DOI: http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n2p385

Por que a percussão de uma mola produz o mesmo som de "pistolas laser" do filme *Star Wars*?[+*]

Jair Lúcio Prados Ribeiro
Colégio Marista de Brasília
Brasília – DF

Resumo

Ao se bater lateralmente em uma mola metálica esticada, é produzido um sibilo, um efeito sonoro que se tornou parte da cultura atual devido à sua popularização como o som de uma "pistola laser" no filme Star Wars. *O sibilo ocorre devido à dispersão do som em um metal, mas a revisão de obras didáticas de ensino médio e superior mostra que a discussão desse fenômeno não está presente. Apresentamos uma atividade experimental possível de ser conduzida no ensino médio, a fim de detectar o sibilo e analisá-lo em um programa de edição de som. A análise gráfica permitiu determinar, de forma aproximada, que há uma relação inversamente proporcional entre a frequência do som que se propaga na mola e o tempo de detecção.*

Palavras-chave: *Som. Velocidade do som. Sibilo. Dispersão.*

Abstract

When a stretched metal spring is hit sideways, a whistler is produced. The whistler is a sound effect that has become part of today's culture due to its popularity as the sound of a "laser gun"

[+] Why the percussion of a spring produces the same sound of "blaster pistols" in the movie *Star Wars*?

[*] *Recebido: julho de 2013.*
Aceito: dezembro de 2013.

in the movie Star Wars. The whistler occurs due to sound dispersion in the metal, but the revision of High School textbooks and University education shows that a discussion of this phenomenon is not present. We present an experimental activity that can be conducted in High School, in order to detect the whistler and analyze it with a sound editing program. The graphical analysis allowed us to approximately determine that the frequency of propagating sound and its time detection are inversely related.

Keywords: *Sound. Speed of sound. Whistler. Dispersion.*

I. Origem do questionamento

Ao introduzirmos os tópicos de ondulatória para o ensino médio, costumamos levar uma longa mola de metal, apelidada *snakey*[1] pelos fabricantes, a fim de demonstrar as diferenças entre ondas transversais, longitudinais e mistas. Em uma classe, um dos extremos da mola foi fixado ao quadro de giz, e procedemos ao estiramento da mesma entre duas fileiras de alunos. Quando a mola já estava esticada e nos preparávamos para iniciar a exposição do conteúdo, um dos estudantes bateu de leve na mola com uma caneta (Fig. 1). Para nossa surpresa (e também dos alunos), a mola produziu um som bastante familiar, virtualmente idêntico àquele emitido pelo disparo de "pistolas laser" no filme *Star Wars*[2]. Imediatamente, fomos questionados do porquê da ocorrência desse excêntrico fenômeno sonoro em um experimento aparentemente tão prosaico.

A princípio, a resposta para a questão acima parece trivial: os sons de "pistolas laser", no primeiro filme da saga *Star Wars*, realmente foram produzidos assim. Segundo o engenheiro de som responsável pela montagem e edição sonora da película, o típico efeito sonoro do aparato tecnológico bélico presente no filme foi criado a partir da gravação do som emitido por uma mola *slinky* esticada, quando essa é percutida por um agente excitador, no caso a caneta (RINZLER; BURTT,

---

[1] É mais popular entre os professores de física o uso da mola *slinky*, mais curta que a *snakey*. Ambas fornecem bons resultados na atividade experimental descrita.

[2] Exemplos dos efeitos sonoros descritos estão disponíveis no sítio oficial da produtora do filme: <http://starwars.com/play/online-activities/soundboards/#/?theme=55>. Acesso em: 18 jul. 2013.

2010). É fácil reproduzir esse efeito: uma montagem simples e um posicionamento adequado do microfone são suficientes (MICOLICH, 2009). Crawford (1987) chama tal som de *whistler*, enquanto na tradução da obra de Walker (2008) encontramos o termo *sibilo*.

Fig. 1 – Montagem para se captar o efeito sonoro, segundo Micolich (2009).

