

## Colar harmônico

### Felipe Castilho de Souza

Instituto de Física de São Carlos,  
Universidade de São Paulo, São Carlos,  
SP, Brasil

E-mail: felipe.castilho1@gmail.com

### Sérgio Mascarenhas

Instituto de Estudos Avançados,  
Universidade de São Paulo, São Carlos,  
SP, Brasil

E-mail: sm@usp.br

Se soltarmos ao mesmo tempo e da mesma altura duas esferas de massas diferentes, qual delas chegará primeiro ao chão? Os gregos acreditavam que o objeto de maior peso chegaria primeiro ao solo, ou seja, o tempo gasto na queda seria menor. Estariam certos os gregos?

Existe uma lenda de que o físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) realizou uma célebre experiência, no início do século XVII, que desmentiu a crença dos gregos. Conta-se que ele pediu a um voluntário que subisse até o topo da Torre de Pisa e de lá abandonasse, ao mesmo tempo, dois corpos de massas diferentes. Para surpresa de todos os presentes, os dois corpos chegaram ao mesmo instante no solo. Essa história nunca foi confirmada, mas Galileu teria demonstrado de forma convincente, pela primeira vez, que objetos de pesos diferentes caem com uma mesma velocidade, quando abandonados de uma mesma altura.

Segundo Almeida [1], para a ciência foi a passagem da autoridade teológica e da tradição aristotélica para o início de uma nova ciência, que utilizaria o método experimental baseado na linguagem matemática.

*Parece-me que, nas discussões de problemas concernentes à natureza, não se deveria começar com a autoridade de passagens das Escrituras, mas com as experiências sensíveis e com as demonstrações necessárias [2, p. 316].*

De acordo com Mascarenhas [3],

*Precisamos começar com hipóteses (modelos), obter delas previsões experimentais e, finalmente, realizar os experimentos e compará-los com os valores esperados. Valores esses que*

*indicarão quão próximas as hipóteses estão da realidade natural. Isto é, sem a validação da própria natureza não poderemos construir conhecimentos úteis, que nos ajudem a construir bases para ampliar nosso entendimento do mundo natural.*

Será que atualmente os adolescentes em idade escolar pensam como os gregos da antiguidade? Segundo Fiolhais [4], estudantes de diferentes idades e níveis de conhecimento iniciam seus estudos na área de ciências, principalmente em física, com idéias muito similares, porém inconsistentes com os conceitos que pretendem transmitir. Possuem, na maioria das vezes, concepções iniciais com uma base indutiva muito forte e resistente a novas instruções. Estudo recente [5] tem apontado para o fato de que atividades experimentais são fundamentais no processo de ensino-aprendizagem, além de serem uma maneira profícua de minimizar as dificuldades de se transmitir conceitos de física.

Baseado no fato dos estudantes possuírem pré-concepções difíceis de serem trabalhadas na área de física, e inspirado no depoimento da vivência didática de um professor universitário, apresentamos nesse trabalho um experimento de baixo custo para estudos do fenômeno de queda livre e conservação de energia no ensino médio.

### Depoimento de Sérgio Mascarenhas

*“Quando eu tinha 20 anos e fui dar aulas no Colégio Hebreu Brasileiro, eu precisava de dinheiro, pois queria me casar; fui dar aulas no antigo científico, acho que hoje é ensino médio, não sei... pessoal super-bacana aquele... judeu é “fogo”, eles se preocupam muito com a educação de seus filhos... eu adorava dar aulas para eles,*

Nesse trabalho relatamos uma experiência de física proposta por um dos autores, Sérgio Mascarenhas, então professor de ginásio e hoje professor emérito da USP e realizada por seus alunos do Colégio Hebreu Brasileiro, na cidade do Rio de Janeiro no ano de 1950. A experiência abordava o conceito de movimento uniformemente acelerado. Tendo em vista a incorporação da memória relativa às vivências educacionais, esse experimento de grande praticidade foi novamente realizado. Nossa proposta alia os conceitos de conservação de energia mecânica, movimento uniformemente variado e força gravitacional à construção de um experimento de baixo custo e conceitualmente significativo.

sempre fazia experiências “domésticas” com materiais do dia-dia.

