

---

## DETERMINAÇÃO DE $g$ ATRAVÉS DA CAPTAÇÃO DO SOM DE IMPACTO DE CORPOS COM O SOLO<sup>+</sup>\*

---

*Jucimar Peruzzo*

Escola de Educação Básica Isabel da Silva Telles  
Irani – SC

### **Resumo**

*Este experimento tem como objetivo mostrar, através da visualização gráfica dos intervalos de tempo entre impactos sucessivos de corpos no solo, que um corpo em queda livre percorre distâncias proporcionais ao quadrado do tempo de queda. Através de uma análise quantitativa dos dados experimentais, é possível determinar o valor da aceleração da gravidade.*

**Palavras-chave:** *Ensino de física; software de som; movimento de queda livre; aceleração da gravidade.*

### **Abstract**

*This experiment has as objective shows, through the graphic visualization of the intervals of time among successive impacts of bodies in the soil, that a body in free fall travels proportional distances to the square of the time of fall. Through a quantitative analysis of the experimental data, it is possible to determine the value of the gravity acceleration.*

**Keywords:** *Physics teaching; sound software; free fall motion; gravity acceleration.*

---

<sup>+</sup> Determination of  $g$  through the reception of the sound impact of bodies with the soil

*Recebido: abril de 2009.*

*Aceito: novembro de 2009.*

## I. Introdução

Estudantes de física básica sabem que os corpos em queda livre percorrem distâncias proporcionais ao quadrado do tempo de queda  $h \propto t^2$ . No entanto, na maioria das vezes, dificilmente eles têm um entendimento puramente físico dessa situação. O experimento proposto neste trabalho vem, justamente, contribuir para o esclarecimento dessa questão.

Aproveitando-se do aparato experimental utilizado, desenvolveu-se também um método (entre os muitos já existentes) para calcular o valor da aceleração da gravidade  $g$ .

## II. Corpos em queda livre

Todos os corpos, quando largados no espaço, são atraídos para a superfície da terra, devido à ação da força gravitacional. Qualquer corpo que se move livremente sob a ação exclusiva da gravidade, independentemente do seu movimento inicial, realiza um movimento conhecido como queda livre. No movimento de queda livre não pode existir resistência do ar, ou o seu valor deve ser tão baixo que possa ser desprezado. Quando um corpo se encontra em queda livre na proximidade da superfície terrestre, a força gravitacional que nele atua é praticamente constante. Como consequência, o corpo tem uma aceleração constante  $g$  para o centro da Terra (SERWAY, 1996).

A natureza do movimento de um objeto em queda livre tem sido de interesse de cientistas e filósofos por muito tempo. Aristóteles dizia que objetos mais pesados caíam mais rapidamente do que os corpos leves. Galileu Galilei afirmou que, na ausência de resistência do ar, todos os objetos caem com mesma aceleração (RESNICK; HALLIDAY; KRANE, 2003).

Na época de Galileu não havia meios de se obter um vácuo e equipamentos de medição precisa de intervalos de tempo eram inexistentes. A famosa experiência em que Galileu soltava diferentes objetos da torre de Pisa e observava os seus respectivos tempos de queda, provavelmente é apenas lenda. O que Galileu realmente fez foi rolar uma bola em um plano inclinado. Isso porque, neste caso, reduz-se a aceleração em comparação com a aceleração de queda livre, o que torna mais fácil a medição dos intervalos de tempo. Reduzem-se também os efeitos da resistência do ar (RESNICK; HALLIDAY; KRANE, 2003).

Galileu observou em seu experimento que, em intervalos de tempo iguais, a bola percorria distâncias proporcionais a inteiros ímpares, 1, 3, 5, 7, ... Concluiu, então, que as distâncias aumentavam com o quadrado do tempo. Sabemos hoje

que isso ocorre somente quando a aceleração envolvida é constante. Galileu mostrou também que a aceleração de queda livre é independente da massa do objeto.

O movimento de queda livre de corpos próximos da superfície da terra pode ser descrito pela equação horária para um movimento uniformemente acelerado:

$$h(t) = h_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2, \quad (1)$$

na qual  $h_0$  e  $v_0$  são a posição e a velocidade iniciais do movimento em  $t = 0$ . Escrevemos  $h(t)$  tomando um referencial vertical com sentido positivo para baixo. Com essa convenção, a aceleração  $g$  tem sentido positivo. A velocidade correspondente do corpo, em função do tempo é:

$$v = v_0 + g t. \quad (2)$$

Se o corpo parte do repouso,  $v_0 = 0$  e se tomamos como origem de  $h$  a posição inicial do mesmo,  $h_0 = 0$ . Temos, então, que a distância percorrida ( $h$ ) e a velocidade ( $v$ ) de um corpo em queda livre, abandonado do repouso são:

$$h(t) = \frac{1}{2} g t^2 \quad (3)$$

e

$$v = g t. \quad (4)$$

Como podemos observar, o deslocamento do corpo é proporcional ao quadrado do tempo de movimento, e sua velocidade aumenta de maneira linear com o mesmo, devido à aceleração da gravidade  $g$ .

