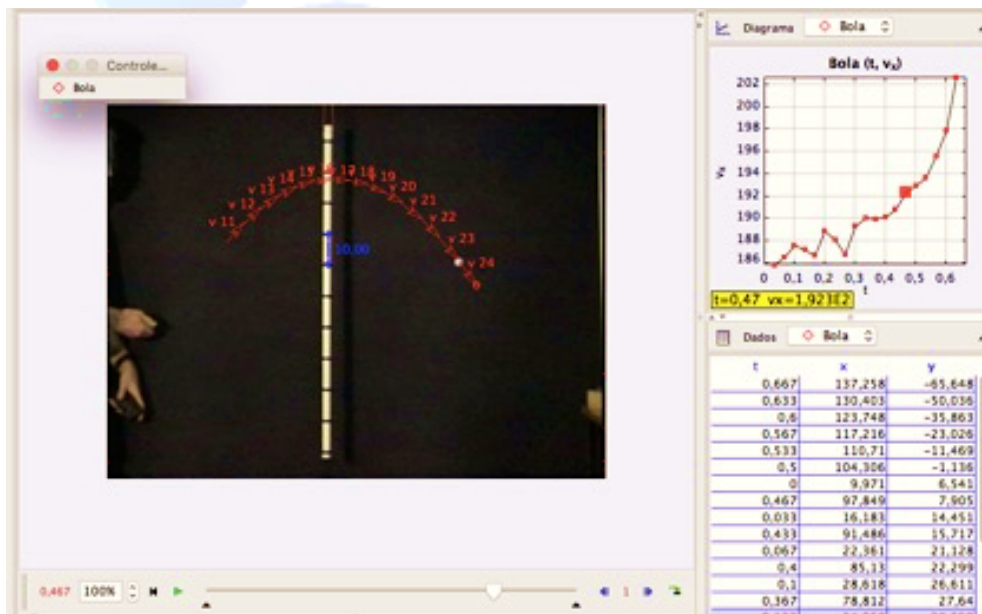


AUTORES: Karollyne Marques de Lima, Lorena da Silva Ferreira, Ricardo B. L. Nascimento, Welber L. A. Miranda

## FÍSICA EXPERIMENTAL I

# LANÇAMENTOS E QUEDA LIVRE



## EXPERIMENTO 3

### VERSÃO TEMPORÁRIA

Engenharia Elétrica

Versão 1: MAIO/2017

# OBJETIVO

O objetivo principal é modelar fisicamente um movimento de queda livre de sua escolha e o e estimar o valor da aceleração gravitacional, através de técnicas de videoanálise.

## INTRODUÇÃO

### QUEDA LIVRE

Ao arremessar um objeto para cima ou para baixo, se pudéssemos eliminar o efeito do ar sobre o movimento, observaríamos que o objeto sofre uma aceleração constante para baixo, conhecida como aceleração em queda livre, cujo módulo é representado é representado pela letra  $g$ .

O valor de  $g$  varia primariamente com a latitude e a altitude. No nível do mar e em latitudes médias o valor aproximado de  $g$  é  $9,8 \text{ m/s}^2$  [1]. As equações de movimentos para aceleração constante também se aplicam à queda livre nas proximidades da superfície da Terra, contanto que os efeitos do ar sejam desprezados. No caso da queda livre a direção do movimento é ao longo de um eixo  $y$  vertical e não ao longo de um eixo  $x$  horizontal.

Neste experimento, a proposta é supor que a aceleração  $a$  é constante. Quando a aceleração é constante, a aceleração média e aceleração instantânea são iguais, na forma:

$$a = a_{\text{méd}} = \frac{v - v_0}{t - 0} \quad (1)$$

onde  $v_0$  é a velocidade no instante  $t=0$  e  $v$  é a velocidade em um instante de tempo posterior  $t$ . Explicitando  $v$ , temos:

$$v(t) = v_0 + at \quad (2)$$

Sendo  $v_0$  a velocidade inicial, ou seja, a velocidade em  $t = 0$ . Como verificação adicional, calculemos a derivada da Equação (2):

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \text{const.} \quad (3)$$

De maneira análoga, podemos escrever:

$$v_{\text{méd}} = \frac{x - x_0}{t - 0} \quad (4)$$

A Equação (4) nos dá:

$$x = x_0 + v_{\text{méd}} t \quad (5)$$

Onde  $x_0$  é a posição da partícula em  $t = 0$  e  $v_{\text{méd}}$  é a velocidade média entre  $t = 0$  e um instante de tempo posterior  $t$ .

Para a função velocidade linear da equação (2), a velocidade *média* em qualquer intervalo de tempo é a média aritmética da velocidade no início do intervalo ( $v_0$ ) com a velocidade no final do intervalo ( $v$ ). Para o intervalo de  $t = 0$  até um instante posterior  $t$ , portanto, a velocidade média é

$$v_{\text{méd}} = \frac{1}{2} (v_0 + v) \quad (6)$$

Substituindo  $v$  pelo seu valor, dado pela Equação (2), obtemos ao agrupar os termos:

$$v_{\text{méd}} = v_0 + \frac{1}{2} at \quad (7)$$

Finalmente, substituindo a Equação (7) na Equação (5) e reagrupando os termos, teremos assim a posição dependendo quadraticamente do tempo:

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2 \quad (8)$$

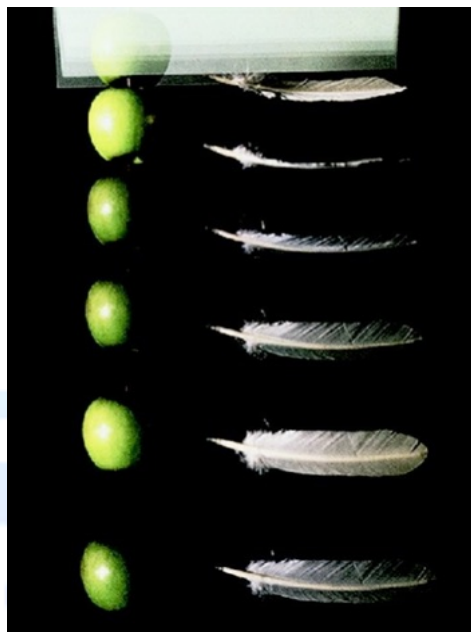
As Equações (2) e (8) são as equações básicas do movimento com aceleração constante. Podemos simplificar algumas coisas na vídeo-análise e adotar origem do sistema de coordenadas no que será considerado o início da queda livre, ( $x_0 = 0$ ), e supor que neste instante  $v_0 = 0$ . Ao adotar essas hipóteses, as Equações (2) e (8) se tornam, respectivamente:

$$v(t) = at \quad (9)$$

$$x(t) = \frac{a}{2} t^2 \quad (10)$$

Observando a Equação (10), é possível prever se a proposta de uma aceleração constante é compatível com os dados obtidos para a posição e o tempo.

## A RESISTÊNCIA DO AR



**Figura 1-** Uma pena e uma maçã em queda livre no vácuo sofrem a mesma aceleração  $g$ , aumentando a distância entre as imagens sucessivas.

No estudo de física, a queda livre é uma particularização do movimento uniformemente variado (MUV). O movimento de queda livre foi estudado primeiramente por Aristóteles, que seguia dizendo que cada corpo após cair de uma dada altura, logo atingiria uma velocidade final previamente determinada pela natureza. Essa velocidade estaria relacionada com sua composição e peso.

Galileu Galilei no século XVII por meio de experiências chegou à conclusão que esta concepção não estava correta. Ele afirmou que os objetos caem com a mesma aceleração independente do peso que possuísem, abstraindo de suas análises o fato da resistência do ar influenciar o movimento da queda livre. Ele prediz então, que na ausência do ar, uma pena e um martelo cairiam juntos ao solo.

A Figura 1 mostra dois exemplos de aceleração em queda livre através de uma série de fotos estroboscópicas de uma pena e de uma maçã. Enquanto estes dois objetos caem, sofrem a mesma aceleração para baixo, que para os dois casos é igual a  $g$ . Desta forma, suas velocidades aumentam com a mesma taxa, e eles caem juntos.

Quando tratamos da queda livre, assumimos que somente a força peso está atuando no objeto em queda. A experiência mais interessante a se realizar seria aquela já executada pelo astronauta David Scott, que participou da primeira missão de caráter científico à Lua e abandonou em solo lunar, livre de atmosfera, um martelo e uma pena de pouco mais de 1 metro e ambos chegaram ao mesmo tempo ao solo! Na superfície terrestre é possível repetir esse experimento, porém, evacuando uma câmara ou tubo transparente e deixando dentro dele apenas uma pena e um material mais denso como, por exemplo, uma pedra.

# PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

## MATERIAIS UTILIZADOS

- Câmera digital
- Tripé para câmera
- Microcomputador com software de videoanálise instalado (*Tracker*);
- Bola de voleibol (o qualquer outro tipo de bola);
- Fita Métrica;
- Garrafa plástica transparente;
- Uma pena;
- Uma pedra ou objeto de tamanho equivalente ao da pena.

# PARTE I

## LANÇAMENTO SIMPLES (VOLEIBOL)

### DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

- Escolha uma bola de voleibol, execute um movimento característico de sua escolha e realize a filmagem com as técnicas adequadas.
- Na ausência de bola de vôlei, escolha um objeto para utilizar como projétil e realize um lançamento de sua escolha;
- Realize a videoanálise deste lançamento e discuta as variáveis físicas de maior interesse, justificando as escolhas.

### PERGUNTAS E DISCUSSÃO

1. Discuta as possíveis variáveis físicas que afetam cada medida;
2. Faça uma discussão aprofundada das equações do movimento estudado e realize comparação com os dados coletados (modelo teórico *versus* experimental);
3. Mostre que a equação da trajetória de um lançamento oblíquo em queda livre é uma parábola<sup>1</sup>.
4. Apresente uma discussão estatística dos dados coletados com seus respectivos erros experimentais;

---

<sup>1</sup> Pode/deve pedir ajuda do professor, se necessário.

## PARTE II

### QUEDA-LIVRE PARA PEDRA E PENA

#### DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

- Utilize uma pena e um outro objeto de tamanho compatível e realize o abandono ao ar livre;
- Utilize uma pena e um outro objeto de tamanho compatível e realize o abandono a partir de um compartimento fechado;
- Realize a videoanálise deste lançamento e discuta as variáveis físicas de maior interesse, justificando as escolhas.
- Utilize os dados para determinar o módulo da aceleração da gravidade e seu respectivo desvio.

#### PERGUNTAS E DISCUSSÃO

5. Apresente uma discussão estatística dos dados coletados com seus respectivos erros experimentais;
6. Determine o módulo da aceleração da gravidade a partir do método dos mínimos quadrados (linear ou quadrático) com os dados apresentados<sup>2</sup>;
7. Tanto a pena como a pedra mantêm suas posições relativas durante a queda? Explique o porquê.
8. Qual a influência da resistência do ar nesse experimento?



---

<sup>2</sup> <sup>2</sup> Pode/deve pedir ajuda do professor, se necessário.

<sup>3</sup> acesso em: <http://meuprofessordefisica.com>