*Eu estava dando mecânica, você sabe, física “feijão com arroz” queda livre, meio de “gt2”... então fiz um desafio para eles fazerem algo diferente, colocarem 4 ou 5 pedras em uma corda esticada no alto, e deixar cair sobre um tambor, e fazer assim (o professor bate com as mãos reproduzindo o som esperado).*

*Depois disso foi a maior confusão, pais foram reclamar na escola: “aquele professorzinho louco!” pois alunos estavam trepando no teclado, lógico o que interessava a eles eram grandes alturas... isso aconteceu quando eu tinha 24 anos, hoje estou com 79... faz tempo “pra burro”.*

*Ano passado quando fui à Brasília receber um prêmio do Lula, os caras me viram na televisão “aquele professorzinho que gostava de chocolate” e me telefonaram... mas agora os caras estão ricos, médicos, cirurgiões, agentes imobiliários... eles me disseram: “nós vimos o senhor na televisão, e queremos recebê-lo aqui no Rio, a turma ainda existe e nós não esquecemos aquelas aulas...” Oh, fico até arrepiado de lembrar, é muito gratificante... então eu respondi que só iria se fosse para dar uma ‘aula arqueológica’...*

*Receberam-me em um clube muito luxuoso no Rio, pagaram tudo, inclusive o avião, foi a maior festa depois daquela aula. Aí então resolvi relembra essa experiência através de uma nova demonstração, quase 60 anos depois.”*

## Experimento com materiais de baixo custo

O experimento consiste na construção de um colar com linha de pesca e pedaços de chumbada<sup>1</sup> e deixá-lo cair em queda livre sobre uma superfície a fim de produzir sons em uma cadência pré-estipulada.

O colar é montado com linha de pesca n. 0,25 (por possuir massa praticamente desprezível) e massas de chumbo fixadas com distâncias entre si previamente calculadas. Depois de montado o colar é suspenso a uma determinada altura e solto sobre uma lata vazia, conforme a Fig. 1. O som emitido quando as massas tocam a superfície é capturado com um gravador digital e analisado com um programa de edição de áudio (utilizamos o programa DirectCut,<sup>2</sup> esse tipo de programa exibe um gráfico de intensidade vs. tempo). Mediante a projeção gráfica dos sons é possível analisar a conservação de energia durante o fenômeno da queda livre e comprovar a frequência e/ou cadência dos sons produzidos, conforme a Fig. 2.

## Construção e cálculos

Iniciamos questionando os alunos uma maneira de construir um colar com pedaços de chumbo e linha de pesca, colar este que deve emitir sons em cadência e com ruídos na mesma intensidade. Primeiramente estipulamos uma frequência de 5 Hz para as massas de chumbo (as quais passaremos a chamar simplesmente de “massas”) atingirem a lata, depois determinamos como quatro o número de massas a serem fixadas à linha de pesca, onde a primeira massa deverá estar posicionada a 10 cm do solo e possuir 35 g.

Tomando a fórmula

$$T = 1/f,$$

onde  $T$  representa o período de tempo entre uma massa e outra tocando a lata, e  $f$  representa a quantidade de sons produzidos pelas massas dentro de um intervalo de tempo qualquer (no SI seria dentro de um segundo), calculamos que  $T$  deve ser igual a 0,2 s.

Partindo da expressão

$$h = 1/2gt^2, \quad (1)$$

onde a quantidade  $h$  representa o espaço percorrido em queda livre durante um tempo  $t$ , e  $g$  é a aceleração com que os corpos caem em queda livre, calculamos as alturas para as massas atingirem a lata com 0,2 s de intervalo entre cada massa, resultando na Tabela 1.

