



Força magnética num condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica: uma verificação experimental

Roberto Hessel¹, Makoto Yoshida¹ , Agnaldo A. Freschi² , Alexandre Mesquita^{1*}

¹Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP, Brasil.

²Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, Brasil.

Palavras-chave

força magnética
condutor retilíneo
circuito magnético
ímã de neodímio

Resumo

Utilizando uma balança digital e ímãs de neodímio, mostramos que a força magnética F_m que atua em um condutor retilíneo de comprimento l imerso em um campo magnético uniforme B e transportando uma corrente i é proporcional a B , a i e a l , portanto, proporcional ao produto Bil . Neste trabalho, ao contrário de outros que também utilizam balança digital e ímãs para o mesmo propósito, montamos os ímãs de neodímio de modo a formar um circuito magnético, o que nos permitiu aproveitar mais eficientemente o campo magnético. Com isso, pudemos economizar na mão de obra, no custo da montagem e também reduzir a faixa de corrente e o tamanho dos ímãs necessários para realizar os experimentos, tornando mais viável tanto a construção quanto a utilização do equipamento em sala de aula.

1. Introdução

Sob o ponto de vista didático, o eletromagnetismo, segundo Gaspar [1,2], costuma ser abordado a partir de três fenômenos básicos: I) ação de um campo magnético sobre uma corrente elétrica, II) geração de um campo magnético a partir de uma corrente elétrica e III) geração de uma corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável. Experimentos relacionados com a balança de corrente (item I) [1,2], ou inspirados nos trabalhos de Oersted (1777-1851), que constatou, em 1820, a ação de uma corrente elétrica sobre

a agulha de uma bússola [3,4], ou ainda inspirados, por exemplo, nos trabalhos de Faraday (1791-1867) [5] sobre correntes induzidas a partir de um campo magnético variável, permitem observar claramente a conexão entre eletricidade e magnetismo e contribuem para estabelecer os fundamentos teóricos do eletromagnetismo. Daí a relevância de nosso ponto

de vista e de outros autores, tanto da experimentação como das demonstrações em sala de aula versando sobre esses três fenômenos básicos [6,7]. Isso porque o ensino do eletromagnetismo ainda é muito restrito à sala de aula teórica, ge-

Os experimentos como os realizados por Oersted e Faraday, por exemplo, permitem observar claramente a conexão entre eletricidade e magnetismo

Autor de correspondência. E-mail: alexandre.mesquita@unesp.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2025, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

ralmente com abordagens puramente expositivas [6,7].

O objetivo deste trabalho é mostrar que, graças aos materiais disponíveis atualmente, é possível construir, com relativa facilidade, um equipamento de baixo custo para demonstrações em sala de aula que possibilite estudar quantitativamente a ação de um campo magnético (força magnética) sobre uma corrente elétrica, um dos fenômenos básicos do eletromagnetismo.

2. Força magnética num condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica e imerso num campo magnético uniforme

A força magnética F_m que atua em um condutor retilíneo de comprimento l percorrido por uma corrente i e imerso em um campo magnético uniforme $\mathbf{B}$ é dada por $Bil\sin\theta$, onde θ é o ângulo entre o campo $\mathbf{B}$ e o fio. A força $\mathbf{F}_m$ é perpendicular ao plano definido pelo vetor campo magnético $\mathbf{B}$ e o fio. Às vezes, essa lei é designada como lei de Laplace [8] ou 2.ª lei de Laplace [9].

Que F_m seja proporcional a i e também a l , é relativamente intuitivo. É o que afirma o PSSC (Physical Science Study Committee) [10], cuja argumentação transcrevemos a seguir: “dois fios condutores colocados lado a lado e percorridos por correntes iguais em um campo magnético experimentam, em conjunto, uma força duas vezes mais intensa do que a que atua sobre um único fio; mas os condutores combinados conduzem o dobro da corrente transportada por um deles apenas. Portanto, quando duplicamos a corrente, a força duplica. Isso significa que a força F é proporcional à corrente I . Por outro lado, dois condutores curtos e retilíneos de mesmo comprimento, ligados um ao outro pelos extremos, de modo a formar um fio mais comprido, experimentam, em conjunto, o dobro da força que um só experimentaria. Portanto, duplicando o comprimento do fio, a força duplica. Isto é: a força F é proporcional ao comprimento do condutor”. Mas essa relação também pode ser derivada diretamente a partir da força de Lorentz ($\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$) para o caso de um condutor imerso somente em um campo magnético. Essa é uma opção interessante, escolhida, por exemplo, por Luz e Álvares [11] e também por Sears e Zemansky [12].

