

Experimento de Física de baixo custo para o Ensino Médio: Estimando a resistividade elétrica de tubos de metais não-ferromagnéticos utilizando ímãs de neodímio e um cronômetro

Low-cost Physics Experiment for High School: Determination of electrical resistivity of non-ferromagnetic metals tubes by using neodymium magnets and a stopwatch

Experimento de Física de bajo costo para la escuela secundaria: Estimación de la resistividad eléctrica de tubos metálicos no ferromagnéticos utilizando imanes de neodimio y un cronómetro

Recebido: 21/12/2020 | Revisado: 23/12/2020 | Aceito: 28/12/2020 | Publicado: 29/12/2020

Charles da Rocha Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4034-8813>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: charles.rocha@ifpa.edu.br

João Bosco Soares Pampolha Jr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6620-1847>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

E-mail: joao.pampolha@ifpa.edu.br

João Paulo da Silva Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0181-1473>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: joao.alves@ifpa.edu.br

Renato Germano

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7052-2152>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: rgermano@ufpa.br

Waldomiro Paschoal Jr.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2348-1244>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: wpaschoaljr@ufpa.br

Resumo

O desenvolvimento científico e tecnológico da sociedade exige técnicas de medidas de grandezas físicas cada vez mais precisas, tornando assim os processos experimentais na Física bastante importantes. Neste sentido, a determinação de padrões de medidas internacionais torna os resultados de um experimento particular, facilmente reproduzível. No entanto, devido à impossibilidade da realização de determinados experimentos, faz-se necessário obter estimativas das grandezas envolvidas, a fim de saber se cálculos mais precisos ou aparatos mais sofisticados serão necessários. Na unidade curricular de Eletromagnetismo – materiais e equipamentos, por exemplo, podemos citar a resistividade elétrica dos metais, grandeza importante em vários ramos da *óptica*. Diante disso, neste trabalho, propomos um método experimental simples e baixo custo para se estimar a razão das resistividades elétricas de dois metais (cobre a alumínio) utilizando ímãs de neodímio e um cronômetro. Esta atividade experimental pode ser facilmente realizada em qualquer laboratório de Física tanto no nível de Ensino Médio quanto à nível de graduação nos cursos de ciências exatas.

Palavras-chave: Ensino médio; Experimento de física; Baixo custo; Resistividade elétrica; Lei de Ohm; Lei de Lenz; Lei de Faraday.

Abstract

The scientific and technological development of society requires techniques for measuring physical quantities that are increasingly more precise, thus making experimental processes in Physics quite important. In this sense, the determination of international measurement standards makes the results of a particular experiment, easily reproducible. However, due to the impossibility of carrying out certain experiments, it is necessary to obtain estimates of the quantities involved, in order to know whether more precise calculations or more sophisticated apparatus will be necessary. In the course of Electromagnetism – materials and equipment, for example, we can mention the electrical resistivity of metals, an important quantity in several branches of optics. Therefore, in this work, we propose a simple and low cost experimental method to estimate the ratio of the electrical resistivities of two metals (copper to aluminum) using neodymium magnets and a stopwatch. This experimental activity can be easily performed in any Physics laboratory at both the High School level and the undergraduate level in the exact science courses.

Keywords: High school; Physics experiment; Low cost; Electrical resistivity; Ohm's Law; Lenz's Law; Faraday's Law.

Resumen

El desarrollo científico y tecnológico de la sociedad requiere técnicas de medición de cantidades físicas cada vez más precisas, lo que hace que los procesos experimentales en Física sean bastante importantes. En este sentido, la determinación de estándares de medición internacionales hace que los resultados de un experimento en particular, sean fácilmente reproducibles. Sin embargo, debido a la imposibilidad de realizar ciertos experimentos, es necesario obtener estimaciones de las cantidades involucradas, para saber si serán necesarios cálculos más precisos o aparatos más sofisticados. En el curso de Electromagnetismo - materiales y equipos, por ejemplo, podemos mencionar la resistividad eléctrica de los metales, una cantidad importante en varias ramas de la óptica. Por ello, en este trabajo, proponemos un método experimental simple y de bajo costo para estimar la relación de las resistividades eléctricas de dos metales (cobre a aluminio) utilizando imanes de neodimio y un cronómetro. Esta actividad experimental se puede realizar fácilmente en cualquier laboratorio de Física tanto a nivel de Bachillerato como a nivel de pregrado en los cursos de ciencias exactas.