Como se sabe, quando um corpo de massa  $m$  estiver a uma altura  $h$  do solo, ele terá uma energia potencial

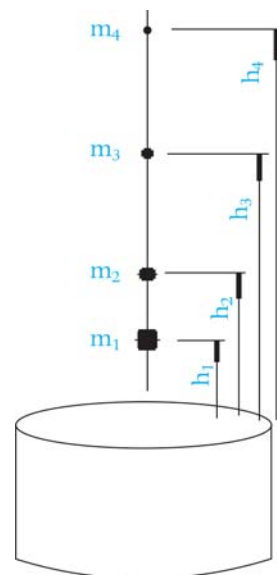


Figura 1 - Colar com as chumbadas.

$$E_{pg} = mgh. \quad (2)$$

Quando o corpo começa a percorrer a distância  $h$  em queda livre, ele adquire uma energia cinética, também conhecida como energia de movimento, dada por

$$E_c = 1/2mv^2. \quad (3)$$

A energia potencial gravitacional (Eq. (2)) será totalmente convertida em energia cinética (Eq. (3)) no exato momento em que o corpo tiver percorrido a distância  $h$ . Deste modo teremos

$$mgh = 1/2mv^2$$

De posse das alturas (Tabela 1) e com

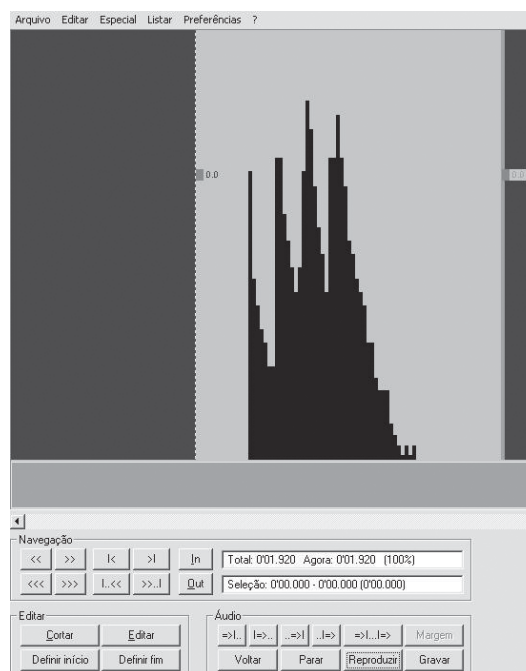


Figura 2 - Gráfico gerado pelo programa DirectCut.

Tabela 1 - Alturas calculadas mediante a Eq. (1).

	massa 1	massa 2	massa 3	massa 4
Tempo [s]	$t_1 = 0,142$	$t_2 = 0,342$	$t_3 = 0,542$	$t_4 = 0,742$
Alturas [m]	$h_1 = 0,10$	$h_2 = 0,58$	$h_3 = 1,44$	$h_4 = 2,71$

Tabela 2 - Massas calculadas para uma mesma energia potencial.

	massa 1	massa 2	massa 3	massa 4
Massa [kg]	$m_1 = 0,035$	$m_2 = 0,006$	$m_3 = 0,0024$	$m_4 = 0,0013$
Alturas [m]	$h_1 = 0,10$	$h_2 = 0,58$	$h_3 = 1,44$	$h_4 = 2,71$

a massa do primeiro corpo de 35 g e altura inicial de 10 cm conforme previamente estipulado, foi possível calcular valores para que as massas possuam energias potenciais gravitacionais iguais entre si e conseqüentemente produzam sons na mesma intensidade

$$E_{pg1} = E_{pg2} = E_{pg3} = E_{pg4}$$

$$m_1gh_1 = m_2gh_2 = m_3gh_3 = m_4gh_4$$

Novamente partindo da Eq. (1) para queda livre, mas agora isolando o termo  $g$  da equação, obtemos

