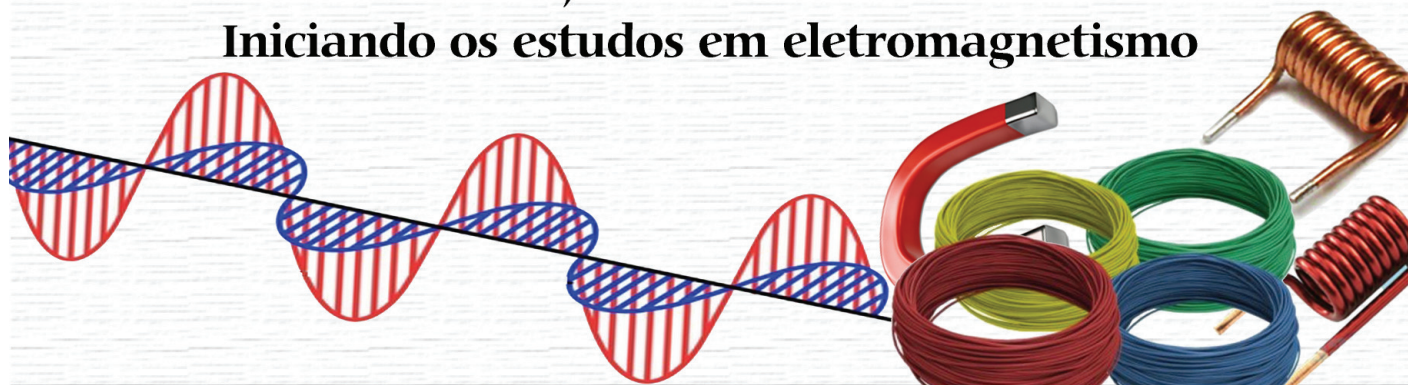


Fios, bobinas e ímãs: Iniciando os estudos em eletromagnetismo



.....
Éwerton Jéferson Barbosa Ferreira
Grupo de História da Ciência e Ensino,
Universidade Estadual da Paraíba,
Campina Grande, PB, Brasil
E-mail: ewertonjeferson@hotmail.com

Ana Paula Bispo da Silva
Grupo de História da Ciência e Ensino,
Departamento de Física, Universidade
Estadual da Paraíba, Campina Grande,
PB, Brasil
E-mail: anabispouepb@gmail.com

Luciano Feitosa do Nascimento
Grupo de História da Ciência e Ensino,
Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia da Paraíba, Campina
Grande, PB, Brasil
E-mail: Luciano.nascimento@ifpb.edu.br
.....

Apresentamos aqui a construção de uma bobina a partir de materiais acessíveis, a qual pode ser utilizada para uma aula experimental do conteúdo de indução eletromagnética. Ainda que o material desenvolvido seja simples este pode proporcionar benefícios como a produção de material para o laboratório da escola, enriquecimento das aulas de física possibilitando uma alternativa ao método expositivo.

Introdução

É reconhecido e encontrado na literatura que as atividades laboratoriais no ensino de ciências desenvolvem nos alunos motivação e interesse [1-3]. Um dos pontos positivos sobre a presença da experimentação no ensino é que esta permite que o aluno associe a teoria à prática e ainda reconheça a interdependência estabelecida entre ambas [4].

Apesar do conhecimento de a experimentação ser um forte subsídio para ensino, existem empecilhos que muitas vezes impedem esta prática de ser realizada, como por exemplo a falta de laboratórios e equipamentos nas escolas [5].

Como forma de solução à problemática da ausência de material para os laboratórios, existe o alternativo e denominado “laboratório de baixo custo” [6]. Os experimentos de laboratório nesta perspectiva são desenvolvidos tendo como foco principal a acessibilidade dos materiais utilizados nos aparatos, sem, contudo, perder a eficácia conceitual e fenomenológica envolvida no aparato construído.

É com base nesta perspectiva do desenvolvimento de materiais laboratoriais de baixo custo que propomos neste trabalho uma proposta para construção de uma bobina. É feita uma descrição detalhada da construção do aparato utilizando-se imagens reais e desenhos. Em seguida apresentamos uma breve sugestão de atividade envolvendo o aparato desenvolvido, algumas considerações sobre a sua utilização e norteamentos para atividades experimentais. Com este trabalho espera-se estar contribuindo tanto para fornecimento de subsídios didáticos para o professor ministrar

Os experimentos de “laboratório de baixo custo” são desenvolvidos tendo como foco principal a acessibilidade dos materiais utilizados nos aparatos, sem, contudo, perder a eficácia conceitual e fenomenológica envolvida no aparato construído

suas aulas como para intensificar a presença e utilização da experimentação.