Palabras clave: Bachillerato; Experimento de física; Bajo costo; Resistividad eléctrica; Ley de Ohm; Ley de Lenz; Ley de Faraday.

1. Introdução

Os históricos dos desenvolvimentos científico e tecnológico de várias sociedades nos mostram que o estabelecimento de padrões de medidas, bem como o aprimoramento das unidades de pesos e medidas foi, e continua sendo, de fundamental importância. No ramo científico, em especial, surgiram técnicas de medidas de grandezas físicas cada vez mais precisas o que impulsionou o desenvolvimento científico e por consequência impulsiona o desenvolvimento tecnológico, que por sua vez estimula o desenvolvimento científico e assim em diante, num ciclo infinito. A Física, por exemplo, trabalha com grandezas que podem de alguma maneira ser mensuradas. Pois, dentre as premissas do método científico empregado nas pesquisas experimentais em Física está o princípio da reprodutividade. Isto é, para que um experimento seja plenamente reprodutível é fundamental que se estabeleça sistemas de unidades padrão, como por exemplo o Sistema Internacional de Unidades (SI) proposto em 1960 (Inmetro, 2019). Uma medida experimental nada mais é do que razões entre os valores medidos e os valores determinados como unidades padrão. Desta forma, a determinação de padrões de medidas internacionais torna os resultados de um experimento particular, facilmente reprodutível por outros cientistas.

No entanto, existem casos em que devido à impossibilidade da realização de determinados experimentos, talvez por limitações financeiras, físicas etc., faz-se necessário, numa primeira abordagem, obter apenas valores estimados das grandezas envolvidas, a fim de saber se cálculos mais precisos ou aparatos mais sofisticados serão necessários. No ramo da eletrodinâmica, por exemplo, podemos citar a resistividade elétrica dos metais, grandeza importante em vários ramos como a óptica. Assim, neste trabalho, apresentaremos um método experimental simples para se estimar a razão das resistividades elétricas de dois metais (cobre e alumínio) utilizando somente um ímã e um cronômetro (Maclatchy, Backman & Bogan, 1993).

A proposta apresentada neste trabalho é principalmente direcionada para professores do Ensino Médio que muitas vezes não dispõem de laboratório de física para a realização de experimentos ou possui uma carga horária de trabalho excessiva. Impossibilitando a realização de experimentos de demonstração em sala de aula devido à falta de tempo etc. Assim, apresentamos um experimento de fácil realização e de baixo custo, o qual é bastante ilustrativo no quesito de obter estimativas de grandezas físicas. Tal proposta contempla algumas das habilidades exigidas na Base Nacional Comum Curricular, na área de Ciências da Natureza e Suas Tecnologias para o Ensino Médio, tal como: “Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica” (Brasil, 2019).

Vale, também, ressaltar que a vários estudos afirmam que a inserção de atividades investigativas no ensino de Física, principalmente no Ensino Básico, contribui para o aumento do interesse no aprendizado, bem com a melhora nos níveis de compreensão da disciplina (Carvalho, 2004; Carvalho, 2011; Fraiha, 2018; Oliveira, J R S, 2020; Silva, 2020).

2. Estimativa na Física

Em várias situações experimentais na Física não são possíveis obter valores precisos de algumas grandezas físicas, seja por limitação experimental ou porque não se justifica tal precisão. Nesses casos, geralmente trabalha-se com valores estimados, ou somente com as chamadas *ordens de grandeza típicas* (Nussenzveig, 2004a). Como exemplo clássico, citamos o cálculo estimado da potência do teste da bomba atômica de Trinity, realizada pelo Físico Enrico Fermi. No dia 16 de julho de 1945 foi realizado o primeiro teste de uma bomba atômica, durante este teste Fermi lançou pequenos pedaços de papel picado no momento da passagem

da onda de choque, a qual chegou até ele após 40 segundos da explosão o que possibilitou inferir sua velocidade. Ele verificou a distância percorrida pelos papéis e com esses dados estimou que a potência da bomba seria na ordem de 10 kT de T.N.T., que é metade do valor correto (Fermi, 1945).