A medida da força magnética que atua em um condutor de comprimento l , transportando uma corrente i e imerso em um campo magnético de intensidade B é usualmente feita por meio de balanças de corrente [6,13,14] (as Refs. [13] e [14] descrevem modelos mais antigos, enquanto a Ref. [6] faz uma revisão de publicações mais recentes que versam sobre o tema). Essas balanças, no entanto, são em geral instrumentos delicados, que exigem um manuseio cuidadoso e às vezes são difíceis de operar. Mas a tarefa de medir essa força magnética pode ser facilitada se usarmos uma balança

digital e ímãs de neodímio facilmente encontrados no comércio [6,15]. Na Ref. [6], os ímãs são montados em um suporte de plástico, enquanto na Ref. [15] são montados em um suporte de madeira. Nós, por outro lado, optamos por colocar os ímãs nas extremidades superiores de uma armação feita com uma tira de metal obtida a partir de uma chapa galvanizada utilizada na confecção de calhas, dobrada na forma de um “U”, como sugere o professor Alberto Gaspar no seu trabalho intitulado “Conjunto experimental para a demonstração da interação entre campo magnético e corrente elétrica”, disponível tanto na Rev. Ens. Fis. [1] como em uma publicação do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) [2]. Essa armação, por ser feita de um metal ferromagnético, oferece um caminho para as

linhas de campo magnético, reduzindo sua dispersão e formando o que se entende por um circuito magnético. Pela mesma razão, os ímãs aderem automaticamente, por imantação, às extremidades da armação.

Uma das vantagens de se oferecer um caminho para as linhas de campo como o descrito (ou seja, confinando as linhas para reduzir sua dispersão) é que, mesmo escolhendo ímãs e correntes menores para realizar os experimentos, podemos alcançar resultados similares àqueles obtidos com montagens que não utilizam tal recurso. Outra vantagem da armação descrita é que ela pode ser construída com pouca mão de obra e a um baixo custo.

3. Circuito magnético

As linhas de campo magnético são sempre linhas fechadas. Quando o fluxo dessas linhas está confinado em um caminho bem definido, dizemos que temos um circuito magnético, como mostram, por exemplo, as Figs. 1(a) e 1(b). Em geral, o caminho que canaliza o fluxo é formado por metais ferromagnéticos. Isso porque metais ferromagnéticos oferecem baixa “resistência” ao fluxo, ou seja, para o fluxo do campo magnético, o metal ferromagnético comporta-se da mesma maneira que um bom condutor para a corrente elétrica. A “qualidade” do material ferromagnético é definida pela sua permeabilidade μ , que nos informa o quanto o material é mais ou menos “permeável” ao fluxo, enquanto a “qualidade” de um material condutor elétrico é definida por sua condutividade σ . Em outras palavras: para o fluxo do campo magnético, a permeabilidade representa o mesmo que a condutividade para a corrente elétrica.

A analogia entre grandezas como μ e σ pode ser entendida. Por exemplo: devido a uma certa semelhança entre um circuito magnético e um circuito elétrico, costuma-se definir para o circuito magnético as grandezas relutância $\mathcal{R}$, fluxo Φ das linhas de campo do vetor $\mathbf{B}$ e força magnetomotriz $\mathcal{F}$ como equivalentes, respectiva-

Enquanto a corrente elétrica percorre os condutores em um circuito elétrico, em um circuito magnético o fluxo do campo magnético é guiado pelo metal ferromagnético

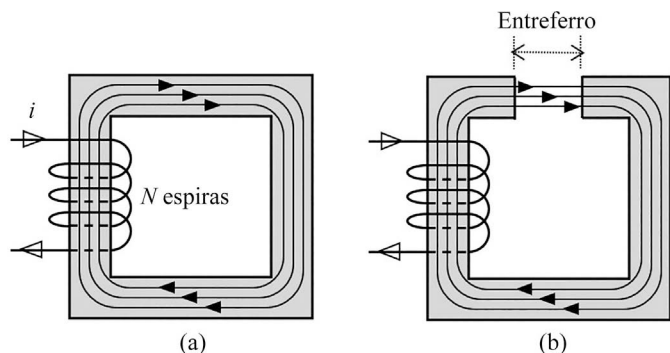


Figura 1 - Circuitos magnéticos com espiras sendo percorridas por corrente elétrica i (a) sem entreferro e (b) com entreferro.