Construção de um instrumento do laboratório de física: bobina

A bobina é um dos principais instrumentos para a realização de experimentos sobre eletromagnetismo. Ela é constituída por um conjunto de fios enrolados de maneira uniforme e justapostos em torno de um objeto, geralmente cilíndrico. O número de voltas do fio e o tamanho da bobina influenciarão no campo magnético, como detalharemos mais à frente.

Materiais utilizados

- 12 m de fio de cobre esmaltado, com aproximadamente, $0,26 \text{ mm}^2$ de seção reta (fio 23). Talvez o material mais difícil de se encontrar, dependendo da região;
- Cano PVC – popular cano d’água – de 40 mm;
- Super cola fixadora.

Descrição

Aqui apresenta-se uma explanação do processo de confecção, procurando-se detalhar o melhor possível cada etapa. Para caracterização minuciosa da construção deste material, são utilizadas imagens reais da fabricação do instrumento e, quando necessário, figuras ilustrativas (desenhos). É importante mencionar que estas ilustrações estão fora de proporção e servem, junto a imagem real, para mostrar os procedimentos descritos.

O sistema descritivo adotado está organizado em um “passo a passo” para tornar prático os procedimentos e a explicação da construção do material.

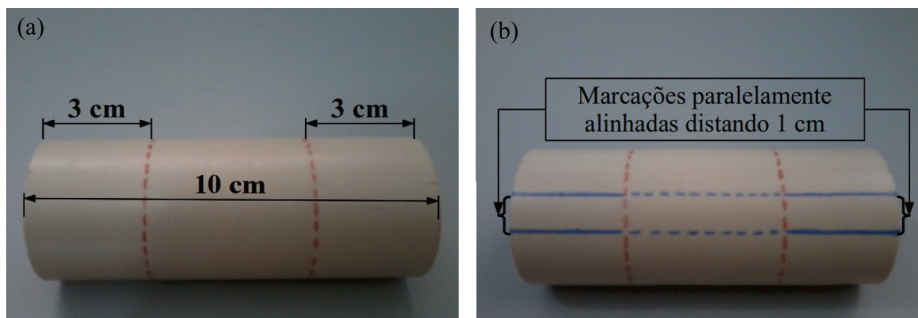


Figura 1: (a) Comprimento do cano PVC 40 mm e dupla marcação de 3 cm nos extremos do cano; (b) Marcações paralelas e alinhadas.

1º passo – Corta-se um pedaço de cano com comprimento $L = 10$ cm, de maneira que este seja o mais reto possível de ambos os lados, e utilizando uma caneta hidrocor medimos 3 cm a partir da extremidade de cada lado do cano e fazemos uma marcação circular que o contorne por completo (Fig. 1a). Em seguida fazemos duas marcações retas em ambas as extremidades do cano até coincidir com a marcação circular feita anteriormente. Essas marcações devem estar no mesmo alinhamento e distar 1 cm uma da outra (Fig. 1b).

2º passo – Partindo das extremidades do cano e das marcações feitas no 1º passo (Fig. 1b), desenham-se quadrados medindo 1 cm de aresta em ambos os lados do cano. Feito isto, demarcamos toda a figura formada através de traços ou pintando-a, para destacá-la bem, pois esta parte no decorrer da construção não poderá ser cortada (Fig. 2).

3º passo¹ – A partir dos quadrados formados nas extremidades, traçamos linhas paralelas, como mostrado na Fig. 3, até coincidir com a marcação circular do cano (realizada no 1º passo), e fazemos outros dois quadrados com as mesmas dimensões dos descritos anteriormente (1 cm \times 1 cm). Ressalta-se que estes também não devem ser cortados no decorrer da construção.

Na imagem real (Fig. 3a) é um pouco difícil ter uma visualização completa destes quadrados, devido ao fato de que o cano é cilíndrico e as marcações terminam

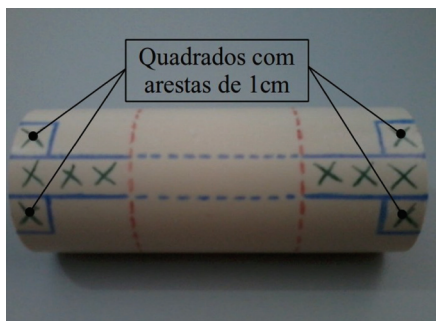


Figura 2: Quadrados 1 cm \times 1 cm.