Portanto, num contexto de Ensino de Física para o Ensino Médio, a habilidade de desenvolver cálculos estimados por parte dos alunos é de fundamental importância mesmo em outras profissões, tais como a estimativa da quantidade de cimento na construção de uma ponte por um engenheiro ou o número de latas de tintas para a pintura de uma sala para um arquiteto etc. Assim, concluímos que o aprendizado do cálculo de estimativas vai além de formar futuros cientistas ou engenheiro, mas para formar cidadãos conscientes do mundo em que vivem, que é um dos pilares do Ensino Médio.

2.1 Lei da indução

O eletromagnetismo foi desenvolvido ao longo dos séculos XVIII e XIX. Dentre os seus desenvolvedores, citamos a contribuição realizada pelo físico alemão George Simon Ohm (1789-1854) que, em 1827, mostrou a proporcionalidade entre a corrente i que atravessa um circuito, a tensão V e a resistência elétrica do circuito R , obtendo a chamada primeira lei de Ohm:

$$i = \frac{V}{R}. \quad (1)$$

Outra importante contribuição ocorreu em 1831 por Michael Faraday (1791-1867), físico inglês, que apresentou seus resultados à *Royal Society* em 24 de novembro de 1831, e pelo físico americano Joseph Henry, este publicou seu trabalho em 1832 (Nussenzveig, 2004b; Halliday, Resnick & Walker, 2002; Hewitt, 2020). Ambos mostraram que a variação do fluxo magnético ϕ ao redor de uma espira metálica gera uma corrente induzida nesta. Esta lei pode ser escrita da seguinte forma

$$i_{ind} = \frac{-1}{R} \frac{\Delta\phi}{\Delta t}, \quad (2)$$

em que R é a resistência elétrica da espira, $\Delta\phi / \Delta t$ é a taxa de variação temporal do fluxo magnético, que depende da área da espira, da intensidade do campo magnético bem como da

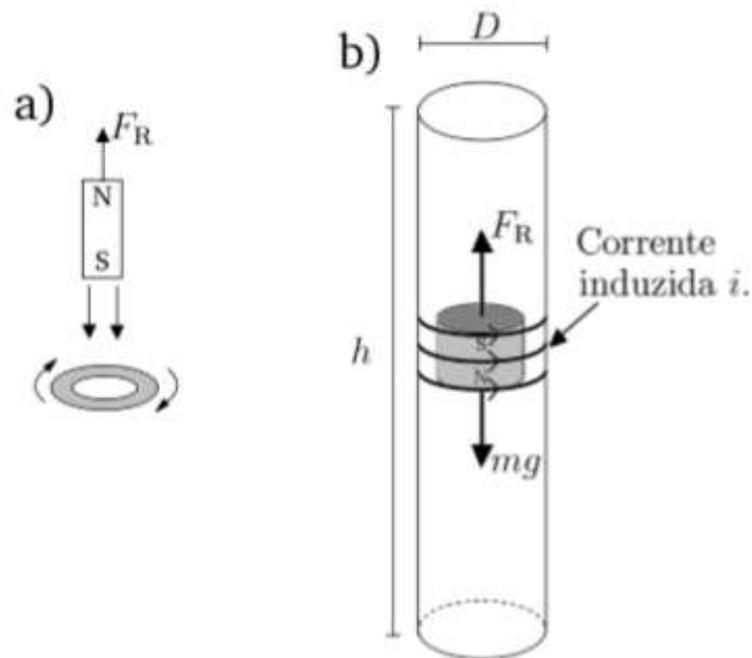
orientação desta em relação àquela. O sinal negativo, foi uma contribuição do físico Heinrich F. Lenz que, em 1834, enunciou a lei que informa o sentido da corrente induzida numa espira, a lei diz que: *a corrente induzida é aquela que tende a se opor a variação do fluxo através da espira*, desta forma se um ímã permanente é solto em queda livre sobre uma espira condutora, a corrente induzida criará um dipolo magnético que tenderá a ser repelido pelo ímã, produzindo uma força de resistência sobre o ímã análoga a uma força de atrito viscoso, Figura 1a.

