

MEDINDO A VELOCIDADE DE UM FÓRMULA 1 COM O EFEITO DOPPLER

Marco Adriano Dias [marco_adriano@yahoo.com.br]

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um procedimento simples que permite descobrir a velocidade de um carro de fórmula 1 a partir da gravação do ruído de seu motor, transmitido pela televisão

1. INTRODUÇÃO

O efeito Doppler tem muitas aplicações científicas e tecnológicas, e é um tópico freqüentemente abordado no Ensino Médio. Quando isso ocorre, entretanto, a discussão quase sempre fica restrita à dedução (ou mera exibição) de fórmulas e à apresentação de conseqüências qualitativas do fenômeno. É raro encontrar-se demonstrações ou experimentos quantitativos sobre o efeito Doppler. Isso se deve, é claro, à relativa dificuldade de se medir freqüências sonoras com o material disponível nas escolas. Mesmo na literatura, são poucos os artigos que descrevem experimentos desse tipo: alguns exemplos estão nas referências [Costa 2007], [Saba 2001] e [Saba 2003].

Neste trabalho apresentamos um método simples para calcular a velocidade de um carro de fórmula 1 usando as relações matemáticas do efeito Doppler. A idéia envolve (1) gravar o som emitido por um fórmula 1 em movimento a partir de uma transmissão de televisão, (2) analisar a gravação em um computador, usando um *software* de edição de áudio para medir a freqüência do som do motor quando o carro se aproxima e se afasta, e (3) determinar a velocidade do carro usando as relações matemáticas do efeito Doppler. A aplicação do efeito Doppler que é proposta nesse procedimento deve ser interessante para muitos alunos, já que eles terão a oportunidade de aplicar conceitos da Física em uma situação que costuma atrair sua atenção.

O artigo está organizado da seguinte maneira: O efeito Doppler é discutido brevemente na seção 2, introduzindo os resultados que usaremos a seguir; O procedimento proposto acima é descrito em detalhe na seção 3, onde uma gravação do som de um carro de fórmula 1 é analisada; Na seção 4 a velocidade desse veículo é obtida.

2. O EFEITO DOPPLER

Quando uma fonte sonora está em movimento em relação ao meio de propagação do som, a freqüência f ouvida por um observador em repouso nesse meio é

$$f = f_0 \frac{V_{som}}{V_{som} \pm V_{fonte}}$$

onde f_0 é a freqüência de emissão da fonte, V_{fonte} é a velocidade com que a fonte se move no meio, e V_{som} é a velocidade do som no mesmo meio. O sinal de menos corresponde à situação em que a fonte se aproxima do observador, e o sinal positivo ao caso em que ela se afasta do observador.

Vemos que no primeiro caso, $f > f_0$, e o som fica mais agudo. No segundo caso, $f < f_0$, e o som fica mais grave. Essa mudança de frequência é chamada *efeito Doppler*. A fórmula acima pressupõe que o observador esteja sobre o eixo onde se move a fonte sonora. Se esse não for o caso, a frequência percebida pelo observador será

$$f = f_0 \frac{V_{som}}{V_{som} + \hat{n} \cdot \vec{V}_{fonte}}$$

onde \vec{V}_{fonte} é o vetor velocidade da fonte e \hat{n} é o vetor unitário que aponta na direção que vai do observador à fonte (no instante em que esta emitiu o som). A figura 2.1 ilustra a geometria que está por trás dessas mudanças de frequência.

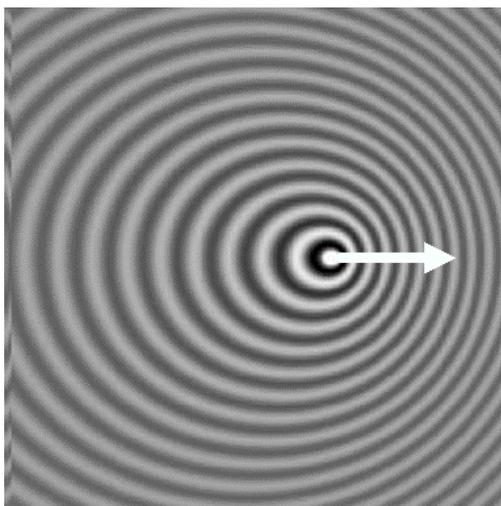


Figura 2.1. Efeito Doppler para uma fonte sonora em movimento.

