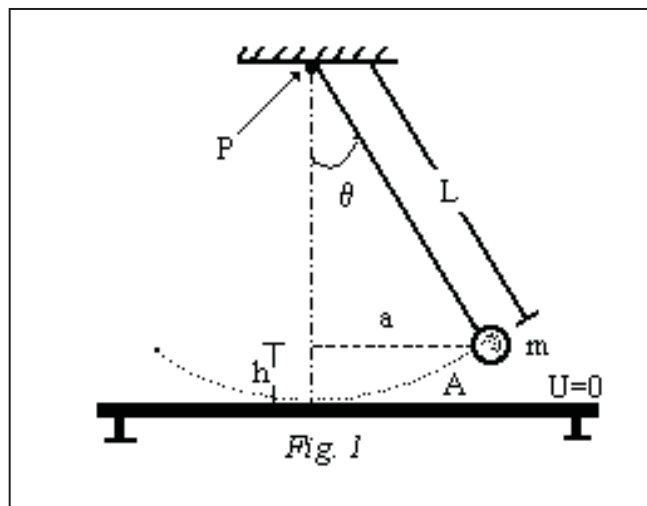

UMA CONTRIBUIÇÃO DIDÁTICA AO ESTUDO EXPERIMENTAL DA ACELERAÇÃO DEVIDO À GRAVIDADE LOCAL

César de Oliveira Lopes
Depto de Física – UFRRJ
Itaguaí – RJ

Ao se analisar as leis do movimento pendular como ilustração do movimento harmônico simples (Fig. 1), durante uma aula prática de Física experimental, quase sempre o professor solicita dos alunos:



- a) a relação matemática entre o período médio de oscilação do pêndulo, \bar{T} , e o comprimento L do fio;
- b) a dependência, ou não, entre o período médio de oscilação e a massa do pêndulo;

c) o valor mais provável para a aceleração devido à gravidade local em termos das grandezas mensuradas diretamente no laboratório;

d) as incertezas experimentais envolvidas nas medidas para a determinação de g .

A preocupação fundamental que o professor deverá ter na programação desse tipo de experimento é aqui abordada e consiste, em princípio, em propiciar condições adequadas de sorte que seus estudantes obtenham resultados acurados. Para isso, necessária se torna a preparação de uma “boa” previsão inicial para a prática.

Não é pretensão deste artigo mostrar uma “receita de aula”; apenas postula-se a manutenção do método científico junto aos alunos, antes, durante e após a prática. Isso, obviamente, fará com que a relação ensino-aprendizagem se torne, todavia, mais coerente e eficaz nos seus objetivos, o que vem sendo ultimamente pouco explorado.

No plano de sugestões, é apresentada uma proposta sucinta e objetiva e que tem sido bastante usada em nossas aulas de Física experimental. Ela tem estimulado o aprimoramento da qualidade do ensino. Basicamente, ela gerencia um modelo de relatório (roteiro + relatório) de práticas, o qual contém:

- os objetivos;
- os métodos a serem empregados;
- os fundamentos teóricos concernentes à prática;
- a relação do material disponível para a prática;
- as diferentes etapas para o desenvolvimento da aula;
- as recomendações para a elaboração de gráficos, tabelas, cálculos e levantamento estatístico de dados;
- questões para análises;
- uma bibliografia recomendada e de fácil acesso.

Complementares aos itens anteriores, destacam-se outros que participam expressivamente da qualidade da aula, a saber:

- acompanhamento durante a execução da prática;
- entrega de relatório, contendo não somente as observações anotadas, mas, principalmente, suas análises.

No tocante ao pêndulo simples, o ponto de partida reside numa proposição clara dos limites mínimo e máximo para o comprimento do fio, pois o uso de 40cm até 80 cm (valores geralmente sugeridos pelo professor) compromete o entendimento da relação $\bar{T} \times L$, porque o aluno poderá pensar que este relacionamento é linear, o que efetivamente não é verdade (Fig. 2). Assim, é fundamental

escolher um intervalo de variação maior para L, por exemplo, de 15 até um valor acima de 120 cm, permitindo seguramente registrar graficamente esse relacionamento, como é aqui demonstrado.

A Fig. 2 contém resultados experimentais de medidas feitas para \bar{T} e para L, durante aulas práticas com vários alunos, utilizando pêndulo simples convencional (fio de barbante, massa aferida, cronômetro manual, régua graduada de resolução 1 mm).

As curvas C_1 e C_2 normalmente são solicitadas às equipes de maneira que possam perceber nitidamente em C_1 que \bar{T} é proporcional à raiz quadrada de L e que, o segundo gráfico (curva C_2), é obtido a partir de valores de \bar{T} e de L; o valor para a aceleração devido a gravidade local, via valores ajustados pelo método dos mínimos quadrados, é dele calculado.

