

## EFEITOS ESTROBOSCÓPICOS COM CÂMERAS DIGITAIS

Antônio Cobos<sup>1</sup>, Jéssica Guérios Béz<sup>1</sup> & Tânia Lorenzetti Correio<sup>2</sup>

1-UTFPR; 2-CE Castro Alves

**Resumo** - O efeito de luz estroboscópica é uma técnica utilizada em laboratórios de ciências, para o estudo de movimentos. O desenvolvimento dessa prática, comumente, utiliza revelação fotográfica, de filmes sensíveis à luz. O trabalho desenvolvido neste projeto, mostra a investigação de um outro método para elaborar imagens estroboscópicas. O método utilizado possibilita o uso da informática e máquinas fotográficas digitais. Este processo depende do auxílio de um computador, programas de edição de vídeo e imagens. A discussão apresentada mostra que o método requer cuidados específicos no que diz respeito à elaboração experimental, montagem gráfica e análise dos dados adquiridos. Os resultados adquiridos mostram que, considerados estes cuidados, o método é viável.

**Palavras-Chave:** experimentos de Física, experimentos virtuais, efeito estroboscópico.

## STROBOSCOPIC EFFECTS WITH DIGITAL CAMERAS

**Abstract-** The stroboscopic light effect is a technique applied in science laboratories, to the study of motion. Its development includes, in general, revelation of photo- sensible films. This work investigates another method for elaborating stroboscopic images. The method is based on computer science and digital cameras. This process depends on a computer, image and video edition programs. The following discussion shows that the method requires specific care with respect to the experimental devices, graphic edition and data analysis. The results show that, considered these cares, the method is viable.

**KeyWord:** Physics experiments, virtual experiments, stroboscopic effect.

### 1. INTRODUÇÃO

Em muitas circunstâncias, experimentos de Física realizados em ambiente virtual constituem uma boa alternativa como recurso didático.

O Projeto Efeitos Estroboscópicos com Câmeras Digitais, realizado no Laboratório de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco, tem como finalidade o desenvolvimento de uma técnica que permita a utilização, em ambiente virtual, de efeitos estroboscópicos para o estudo do movimento. A técnica foi aplicada ao estudo de um corpo em queda livre, movimento circular e movimento harmônico simples.

Espera-se que este recurso seja eficiente no estudo de fenômenos físicos, em locais que não possuem lâmpadas especiais, e nem laboratório fotográfico. Geralmente estes equipamentos são caros, e necessitam de ambientes também especiais para seu funcionamento.

### 2. METODOLOGIA

Os experimentos são montados e filmados, e os melhores vídeos obtidos, transferidos da câmera digital ao computador. Com auxílio do software livre RAD Vídeo Tools, a filmagem é fragmentada em fotografias de formatos opcionais. O programa fragmenta o vídeo em 15 fotografias por segundo e informa o tempo total de filmagem, o que permite que se conheça o tempo médio gasto na obtenção de cada imagem.

Após a desmontagem do vídeo, procede-se a transferência das imagens referentes ao movimento para o software governamental BrOffice.org Draw . Este programa fornece uma ferramenta gráfica que permite desenhar círculos que representam esferas, no tamanho requerido. Após serem construídas de maneira padrão, estes são posicionados sobre os locais ocupados pelas esferas reais, nas fotografias desmontadas. Outra ferramenta útil deste programa é a transparência: aplica-se 100% de transparência somente ao fundo da figura, deixando a esfera sobreposta em evidência. Depois deste procedimento, é necessário agrupar cada figura a sua esfera sobreposta. Feito isto com todas as fotos correspondentes ao movimento, basta posicioná-las sobre os eixos x e y, originando a imagem estroboscópica.

### 3. DESENVOLVIMENTO

#### 3.1. PÊNDULO

Um pêndulo simples consiste de um fio leve e inextensível de comprimento L, tendo acoplado em sua extremidade inferior um corpo de massa m; a extremidade superior é fixa em um ponto, tal que o corpo possa oscilar livremente. Quando o pêndulo é deslocado de sua posição de equilíbrio e solto, ele oscila sob a ação da força peso, apresentando um movimento periódico.

As forças que atuam sobre o corpo de massa m, em um

sistema pendular são: a força peso  $p$  e a força de tração  $FT$ , que o fio exerce sobre a massa em qualquer instante, conforme mostra o diagrama seguinte.