### III. Procedimento experimental

Para a realização deste experimento, utilizam-se os seguintes objetos e equipamentos: 12 esferas metálicas do mesmo tamanho, 5 pedaços de fio de 50 cm cada, 1 pedaço de fio de cada comprimento específico (10cm, 30cm, 50cm, 70cm e 90cm), 1 microcomputador com microfone e o software Audacity (ou outro similar).

Amarram-se, em um fio, 6 esferas, espaçadas a distâncias iguais (50cm). Num outro fio amarram-se também 6 esferas, só que posicionadas geometricamente a distâncias proporcionais a quadrados inteiros: 1, 4, 9, 16, 25 e 36 (utilizam-se os fios de medidas descritas anteriormente). Um esquema da disposição das esferas ligadas por fios está representado na Fig.1.

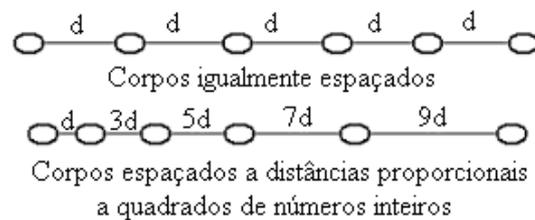


Fig. 1 - Esquema da disposição das esferas ligadas por fios.

Utiliza-se o software Audacity para a captação e a análise gráfica do som. Coloca-se o microfone rente ao chão e aciona-se o botão gravar no Audacity. Segura-se a corda com as esferas igualmente espaçadas na vertical, com a primeira esfera próxima ao chão e ao microfone. Nessa condição, a corda é largada. O microfone capta o som das colisões das esferas com o chão e os dados são enviados para o computador e analisados pelo software Audacity. Faz-se o mesmo procedimento com a corda que tem esferas espaçadas a distâncias proporcionais a quadrados inteiros.

#### IV. Visualização gráfica

Observando-se o gráfico no Audacity (Fig. 2) verifica-se que, quando a primeira corda é derrubada, as esferas igualmente espaçadas batem no chão em intervalos de tempo progressivamente mais curtos.

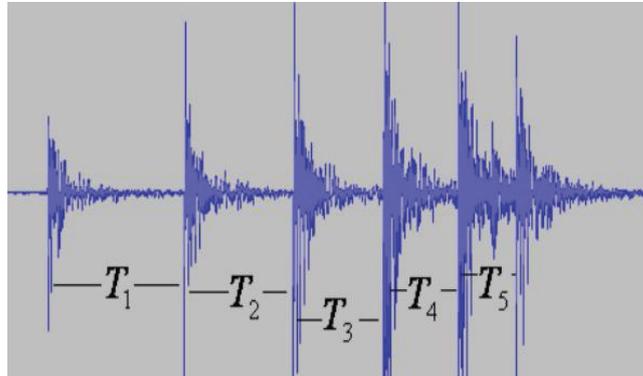
Os intervalos de tempo entre as colisões das esferas com o solo são cada vez menores:

$$T_1 > T_2 > T_3 > T_4 > T_5.$$

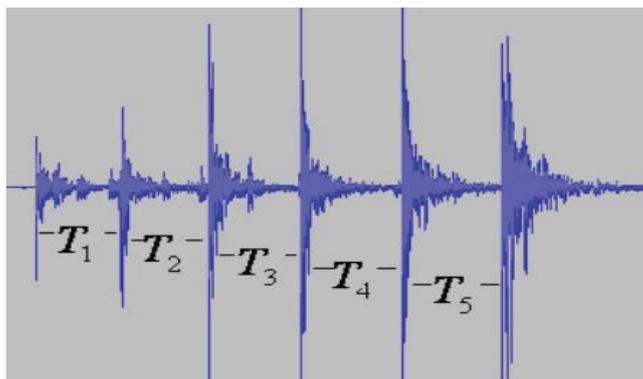
Isso ocorre porque cada esfera posterior àquela que colidiu com o chão continua aumentando sua velocidade, o que faz com que ela demore um menor intervalo de tempo para percorrer a mesma distância.

Quando o fio com as esferas posicionadas a distâncias proporcionais aos quadrados inteiros é derrubada, as mesmas colidem com o chão em intervalos de tempo iguais, como pode ser visto na Fig. 3. Nesse caso, os intervalos de tempo entre as colisões das esferas com o solo são praticamente iguais:

$$T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5.$$



*Fig. 2 - Som de impacto com o solo das esferas igualmente espaçadas no fio.*



*Fig. 3 - Som de impacto com o solo das esferas posicionadas a distâncias proporcionais a quadrados inteiros.*

## **V. Determinação de $g$**

Fazendo um estudo quantitativo dos dados obtidos neste experimento, podemos determinar o valor de  $g$ . Na Fig. 4, temos as esferas dispostas nos dois fios.