mente, às grandezas resistência elétrica R , corrente elétrica i e força eletromotriz ε utilizadas quando se trabalha com circuitos elétricos. É possível mostrar [9,16,17] que, ao serem combinadas, essas grandezas conduzem à lei de Hopkinson (lei de Ohm para o magnetismo [18]):

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathfrak{R}}, \quad (1)$$

que nos traz à memória a lei $i = \varepsilon/R$, válida para um circuito simples formado por apenas um resistor de resistência R e uma fonte de força eletromotriz ε . É possível também mostrar [9,16-18] que a relutância é uma grandeza inversamente proporcional à permeabilidade ($\mathfrak{R} \propto 1/\mu$). Isso significa dizer que, quanto maior for a permeabilidade do material que constitui uma certa seção de um circuito magnético, menor é a relutância dessa seção.

O fator que governa o fluxo em um circuito magnético é a força magnetomotriz ($\mathcal{F}$) definida pelo produto Ni , onde N é o número de espiras que envolvem uma seção dos circuitos magnéticos representados pelas Figs. 1(a) e 1(b), e i é a corrente que circula por essas espiras.

No circuito da Fig. 2, a força magnetomotriz é fornecida pelo par de ímãs indicados na figura.

A maneira como a força magnetomotriz é distribuída entre as diversas seções de um circuito magnético depende da relutância de cada seção; a seção com maior relutância recebe a fração maior da força magnetomotriz, da mesma forma que a fração maior da força eletromotriz que alimenta um circuito em série com vários resistores é destinada ao resistor com maior resistência. No caso da montagem representada pela Fig. 2, que é a que nos interessa, a força magnetomotriz concentra-se praticamente no entreferro, pois a relutância da armadura, feita de material ferromagnético, é muito menor que a relutância do ar no entreferro, uma vez que a permeabilidade do material ferromagnético é centenas ou até mesmo milhares de vezes maior que a permeabilidade do ar no entreferro

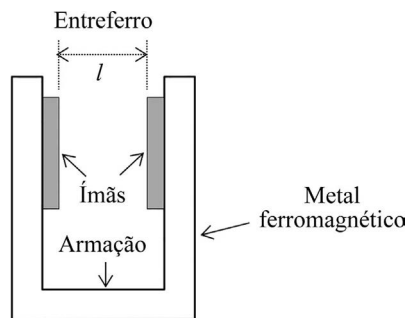


Figura 2 - Armação em forma de um “U” com ímãs fixados por imantação em suas extremidades.

[17,19] (lembramos que $\mathfrak{R} \propto 1/\mu$, como vimos acima). A montagem representada pela Fig. 2 é análoga àquela de um capacitor conectado a uma fonte de força eletromotriz ε [18], como é ilustrado na Fig. 3.

Se a distância que separa as placas do capacitor é l , o campo elétrico E no interior do capacitor é dado pela relação

$$E = \frac{\varepsilon}{l}. \quad (2)$$

Para o campo magnético B_e no entreferro da Fig. 2, vale uma relação equivalente à Eq. (2):

$$B_e = \mu_0 \frac{Ni}{l} = \mu_0 \frac{\mathcal{F}}{l}, \quad (3)$$

onde μ_0 é a permeabilidade do ar no entreferro e l a largura do entreferro (ver Ref. [16], p. 383 ou Ref. [17], p. 426).

Como antecipamos no item anterior, isso nos mostra que, dispondo os ímãs em uma armação como a representada pela Fig. 2, o campo magnético fornecido pelo par de ímãs é mais bem aproveitado, uma vez que, ignorando-se perdas por dispersão das linhas do campo magnético, a força magnetomotriz concentra-se no entreferro. Além disso, a Eq. (3) sugere que para variar B_e basta variar a separação entre os ímãs. Se quisermos dobrar o campo B_e , por exemplo, basta reduzir l à metade. Como veremos no próximo item, essa infor-

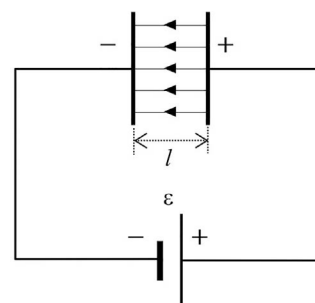


Figura 3 - Capacitor de placas paralelas separadas por distância l e conectado a uma fonte de força eletromotriz ε .

mação mostrou-se bastante útil para uma das demonstrações que vamos descrever.

