular a velocidade de um veículo com o uso da aquisição automática de dados, ancorado teoricamente ao efeito Doppler-Fizeau. Para podermos calcular a velocidade de um veículo, primeiro vamos equacionar esse efeito.

Caso a fonte se aproxime do observador, haverá um encurtamento aparente

do comprimento de onda λ_1 , portanto a frequência percebida pelo observador f_{ap} será maior que a frequência real da fonte f .

$$f_{ap} = \frac{v_{som}}{\lambda_1} = \frac{v_{som}}{\frac{v_{rel}}{f}} = \frac{v_{som} \cdot f}{v_{som} - v_{fonte}} \quad (1)$$

$$v_{som} = \frac{f_{ap} (v_{som} - v_{fonte})}{f}$$

Caso a fonte se afaste do observador, haverá um alongamento aparente do comprimento de onda λ_2 , portanto a frequência percebida pelo observador f_{af} será menor que a frequência real da fonte f .

$$f_{af} = \frac{v_{som}}{\lambda_2} = \frac{v_{som}}{\frac{v_{rel}}{f}} = \frac{v_{som} \cdot f}{v_{som} + v_{fonte}} \quad (2)$$

$$v_{som} = \frac{f_{af} (v_{som} + v_{fonte})}{f}$$

Assim, podemos igualar as expressões (1) e (2) afim de obter uma expressão que permita calcular a velocidade da fonte

$$\frac{f_{ap} (v_{som} - v_{fonte})}{f} = \frac{f_{af} (v_{som} + v_{fonte})}{f}$$

$$v_{fonte} = \frac{v_{som} (f_{ap} - f_{af})}{f_{af} + f_{ap}} \quad (3)$$

Metodologia

O experimento realizado para a coleta dos dados utilizados e analisados neste artigo ocorreu na rodovia RS 344, km 70, no município de Santo Ângelo, RS. Na realização de tal procedimento utilizou-se um computador portátil (notebook) colocado no acostamento da rodovia. Foram peças-

chave na realização do experimento dois automóveis.

Cabe salientar que não há necessidade de se realizar o experimento em uma rodovia. O mesmo pode ser reproduzido em uma rua qualquer de sua cidade.

O processo foi realizado da seguinte maneira:

1º) A uma distância de aproximadamente 1 km de onde estava colocado o notebook iniciou-se o movimento do veículo. Esse movimento foi acelerado até atingir-se a velocidade de 100 km/h (velocidade indicada no velocímetro do veículo), velocidade mantida constante cerca de 200 m antes e depois do local onde estava o observador.

2º) Com o uso do microfone interno do computador, capturou-se o som emitido pela buzina do veículo, a qual foi acionada no trecho percorrido com velocidade constante, durante sua aproximação e afastamento.

3º) Com o uso do aplicativo Spectrogram®, previamente instalado no computador, obtiveram-se as frequências durante a aproximação e afastamento do veículo.

Dados coletados e discussão dos resultados

As Figs. 1 e 2 apresentam a tela do aplicativo Spectrogram®, onde estão representadas as frequências do som emitido pela buzina durante a aproximação e afastamento do veículo deslocando-se com velocidade constante de 100 km/h.

Ambas as figuras (Fig. 1 e Fig. 2) apresentam as frequências de aproximação e afastamento, porém conforme pode ser observado na Fig. 1, a frequência de aproximação é de 2927 Hz (Frequency (Hz) 2927 ± 8,5). A Fig. 2 apresenta para

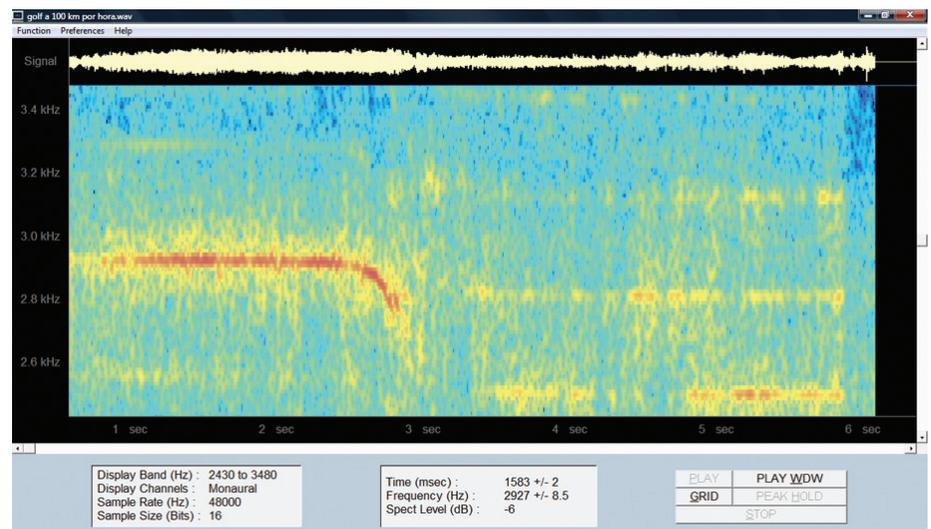


Figura 1 - Comportamento da frequência durante a aproximação do veículo com velocidade de 100 km/h.