A princípio, a resposta para a questão acima parece trivial: os sons de "pistolas laser", no primeiro filme da saga *Star Wars*, realmente foram produzidos assim. Segundo o engenheiro de som responsável pela montagem e edição sonora da película, o típico efeito sonoro do aparato tecnológico bélico presente no filme foi criado a partir da gravação do som emitido por uma mola *slinky* esticada, quando essa é percutida por um agente excitador, no caso a caneta (RINZLER; BURTT, 2010). É fácil reproduzir esse efeito: uma montagem simples e um posicionamento adequado do microfone são suficientes (MICOLICH, 2009). Crawford (1987)

chama tal som de *whistler*, enquanto na tradução da obra de Walker (2008) encontramos o termo *sibilo*.

Entretanto, a resposta não é tão breve assim, pois ela apenas explica *como* se produz o fenômeno do sibilo, e não o porquê de sua ocorrência, o qual exige uma elucidação pelo ponto de vista da física ondulatória. Respostas para a questão são encontradas a partir do estudo do fenômeno da dispersão de ondas mecânicas.

II. Revisão bibliográfica

O estudo da dispersão da luz é tradicional no ensino médio: a luz branca se separa nas frequências que a compõem ao sofrer refração em um prisma, e os livros-texto (BONJORNO *et al*., 2010; PIETROCOLA *et al*.; RAMALHO *et al*., 2007) já trazem referências a essa situação. É importante frisar, contudo, que uma comparação direta entre a dispersão da luz e das ondas mecânicas pode se revelar equivocada, pois são as ondas luminosas de baixa frequência que possuem a maior velocidade ao se refratarem em um prisma, enquanto em um metal, são as ondas de maior frequência que se propagam mais rapidamente.

A dispersão de ondas mecânicas, ao contrário da dispersão luminosa, não é um conteúdo comumente apresentado no ensino médio (onde o questionamento se originou), não sendo nem mesmo citado nos livros-texto revisados: por exemplo, Ramalho *et al.* (2007) afirma que "a velocidade do pulso na corda depende apenas da intensidade da força de tração e da densidade linear" (p. 405), enquanto Guimarães e Fonte Boa (2005) dizem que "pode-se demonstrar, a partir das leis de Newton, que a velocidade com que um pulso se propaga numa corda é dada por $v = \sqrt{T/\rho}$, onde T é a força de tração (...) e ρ é a massa específica linear da corda (p. 308). Descrições semelhantes às apresentadas também são encontradas nas obras de Pietrocola *et al.* (2011) e Bonjorno *et al.* (2010).

A expressão matemática citada por Guimarães e Fonte Boa (2005) para a velocidade da onda em uma corda é comumente apresentada nas obras didáticas como a "fórmula de Taylor". A origem dessa equação, entretanto, está relacionada com os trabalhos experimentais de Marin Mersenne, publicados em 1637 (JEANS, 1937). Deduções matemáticas rigorosas para essa expressão são encontradas em obras didáticas voltadas ao ensino superior, dentre as quais consultamos os livros de Serwey e Jewett (2003), Crowel (2005), Tipler e Mosca (2008) e Halliday *et al.* (2011).

Entretanto, mesmo nessas obras, percebemos que o fenômeno da dispersão sonora também não é discutido propriamente. Serwey e Jewett (2003), por

exemplo, apresentam uma argumentação teórica, a partir da segunda lei de Newton, e justificam a relação da velocidade da onda em uma corda com a sua tensão e massa por unidade de comprimento, antes de partirem para a demonstração matemática rigorosa, a qual permite aos autores afirmarem que a velocidade demonstrada vale para ondas de qualquer formato (*shape*) ou frequência. Os autores fazem a ressalva de que a dedução supõe que os elementos da corda oscilam em um único plano vertical, e no caso de elementos se moverem em outros planos, a tensão sofreria variações e a análise ficaria mais complexa. Tal análise, entretanto, não é apresentada. Uma argumentação semelhante é encontrada em Tipler e Mosca (2008), os quais também afirmam que a expressão matemática $v = \sqrt{T/\rho}$ mostra que a velocidade de uma onda em uma corda é constante e válida para pulsos com uma ampla variedade de formas.