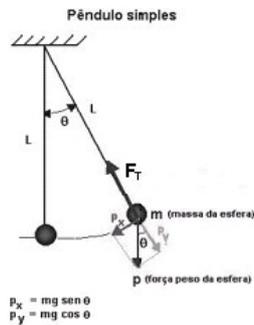


Figura 01 - Forças que atuam sobre o corpo de massa

Consideradas as forças que atuam em um sistema de eixos cartesianos, dispostos de forma que o eixo  $x$  seja tangente à trajetória da massa e o eixo  $y$  na direção do raio da trajetória, surgem as componentes da força peso como sendo:

$$P_x = mg \sin \theta$$

$$P_y = mg \cos \theta$$

Quando o ângulo  $\theta$  for pequeno ( $00$  a  $150$ ), o valor  $\sin \theta$ , se aproxima do valor de  $\theta$ . Neste caso, o movimento do pêndulo descreve um arco de circunferência como trajetória, equivalente a um pequeno segmento de reta, podendo então ser considerado como um movimento harmônico simples (MHS).

O MHS é um movimento periódico que se desenvolve de um modo particular, no qual a função da posição em relação ao tempo é uma senóide. Outra característica do MHS é que, sobre o corpo oscilante, atua uma força restauradora tangente ao movimento e de sinal contrário ao do deslocamento em relação à posição de equilíbrio. No MHS temos, então, grandezas características do movimento periódico: o período, a frequência, a amplitude.

Frequência ( $f$ ) do movimento corresponde ao número de vibrações que o corpo executa por unidade de tempo.

Período ( $T$ ) é o tempo gasto pelo corpo para efetuar um ciclo completo. A relação entre período e frequência, é inversa e dada por:

$$fT=1 \tag{1}$$

O período do pêndulo simples é dado pela expressão:

$$T = 2\pi \sqrt{l/g} \tag{2}$$

Onde:

$l$ , comprimento do fio,

$T$ , período do movimento,  
 $g$ , aceleração gravitacional,  
 $= 3,14$

Para desenvolver a prática do movimento oscilante foi utilizado um tripé com haste, 539 milímetros de fio e uma esfera de raio 31,5 milímetros. O comprimento pendular foi obtido pela soma do comprimento do fio e o raio da esfera, e equivale a 570,5 milímetros.

Após a câmera estar posicionada, a esfera foi abandonada de um ângulo aproximado a  $150$  em relação à vertical, e filmado o movimento de oscilação. Transferiu-se a filmagem da câmera digital para o computador; com auxílio do RAD Vídeo Tools, o vídeo foi desmontado em 95 fotografias, e o tempo total de filmagem estimado em 6,3333 segundos, apresentado pelo programa. A seqüência de fotografias que representam o movimento pendular, equivale a um ciclo e resulta, em 23 intervalos de tempo com 0,06666 segundos cada. Para efetuar a sobreposição, não foi utilizado o total de imagens obtidas na filmagem desse evento, mas sim uma a cada três. Desta forma, a montagem final possui uma distância razoável entre uma imagem e outra, principalmente para o início do movimento.

Com as informações fornecidas pelos softwares, foram realizados cálculos com objetivo de comparar o valor obtido para a aceleração gravitacional, com o valor tabelado ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

O cálculo da aceleração gravitacional, foi realizado utilizando a seguinte equação:

$$g = (2\pi / T)^2 L \tag{5}$$

O período da oscilação é

$T = \Delta t \text{ do movimento} = 23 \text{ intervalos} \times 0,06666 = 1,533 \text{ s}$   
 e o valor obtido para a aceleração é  $9571,7 \text{ mm/s}^2$ , ou  $9,57 \text{ m/s}^2$ .

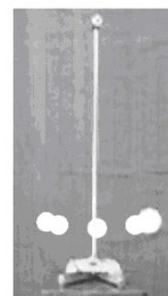


Figura 02 - Imagem estroboscópica do movimento pendular  
 Montagem gráfica por superposição de imagens

### 3.2. MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME (MCU)

Uma partícula está em movimento circular uniforme (MCU) quando sua trajetória é uma circunferência e o módulo de sua velocidade é constante. O tempo para que

a partícula efetue uma volta completa é denominado período (T) do movimento e o espaço percorrido durante este intervalo é o comprimento da circunferência ( $2\pi R$ ). A frequência (f) do movimento é o número de voltas que a partícula realiza na unidade de tempo.

Como o movimento circular é periódico, utilizam-se as mesmas equações para o cálculo de frequência e período do pêndulo.