4. Montagem experimental

A Fig. 4(a) mostra, esquematicamente, a armação que construímos para servir de suporte para os ímãs retangulares de neodímio de 30 mm de comprimento, 10 mm de largura e 3 mm de espessura, utilizados nas experiências que descreveremos mais adiante. (Esses ímãs têm polos localizados em suas faces.) Para isso, dobramos uma tira de metal (obtida a partir de uma chapa galvanizada utilizada na confecção de calhas) de 0,5 mm de espessura, de modo a formar um “U” com as dimensões indicadas na figura.

A armação com os ímãs foi então encaixada em um sarrafo de madeira com a mesma largura (12 mm) da abertura da armação, como mostra a Fig. 4(b). (Os ímãs aderem automaticamente, por imantação, na tira metálica e devem ser posicionados de modo que um atraia o outro.) Procedendo dessa forma, garantimos

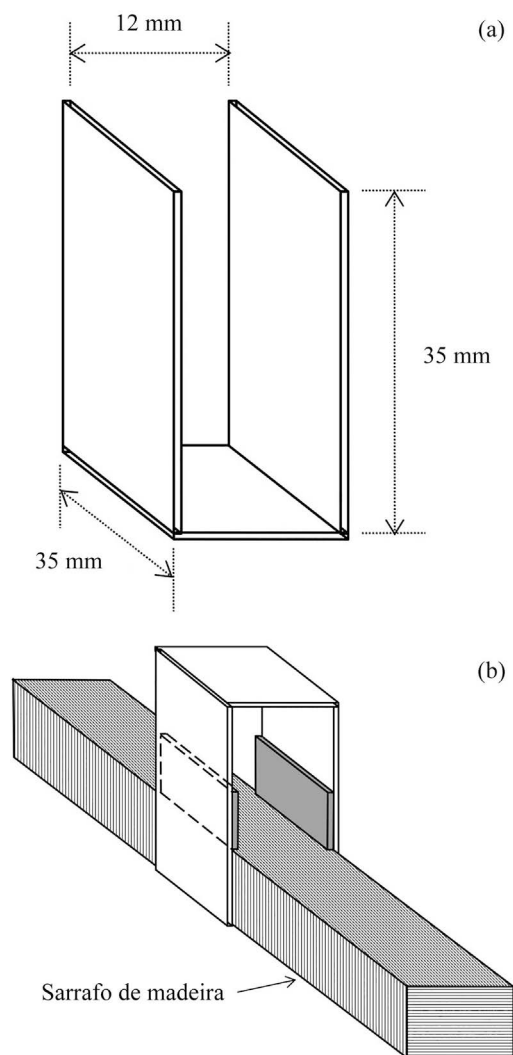


Figura 4 - (a) Armação de suporte para os ímãs e (b) armação com os ímãs encaixada em um sarrafo de madeira.

que os ímãs permaneçam em planos paralelos e facilitamos a colocação do conjunto sobre o prato da balança. Além disso, podemos encaixar mais uma armação (ou duas) no mesmo sarrafo e alinhada com a primeira. Para a experiência n. 3, as dimensões da armação e do sarrafo foram alteradas para que pudéssemos variar o campo magnético como sugerido pela Eq. (3). Por exemplo, para reduzir o campo à metade, dobramos a largura original do entreferro (6 mm), isto é, passamos a largura de 6 mm para 12 mm.

A Fig. 5 representa uma vista do corte lateral da montagem utilizada para estudar a força magnética a que fica submetida uma vareta metálica (com cerca de 3 mm de diâmetro) não magnetizável e conduzindo corrente, quando for imersa no campo magnético do entreferro da Fig. 4(b). As peças A e B indicadas na figura sustentam a vareta; elas são móveis, mas só podem deslocar-se na direção vertical, pois são ladeadas por sarrafos, como se vê em uma das fotos. A função dessas peças é permitir o ajuste da posição da vareta no entreferro, de modo que fique paralela ao prato da balança. Uma vez feito o ajuste, essas peças podem ser mantidas em posição por meio das porcas borboletas P_1 e P_2 mostradas na Fig. 5.

Para energizar a vareta, escolhemos uma fonte que dispõe tanto do modo tensão (0 a 30 V) como do modo corrente (0 a 3 A), protegida contra curtos. (Utilizamos o modo corrente.) A corrente foi medida por meio de multímetro digital em série com a fonte.

Para medir a força magnética, utilizamos uma balança digital com resolução de 0,01 g, que pode indicar valores positivos ou negativos de massa; se o prato for pressionado, os valores serão positivos, e negativos se a pressão sobre o prato for reduzida.