Já Crowel (2005) garante que a velocidade de uma onda depende das propriedades do meio, fazendo a ressalva de que a "forma" da onda (entendida pelo autor como sinônimo de frequência) também pode interferir nessa velocidade, mas não chega a explicar essa relação. No caso particular de uma onda em uma mola, o autor é incisivo, reforçando que a frequência e a amplitude da onda não interferem na velocidade (op. cit., p. 54). Finalmente, Halliday *et al.* (2011) afirmam que embora a velocidade de uma onda se relacione com o seu comprimento de onda e sua frequência, ela é uma função do meio de propagação (op. cit., p. 420). Os autores são categóricos em frisar que a velocidade ao longo de uma corda ou mola *ideal* depende apenas da tensão e da densidade linear (op. cit., p. 421). O termo *ideal* foi destacado propositalmente: molas ideais não absorvem a energia dos pulsos propagantes, não permitindo a ocorrência da dispersão.

Verifica-se, pela leitura das obras didáticas revisadas, que é ponto comum a afirmação de que a velocidade de pulsos em uma corda ou mola pode ser considerada constante, e não tem relação com a frequência da onda que se propaga. Experimentos simples confirmam essa constância, como o proposto por Odekirk e Slaton (2012), e essa equação é a base para a interpretação dos sons emitidos por instrumentos musicais, até mesmo os mais rústicos, tais como o berimbau (KANDUS *et al.*, 2006).

A produção do sibilo claramente demonstra as limitações da equação de Taylor, pois, na situação apresentada, a variação na frequência do som emitido implica necessariamente na variação da velocidade da onda. Moloney (2009) e Crawford (1987) explicam a razão: se uma mola for desenrolada, ela seria similar a uma longa barra fina, onde as ondas transversais propagantes de frequências diferentes se movem com velocidades diferentes, resultando em um pulso (Fig. 2)

resultante da superposição de várias ondas diferentes. Na ilustração, obtida na análise do pulso pelo programa *CoolEdit Pro 2.1*, os sons agudos (esquerda) são captados antes dos graves (direita).

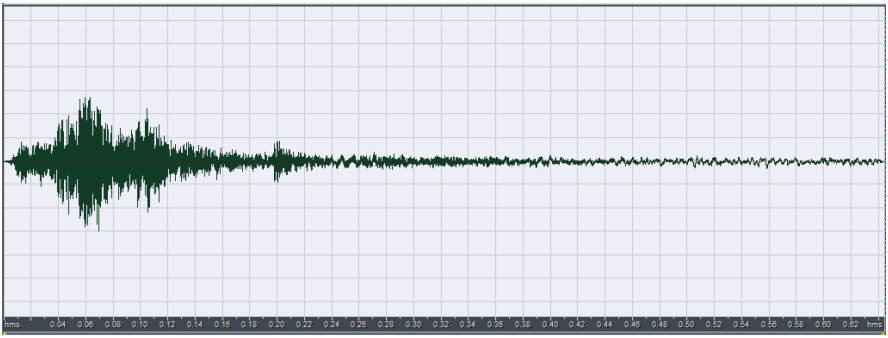

Fig. 2 – Representação de um sibilo típico no CoolEdit Pro 2.1.

De acordo com Crawford (1987), Moloney (2009) e Walker (2008), a dispersão ocorre devido às diferenças de velocidade que sons graves e agudos possuem em um mesmo meio. Particularmente, Walker (2008) nos informa que a emissão do sibilo, após a percussão da mola, será resultado da reflexão desse conjunto de ondas em uma extremidade presa, detalhe que usamos para a elaboração da atividade experimental.