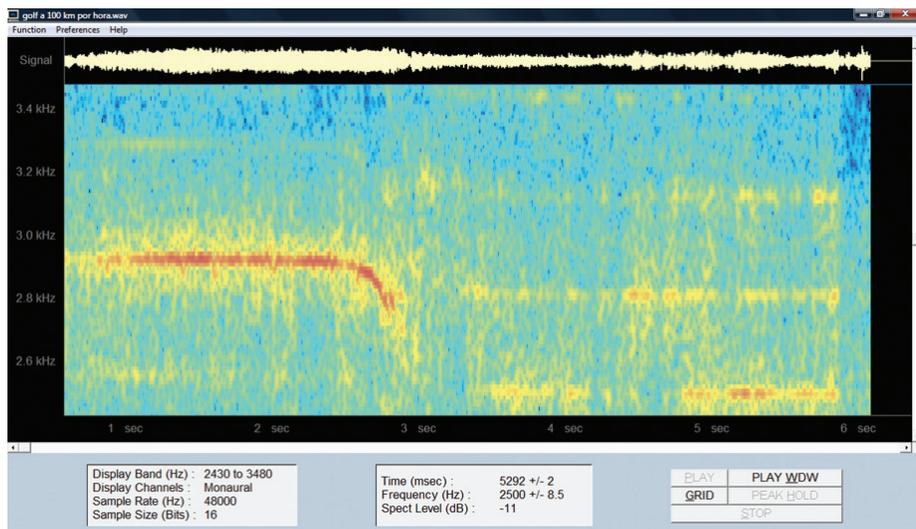


Figura 2 - Comportamento da frequência durante o afastamento do veículo com velocidade de 100 km/h.

a frequência de afastamento 2500 Hz (Frequency (Hz) 2500 ± 8,5). Essas leituras são realizadas diretamente na tela do software, posicionando o ponteiro do mouse sobre as linhas.

Analisando-se as leituras das frequências e considerando a velocidade do som no ar constante e igual a 344 m/s, determinamos a velocidade da fonte (veículo) com base na Eq. (3) que foi deduzida anteriormente.

$$\begin{aligned}
 &\text{Frequência de aproximação:} \\
 &f_{ap} = 2.927 \text{ Hz,} \\
 &\text{Frequência de afastamento:} \\
 &f_{af} = 2.500 \text{ Hz,} \\
 &v_F = \frac{v_s(f_{ap} - f_{af})}{f_{af} + f_{ap}} = \frac{344(2927 - 2500)}{2500 + 2927} \quad (4) \\
 &v_F = 27,06 \text{ m/s} = 97,5 \text{ km/h.}
 \end{aligned}$$

As Figs. 3 e 4 apresentam a tela do aplicativo Spectrogram®, onde estão representadas as frequências do som emitido pela buzina durante a aproximação e afastamento de outro veículo deslocando-se com velocidade constante de 40 km/h (segundo indicação do velocímetro).

Semelhante à situação anterior, o posicionamento do ponteiro do mouse sobre as linhas nos permite observar na Fig. 3 uma frequência de aproximação de 836 Hz (Frequency (Hz) 836 ± 9,0), e na Fig. 4 uma frequência de afastamento de 783 Hz (Frequency (Hz) 783 ± 8,5).

Analisando-se as leituras das frequências e considerando a velocidade do som no ar constante de 344 m/s, podemos determinar a velocidade da fonte da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 &\text{Frequência de aproximação:} \\
 &f_{ap} = 836 \text{ Hz,} \\
 &\text{Frequência de afastamento:}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &f_{af} = 783 \text{ Hz,} \\
 &v_F = \frac{v_s(f_{ap} - f_{af})}{f_{af} + f_{ap}} = \frac{344(836 - 783)}{783 + 836} \quad (5) \\
 &v_F = 11,26 \text{ m/s} = 40,54 \text{ km/h.}
 \end{aligned}$$

Como podemos ver das Eqs. (4) e (5), através dessa atividade foi possível chegar a um valor de velocidades bastante satisfatório em relação ao observado pelo motorista no velocímetro do veículo. Dessa forma essa atividade pode então ser considerada bastante eficaz dentro do contexto ao qual está sendo proposta.

