

Determinação da aceleração da gravidade local por meio de um gravímetro elementar baseado em pêndulo físico: contribuições para o ensino de Física

Lucas Henrique Braga Furtado¹

RESUMO

Este trabalho apresenta a construção e aplicação de um gravímetro elementar, baseado em um pêndulo físico, como uma experiência inovadora para o ensino de Física. O objetivo foi desenvolver um aparato experimental de baixo custo, utilizando materiais simples e um microcontrolador Arduino, capaz de determinar a aceleração da gravidade local (g) e, ao mesmo tempo, contribuir para a aprendizagem significativa de conceitos físicos. As medidas do período foram obtidas por meio de sensores infravermelhos, e os dados foram tratados estatisticamente para determinar o valor de g . O resultado encontrado, $g = (9,75 \pm 0,09) \text{ m/s}^2$, apresentou boa concordância com o valor de referência fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com erro relativo de aproximadamente 0,31%, o que demonstra a confiabilidade do método. Os resultados corroboram a ideia de que é possível obter medidas confiáveis da aceleração da gravidade com recursos simples, evidenciando o potencial didático do experimento e sua relevância para o ensino de Física, ao integrar teoria, prática e tecnologia.

Palavras-chave: Pêndulo; Arduino; Gravidade.

INTRODUÇÃO

O fenômeno do movimento sempre despertou o interesse humano e foi objeto de estudo desde a Antiguidade. O filósofo grego Aristóteles de Estagira (384 a.C. – 322 a.C.) foi uma das primeiras pessoas a tentar explicar tal fenômeno. Segundo ele, um objeto pesado cairia mais rapidamente do que um leve e o movimento dos corpos poderia ser classificado como natural ou forçado (RONAN, 1987, p. 111). O movimento natural era aquele que levava o corpo ao seu lugar natural – o fogo se desloca para cima porque o seu lugar natural é o alto e as águas se dirigem à terra, por ser esse o seu lugar natural – enquanto o movimento forçado o afastava dele (BASSALO, 1992, p. 948). Durante cerca de 20 séculos, poucos foram os que questionaram e se opuseram às ideias aristotélicas; todavia, dentre estes, estava Galileo Galilei (1564 – 1642).

Ao investigar vários fenômenos físicos, Galileo percebeu diversas falhas na teoria aristotélica do movimento e demonstrou que todos os corpos em queda livre caem com a mesma aceleração no vácuo, independentemente do seu peso (BASSALO, 1992, p. 953). Todavia, embora Galileo tenha deduzido que todos os corpos em queda livre se movimentam com a mesma aceleração, teve dificuldade para medir o valor dessa grandeza, devido aos instrumentos muito rudimentares disponíveis na época.

Apenas anos mais tarde, Christiaan Huygens (1629 – 1695), ao formular a teoria matemática do pêndulo, chegou à equação do período de oscilação (T) do pêndulo simples – $T=2\pi L/g$, onde L é o comprimento do fio do pêndulo e g é a aceleração da gravidade local –, possibilitando a determinação da aceleração da gravidade (BASSALO, 1992, p. 979), aquela que Galileo teve tanta dificuldade para medir. Ao longo dos séculos, diferentes instrumentos foram desenvolvidos para medir tal aceleração, culminando no surgimento dos **gravímetros** –

¹ Licenciado em Física, professor da educação básica; E-mail: lucas.lhbf@gmail.com

instrumentos capazes de medir g em qualquer local da superfície terrestre – e no desenvolvimento da gravimetria, ciência que estuda as variações da gravidade terrestre (POMEROL *et al.*, 2013, p. 290).

Conhecer o valor preciso da aceleração da gravidade é fundamental em diversas áreas, como Física, Engenharia e Geofísica, e atualmente, modelos matemáticos e instrumentos de alta precisão permitem prever e medir essa grandeza em diferentes regiões do planeta. No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibiliza um banco de dados geodésicos (IBGE, 2017) com medidas de alta precisão da aceleração da gravidade em diversos locais do território brasileiro.