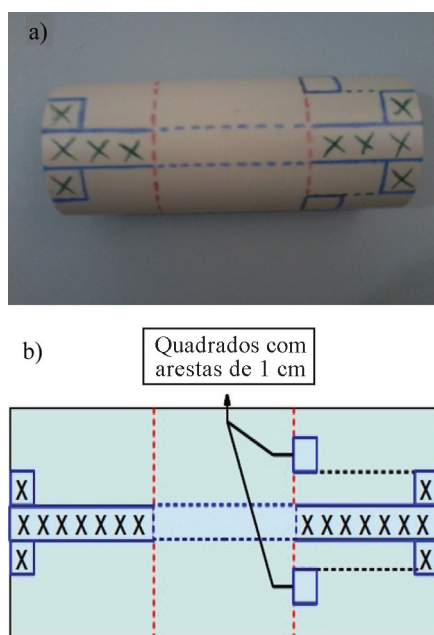


Figura 3: Quadrados semelhantes aos do 2º passo. a) Foto da peça real. b) Ilustração.

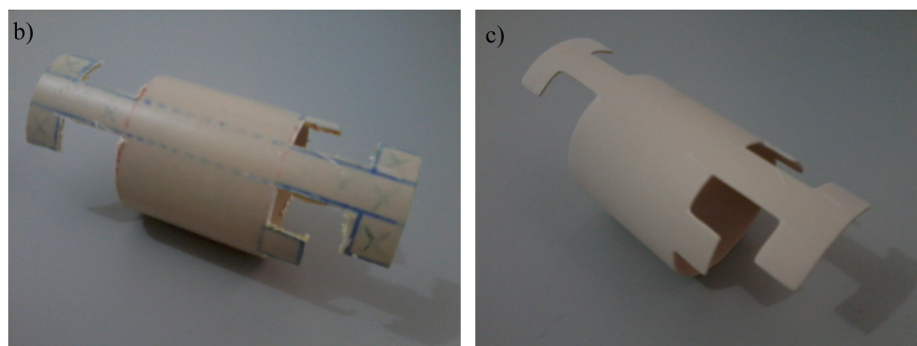
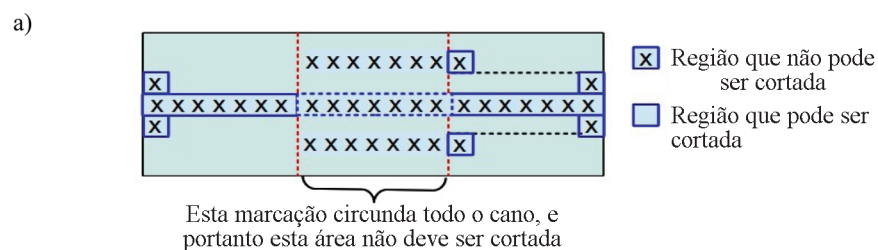


Figura 4: a) Indicação dos cortes. b) Estado da peça ao término dos cortes. c) Pré-acabamento.

em suas laterais. Em uma vista de cima e uma fotografia deste ângulo não permitem enxergar totalmente os dois de uma só vez. Entretanto, a ilustração (Fig. 3b) considera como se o cano estivesse achatado, para ambos os quadrados serem contemplados na imagem, permitindo assim uma melhor compreensão.

4º passo – Utilizando uma serra de cano, fazemos os devidos cortes como indicado na Fig. 4a e obtemos como resultado a Fig. 4b. Após os cortes, a peça final pode ficar um pouco suja e com algumas rebarbas provindas dos cortes realizados. Para dar um pré-acabamento na peça, pode-se utilizar uma simples lixa de madeira, que preferencialmente seja fina (Fig. 4c).

Ressaltamos e recomendamos também que lixar a peça por completo ajuda a torná-la mais áspera, o que facilita no enrolamento do fio ao corpo preparado, pois os canos geralmente são um pouco lisos. Vale lembrar que este procedimento é opcional e adotamos aqui por uma questão de estética do material construído.

5º passo – Agora, as extremidades em forma de “T” de ambos os lados servirão como base, ou pés de apoio para nossa bobina. Com a ajuda de um fósforo, aquecemos a junção entre a peça da extremidade em forma de “T” e a parte circular para envergá-la, e então formar o suporte (Fig. 5). Este procedimento é o mesmo para ambos os lados.