Para entender a razão dessa diferença de velocidade, adotamos a explicação fornecida por Vasil'ev e Gatdukov (1981): para esses autores, o modelo de propagação de uma onda sonora em um metal pode ser considerado como um movimento mecânico de partículas carregadas (elétrons) em um meio condutor. Nessa situação, a causa da dispersão de ondas sonoras em metais é a mesma da absorção: a interação dos elétrons de condução com a rede cristalina do metal produz forças elétricas sobre os mesmos, a são essas forças que dificultam ou atrasam o movimento da onda sonora. As baixas frequências sonoras (graves) são mais absorvidas e também mais atrasadas, pois nessa situação o movimento dos elétrons pode ser interrompido ou alterado por forças elétricas de menor intensidade, facilitando a absorção e a diminuição da velocidade dessas propagações. Assim, as primeiras ondas a refletirem na extremidade fixa (e gerarem o som) serão as mais curtas, produzindo o som agudo, o qual será continuamente desviado para o som grave com a chegada posterior das ondas mais lentas. Essa captação de ondas de frequências decrescentes pelo ouvinte produz o efeito acústico típico do sibilo.

O artigo de He (1999) nos informa ainda que a magnitude da dispersão é muito pequena: apenas alterações da ordem de 1% estão presentes, considerando-se uma faixa de frequências sonoras entre 1 MHz a 10 MHz. Percebe-se, então, porque as obras didáticas não chegam a citar o fenômeno: para os fins usuais, a velocidade do som em metais pode ser suposta constante. No aço, segundo Halliday *et al.* (2011), essa velocidade é de 5941 m/s.

Pelo exposto, acreditamos que se apresenta a necessidade de construção de um modelo didático do fenômeno da dispersão de ondas mecânicas, voltado para o ensino médio, a fim de se responder o questionamento inicial. Afinal, embora o estudo do fenômeno já pareça sedimentado, sua apresentação está ausente na literatura acadêmica voltada para o ensino de física.

Com vistas a tal fim, concebemos um experimento simples, o qual pode ser realizado por estudantes de ensino médio, com o intuito de captar o sibilo emitido por uma mola percussionada lateralmente, submetida a diferentes tensões, e analisar o som emitido com o auxílio de um programa de edição sonora, a fim de se perceber se a frequência de um pulso pode alterar a sua velocidade.

III. Atividade experimental

Embora a Fig. 1 apresente uma possível montagem para a captação do sibilo, sendo inclusive utilizada nas demonstrações de Micolich (2009), um dos árbitros desse trabalho nos apontou um problema nesse aparato: uma mola suspensa na vertical, sob a ação do seu próprio peso, não está sujeita a uma tensão homogênea, dificultando a análise matemática, conforme também apontam Serwey e Jewett (2003).

Assim, concebemos a atividade experimental com a mola disposta na horizontal (Fig. 3), a fim de que a tensão (medida por um dinamômetro preso a uma das extremidades da mola) fosse uniforme. O outro extremo foi preso ao pé de madeira de um armário oco, o qual funcionou como caixa de ressonância, amplificando o som transmitido ao longo. Ao invés de utilizarmos um microfone tradicional, utilizamos o software de gravação de som de um telefone celular (modelo LG PT-970), que foi colocado abaixo do armário, próximo ao extremo onde a mola foi fixada. O comprimento da mola foi medido com uma trena, graduada em centímetros.

Essa disposição da mola na horizontal, entretanto, trouxe o inconveniente do sibilo se tornar fracamente audível ou até mesmo imperceptível, pois boa parte das vibrações eram rapidamente absorvidas, devido ao contato da mola com o chão. Assim, demoramos até encontrar um piso suficientemente liso (no caso,

cerâmica) que permitisse menor absorção dos pulsos e um sibilo de maior intensidade.

Fig. 3 – Montagem da atividade experimental.