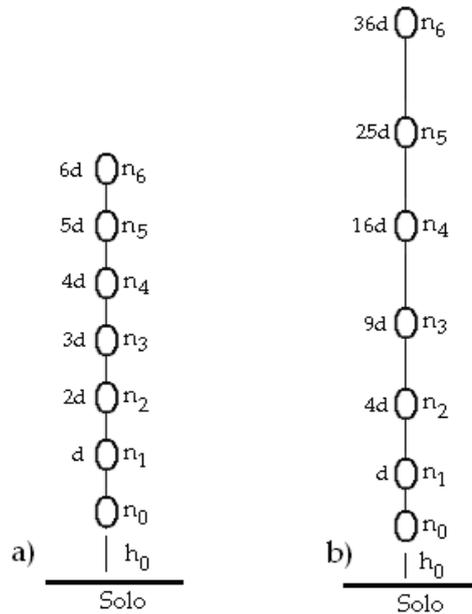


Fig. 4 - Disposição das esferas nos fios. a) esferas igualmente espaçadas; b) esferas dispostas em posições proporcionais aos quadrados de números inteiros.

A Fig. 4a) mostra as esferas igualmente espaçadas na corda. O tempo que a esfera  $n_0$  demora para tocar o solo é:

$$t_0 = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}, \quad (5)$$

já a esfera  $n_1$  demora:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2(h_0 + d)}{g}}. \quad (6)$$

A partir de (5) e (6), temos que o tempo que a esfera  $n_n$  demora para atingir o solo é:

$$t_n = \sqrt{\frac{2(h_0 + nd)}{g}}. \quad (7)$$

Como fica difícil determinar o tempo  $t_0$ , pois se deve largar o fio no mesmo instante em que se aciona o cronômetro, um método alternativo é trabalhar

com o intervalo de tempo entre as colisões das esferas com o solo. O intervalo de tempo  $\Delta t = t_n - t_{n-1}$  entre o impacto de duas esferas consecutivas, é:

$$\Delta t_n = \sqrt{\frac{2}{g}} \left[ \sqrt{h_0 + nd} - \sqrt{h_0 + (n-1)d} \right]. \quad (8)$$

Podemos simplificar (8) considerando que na experiência,  $h_0 = d$ . Vem, então que:

$$\Delta t_n = \sqrt{\frac{2d}{g}} \left[ \sqrt{n+1} - \sqrt{n} \right] \quad (9)$$

Obtendo dados experimentais de  $\Delta t_n$  através do software Audacity, plotamos um gráfico de  $\Delta t_n \times \left[ \sqrt{n+1} - \sqrt{n} \right]$ . Fazendo uma regressão linear, determinamos a equação da melhor reta que se ajusta entre todos os pontos do gráfico. O coeficiente angular vai ser  $a = \sqrt{2d/g}$ , donde vem que:

$$g = \frac{2d}{a^2}. \quad (10)$$

Com os dados obtidos experimentalmente, e sendo  $d = 50 \text{ cm}$ , construímos o gráfico, que se encontra na Fig. 5. Sendo a equação da reta igual à:

$$y = 0,3195 x - 9E-06,$$

encontramos, a partir da relação (10), que:

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2.$$

A Fig. 4-b mostra as esferas posicionadas a distâncias proporcionais a quadrados inteiros. O tempo que  $n_0$  demora para tocar o solo é:

$$t_0 = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}, \quad (11)$$

$n_1$  demora:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2(h_0 + d)}{g}}, \quad (11)$$

$n_2$  toca o solo após:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2(h_0 + 4d)}{g}}. \quad (12)$$

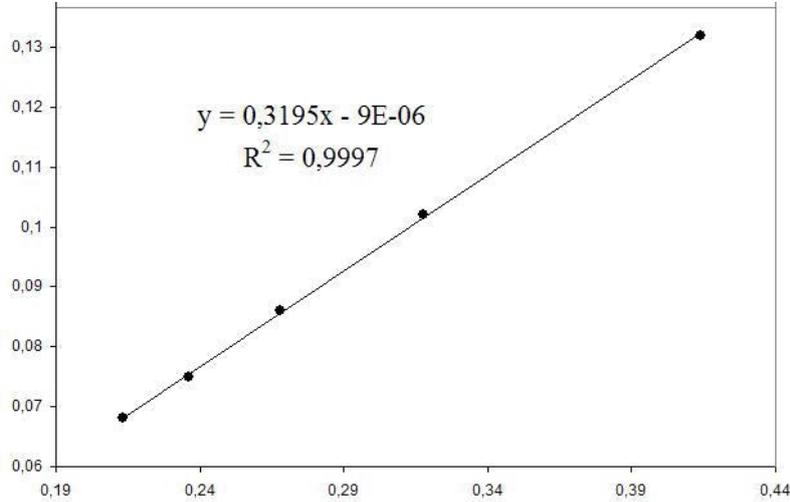


Fig. 5 - Gráfico de  $\Delta t_n \times [\sqrt{n+1} - \sqrt{n}]$  para esferas igualmente espaçadas no fio.