Figura 5: Extremidades de suporte “T”.

Como o cano do qual foi construído o corpo da bobina é um tanto fino, a chama do fósforo é suficiente para aquecê-lo a ponto de envergar as extremidades. Sugerimos realizar este procedimento uma parte de cada vez, e quanto fizer o dobramento para garantir a permanência naquela posição, pode-se mergulhar a peça, imediatamente após o dobramento, em água a temperatura ambiente.

Também deve-se moderar o contato da peça com as labaredas do fósforo, pois ela pode tostar a junção. Caso isto aconteça, se a mancha for superficial, podemos tentar lavar para retirar a mancha. Se esta for muito profunda, podemos utilizar a lixa para raspar a parte queimada.

Até agora temos cada parte da peça desenvolvida: a região cilíndrica para o enrolamento do fio; as “extremidades T” para os suportes da bobina; e os pequenos quadrados exclusivamente presentes em um lado serão as garras de contato elétrico por onde irá se começar e terminar o enrolamento do fio.

6º passo – Peguemos agora outro pedaço de cano e façamos com estes dois anéis com largura igual a 0,5 cm (Fig. 6). O cano utilizado para confecção destes anéis é o mesmo utilizado para construção geral do corpo da bobina.

Estes anéis servirão como travas para que quando começemos a enrolar o fio este não escape pelas laterais. Caso a quantidade de espiras, a critério do construtor, ultrapasse os anéis, de maneira que possibilitem sua saída pelas laterais, pode-se colar um anel semelhante por cima.

7º passo – Partimos os anéis, para



Figura 6: Anéis fixadores para o enrolamento dos fios no corpo da bobina.

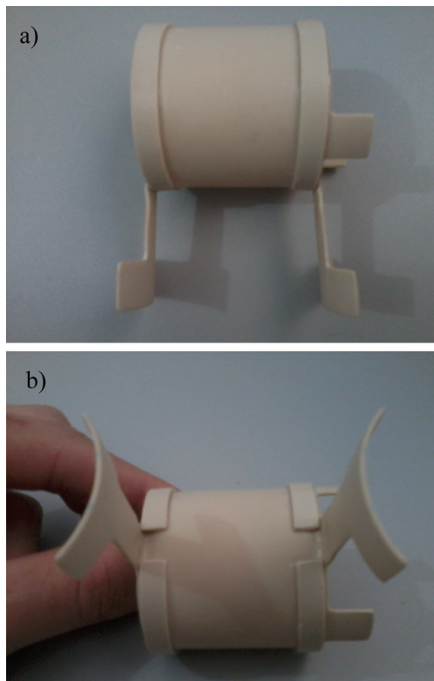


Figura 7: a) Anéis acoplados ao corpo da bobina. b) Localização do corte feito na partição dos anéis.

que seja possível encaixá-los sobre o cano da bobina. Com a ajuda de super cola, fixamos cada um destes em uma das extremidades da bobina, de maneira que a borda exterior do anel e a da bobina fiquem iguais (Fig. 7a). O corte da partição deve ficar na parte inferior da bobina, próximo às partes dos pés de apoio (Fig. 7b).

Vale ressaltar: é importante que os anéis fiquem bem fixados, pois quando se enrolar o fio irá se causar um pouco de força nas laterais – isto é, nos anéis – devido às superposições e o ajuste dos fios.

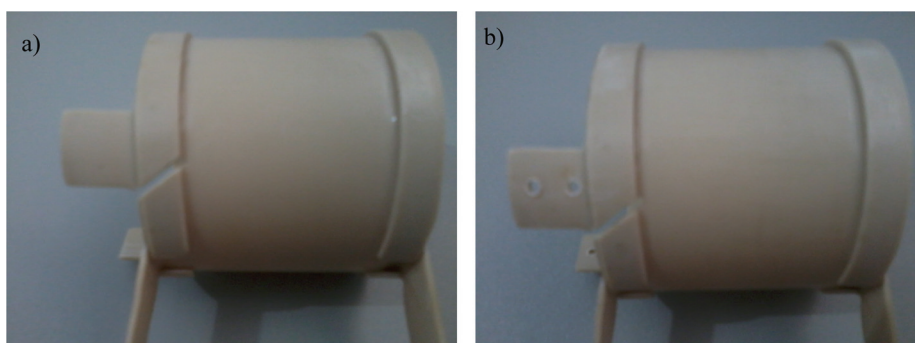


Figura 8: a) Corte em diagonal. b) Pequenos orifícios.