2.2 Estimativa da resistividade

A lei da indução será o ponto de partida para estimarmos os valores das resistividades elétricas relativa entre dois materiais não-ferromagnéticos, mais especificamente entre o Cobre e o Alumínio. Porém, como estamos preocupados que professores do Ensino Médio reproduzam nossos resultados em suas salas de aula, apresentaremos um modelo mínimo a fim de encontrarmos apenas valores aproximados, ou seja, não nos preocuparemos com cálculos de erros de medidas experimentais nem com tratamentos analíticos mais sofisticados. Para tal fim, indicamos o trabalho intitulado “A frenagem eletromagnética de um ímã que cai” (Silveira, Levin & Rizzato, 2007), no qual é apresentado um tratamento matemático mais sofisticado para este problema, o que foge ao objetivo deste trabalho.

Agora, vamos supor que temos um ímã permanente em queda livre dentro de um tubo condutor não ferromagnético, como indicado na Figura 1b.

Figura 1: (a) Representação da força viscosa devida à lei de Faraday/Lenz, para um ímã em queda livre através de uma espira condutora. (b) Representação de um ímã permanente em queda livre dentro de um tubo condutor não ferromagnético.



Fonte: Autores.

Em que estão representadas as forças de resistência F , a força peso mg e a corrente induzida i . Vamos supor que a corrente induzida é a mesma potência referente à queda livre do ímã através da altura do tubo h , num campo gravitacional g , isto é, não estamos levando em consideração a resistência do ar ou outros tipos de dissipações. Assim, a potência dissipada pela corrente induzida é dada por:

$$P_{dis} = R i_{ind}^2, \quad (3)$$

em que R é a resistência elétrica devido à passagem da corrente pelo metal (tubo). Da lei da indução sabemos que

$$i_{ind} = -\frac{1}{R} \frac{\Delta\phi}{\Delta t}, \quad (4)$$

em que Δt representa a variação durante a queda do ímã no tubo. A resistência elétrica será dada pela segunda lei de Ohm

$$R = \frac{\rho L}{A}, \quad (5)$$

em que L é o comprimento percorrido pela corrente (neste caso é a circunferência do tubo), A é a área de secção transversal, que é a espessura do tubo e ρ é a resistividade do material. Por outro lado, a potência referente à queda livre do ímã num campo gravitacional g , será

$$P_g = \frac{mgh}{\Delta t}, \quad (6)$$

em que Δt é o intervalo de tempo de queda do ímã dentro do tubo. Usando o fato de

$$P_{dis} = P_g, \quad (7)$$

podemos encontrar a resistividade elétrica do metal em função dos parâmetros experimentais tais como as dimensões do tubo, massa do ímã e tempo de queda,

$$\rho = \frac{A}{L} \frac{\Delta t}{mgh} \left(\frac{\Delta \phi}{\Delta t} \right)^2. \quad (8)$$

Esta última expressão será utilizada para estimarmos a resistividade elétrica relativa entre dois materiais (Cu e Al, por exemplo). Para isso, vamos supor que os tubos possuem os mesmos diâmetros, a mesma espessura e o mesmo comprimento. Utilizaremos o mesmo ímã (mesma massa), e conseqüentemente teremos a mesma variação de fluxo magnético no tempo, portanto

$$\frac{\rho^{Al}}{\rho^{Cu}} = \frac{\Delta t^{Cu}}{\Delta t^{Al}}. \quad (9)$$

Esta última mostra a relação entre as resistividades elétricas e os tempos de queda do ímã nos tubos de cobre e de alumínio (com as mesmas dimensões). Notamos que esta razão é inversamente proporcional aos tempos de quedas do ímã dentro dos tubos. Assim, para materiais que possuem maior resistividade teremos um tempo de queda menor e *vice-versa*.