A mola *snakey* utilizada por nós possuía uma massa de 0,42 kg e seu comprimento natural (tensão nula) era 2,4 m. A tensão foi determinada por um dinamômetro para cinco comprimentos, conforme mostra a Tabela 1. Usando a lei de Hooke com esses dados, determinamos que o valor mais provável (média aritmética) para a constante elástica da mola é k = 3,2 N/m.

Estabelecido um desses comprimentos para a mola, percussionamos a mesma com um pequeno impacto lateral, usando uma caneta, produzindo o sibilo transversal[3]. Para cada comprimento fixado, foram produzidos dez sibilos, dos quais aproveitamos para análise apenas cinco. Essa atitude foi intencional, pois a captação de um som específico em condições cotidianas é muito difícil, dado que sempre há outras fontes de ruído que se incorporam ao efeito sonoro que se deseja captar. Assim, quando conduzimos a análise do som no programa de edição, desprezamos as cinco gravações que estivessem mais "poluídos" por ruídos externos.

Após a gravação, cada sibilo foi carregado no programa de edição de som *Cool Edit Pro 2.1*. Após a primeira audição, selecionamos os cinco sons com menor ruído externo para cada comprimento, e procedemos à análise de frequências, buscando identificar qual som era mais relevante (ou seja, possuía maior amplitude) em cada trecho do pulso.

Em média, cada sibilo tinha 0,65 segundos de duração, independente da tensão na corda. Dividimos o som captado (Fig. 2) em intervalos de tempo iguais (0,04 s cada) e identificamos, como o auxílio do programa de edição, qual frequência f_A era mais audível em cada um desses intervalos. Para cada valor de comprimento da mola, esse procedimento foi repetido para cinco sibilos, e uma média das frequências encontradas foi determinada.

Os resultados estão presentes na Tabela 2, onde *t* representa o instante final do intervalo de tempo em que a frequência f_A correspondente foi detectada.

Tabela 1 – Tensão em função do comprimento da mola.

Comprimento (m)	Tensão (N)
3,0 m	1,9
3,5 m	3,5
4,0 m	5,4
4,5 m	6,6
5,0 m	8,1

[3] É possível produzir também um sibilo pela percussão longitudinal da mola, mas optamos por não discutir esse efeito nesse trabalho.

Tabela 2 – Frequência mais audível (f_A) em cada instante (t).

L = 3,0 m		L = 3,5 m		L = 4,0 m		L = 4,5 m		L = 5,0 m	
t (s)	f_A (Hz)	t (s)	f_A(Hz)	t (s)	f_A (Hz)	t (s)	f_A (Hz)	t (s)	f_A (Hz)
0,04	8305	0,04	8914	0,04	9087	0,04	9646	0,04	9517
0,08	4995	0,08	5167	0,08	5081	0,08	5081	0,08	5124
0,12	4309	0,12	4024	0,12	4149	0,12	4306	0,12	4121
0,16	2802	0,16	2756	0,16	2799	0,16	2239	0,16	2799
0,20	2067	0,20	1984	0,20	2024	0,20	2196	0,20	2026
0,24	1937	0,24	1894	0,24	1981	0,24	1765	0,24	1937
0,28	1808	0,28	1937	0,28	1894	0,28	1894	0,28	1852
0,32	1765	0,32	1765	0,32	1808	0,32	1722	0,32	1818
0,36	1550	0,36	1636	0,36	1378	0,36	1540	0,36	1543
0,40	1636	0,40	1335	0,40	1550	0,40	1481	0,40	1378
0,44	1248	0,44	1205	0,44	1335	0,44	1330	0,44	1335
0,48	1335	0,48	1162	0,48	1119	0,48	1076	0,48	1159
0,52	1031	0,52	990	0,52	1035	0,52	967	0,52	990
0,56	947	0,56	904	0,56	888	0,56	858	0,56	861
0,6	732	0,6	736	0,6	695	0,60	696	0,60	728
0,64	603	0,64	516	0,64	520	0,64	516	0,64	560