Contudo, na determinação da velocidade da fonte, dois fatores devem ser considerados. Primeiramente a velocidade dos veículos suposta constante foi tomada visualmente pelo motorista através da

observação do velocímetro, sendo implicada, portanto, na imprecisão deste instrumento, além da dificuldade de manter uma velocidade constante em um veículo, embora o experimento tenha sido realizado em um trecho de rodovia em linha reta e sem grandes inclinações.

O segundo fator deve-se à tomada das frequências no aplicativo. Essa leitura foi realizada através do posicionamento do ponteiro do mouse sobre as linhas, implicando aproximações devido à espessura das linhas e um erro percentual definido automaticamente pelo programa.

Conclusão

De acordo com o efeito Doppler-Fizeau, um observador percebe a frequência do som emitido por uma fonte que se aproxima, maior que sua frequência natural. Na situação de afastamento da fonte em relação ao observador, este verifica uma frequência menor que a natural. Essa mudança de frequência percebida pelo observador pode ser observada nas figuras que representam a tela do Spectrogram®. Inicialmente verifica-se uma frequência constante durante a aproximação da fonte, que rapidamente sofre uma redução durante a passagem pelo observador, voltando a manter uma frequência constante, porém menor que a de aproximação.

Cabe salientar que o tema do qual trata o artigo é de difícil entendimento por parte dos alunos do Ensino Médio. Nessa visão, a atividade aqui proposta relaciona a teoria e prática através do uso da aquisição automática de dados, não esquecendo que o professor deve ser o mediador de tal processo. Nesse processo de mediação é importante sabermos que o professor é

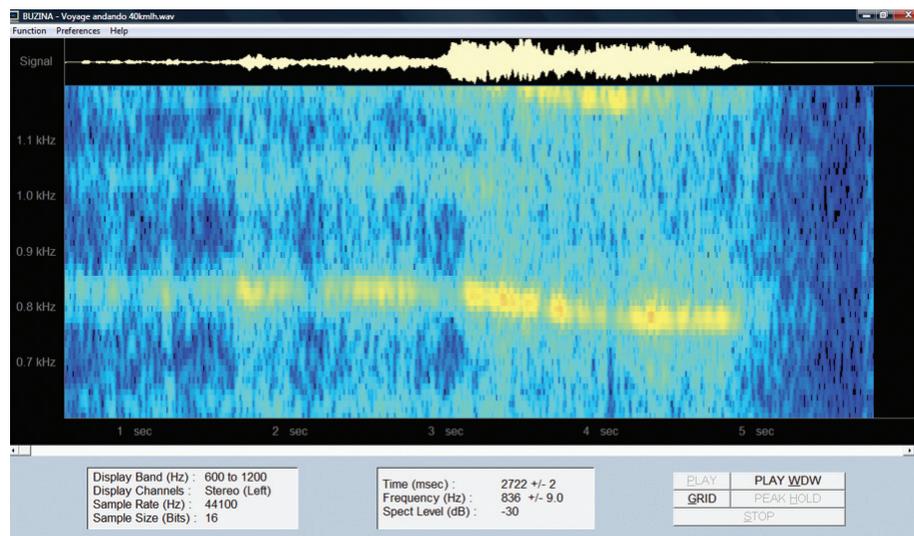


Figura 3 - Comportamento da frequência durante a aproximação do veículo com velocidade de 40 km/h.

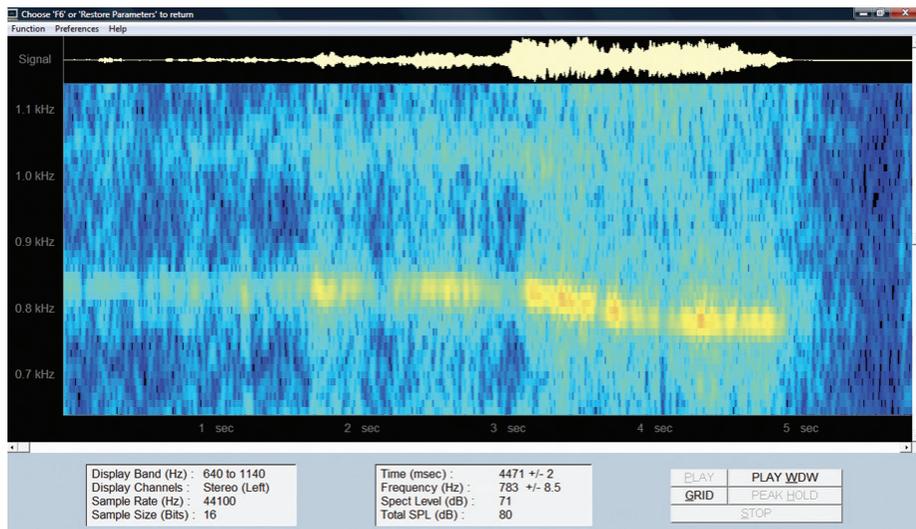


Figura 4 - Comportamento da frequência durante o afastamento do veículo com velocidade de 40 km/h.

o detentor dos significados aceitos no contexto da matéria de ensino e assim orientará as discussões com os alunos a fim de promover o desenvolvimento cognitivo. Tais considerações são feitas com base na teoria de Vygotsky, referencial adotado neste artigo.