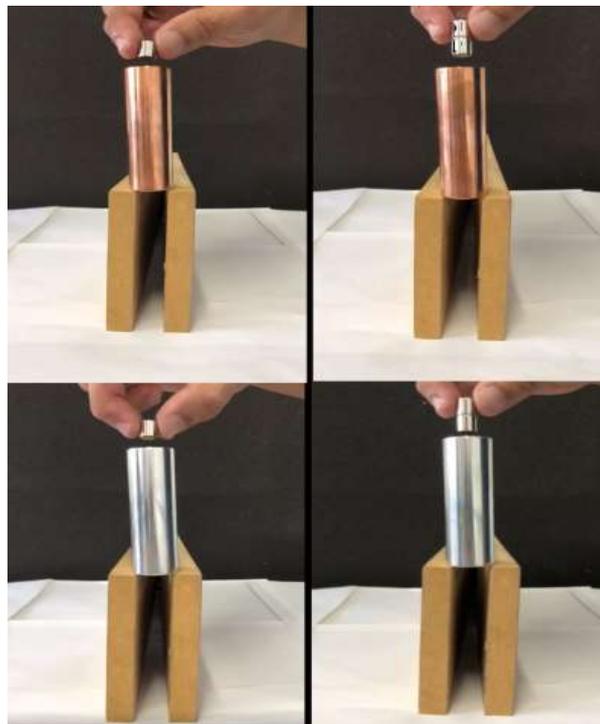
3. Metodologia

Este trabalho apresenta o método experimental (Pereira et al., 2018), foi realizado no laboratório de ensino-extensão de Física, do Instituto Federal do Pará (IFPA), Campus Belém. Assim, a pesquisa focou na validação dos conteúdos de eletromagnetismo do Ensino Médio, na exatidão das medidas e na interpretação e discussão dos resultados. O compreensível aparato experimental é mostrado a seguir.

3.1. Aparato experimental

A Figura 2 mostra o aparato experimental utilizado neste trabalho, que consiste de dois tubos de metal não-ferromagnéticos, um de cobre e outro de alumínio, sobre duas placas não metálicas para evitar a interferência nas medidas e também a fim de suspender os tubos para medir o tempo de queda do(s) ímã(s) de neodímio por dentro dos respectivos tubos, neste experimento foi utilizado placas de madeira.

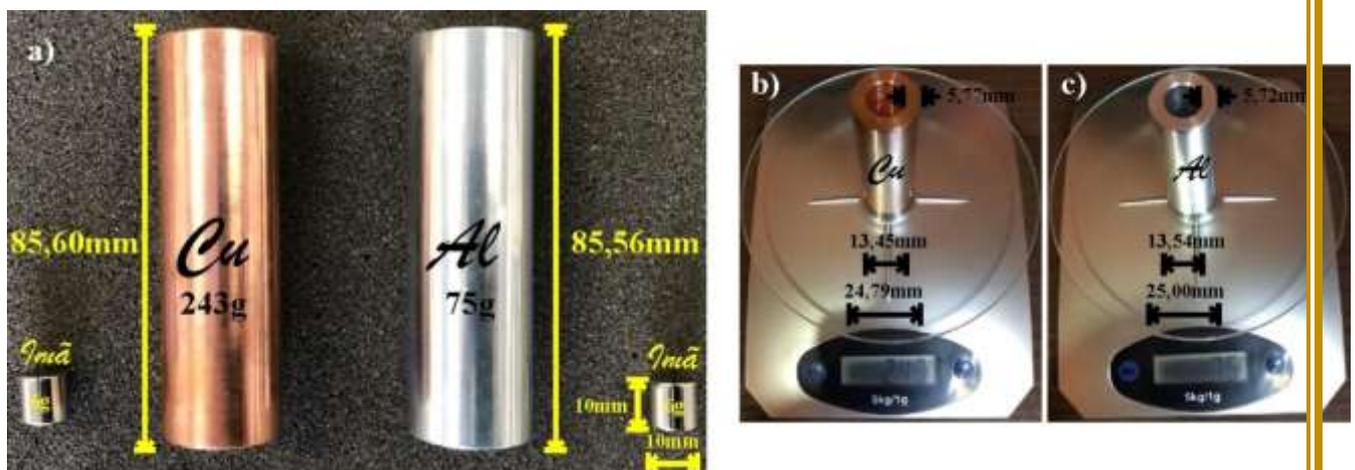
Figura 2: Imagens do aparato experimental, a ilustrar a queda de um e dois ímãs de neodímio pelos tubos de Cu e de Al, para o cálculo estimado entre as resistividades elétricas destes metais a partir das medidas do tempo de queda.