5. Medidas

5.1. Observações preliminares

Inicialmente, a balança deve ser cuidadosamente nivelada. Depois de se remover a vareta metálica do seu suporte (Fig. 5), o sarrafo de madeira (Fig. 4(b)) é apoiado sobre o prato da balança. Em seguida, a vareta é reintroduzida nas peças A e B (Fig. 5), de modo a passar pela região central do entreferro da armação de suporte dos ímãs encaixada no sarrafo (ver foto na Fig. 5). Para as experiências que serão descritas mais adiante, é importante certificar-se de que a vareta, depois de ajustada, esteja paralela ao prato da balança e perpendicular ao campo B_e no interior do entreferro, para que tenhamos um ângulo de 90° entre a vareta e a direção do campo.

Ao ser energizada, a reação à força magnética F_m que atua na fração da vareta imersa no campo magnético se manifesta no sarrafo. Essa força de reação ($-F_m$), dependendo do sentido da corrente na vareta, pode contribuir para aumentar ou diminuir a força

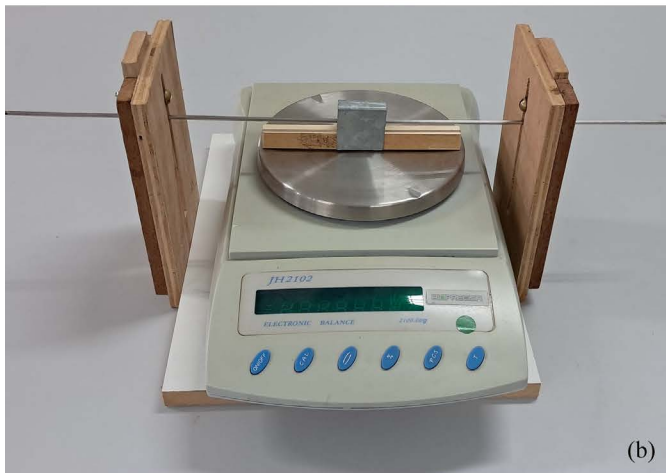
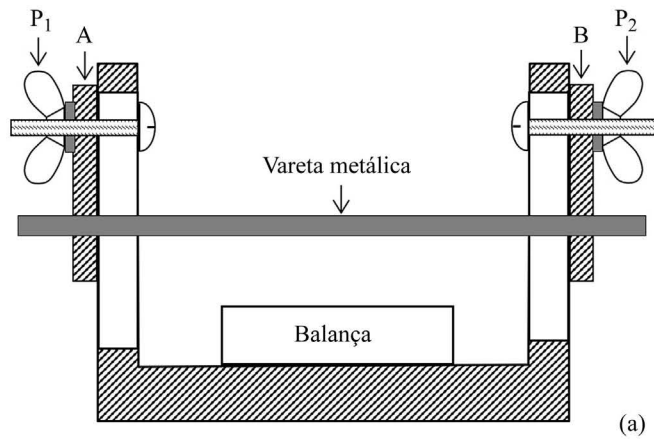


Figura 5 - Vista do corte lateral da montagem utilizada para estudar a força magnética e fotos da montagem.

exercida pelo sarrafo na balança. No primeiro caso, a balança mostrará valores positivos de massa e, no segundo, valores negativos. Por exemplo: utilizando uma das armações de suporte dos ímãs com entreferro de 6 mm (Fig. 2), a balança mostrou, para uma corrente de 400 mA percorrendo a vareta, ora num sentido, ora no outro, uma massa “positiva” ou “negativa” de 0,42 g

(resultado obtido depois de tarar a balança, ou seja, depois de zerá-la pressionando o botão tara, o que significa subtrair o peso da tara que, no caso, é o peso do sarrafo e da armação). A rigor, o que podemos concluir a partir dessa medida é que F_m tem uma componente perpendicular ao prato da balança, que é proporcional a essa massa. Se essa força tiver, contrariando a teoria, uma componente na direção da vareta e outra na direção do campo B_e , elas não serão detectadas pela balança. Mas há testes possíveis que evidenciam o fato de que F_m é perpendicular ao plano definido pela vareta e pelo campo B_e , como previsto teoricamente. Um dos testes consiste em deitar o sarrafo sobre o prato da balança para que o campo B_e fique perpendicular ao prato. Energizando-se a vareta, verifica-se que a balança não acusa qualquer valor, mesmo para correntes de maior intensidade. Esse fato reforça a ideia de que F_m não tem componente na direção do campo B_e , mas não exclui a possibilidade de que tenha uma componente na direção da vareta. Para checar essa possibilidade, construímos um pêndulo, como mostra a Fig. 6.