A reprodução de dados consegue-se adotando-se, em princípio, a realização de tomadas de medidas várias vezes para uma mesma situação física: mesmo par (L, \bar{T}), mesmo operador, e minimizando-se os efeitos da resistência do ar. Para tal, foi elaborada a Tabela 1 que demonstra a transcrição dos dados obtidos e calculados. Ela contém duas grandes colunas. Na primeira são colocados os valores experimentais e na segunda os valores calculados pelas fórmulas a seguir:

$$\bar{T}_{\text{uma oscilação}} = \frac{\bar{T}_{10}}{10}, \quad (1)$$

$$g_j \cong 4\pi^2 \frac{L_j}{T_j^2}, \quad (2)$$

$$\Delta g_j \cong \pm \left(\left| \frac{\Delta L_j}{L_j} \right| + 2 \left| \frac{\Delta T_j}{\bar{T}_j} \right| \right) g_j, \quad (3)$$

em que ΔL_j e ΔT_j são os desvios avaliados dos instrumentos.

A inclusão das colunas 10 a 14, ausentes em várias tabelas de roteiros de experiência com pêndulos simples, propostos por outros autores, constitui uma peculiaridade e resultou do fato de ser importante acompanhar, numericamente, a tendência dos erros experimentais, pois, a cada par de medidas de (L, T) teremos uma incerteza experimental na aceleração devido à gravidade local, que diminuirá com o crescimento do valor no comprimento do fio do pêndulo, como e mostrado

na Fig. 3. Esta destaca a faixa razoável para o estudo da obtenção de valores mais precisos e quiçá mais acurados para a aceleração em razão da gravidade local.

Este fato nos leva a concluir que as medições não são feitas com a mesma precisão e isso fortalece a idéia da inclusão das colunas 10 a 14 na Tabela I, pois elas serão úteis para os cálculos da aceleração devido à gravidade mencionada e de sua incerteza (valores mais prováveis). Assim, considerar $g_{\text{provável}}$ como sendo a media aritmética é errado, face a que as medidas são conseguidas com precisões diferentes; recomenda-se nesse caso o uso de uma média ponderada, cujo peso seja proporcional ao inverso do quadrado da incerteza naquela medida de g . As fórmulas que habitualmente temos usado são:

$$\bar{g}_{\text{pond.}} \cong \frac{\sum_{j=1}^N \frac{g_j}{\Delta g_j^2}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{\Delta g_j^2}}, \quad (4)$$

$$\Delta \bar{g}_{\text{pond.}} \cong \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{\Delta g_j^2}}}. \quad (5)$$

Com auxílio dos dados experimentais das colunas 12 e 13 da Tabela 1 pode-se preencher a linha (SOMA) da Tabela e disso, com a ajuda das fórmulas (4) e (5), determinar:

$$g \cong (\bar{g}_{\text{pond.}} \pm \Delta \bar{g}_{\text{pond.}}) \text{ unidade.}$$

Esse resultado é o valor representativo da aceleração que se deve à gravidade local, acompanhado do grau de confiabilidade, ou melhor, da sua incerteza experimental.

Outros pontos relevantes em experimentos desse tipo são as questões para análises. Procurou-se relacionar algumas delas como:

- Quais os conceitos físicos mais importantes para a experiência?
- Houve transformações de energia durante o movimento pendular?

Justifique.

- Se um erro sistemático de + 0,6s estivesse presente em todas as situações analisadas, como ficariam seus novos resultados?
- Compare e discuta os valores encontrados para g.

Conclusões

As sugestões apresentadas têm sido utilizadas e os resultados até agora obtidos são gratificantes, pois os estudantes podem entender e compreender não somente a prática, mas principalmente a interpretação e o tratamento matemático e físico dos dados.