Fonte: Autores.

Com o propósito da compreensível reprodutibilidade deste experimento de Física para o ensino Médio, a Figura 3 apresenta os valores das dimensões e das massas dos tubos de Cu e de Al, que possuem aproximadamente as mesmas dimensões, ambos com 99% de pureza e massas de 243 g e 75 g, respectivamente; e de dois ímãs de neodímio na forma cilíndrica, com massa de aproximadamente 6 g. O conjunto formado pelos ímãs e pelos tubos custou a quantia de R\$ 70,00 (um tubo de cobre, um de alumínio e dois ímãs de neodímio). Para exatidão das medidas de dimensões, massas e de tempo, foram utilizados, respectivamente, um paquímetro, uma balança e um cronômetro, todos estes equipamentos são digitais. Todavia, como demonstrado na equação (9), a única medida relevante para este experimento é o tempo de queda dos ímãs por dentro dos tubos de metais não-ferromagnéticos, assim, é necessário a repetição de várias medidas de tempo por diferentes operadores, a fim de obter a razão das resistividades elétricas dos metais não-ferromagnéticos, neste experimento entre Cu e Al.

Figura 3: Foto dos materiais utilizados no experimento de Física para o Ensino Médio. Tubos de Cu e de Al e de dois ímãs de neodímio com os respectivos valores das dimensões e das massas.



Fonte: Autores.

4. Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra os tempos médios de queda dentro de um e dois ímãs de neodímio por dentro dos tubos de metais não-ferromagnéticos, Cu e Al. Estas medidas foram repetidas por 20 vezes por 4 operadores diferentes.

Tabela 1: Tempos médios de queda do ímã dentro dos tubos.

Quantidade de ímãs	Cobre	Alumínio
Para um ímã	2,12 s	1,26 s
Para dois ímãs	1,87 s	1,13 s

Fonte: Autores.

A partir da equação (9) e das medidas experimentais da Tabela 1 é obtido a razão das resistividades elétricas dos metais não-ferromagnéticos Cu e Al, que é mostrado na Tabela 2, para um e para dois ímãs de neodímio.

Tabela 2: A razão das resistividades elétricas do Cu e do Al, para um e para dois ímãs de neodímio dentro deste tubos metálicos.

Número de ímãs	Razão entre as resistividades(ρ_{Al}/ρ_{Cu})
Para um ímã	1,68
Para dois ímãs	1,65

Fonte: Autores.

De acordo com Serway & Jewett (2009), a razão entre as resistividades do Cu e do Al, a 20° C no SI, é:

$$\frac{\rho^{Al}}{\rho^{Cu}} \approx \frac{2,82 \times 10^{-8} \Omega m}{1,70 \times 10^{-8} \Omega m} \approx 1,66. \quad (10)$$

O erro percentual relativo para os resultados encontrados foram relativamente baixo (abaixo de 3%). Tais resultados são aceitáveis considerando que estamos calculando apenas valores aproximados e que o experimento possui várias limitações, como exemplo as medidas não levaram em conta o tempo de reação durante o acionamento do cronômetro. Segundo os resultados experimentais de Fodor & Perppard (2012) e com a utilização da equação (9) obtém-se $\rho_{Al}/\rho_{Cu} = 1,74$, cujo erro é de aproximadamente 2,9%. O que corrobora com os resultados apresentados nesse trabalho. Vale ressaltar que os experimentos foram realizados com um ímã e com dois ímãs no intuito de verificar que os resultados são independentes da massa, como mostra a equação (9).