Com o sarrafo ainda deitado sobre o prato da balança, substituímos a vareta metálica original, que passava pelo entreferro da armação de suporte dos ímãs, pela vareta de alumínio do pêndulo. À medida que se aumenta a corrente que passa pela vareta de alumínio, introduzida no interior do entreferro, verifica-se que o pêndulo se move apenas na direção perpendicular ao sarrafo, ou seja, sem qualquer oscilação lateral (ver Fig. 23.20 na Ref. [11]). Isso reforça a ideia de que F_m também não tem componente na direção da vareta. Esses dois testes evidenciam o fato de que a força magnética que atua em um condutor retilíneo, percorrido por uma corrente elétrica e imerso em um campo magnético uniforme é perpendicular ao plano definido pelo vetor campo magnético e pelo fio, como previsto.

5.2. Experiência 1: força magnética em função da corrente

A armação de suporte dos ímãs, encaixada no sarrafo da Fig. 4(b) e utilizada nesta experiência, tem um entreferro de 6 mm. Como no item anterior, a vareta metálica que atravessa o entreferro deve permanecer paralela ao prato da balança e perpendicular ao campo B_e no entreferro, para que tenhamos um ângulo de 90° entre a vareta e a direção do campo. O objetivo deste experimento é estudar a força F_m em função da corrente transportada pela vareta, quando se mantêm constantes o campo magnético, o comprimento da fração da vareta imersa no campo e o ângulo de 90° entre a vareta e a direção do campo. O primeiro passo, antes de coletar os dados, é zerar (tarar) a balança e, em seguida, escolher o sentido da corrente. Nós escolhemos o sentido da corrente de modo que a reação à força magnética que atua na vareta exerça uma pressão sobre o prato da balança, isto é, que a balança mostre

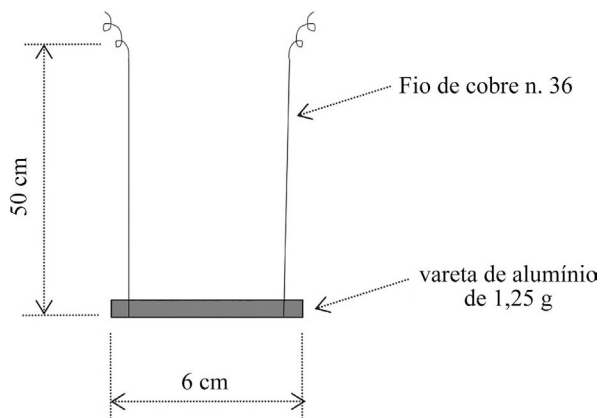


Figura 6 - Vareta metálica suspensa por dois fios condutores.

valores positivos de massa (a força magnética atuando na vareta é, portanto, vertical e aponta para cima). O gráfico da massa em função da corrente na Fig. 7 ilustra um resultado típico.

Vale mencionar que, embora a balança tenha exibido valores de massa em gramas, nenhuma “massa” foi depositada no prato da balança. Na realidade, a balança apenas respondeu à ação da força magnética sobre ela, que é proporcional à “massa” registrada. Como o gráfico mostra que a massa m é proporcional à corrente i , concluímos que a força magnética F_m também é proporcional a i , como previsto.

5.3. Experiência 2: força magnética em função do comprimento

Inicialmente, repetimos as medidas realizadas no item anterior com uma segunda armação (U2), também com entreferro de 6 mm. Em seguida, ela foi encaixada

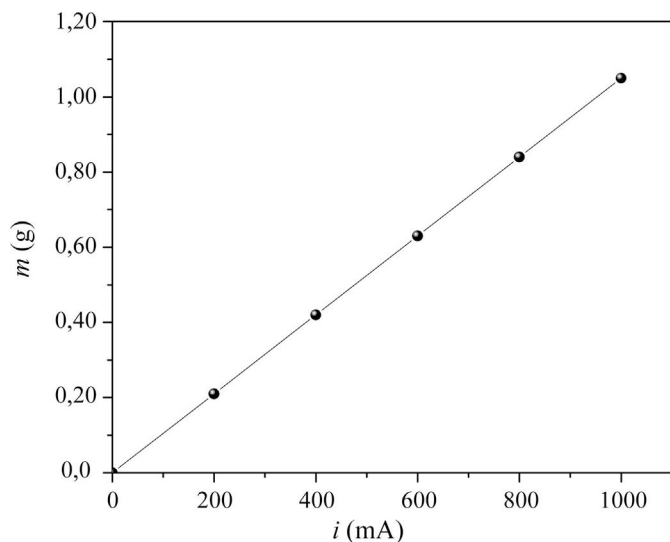


Figura 7 - Valores de massa (m) registrados pela balança digital em função da corrente elétrica (i) transportada por uma vareta metálica que atravessa o entreferro de uma armação apoiada sobre o prato da balança.