As velocidades linear e angular do corpo são calculadas, pelas equações;

$$v = 2\pi R/T \quad (6)$$

$$\omega = 2\pi /T \quad (7)$$

v, velocidade linear;

R, raio;

$\pi = 3,14$ ;

T, período do movimento;

$\omega$ , velocidade angular;

Neste experimento, foram utilizados um toca discos com disco base de raio igual a 141,3 milímetros a uma rotação de 45 rpm. O movimento do corpo sobre o prato do toca discos foi filmado e o vídeo adquirido, transferido para o computador

Através do programa RAD Vídeo Tools, o filme (vídeo) foi transformado em uma seqüência de imagens no formato JPEG. As fotos obtidas pelo RAD Vídeo Tools correspondem a um ciclo, num total de 21 fotografias, correspondendo a 20 intervalos de tempo para o movimento. As fotos foram trabalhadas e sobrepostas no BrOffice.org Draw, formando uma imagem com aspecto estroboscópico.

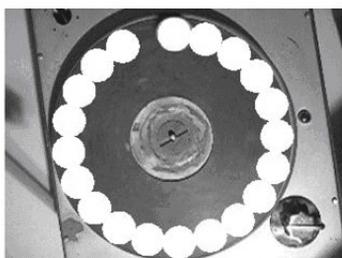


Figura 03 – Imagem estroboscópica do movimento circular uniforme  
Montagem gráfica por superposição de imagens

Com as medidas realizadas, obtiveram-se os resultados a seguir.

$$Dt \text{ de cada fotografia} = 0,06666 \text{ segundos}$$

$$D t \text{ do movimento} = 1,333 \text{ segundos}$$

$$T = 1/f = 1,333 \text{ s}$$

$$f = 1/T = 0,75 \text{ Hz}$$

$$\omega = 1,5 \pi \text{ rad/s}$$

A velocidade linear foi calculada para um ponto situado a

100 milímetros do centro do disco. O resultado obtido foi  $v = 471,1 \text{ mm/s}$ . A situação é ilustrada na figura 03, onde há um corpo sobre este ponto.

### 3.3. QUEDA LIVRE

Um corpo está em queda livre quando é abandonado de certa altura, nas proximidades da Terra, e desenvolve um movimento vertical no qual a resistência do ar é desprezível. Assim, a aceleração do corpo é devida apenas à atração gravitacional.



Figura 04 – Imagem estroboscópica do movimento queda livre  
Montagem gráfica por superposição de imagens

Para o desenvolvimento deste experimento foi utilizado um corpo com massa de 0,98 quilogramas e máquina fotográfica digital.

O corpo foi abandonado de uma altura de 1960 milímetros. Como nos experimentos relatados anteriormente, seu movimento foi filmado e o vídeo foi desmontado em uma seqüência de fotografias. Uma vez selecionadas as imagens correspondentes ao movimento de queda, construiu-se a imagem com aspecto estroboscópico, mostrada na figura 04, seguindo-se os procedimentos já descritos.

Para a realização dos cálculos foram medidas as distâncias entre as posições da esfera, com recursos do próprio software utilizado. A altura total de queda, medida na imagem, é 53,84 mm. Como este valor corresponde a uma altura real de 1960 mm, foi possível determinar os valores reais correspondentes a todas as distâncias medidas na imagem. Os intervalos de tempo entre as posições foram calculados, como descrito anteriormente, pela relação entre o tempo total de queda e o número de imagens.

A partir dos valores das distâncias percorridas pela esfera (reais) e dos intervalos de tempo correspondentes, foi realizado o cálculo da aceleração gravitacional, com a equação  $d = 1/2gt^2$ . Os resultados obtidos constam da tabela 02.

- A Número ordinário do intervalo
- B Altura do intervalo, medida na imagem
- C Tempo do intervalo

D Distâncias percorridas, obtidas pelas somas dos valores da coluna B

E Altura real do intervalo

F Tempos totais, obtidos pelas somas dos valores da coluna C

G Aceleração gravitacional por intervalo, e média dos intervalos

A	B (mm)	C (s)	D (mm)	E (mm)	F (s)	G (mm/s <sup>2</sup> )
1º	0,71	0,06666	0,71	26	0,06666	11720
2º	1,81	0,06666	2,52	92	0,1333	10370
3º	2,94	0,06666	5,46	198	0,1999	9937
4º	4,08	0,06666	9,54	347	0,2666	9780
5º	5,37	0,06666	14,91	543	0,3333	9790
6º	6,58	0,06666	21,49	782	0,3999	9790
7º	7,74	0,06666	29,23	1064	0,4666	9790
8º	8,90	0,06666	38,13	1388	0,5332	9780
9º	11,87	0,06666	50,00	1820	0,5999	10130
Altura			53,84	1960		
Tempo total					0,5999	
Aceleração média (g)						10120

Tabela - 01 altura das imagens em função do tempo de cada intervalo entre fotografias e da somatória dos tempos.

A tabela 02, mostra os dados da equação  $1/2gt^2$ , linearizada.