IV. Análise dos dados

Inicialmente, fizemos uma análise qualitativa dos sibilos captados. A princípio, as diferentes tensões associadas aos cinco comprimentos não produziram nenhuma variação audível no sibilo. Pedimos a alguns estudantes que fizessem essa mesma observação e obtivemos o mesmo resultado qualitativo: a independência entre a tensão e as frequências captadas no sibilo. Entendemos que isso se deve ao fato da velocidade do som nos metais não estar associada às forças macroscópicas, mas sim às interações microscópicas entre elétrons e a rede cristalina, como afirmam Vasil'ev e Gatdukov (1981). Com base na Tabela 2, percebe-se, contudo, que maiores tensões intensificam levemente a captação dos sons mais agudos, acima de 8 kHz.

Como não conhecíamos *a priori* a relação de dependência entre a frequência mais relevante medida (f_A) e o tempo para que ela seja captada (t), utiliza-

mos o programa *Microsoft Excel 2010* para a construção de diversos gráficos, a fim de estabelecer tal relação, ainda que de forma aproximada. Os gráficos que melhor se adequaram a tal fim, a nosso ver, foram aqueles constantes na Fig. 4 (f_A *versus* t) e na Fig. 5 ($logf_A$ versus $logt$). Foram construídos dez gráficos, mas apenas dois estão mostrados aqui, a título de exemplo. Tais gráficos representam os dados obtidos para o comprimento de 5,0 metros como pontos azuis e uma linha de tendência, polinomial na Fig. 4 e retilínea na Fig. 5. Os erros experimentais não estão mostrados nesses gráficos.

A fig. 4 mostra que a esperada relação inversa entre a frequência e o tempo se verifica, ou seja, os sons agudos são mais rápidos que os graves, e por isso são captados nos primeiros instantes da medição. A Fig. 5 mostra essa mesma relação, mas usando os logaritmos das grandezas, buscando a linearização da função que as relaciona. Essa função polinomial foi determinada pelo próprio programa computacional. A Tabela 3 apresenta essas funções, determinadas para cada comprimento.

Tabela 3 – Relação matemática entre f_A e t, para cada comprimento da mola.

Comprimento (L)	Função
3,0 m	$f_A = 582.t^{-0,86}$
3,5 m	$f_A = 529.t^{-0,91}$
4,0 m	$f_A = 530.t^{-0,91}$
4,5 m	$f_A = 511.t^{-0,93}$
5,0 m	$f_A = 529.t^{-0,92}$

Considerando que a tensão e o comprimento da mola não alteram a velocidade do som, como discutido anteriormente, podemos usar os coeficientes das funções acima para determinarmos a melhor relação matemática entre a frequência relevante e o tempo de captação (t), a seguir:

$$f_A = 537.t^{-0,92}$$

A proximidade do expoente da função com o valor *-1* parece indicar, a princípio, uma relação inversa entre as duas grandezas, conforme previsto nas modelagens matemáticas mais completas propostas por Moloney (2009) e Crawford (1987). A origem do coeficiente de valor *537*, entretanto, é mais complexa. A leitura dos artigos citados permite inferir que tal coeficiente envolve a distância total percorrida pelos pulsos, o módulo de Young do aço, o diâmetro da seção transversal do fio que compõe a mola e a massa específica do aço.

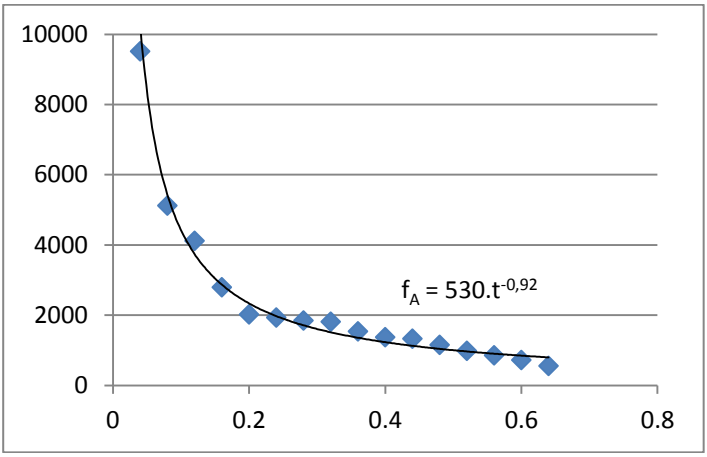

Fig. 4 – Frequência relevante (f_A, eixo das ordenadas) em função do instante de captação (t, eixo das abscissas). Comprimento da mola: 5,0 metros.