no sarrafo de madeira no qual já se encontrava a armação (U1) utilizada na Experiência 1. Com isso, a vareta metálica atravessa tanto o entreferro da armação U1 como o entreferro da armação U2, uma vez que ambas estão alinhadas. Com esse artifício, dobramos o comprimento da fração da vareta metálica imersa no campo magnético, como mostra a foto na Fig. 8.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos quando os experimentos foram realizados ora com a armação U1, ora com a armação U2, ou com U2 em série com U1. (Os dados constantes das duas primeiras colunas da Tabela 1 foram utilizados para construir o gráfico da Fig. 7.)

Lembrando que a força magnética F_m é proporcional à “massa” m registrada pela balança e inspecionando a Tabela, podemos concluir que ao dobrarmos o comprimento da fração da vareta imersa no campo magnético uniforme a força F_m também dobra. Isso significa que F_m é proporcional ao comprimento da fração da vareta percorrida por corrente elétrica e imersa em um campo magnético, como se esperava.

5.4. Experiência 3: força magnética em função do campo magnético

Para essa experiência, substituímos a armação U1, com entreferro de 6 mm, por outra (U3) com entreferro de 12 mm. Procedendo dessa maneira, o campo B_e na armação U3 reduz-se à metade, de acordo com a



Figura 8 - Foto da montagem relativa à experiência 2.

Tabela 1: Valores de massa registrados na balança digital para diferentes tipos de armação e valores de corrente elétrica.

i (mA)	m (g)		
	U1	U2	U1 + U2
200	0,21	0,21	0,42
400	0,42	0,42	0,84
600	0,63	0,63	1,26
800	0,84	0,83	1,68
1000	1,05	1,04	2,10

Tabela 2: Valores de massa registrados na balança digital para diferentes valores de corrente elétrica e valores de massa esperados.

i (mA)	m (g)	$m_{esperado}$ (g)
200	0,11	0,105
400	0,22	0,210
600	0,33	0,315
800	0,44	0,420
1000	0,55	0,525

Eq. (3). Assim, se repetirmos a Experiência 1 com a nova armação, espera-se que os resultados constantes da Tabela 1 para a armação U1 se reduzam à metade. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos com U3 e os valores esperados ($m_{esperado}$).

Os valores medidos diferem em cerca de 5% dos valores esperados. Diante dessa diferença e das limitações experimentais, podemos concluir que ao reduzirmos à metade o campo magnético B_e , a força magnética F_m também se reduz à metade. Isso significa que a força magnética que atua na fração da vareta percorrida por corrente elétrica e imersa em um campo magnético uniforme é proporcional ao campo, como se esperava.

Reunindo os resultados obtidos a partir das experiências 1, 2 e 3, concluímos que a força pesquisada neste trabalho é proporcional ao produto Bil ($F_m \propto Bil$), onde B é a intensidade do campo magnético, i a corrente transportada pela vareta metálica e l o comprimento da fração da vareta imersa no campo magnético.

Por fim, é importante destacar que a qualidade dos resultados experimentais depende basicamente das respostas às seguintes questões: a) a balança está cuidadosamente nivelada? e b) a vareta metálica que atravessa o entreferro está paralela ao prato da balança e perpendicular ao campo magnético no interior do entreferro, para que tenhamos um ângulo de 90° entre a vareta e a direção do campo? (Nota: o ângulo entre a vareta e o campo foi mantido constante em 90° , porque nossa proposta não é apropriada para pesquisar a dependência da força magnética em relação ao ângulo entre o vetor campo magnético e a direção da corrente.)

6. Conclusões

Descrevemos uma montagem para medir a força magnética que surge em um fio percorrido por corrente elétrica quando imerso em um campo magnético uniforme. Para isso, utilizamos uma balança digital e ímãs de neodímio retangulares de 30×10 mm (um conjunto de 10 desses ímãs custa em torno de

R\$ 90,00). Balança digital e ímãs de neodímio já foram utilizados por outros autores com a mesma finalidade, mas o que diferencia nosso trabalho de outros disponíveis na literatura é a forma como os ímãs foram montados. Em nossa montagem, os ímãs são posicionados nas laterais de uma armação em formato de “U”, feita com uma tira de metal ferromagnético. Com a armação construída dessa maneira, as linhas do campo magnético ficam praticamente confinadas na armação, reduzindo sua dispersão e tornando mais eficiente o aproveitamento do campo magnético. Isso ocorre porque em uma armação desse tipo a força magnetomotriz se concentra praticamente no entreferro da armação (espaço entre os ímãs), como mostramos na seção 3. Se esse recurso não fosse usado, tanto a corrente como o tamanho dos ímãs necessários para obter resultados similares aos apresentados neste trabalho precisariam ser aumentados cerca de duas a três vezes. Por outro lado, a opção por uma armação como a descrita nos permitiu reduzir a mão de obra e o custo da montagem, tornando mais viável tanto a construção como a utilização do equipamento em uma sala de aula.