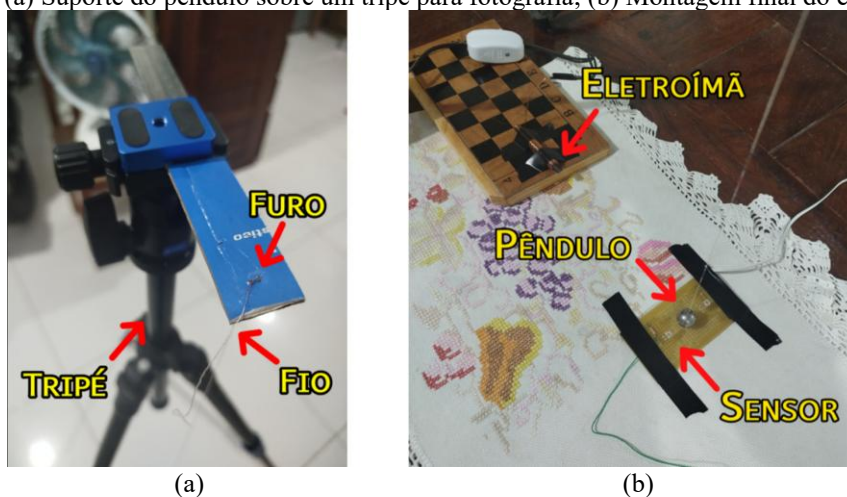
Além do caráter aplicado de g , técnicas de medida dessa grandeza possuem grande potencial educacional, em nível superior, técnico e médio, podendo servir como roteiro experimental e proposta de atividades baseadas em metodologias ativas. É nesse contexto que surge a ideia central deste trabalho: construir um gravímetro elementar, isto é, um gravímetro feito com materiais alternativos, fácil de construir e operar, baseado em um pêndulo físico, capaz de medir, com incerteza da ordem de centésimos de m/s^2 , a intensidade da aceleração da gravidade em Belém, no estado do Pará, Brasil, utilizando uma abordagem simples, mas rigorosa e alternativa em relação aos gravímetros já existentes, visando fins didáticos.

METODOLOGIA

Para determinar o valor local da aceleração da gravidade, construiu-se um gravímetro baseado em um pêndulo físico – uma esfera de metal fixada em um fio de linha de pipa, preso em um tripé de câmera fotográfica, conforme a Figura 1. O valor de g foi obtido **indiretamente** por meio do **método de Bessel** (SILVEIRA, 1995), que consiste na utilização da diferença d entre dois comprimentos, D_1 e D_2 , do fio do pêndulo e do período de oscilação de cada um desses comprimentos, T_1 e T_2 , respectivamente.

O aparato experimental foi construído com materiais de baixo custo, como uma esfera metálica de rolamento, linha de pipa nº 10, sensores infravermelhos (par de LED emissor IR e fototransistor de 5 mm), resistores (220 Ω e 33 k Ω), placa Arduino Uno R3, *proto board*, eletroímã caseiro, construído a partir de um eixo de ventilador e cobre reciclado (ver Figura 1b), e um suporte para o pêndulo (tripé de câmera fotográfica).

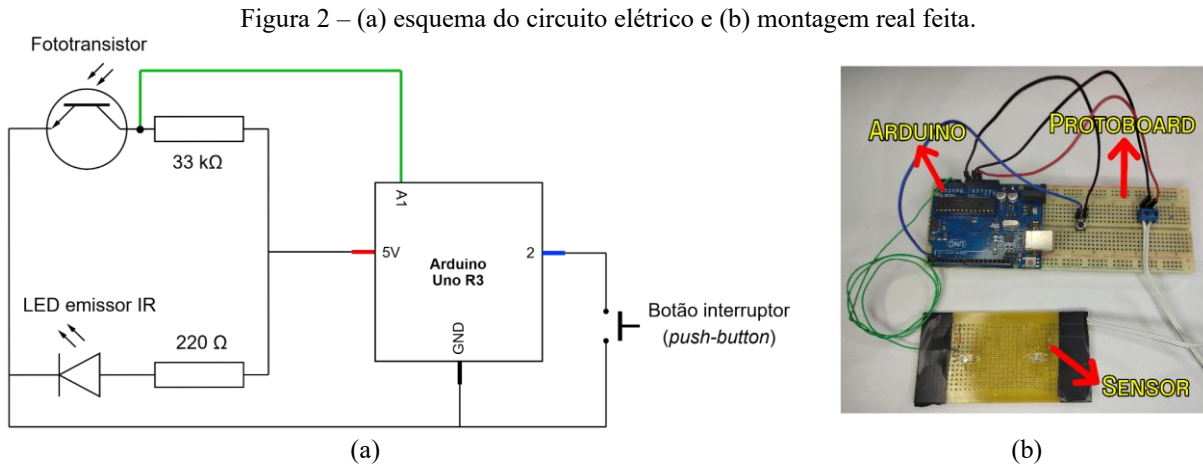
Figura 1 – (a) Suporte do pêndulo sobre um tripé para fotografia; (b) Montagem final do experimento.



Fonte: O autor.

O pêndulo foi montado de modo que pudesse oscilar livremente; os períodos de oscilação foram medidos por meio de um sensor infravermelho (IR) conectado a um

microcontrolador Arduino (ver Figura 2): o sensor IR detectava a passagem da esfera, permitindo realizar **150 medidas** do período de oscilação para cada comprimento do fio; o valor de $d = D_1 - D_2$, foi obtido através de um paquímetro. A partir dos dados coletados, obteve-se a média aritmética das medidas e a propagação de erros da medida de g , conforme Brandão (2019, p. 4).