O efeito Doppler não ocorre apenas para fontes sonoras em movimento. Se a fonte estiver em repouso relativamente ao meio de propagação do som e o observador estiver em movimento nesse meio, também haverá uma mudança na frequência percebida. Nesse caso será

$$f = f_0 \frac{V_{som} \pm \hat{n} \cdot \vec{V}_{obs}}{V_{som}}$$

onde \vec{V}_{obs} é a velocidade (vetorial) do observador e, como antes, \hat{n} é o vetor unitário que aponta do observador para a fonte. Os sinais de mais e menos correspondem, respectivamente, à aproximação ou afastamento entre observador e fonte.

3. GRAVAÇÃO E ANÁLISE DO SOM DE UM FÓRMULA 1

Para gravar o áudio transmitido pela televisão, podemos usar um microfone ligado à placa de som de um computador. Também é possível utilizar um gravador digital de *mp3*, bastante difundido entre os estudantes, ou ainda um telefone celular com recurso de gravação e exportação de áudio. Nesses últimos casos é necessário passar a gravação para um computador, salvando-a em um arquivo de áudio. Alguns formatos muito usados nesses arquivos são o *wav* e o *mp3*.

A onda sonora gravada pode ser analisada com um *software* de edição de áudio. Existem muitos programas desse tipo disponíveis na internet. Exemplos (comerciais) são o *WaveLab* [<http://www.steinberg.net>] e o *Goldwave* [<http://www.goldwave.com>], que são distribuídos também em versão *shareware* (gratuitos para teste). Um programa de alta qualidade e gratuito é o *Audacity* [<http://audacity.sourceforge.net/>], que foi usado neste trabalho.

A figura 3.1 mostra a gravação do som da passagem de um fórmula 1 pela câmara de televisão (e seu microfone, é claro), tal como é exibida no *Audacity*.

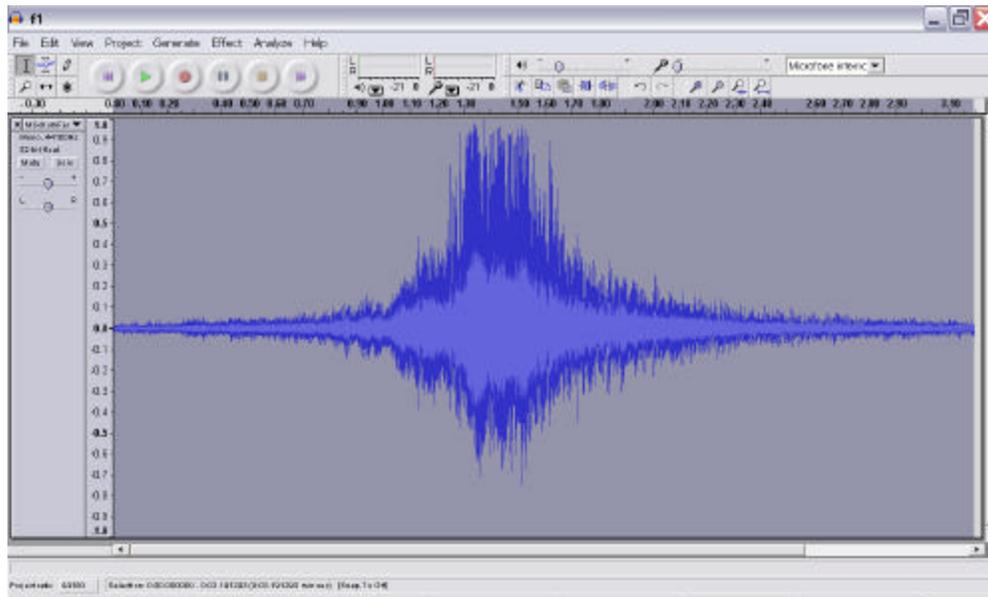


Figura 3.1. O som da passagem de um carro de fórmula 1, mostrado no programa de edição de áudio *Audacity*.