Descrevemos também três experimentos que nos mostraram que a força magnética objeto deste trabalho é proporcional ao produto Bil , onde B é a intensidade do campo magnético, i a corrente transportada pela vareta metálica e l o comprimento da fração da vareta imersa no campo magnético. Vale mencionar que neste trabalho nos preocupamos apenas com relações de proporcionalidade, como faz o PSSC, Ref. [10], cuja argumentação transcrevemos na seção 2; não nos preocupamos, por exemplo, em medir o módulo do vetor campo magnético. Como introdução ao assunto, acreditamos que essa abordagem é não só suficiente como adequada para ser adotada em aulas de demonstração ou em laboratórios didáticos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro. Agradecemos também à professora Lygia Walmsley, do Departamento de Física da Unesp - Rio Claro, que nos incentivou a iniciar este trabalho, e aos professores René A.M. Alfaro e Luiz A. Barreiro pelas sugestões. Finalmente, agradecemos aos funcionários do Departamento pelo apoio técnico.

Recebido em: 12 de Setembro de 2024
Aceito em: 29 de Maio de 2025

Referências

- [1] A. Gaspar, *Revista de Ensino de Física* **13**, 93 (1990).
- [2] A. Gaspar, *Conjunto Experimental para a Demonstração da Interação Entre Campo Magnético e Corrente Elétrica* (Instituto de Física/Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989), publicação interna IF-806/1989. Disponível em <https://publica-sbi.if.usp.br/PDFs/pd806.pdf>.
- [3] J. Osada, *Evolução das Idéias da Física* (Edgard Blucher, São Paulo, 1972), p. 26-36.
- [4] L.O.Q. Peduzzi, *Do Âmbar e da Pedra de Héracles à Descoberta de Oersted* (Departamento de Física/Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018), p. 138-155.
- [5] R. Hessel, A.A. Freschi, F.J. Santos, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **37**, 1506 (2015).
- [6] E.G. Alves, R.B. Morais, L.K.M. Santos, *A Física na Escola* **21**, 230021 (2023).
- [7] D.L.M. Braga, R.C. Schwerz, *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista* **14**, 82 (2024).
- [8] G. Bruhat, *Cours de Physique Générale - Électricité* (Masson & C1e Éditeurs, Paris, 1959), p. 302.
- [9] T.N.O. Folmer-Johnson, *Elementos de Eletricidade* (Livraria Nobel S.A., São Paulo, 1961).
- [10] Physical Science Study Committee (org.), *Física* (Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1967), parte IV, p. 110-111.
- [11] A.M.R. Luz, B.A. Álvares, *Curso de Física* (Editora Harbra, São Paulo, 1994), 3.ª ed, v. 3, p. 1195.
- [12] F.W. Sears, M.W. Zemansky, H.D. Young, *College Physics* (Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1991), 7a ed., sec. 30-7.
- [13] H.F. Meiners, *Physics Demonstration Experiments* (The Ronald Press, New York, 1970), v. II, p. 909.
- [14] R.M. Sutton, *Demonstration Experiments in Physics* (AAPT, College Park, 2003), p. 306-307.
- [15] W. Herreman, R. Huysentruyt, *Phys. Teach.* **33**, 288 (1995).
- [16] P. Lorrain, D.R. Corson, F. Lorrain, *Electromagnetic Fields and Waves* (W.H. Freeman and Company, New York, 1988), sec. 21.4.
- [17] H.H. Skilling, *Electromechanics - A First Course in Electromechanical Energy Conversion* (John Wiley & Sons, New York, 1962), p. 417-426.
- [18] E. Grimsehl, *A Textbook of Physics, V. III: Electricity and Magnetism*, editado por R. Tomaschek (Blackie & Son Ltd, Londres, 1993), p. 421-427.
- [19] J.D. Kraus, K.R. Carver, *Eletromagnetismo* (Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1978), v. 2, p. 189.