Temos, portanto, que o tempo que a esfera  $n_n$  demora para atingir o solo é:

$$t_n = \sqrt{\frac{2(h_0 + n^2 d)}{g}}. \quad (13)$$

O intervalo de tempo  $\Delta t$  é:

$$\Delta t_n = \sqrt{\frac{2}{g}} \left[ \sqrt{h_0 + n^2 d} - \sqrt{h_0 + (n-1)^2 d} \right]. \quad (14)$$

Considerando que  $h_0 = d$ , podemos simplificar a expressão (15), que fica:

$$\Delta t_n = \sqrt{\frac{2d}{g}} \left[ \sqrt{1+n^2} - \sqrt{1+(n-1)^2} \right]. \quad (15)$$

A partir da construção de um gráfico de  $\Delta t_n \times [\sqrt{1+n^2} - \sqrt{1+(n-1)^2}]$ , podemos encontrar o valor de  $g$ . Sendo  $d = 10 \text{ cm}$ , obtemos o gráfico da Fig. 6. A partir da equação da reta encontrada:

$$y = 0,1429 x - 5E-06,$$

vem que:

$$g = 9,79 \text{ m/s}^2.$$

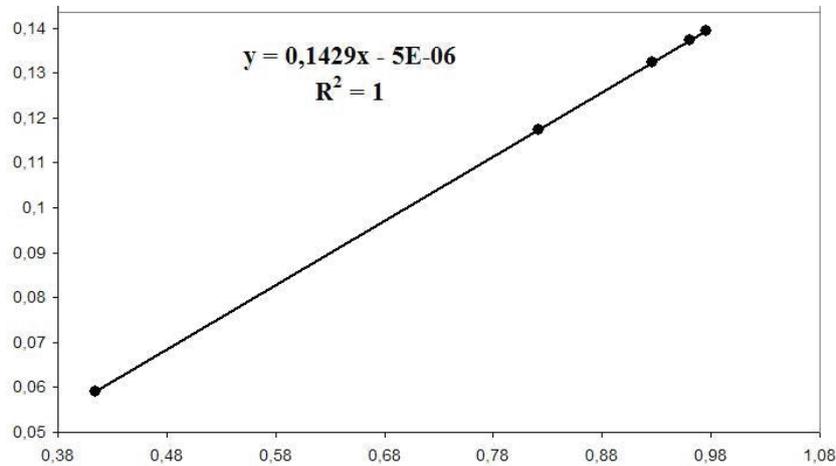


Fig. 6 - Gráfico de  $\Delta t_n \times \left[ \sqrt{1+n^2} - \sqrt{1+(n-1)^2} \right]$  para as esferas posicionadas a distâncias proporcionais a quadrados inteiros.

## VI. Conclusão

Os resultados experimentais obtidos foram bastante satisfatórios. Visualizaram-se facilmente nos gráficos que a distância que um corpo percorre em queda livre é proporcional ao quadrado do tempo de queda. Esse era o nosso objetivo principal e foi cumprido.

Quanto ao método desenvolvido para determinação do valor de  $g$ , este deixou um pouco a desejar. Apesar de termos obtido valores de  $g$  bastante próximos do valor real, a probabilidade de erro é muito grande durante o experimento. Isso devido a alguns motivos, entre eles a dificuldade em se determinar os intervalos de tempo entre os impactos de corpos sucessivos com o solo a partir do software Audacity. O mesmo não pareceu ser muito preciso nesse aspecto e forneceu os valores de tempo até a ordem de centésimos de segundos. Um software que tivesse precisão até a ordem de milésimos de segundos, seguramente seria mais confiável. Outro fator decisivo foi a precisão das medidas em que as esferas estavam dispostas umas das outras. Foi difícil dispô-las a distâncias exatas às previstas inicialmente e, qualquer desleixo nesse ponto, pode levar a erros consideráveis.

Apesar das dificuldades encontradas na determinação de  $g$ , no que se refere ao aspecto qualitativo e visual, o experimento é de fácil realização, bastante claro e didático para ser utilizado no ensino de física.

### **Referências**

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K. **Física 1**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

SERWAY, R. **Física para Cientistas e Engenheiros**. v. 1. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.