5. Considerações Finais

Neste trabalho foi apresentado uma maneira fácil e de baixo custo de estimar os valores das resistividades elétricas de metais não-ferromagnéticos (no caso cobre e alumínio), utilizando um ímã e um cronômetro. Essa atividade é uma excelente demonstração prática, para alunos do Ensino Médio, pois utiliza-se somente de medidas do tempo de queda do ímã, o que a torna bastante viável tanto para os estudantes realizarem sozinhos como para a demonstração em sala de aula na presença do professor. Estimulando assim, o chamado *ensino por investigação*.

Como trabalho futuro pode-se realizar a ampliação desta atividade com a inclusão de “correções” na equação (9), pode-se por exemplo considerar a variação da espessura do tubo (caso haja), o tempo de reação ao soltar o ímã e na tomada do tempo com o cronômetro etc. Outra maneira de melhorar os resultados experimentais seria automatizar a tomada dos tempos, com a utilização da *photogates* por exemplo.

Por fim, acreditamos que, em qualquer atividade experimental podem surgir situações inesperadas ou imprevistos, e que tais situações contribuem para o desenvolvimento cognitivo do aluno, tornando-o apto para entender e resolver problemas no mundo real (Parreira, 2020).

Agradecimentos

Todos autores agradecem o apoio do IFPA-Campus Belém e da UFPA. Os autores C. R. Silva, J. P. Alves e W. Paschoal Jr. agradecem MNPEF – Polo UFPA e a SBF. Também o autor W. Paschoal Jr. agradece ao PPGF, a CAPES e ao CNPQ.

Referências

Brasil (2019). *Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC.

Carvalho, A. M. P. de, Azevedo, M. C. P. S. de, Nascimento, V. B. do, Cappechi, M. C. de M., Vannucchi, A. I., Castro, R. S. de, Pietrocola, M., Vianna, D. M., & Araújo, R. S. (2004). *Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Thompson.

Carvalho, A. M. P. de, Ricardo, E. C., Sasseron, L. H., Abib, M. L. V. dos S., & Pietrocola, M. (2011). *Ensino de Física*. São Paulo: Cengage.

Fermi, E. (1946). Trinity Test, July 16, 1945. Eyewitness Report by Enrico Fermi, 1946. Recuperado de http://www.nuclearles.org/menu/key-issues/nuclear-weapons/history/precold-war/manhattan-project/trinity/eyewitness-enrico-fermi_1945-07-16.htm.

Fodor, P. S. & Peppard, T. (2012). *The Phys. Teacher* 50, 344-246.

Fraiha, S., Perez, S.; Tabosa, C. E. S., Silva, C R., Alves, J. P. S., Paschoal Jr., W. Atividades investigativas e o desenvolvimento de habilidades e competências: um relato de experiência no curso de Física da Universidade Federal do Pará. *Revista Brasileira de Ensino de Física* (2018).

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2002). *Fundamentos de Física*. Vol. 3. Rio de Janeiro: LTC.

Hewitt, P. G. (2002). *Física conceitual* (9a ed.). Porto Alegre: Bookman.

INMETRO (2012). *Sistema Internacional de Unidades: SI*. Recuperado de http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/si_versao_final.pdf

Maclatchy, C. S., Backman, P., & Bogan, L. (1993). *Am. J. Phys.* 61, 1096-1101.

Nussenzveig, H. M. (2004a). *Curso de Física Básica, Vol. 1*. São Paulo: Edgard Blücher.

Nussenzveig, H. M. (2004b). *Curso de Física Básica, Vol. 3*. São Paulo: Edgard Blücher.

Oliveira, J. R. S. (2010). *Acta Scientiae*, 12(1), 139-156.

Parreira, J. E., & Dickman, A. G. (2020). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e20190012.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. Santa Maria: UFSM.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. Jr. (2009). *Princípios de Física*, Vol 3. São Paulo: Cengage Learning.

Silva, D. L. F da, Perez, S., Fraiha, S. G. C. O estudo do campo gravitacional no Ensino Fundamental Anos Iniciais: uma proposta didática com abordagem investigativa. (2020). *Research, Society and Development*.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Charles da Rocha Silva – 17,5%

João Bosco Soares Pampolha Jr – 17,5%

João Paulo da Silva Alves – 17,5%

Renato Germano – 30%

Waldomiro Paschoal Jr. – 17,5%