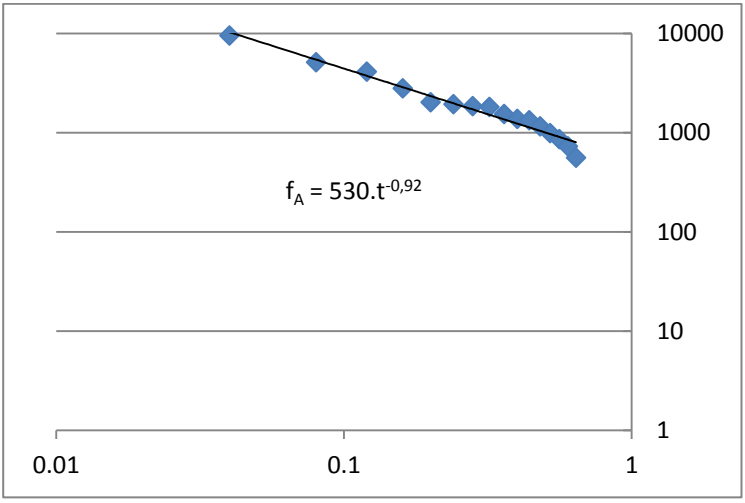

Fig. 5 – Logaritmo da frequência relevante (logf_A, eixo das ordenada) em função do logaritmo do instante de captação (logt, eixo das abscissas). Comprimento da mola: 5,0 metros.

V. Conclusões e perspectivas

As explicações existentes para o fenômeno do sibilo na literatura são geralmente complexas, e envolvem conceitos novos para o estudante de ensino médio, tais como a frequência angular ou o conceito de velocidade de grupo. A modelagem proposta nesse trabalho possui, a nosso ver, a vantagem de evitar a apresentação de novos conceitos para o estudante, limitando-se à discussão em termos de grandezas já tradicionais no estudo da ondulatória (nominalmente, velocidade, frequência e comprimento de onda).

A abordagem experimental proposta possui diversas limitações: percebemos que o programa de edição utilizado nem sempre apresenta a frequência relevante de forma correta, aproximando os resultados para valores "padrão". Ademais, a leitura dessa frequência foi feita manualmente, analisando-se os gráficos gerados pelo próprio programa, o que traz ainda maiores imprecisões. Creditamos principalmente a essas fontes de erro a significativa diferença entre a relação inversa esperada (expoente *-1*) e a encontrada experimentalmente (expoente *-0,92*).

Trabalhamos nesse artigo apenas com a percussão transversal da mola, a qual Moloney (2009) demonstrou experimentalmente possuir diferente velocidade de uma percussão longitudinal. A captação do sibilo emitido por esse segundo tipo de percussão se revelou praticamente inaudível nas condições do experimento, razão pela qual não trabalhamos com a mesma.

Crawford (1987) determinou ainda que o fato da mola ser uma corda enrolada em torno de um eixo não possui nenhuma implicação na produção do sibilo. Assim, além da explicação do fenômeno do sibilo, os estudantes também podem ser questionados sobre a razão das cordas de instrumentos musicais não apresentarem tal efeito acústico, mostrando a aplicação e as limitações da fórmula de Taylor. Não apresentamos essa comparação aqui, visando pesquisas futuras.