X (s <sup>2</sup> )	h (mm)	g (mm/s <sup>2</sup> )
0,002222	26	11702
0,008884	92	10355
0,01998	198	9944
0,035538	347	9764
0,055544	543	9775
0,07996	782	9779
0,108858	1064	9774
0,142151	1388	9764
0,17994	1820	10114
Aceleração média		10108

Tabela 02 - Aceleração gravitacional média obtida por linearização da equação  $h=1/2at^2$ .

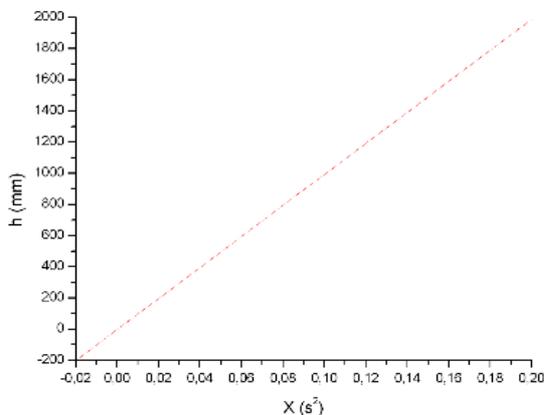


Gráfico 01 – h x X

Gráfico 01: gerado pelo software Origin 6.5

Foi utilizado ainda o seguinte método, gráfico, para determinação da aceleração gravitacional, Linearizou-se a equação  $h = (1/2)at^2$ , criando-se a relação  $h \times X$ , com a nova variável  $X = t^2/2$ . A nova expressão,  $h = aX$ , é equação de uma reta cujo coeficiente angular  $a$  é o valor da aceleração gravitacional.

O gráfico 01 gerado pelo software Origin 6.5, mostra a curva  $h \times X$ . Através do cálculo de seu coeficiente angular, obteve-se o valor 9962 mm/s<sup>2</sup> para a aceleração gravitacional.

#### 4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO

Nos experimentos realizados acima, o mesmo processo foi utilizado: filmagem, conversão de vídeo em imagem e remontagem gráfica. Uma vez apreendidos os procedimentos e detalhes deste processo, ele se torna relativamente rápido e passível de aplicação ao estudo de outros tipos de movimento.

No cálculo da aceleração gravitacional, resultados obtidos apresentaram erros de 3,16% e 2,3% nos experimentos de pêndulo e queda livre, respectivamente. Quando calculada a aceleração gravitacional pela reta do gráfico (Origin6.5) o erro foi ainda menor, 1,48%. Nos experimentos convencionais realizados em nosso laboratório, baseados em obtenção de medidas através de fotocélulas acopladas a cronômetros, estes erros são da ordem de, 2% para o pêndulo e 8% para a queda livre.

No experimento com MCU, foi obtido um valor de um período de 1,333 s, que aplicado nas equações do movimento circular uniforme, mostrou uma frequência de 0,75 Hz, o que confirma o valor pré-ajustado pela fabrica, para rodar discos LPs, de vinil.

O calculo da velocidade linear, para o raio de 100 mm foi realizado e encontrado um valor de 471,1 mm/s. Não foi realizada qualquer outra análise para comparar se a velocidade linear para este ponto esta correta.

Não foi realizado ainda um estudo detalhado sobre a origem dos erros associados aos experimentos realizados, se comparados com valores tabelados, mas um dos erros que se sabe com antecedência está relacionado com o tempo de abertura do diafragma da câmera, que é automático e não se pode controlá-lo.

Acredita-se que outra possível fonte de erro, esteja na iluminação não apropriada, o que causa muita dificuldade no trabalho gráfico das imagens, pois a pouca iluminação diminui sensivelmente a definição da imagem, dificultando o trabalho tanto na sobreposição das imagens, como em fazer as medidas com o programa BRÖFFICE.

Um estudo destes e outros fatores de erro poderão ser realizados num estudo futuro como continuação deste trabalho.

Uma comparação detalhada desta técnica experimental com a técnica que utiliza diretamente a lâmpada estroboscópica também constitui uma possível continuação deste trabalho.

Embora apresentando algumas imprecisões nos resultados, o que é bastante comum também nas experiências convencionais de laboratório, as imagens estroboscópicas obtidas a partir do processo relatado constituem uma alternativa viável para o estudo do movimento.

## **5. AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a FAADCTP (Fundação Araucária de

Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná), pelo apoio à realização desse projeto, por meio de Bolsa de Iniciação Científica Junior (PIBIC-Junior).

## **6. REFERÊNCIAS**

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. 1986. Curso de Física, v.1, 2. ed. Vila Mariana, São Paulo.