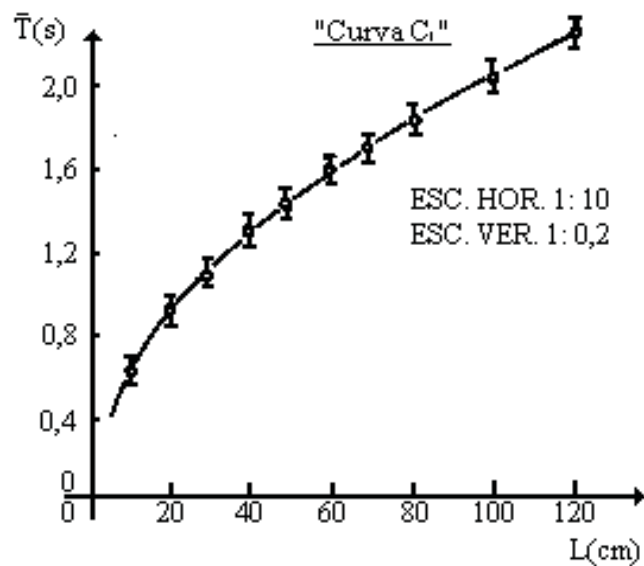


Fig. 2 - Curva característica de um pêndulo simples

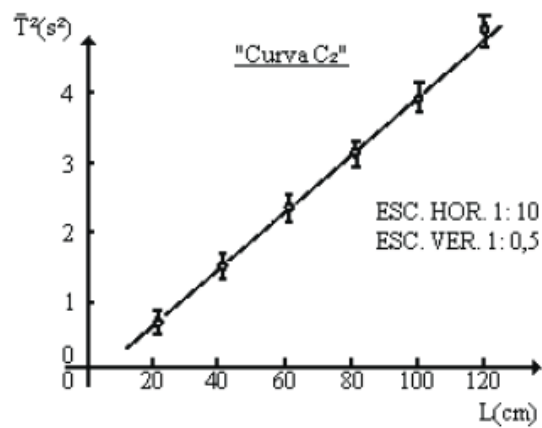


Fig. 3 - Curva característica de um pêndulo simples.

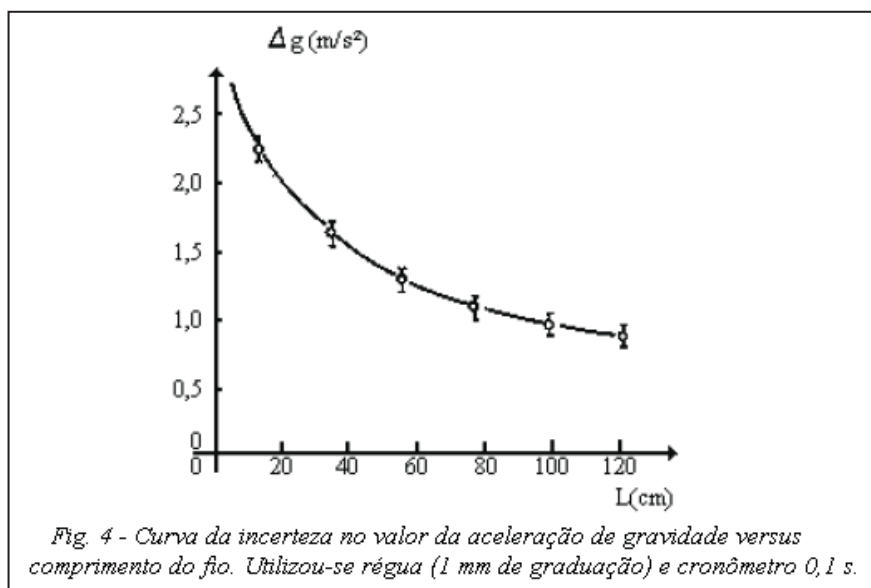


Tabela 1 – Pêndulo simples.

Med.	L(m)	Valores experimentais			Valores calculados								
		Tempo - 10 osc.			$\bar{T}_{10 \text{ osc.}}$ (s)	$\bar{T}_1 \text{ osc.}$ (s)	\bar{T}^2 (s ²)	\bar{g} (m/s ²)	$\Delta \bar{g}$ (m/s ²)	$(\Delta \bar{g})^2$ (m/s ²) ²	$\frac{1}{(\Delta \bar{g})^2}$ (m/s ²) ⁻²	$\frac{\bar{g}}{(\Delta \bar{g})^2}$ (m/s ²) ⁻¹	$\frac{\Delta \bar{g}}{\bar{g}} \times 100\%$
		1a.med	2a.med	3a.med									
1a.													
2a.													
3a.													
4a.													
5a.													
6a.													
7a.													
8a.													
9a.													
10a.													
SOMA													

Leitura recomendada

GALLONI, E. C.; FERNANDES, J. S. **Trabajos prácticos de Física**. Buenos Aires: Pagani, p. 437,1954.

BEERS, Y. **Introduction to the theory of error**. Buenos Aires: Editorial E.T.H.A., p. 81, 1958.

HELENE, O. A. M.; VANIN, R. V. **Tratamento estatístico de dados em Física experimental**. São Paulo: Ed. Blucher, p. 105,1981.

Já lhe perguntaram...

...por que o som se transmite por maiores distâncias num dia frio do que num dia quente? Isso fica mais evidente sobre a superfície de um lago congelado. O alcance do som no deserto, por outro lado, pode ser consideravelmente limitado.

O som se propaga mais rapidamente no ar quente do que no ar frio. Se a temperatura do ar diminuir com a altura, a porção de ar na parte mais alta de uma onda sonora, que inicialmente se desloca horizontalmente, propagar-se-á de forma mais lenta do que a da parte inferior, e a trajetória da onda se curvará para cima. Com tal distribuição de temperatura, o som não poderá se transmitir muito longe no solo antes desta refração desvia-lo para cima.

*Num dia frio, a temperatura do ar pode crescer para o alto, especialmente próximo de uma massa de água, refratando, assim, o som para baixo ao invés de para cima. Desta forma, o som será mantido próximo do solo por mais tempo. (Traduzido e adaptado de – WALTER, J. **The flying circus of Physics**. New York: John Wiley & Sons, 1977, por Bartira C. S. Grandi, Departamento de Física, UFSC.)*