Caso os anéis não estejam bem firmados sobre o corpo da bobina, pode ocorrer destes se desprenderem e consequentemente desmanchar o enrolamento.

8º passo – Façamos agora um pequeno corte em ambos os lados partindo da região inferior da lateral dos pequenos quadrados presentes unicamente em um dos lados. Este corte deve ser em diagonal e deve findar imediatamente ao ultrapassar o anel, isto é, igualar-se a sua parte interna (Fig. 8a). Ademais, também fazemos dois pequenos furos, que possibilitem a passagem do fio, em ambos os quadrados (Fig. 8b).

Estes pequenos orifícios e cortes realizados têm a finalidade de auxiliar o início e o fim do enrolamento do fio na bobina.

9º passo – Agora passemos o fio duas vezes pelos orifícios para prendê-lo de maneira que sobre um comprimento de aproximadamente 5 cm para fora do corpo da bobina (Fig. 9a). Seguidamente enrola-se o fio em volta do cano onde cada volta de fio deve ficar junta a outra, não permitindo folga entre as mesmas (Fig. 9b e 9c).

Para esta bobina utilizamos um comprimento de fio de cobre esmaltado com aproximadamente 12 m. A quantidade de voltas é arbitrária e fica a critério do construtor, podendo ele optar por colocar mais ou menos voltas. Aqui utilizamos este comprimento de fio (12 m) por permitirmos completar toda a parte do cano com espiras justapostas no processo de “ida e volta” do enrolamento até a extremidade em que prendemos o fio de cobre. Esta bobina contém aproximadamente 90 espiras.

10º passo – Após o processo de enrolamento, finalizamos prendendo o fio de forma semelhante à realizada no 9º passo, isto é, passamos o fio 2 vezes contornando por dentro os dois pequenos orifícios (Figs. 10a, 10b e 10c). Também deixamos uma ponta de fio com aproximadamente 5 cm de comprimento (Fig. 10d).

Para finalizar a nossa bobina, com o auxílio de uma lixa de madeira raspamos o esmalte das pequenas pontas (Fig. 10d),

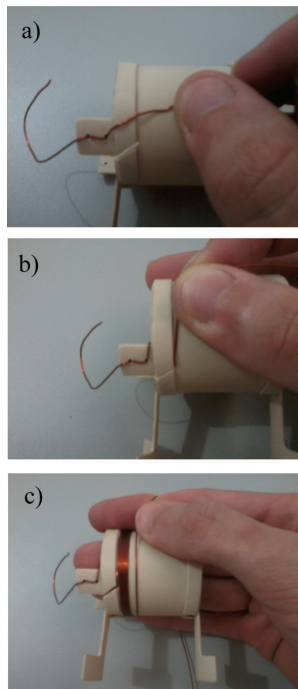


Figura 9: a) Demonstração de como prender a extremidade de fio. b) e c) Enrolamento do fio.

para que possamos ter o contato elétrico, uma vez que o fio de cobre é esmaltado. Temos o arranjo final mostrado na Fig. 11.

Algumas considerações

No que se refere aos procedimentos de construção, estes podem ser aplicados a canos de dimensões maiores, isto é, maior diâmetro, como por exemplo: 75 mm, 100 mm. O que irá diferir, logicamente,



Figura 11: Arranjo final da bobina de cano PVC.

são apenas as marcações para as configurações, contudo os processos construtivos são semelhantes. Para as novas dimensões das marcações, fica a critério e bom senso de escala do construtor para estabelecê-las proporcionalmente e transpor as outras medidas para o cano a ser utilizado no procedimento. Uma sugestão para o seu direcionamento nas medidas pode ser a criação de um fator de proporcionalidade entre as dimensões dos instrumentos; para isto se utilizaria a razão entre os diâmetros dos canos.

Apesar da semelhança no processo de construção, isto pode implicar em algumas pequenas observações a serem feitas, com relação à intensidade do campo magnético (**B**) gerado no centro da bobina através da passagem da corrente elétrica.

Antes, analisemos a equação da intensidade do campo magnético no centro de uma bobina.

$$B = N \frac{\mu_0 i}{2r} \quad (1)$$

Na Eq. (1), temos que N é o número de espiras que compõe a bobina; i é a intensidade da corrente elétrica que percorre o fio da bobina; μ_0 é a constante de permeabilidade magnética do meio, que no vácuo equivale a $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$; e r o raio [7].