Resumindo, o experimento permite que o aluno aproprie-se de um instrumento (o computador) no contexto da física. Além disso, este experimento apresenta uma maneira simples de demonstrar o efeito Doppler-Fizeau, sendo facilmente realizável na escola de nível médio. O aplicativo permite ainda análise de qualquer som gravado de uma fonte em aproximação ou afastamento em relação ao gravador, e consequente determinação

de sua velocidade. Consideramos, assim, ser possível obter valores com boa aproximação conforme apresentado nos resultados.

Para finalizar, é importante salientar que o professor deve ser além de um mediador do processo de ensino-aprendizagem, um motivador na implementação das novas tecnologias no ensino, sempre estando atento à metodologia utilizada. Para levar o estudante a um melhor entendimento de conceitos físicos, é importante que o professor faça uso de novas tecnologias, mas de nada adiantará esse uso caso ele mantenha em prática seus velhos métodos de ensino. Com o uso da aquisição automática de dados, conforme foi feito nesse trabalho, é possível dar um

novo significado ao uso de atividades experimentais no laboratório didático de física [5].

Referências

- [1] R. Haag, I.S. Araujo e E.A. Veit, *A Física na Escola* **6**(1), 89 (2005).
- [2] M.A. Moreira, *Teorias de Aprendizagem* (EPU, São Paulo, 1999), 195 p.
- [3] D. Sias e R. Teixeira, 2008 Caderno Brasileiro de Ensino de Física **23**, 360 (2006).
- [4] P.M. Schuster, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 465 (2007).
- [5] D.B. Sias, *A Aquisição Automática de Dados Proporcionando Discussões Conceituais na Física Térmica do Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

Saiba mais

- Alberto Gaspar, *Física – Ondas, Óptica e Termodinâmica 2* (Ática, São Paulo, 2003).
- Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, *Curso de Física 2* (Scipione, São Paulo, 2007).
- Luiz Felipe Fuke, Carlos Tadashi Shigekiyo e Kazuito Yamamoto, *Os Alicerces da Física* (Saraiva, São Paulo, 1998).
- P.G. Hewit, *Física Conceitual* (Ed Bookman, Porto Alegre, 2002), trad. Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina, 9^a ed.
- R. Haag, L.M. Oliveira e E.A. VEIT, *Coefficiente de Restituição em Colisões*, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/>, acesso em 21/7/2009.
- Wilson Carron e Osvaldo Guimarães Carron, *As Faces da Física* (Moderna, São Paulo, 2006).

Soluções das Perguntas do Editor do v. 11, n. 2

O sino soando a intervalos regulares

Se o experimentador estiver perto do sino, ele ouvirá sua batida quase que instantaneamente. À medida que se afasta, isso não mais ocorre: ele verá o sino bater antes de ouvir a batida. Porém, se andar mais um pouco, perceberá que a diferença de tempo diminuirá até que para uma certa distância o som e a imagem da batida voltam a coincidir. Isso ocorre periodicamente, à medida que o observador for se afastando.

Esta coincidência ocorrerá quando a distância do observador ao campanário for igual à distância percorrida pelo sinal

durante o intervalo de duas batidas. O observador ouvirá o primeiro toque e verá simultaneamente a segunda batida. Sabendo que o tempo entre batidas do sino é de 1 segundo, basta tomar a distância andada e dividir por 1 s. O resultado é a velocidade do som.

O astronauta fora da nave espacial

O astronauta deve atirar algo para longe, na direção oposta ao foguete. De acordo com a conservação de momento linear, o astronauta adquirirá uma velocidade $V = (m/M)v$, onde m é a massa do objeto, M a massa do astronauta e v a ve-

locidade do objeto arremessado. Este é o princípio pelo qual objetos se movem no espaço.

Dois massas sobre uma régua

Faça com a régua uma balança, colocando seu meio exatamente equilibrado em um pivô. Ajuste os pesos, um para cada lado a partir do meio da régua, até que os objetos se equilibrem. Digamos que o peso M se encontra a uma distância L da régua. O peso padrão m se encontra a uma distância l . Das condições de equilíbrio, $MgL = mgl$ (g é a aceleração da gravidade). Isso nos dá, isolando M , o valor que procuramos.