Com um programa de edição é possível ver detalhes da gravação. A figura 3.2 mostra um trecho da gravação correspondente à aproximação do veículo. Apenas 0,0116 segundos são mostrados, e podemos notar aproximadamente 10 oscilações na intensidade sonora. Portanto, o período da onda é cerca de

$$T_{\text{aproximação}} = 0,00116 \text{ s}$$

e sua frequência é

$$f_{\text{aproximação}} = 862 \text{ Hz.}$$

É claro da figura 1 que o som do carro não apresenta uma única frequência. Como é de se esperar, o sinal sonoro é complexo, com várias frequências superpostas. Mas é evidente que uma frequência fundamental pode ser identificada, com o valor dado acima.

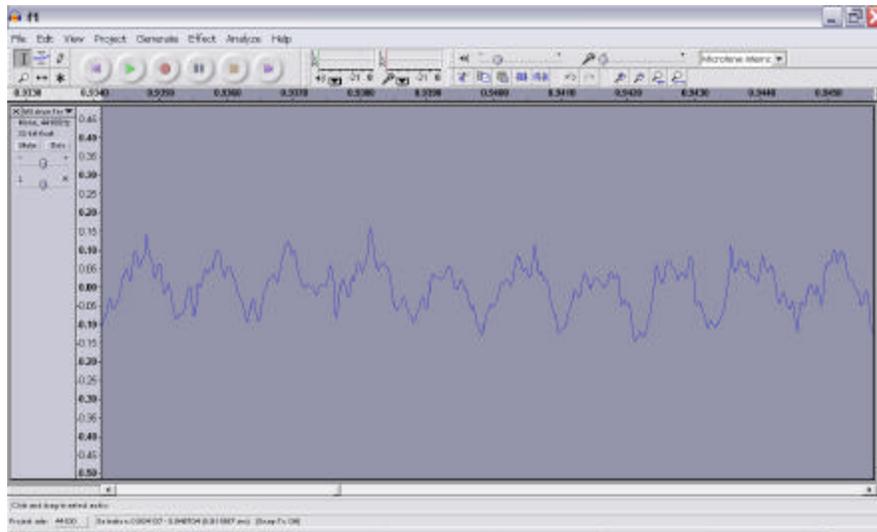


Figura 3.2. Trecho da gravação (0,0116 segundos) durante a aproximação do carro.

O mesmo procedimento pode ser repetido para um intervalo correspondente ao afastamento do veículo. O resultado está na figura 3.3. Lá está mostrado um intervalo de 0,0168 segundos da gravação, selecionado no trecho em que o carro se afasta. Podemos ver cerca de 10 oscilações nesse intervalo, o que leva a um período de, aproximadamente,