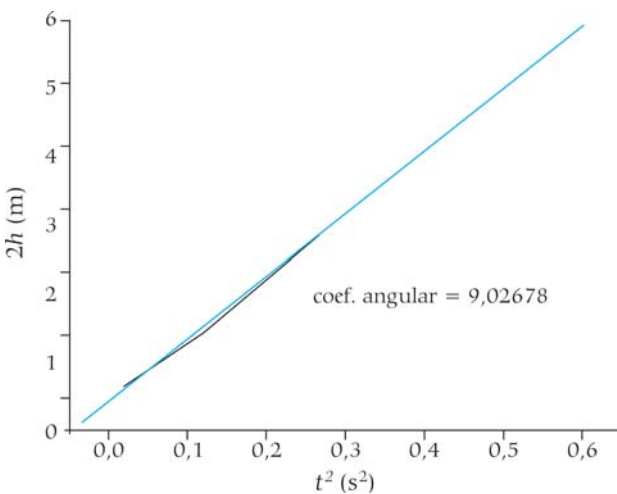


Figura 3 - Representação gráfica da Eq. (4).

$$g = 2h/t^2. \quad (4)$$

Utilizando os dados das Tabelas 1 e 2, construímos um gráfico cujo coeficiente angular representa o valor aproximado da aceleração gravitacional.

### Conclusão

No gráfico gerado a partir do programa de edição de áudio foi possível constatar a igualdade dos intervalos de tempo entre os objetos (comprovando os resultados calculados a partir da fórmula de queda livre) e as intensidades semelhantes de cada som emitido por cada massa (comprovando os resultados obtidos pela fórmula da energia potencial).

O aumento nas intensidades dos sons que foi observado no gráfico é resultado da reverberação que aumenta o tempo em que o som é percebido. Esse fenômeno ocorre no interior da lata e para diminuir esse efeito é aconselhável fazer aberturas em suas laterais a fim de que o som não fique "preso" em seu interior.

O experimento proporcionou uma razoável precisão na demonstração da força gravitacional (em

relação a experiências como o pêndulo, por exemplo), além de evidenciar sua simplicidade conceitual. Por possuir um baixo custo de construção e aplicação, pode facilmente ser montado e demonstrado em sala de aula, podendo ser uma possibilidade de transição de modelos tradicionais de ensino para a construção de uma forma alternativa de ensinar física no ensino médio.

### Notas

<sup>1</sup>O termo na verdade refere-se a qualquer objeto pesado atado à extremidade da linha de pesca para viabilizar seu arremesso a distância e manter os anzóis e iscas abaixo da superfície da água. Pelo seu baixo preço e densidade relativamente alta, estes objetos são tradicionalmente confeccionados em chumbo, daí sua denominação.

<sup>2</sup>Software gratuito para edição de áudio disponível no site oficial <http://www.mpesch3.de/>.

### Referências

- [1] A. Almeida, *Filosofia da Ciência*, Set. (2004). Disponível em <http://criticanarede.com/filosoficiencia.html>. Acesso em Jul/2007.
- [2] Galileo Galilei, *Carta a Cristina de Lorena Y otros Textos sobre Ciência Y Religión* (Alianza Editorial, Madri, 1984).
- [3] S. Mascarenhas, *Jornal A Cidade*, Ribeirão Preto, Jan/2007. Disponível em <http://www.jornalacidade.com.br/canais/ciencia/index.php>. Acesso em Jan/2007.
- [4] C. Fiolhais, in 1º Colóquio de Física do Instituto Politécnico de Tomar. Disponível em [http://nautilus.fis.uc.pt/softc/Read\\_c/RV/virtual\\_water/articles/art3/art3.html](http://nautilus.fis.uc.pt/softc/Read_c/RV/virtual_water/articles/art3/art3.html). Acesso em Jul/2007.
- [5] M.S.T. Araújo e M.L.V.S. Abib, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 176, (2003).
- [6] R.P. Crease, *Os 10 Mais Belos Experimentos Científicos* (Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 2006).