Fonte: O autor.

A equação final empregada para o cálculo da média de g foi

$$g = 4\pi^2 \frac{d}{T_1^2 - T_2^2} \quad (1)$$

Fonte: SILVEIRA, 1995.

DISCUSSÕES

O desvio padrão amostral das medidas assumiu valor menor que a resolução do Arduino (0,001 s); por esse motivo, optou-se por utilizar a resolução do microcontrolador como sendo a incerteza na medida dos períodos de oscilação. Dessa forma, as medidas finais foram: $d = (14,380 \pm 0,005)$ cm, $T_1 = (2,410 \pm 0,001)$ s e $T_2 = (2,286 \pm 0,001)$ s. Finalmente, a partir da análise dos dados experimentais, obteve-se $g = (9,75 \pm 0,09)$ m/s², resultado esse com boa exatidão em relação ao valor local da aceleração da gravidade na cidade de Belém, estado do Pará, Brasil. Segundo o Banco de Dados Geodésicos do IBGE (2017), a aceleração da gravidade em Belém é, em média, aproximadamente 9,78 m/s². Isso implica um erro relativo percentual da medida obtida, em relação ao valor de referência, igual a 0,31%. Certamente, se mais medidas fossem realizadas, o desvio padrão de g seria menor que o valor obtido (0,09 m/s²), todavia, tanto o desvio padrão quanto a média são satisfatórios dentro dos objetivos deste trabalho: construir um gravímetro elementar com precisão da ordem de centésimos de m/s².

Uma possível causa do distanciamento da média em relação ao valor de referência são os erros residuais causados pela limitação do modelo matemático empregado, que **não considera** fatores como resistência do ar e elasticidade do fio. (Embora o amortecimento não tenha sido explicitamente modelado, seu efeito foi minimizado pela pequena amplitude de oscilação adotada para o pêndulo, menor que 10°.) Uma grande dificuldade encontrada durante a execução do experimento foi o ajuste do comprimento do pêndulo, feito manualmente através de um furo, sob total dependência da habilidade visual do operador. O gasto total para construção do aparato, supondo já possuir as ferramentas básicas (uma fonte de tensão de 12 V, tripé, computador, ferro de solda, solda de estanho, paquímetro e supercola), foi de cerca de R\$ 100,00 (cem reais).

Do ponto de vista didático, o experimento permite explorar conceitos como programação, propagação de incertezas, modelo matemático idealizado versus sistema real, limites de validade das aproximações, além da própria teoria do movimento pendular e do valor de g .

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalmente, este trabalho mostrou ser possível determinar a aceleração da gravidade local utilizando um gravímetro elementar baseado em um pêndulo físico, cuja medida de g apresentou boa precisão para os fins do experimento, destacando seu potencial didático. A experiência evidenciou a importância da articulação entre teoria e prática no ensino de Física, além de demonstrar a utilidade do Arduino como ferramenta para automatizar a coleta de dados.

O experimento proporcionou significativo aprendizado em física experimental e modelagem, ressaltando a relevância de modelos simples, mas suficientemente precisos, para a compreensão de fenômenos físicos. O aparato desenvolvido neste trabalho pode servir como roteiro de atividade experimental em laboratórios de Física, tanto no ensino superior quanto no ensino médio, desde que realizadas as devidas adaptações ao público-alvo.

Como perspectivas futuras, propõe-se a comparação entre os valores de g obtidos com o pêndulo físico e com o pêndulo simples, bem como a realização de medições em diferentes localidades. Também se sugere a aplicação do experimento em sequências didáticas, reforçando seu potencial educacional. Assim, conclui-se que a construção de um gravímetro elementar constitui uma estratégia acessível e eficaz para o ensino e a divulgação científica, contribuindo para a formação de estudantes e pesquisadores na área de Física.

REFERÊNCIAS

- BASSALO, J. M. F. **Crônicas da física: tomo 3**. Belém: EdUFPA, 1992.
- BRANDÃO, F. **Pêndulo Simples: determinando o valor da aceleração gravitacional local g a partir da medida do período de oscilação de um “pêndulo simples”**. 2019. Google Docs. Acesso em: 31 out. 2024. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1digpkdDb6-4uSNz-3sh6aqxacWLT2iIA/view>>.
- IBGE. **Banco de Dados Geodésicos - BDG**. 2017. Disponível em: <<http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>>. Acesso em: 29 ago. 2025.
- POMEROL, C. *et al.* **Princípios de geologia: técnicas, modelos e teorias**. 14. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- RONAN, C. A. **História Ilustrada da Ciência: das origens à Grécia**. Rio de Janeiro: Zahar, 1987.
- SILVEIRA, F. L. Determinando a aceleração gravitacional. **Revista de Ensino de Física, Córdoba**, v. 10, n. 2, p. 29–35, 1995.