$$T_{\text{afastamento}} = 0,00168 \text{ s}$$

e frequência

$$f_{\text{afastamento}} = 595 \text{ Hz.}$$

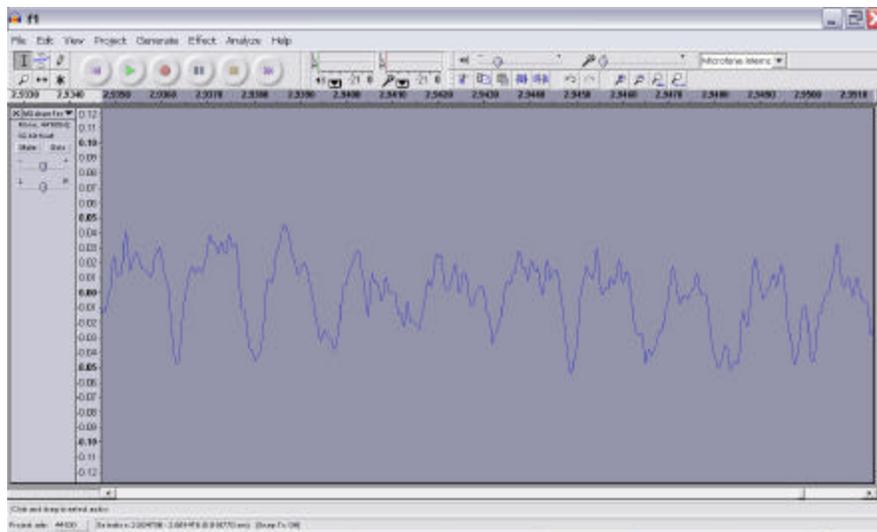


Figura 3.3. Trecho da gravação (0,0168 segundos) correspondente ao afastamento do carro.

Os resultados encontrados acima mostram claramente que o som do fórmula 1 analisado nas figuras 1, 2 e 3 sofre um grande deslocamento Doppler de frequência. Na próxima seção usaremos esses resultados para obter a velocidade do veículo.

4. CÁLCULO DA VELOCIDADE DO FÓRMULA 1

Podemos escrever as equações do deslocamento Doppler descritas na seção 2 como

$$f_{\text{aproximação}} = f_0 \frac{V_{\text{som}}}{V_{\text{som}} - V_{\text{carro}}}$$

$$f_{\text{afastament}} = f_0 \frac{V_{\text{som}}}{V_{\text{som}} + V_{\text{carro}}}$$

onde V_{carro} é a velocidade do fórmula 1 (a fonte sonora). Dividindo uma equação pela outra eliminamos a frequência f_0 e encontramos

$$\frac{f_{\text{aproximação}}}{f_{\text{afastament}}} = \frac{V_{\text{som}} + V_{\text{carro}}}{V_{\text{som}} - V_{\text{carro}}}$$

de onde obtemos facilmente que

$$V_{\text{carro}} = \frac{f_{\text{aproximação}} - f_{\text{afastament}}}{f_{\text{aproximação}} + f_{\text{afastament}}} \times V_{\text{som}}$$

À temperatura de 20 °C, a velocidade do som é

$$V_{\text{som}} = 343 \text{ m/s} = 1235 \text{ km/h.}$$

Com as frequências obtidas na seção 3 e esse valor de V_{som} , a velocidade do carro de fórmula 1 no momento da gravação pode ser calculada. O resultado é

$$V_{\text{carro}} = 230 \text{ km/h}$$

um valor bem razoável, próximo às velocidades máximas alcançadas em corridas.

É importante notar uma aproximação feita nesse cálculo: usamos o deslocamento Doppler correspondente a um carro que se move numa linha reta que passa pelo observador. Isso não pode ser rigorosamente verdadeiro, pois nesse caso o carro atropelaria o observador. Portanto, o que realmente medimos foi a projeção da velocidade do carro na direção do observador, $\hat{n} \cdot \vec{V}_{\text{carro}}$ (veja a seção 2). Como o observador está próximo à pista e, nos instantes considerados para o cálculo das frequências, o carro encontra-se longe dele, temos que $\hat{n} \cdot \vec{V}_{\text{carro}} \approx \pm V_{\text{carro}}$. Assim, o resultado obtido pode ser considerado uma boa aproximação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Carlos Eduardo Aguiar e Anderson Ribeiro de Souza pelas discussões, troca de experiências e incentivo.

REFERÊNCIAS

- [Costa 2007] Ivan F. Costa and Alexandra Mocellin, “Noise Doppler-Shift measurement of airplane speed” *Phys. Teach.* **45**, 356-358 (sept. 2007).
- [Saba 2001] Marcelo M. F. Saba and Rafael Antônio da S. Rosa, “A quantitative demonstration of the Doppler Effect” *Phys. Teach.* **39**, 431-433 (sept. 2001).
- [Saba 2003] Marcelo M. F. Saba and Rafael Antônio da S. Rosa, “The Doppler Effect of a Sound Source Moving in a Circle” *Phys. Teach.* **41**, 89-91 (feb. 2003).