Não tentamos determinar a velocidade do som a partir do nosso experimento, pois a alta velocidade do som no aço (5491 m/s) exigiria medições de tempo muito mais precisas. Entretanto, é interessante perceber que o som levaria menos de um milésimo de segundo para percorrer os comprimentos que estabelecemos para a mola, enquanto o sibilo dura cerca de sessenta décimos. Tal fato parece indicar que a captação do som ocorre ao longo de múltiplas reflexões na extremidade fixa.

Finalmente, acreditamos que uma das contribuições que esse trabalho pode trazer é permitir uma discussão da produção de efeitos sonoros no cinema ou em outras linguagens artísticas, em uma busca pela interdisciplinaridade. Vivemos

em meio à era da digitalização, e especialmente para os estudantes, pode ser difícil crer que sons à primeira vista “sintéticos” possam ser obtidos de forma natural.

Referências

BONJORNO, J.; BONJORNO, R.; BONJORNO, V.; RAMOS, C.; ALVES, L. **Física: termologia, óptica e ondulatória.** 1. ed. São Paulo: FTD, 2010. p. 327. v. 2.

CRAWFORD, F. Slinky whistlers. **American Journal of Physics**, v. 55, n. 2, p. 130-134, 1987.

CROWEL, B. **Vibrations and waves**. 2. ed. Fullerton: Light and Matter, 2005. p. 49-59.

GUIMARÃES, L.; FONTE BOA, M. **Física: termologia, óptica e ondas.** 1. ed. Niterói: Galera Hipermídia, 2005.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentals of physics.** 9. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011. p. 420-422.

HE, P. Measurement of acoustic dispersion using both transmitted and reflected pulses. **Journal of Acoustic Society of America**, v. 107, n. 2, p. 802-810, 2000.

JEANS, J. **Science and music.** 1. ed. Nova Iorque: The Macmillan Company, 1937. p. 64-65. Disponível em: <archive.org/stream/sciencemusic00jean#page/n7/mode/2up>. Acesso em: 16 dez. 2013.

KANDUS, A.; GUTMANN, F.; CASTILHO, C. A física das oscilações mecânicas em instrumentos musicais: exemplo do berimbau. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 427-433, 2006.

MICOLICH, A. **Slinkies and Star Wars sound effects**. Youtube, 2009. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=aqtqiuSMJqM>. Acesso em: 16 jul. 2013.

MOLONEY, M. Dispersive waves on a slinky or music wire. Edição do autor, **Rose-Hulman Institute of Technology**, 2009. Disponível em < http://www.rose-hulman.edu/~moloney/AJP_Slinky_pape_Mar_08_06.doc >. Acesso 18/07/2013.

ODEKIRK, T.; SLATON, D. Pulse speed on a plucked wire. **The Physics Teacher**, v. 50, n. 4, p. 244, 2012.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; OLIVEIRA, R.; ROMERO, T. **Física em contextos pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som.** 1. ed. São Paulo: FTD, 2011. v**.** 2.

RAMALHO, F.; FERRARO, N.; TOLEDO, P. **Os fundamentos da Física. Termologia, óptica e ondas,** 9. ed. São Paulo: Moderna, 2007. v. 2.

RINZLER, J.; BURTT, B. **The sounds of Star Wars**. 1. ed. San Francisco: Chronicle Books, 2010. p. 54-55.

SERWEY, R.; JEWETT, J. **Physics for scientists and engineers.** 6. ed. Belmont: Brooks Cole, 2003. p. 496-504.

TIPLER, P.; MOSCA, G. **Physics for scientists and engineers – with Modern Physics.** 1. ed. Nova Iorque: W. H. Freeman and Company, 2008. p. 497-502.

VASIL'EV, A.; GATDUKOV, Y. Dispersion of the velocities of transverse and longitudinal sound in tin subjected to a magnetic field. **Journal of Experimental and Theoretical Physics**, v. 54, n. 6, p. 1186-1192, 1981.

WALKER, J. **O circo voador da Física**. Tradução: Cláudio Coutinho de Biasi. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. p. 182.