De acordo com a equação, com o aumento do diâmetro do cano utilizado, teremos também um maior raio (r), o que implica diretamente – considerando como constantes o número de espiras e a fonte elétrica – na redução da intensidade do campo magnético (**B**) configurado no centro da bobina. De acordo com a expressão, **B** é inversamente proporcional a r . Então, uma solução para esta consequência pode ser o aumento da quantidade de espiras ou ainda utilizarmos uma fonte com corrente elétrica maior. Mas neste último caso pode ocorrer dos fios aquecerem, já que praticamente não temos uma resistência associada.

Sobre o fio a ser utilizado no enrolamento da bobina, temos que a sua espessura (bitola) pode ser mais grossa ou mais fina. Entretanto, a utilização de um fio muito fino pode provocar um super aquecimento dos fios (se utilizarmos um fonte acoplada à bobina); já a utilização de um fio muito grosso torna dificultoso o seu enrolamento no corpo construído para bobina.

Devido à complexidade na construção deste material, confeccioná-lo em sala de aula não é tão interessante do ponto de vista prático, já que é necessário um intervalo de tempo considerável para desenvolvê-lo e ainda prosseguir com a aula. Então, levando isto em consideração, pode-se proceder de duas formas: solicitar que os alunos construam suas bobinas em casa, com antecedência, e assim possam montar as experiências individualmente; ou construir apenas uma bobina e utilizar o experimento associado a ela de maneira demonstrativa. Cabe ao professor adequar a melhor forma à sua realidade.

Nesta primeira forma pode-se fragmentar a sala de aula em grupos de 2 a 4 integrantes. Assim, os alunos podem se organizar na busca dos materiais a na construção do apetrecho. Sugere-se que o professor peça isto com antecedência (ex.: 2 semanas antes da aula que irá se utilizar o aparato), pois caso haja eventuais problemas ou dúvidas dos alunos quanto ao processo construção, ele disporá de tempo para solvê-las. Na segunda, o professor trabalha o experimento com características demonstrativas, mostrando aos alunos os fenômenos en-

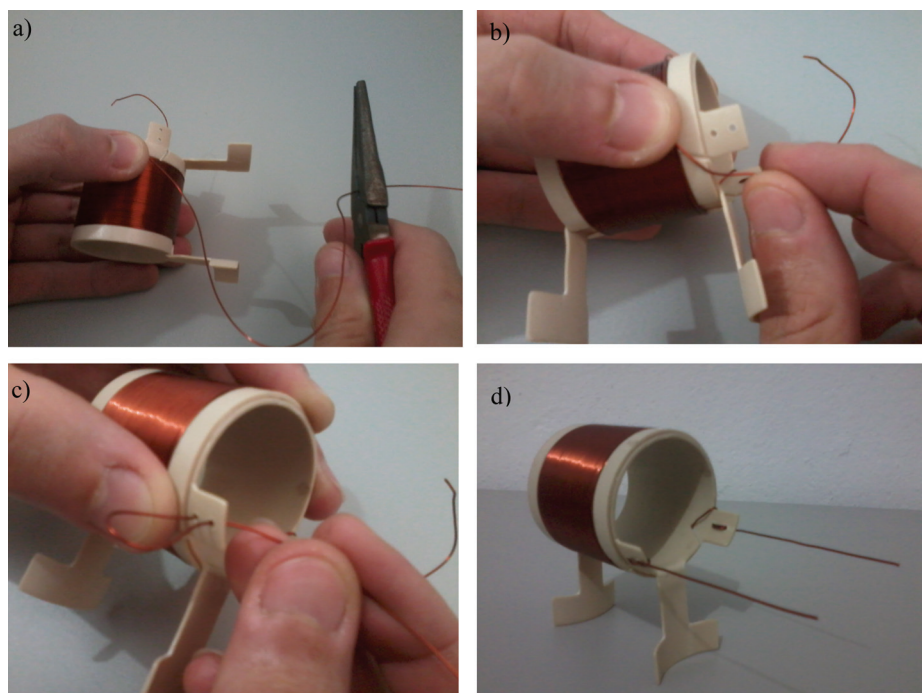


Figura 10: Imagens do processo de finalização do enrolamento do fio.

volvidos no experimento, também permitindo que os mesmos participem da demonstração, isto é, manipulem o aparato na experiência. Caso algum aluno apresente interesse pelo aparato, o professor pode fornecer os procedimentos de construção para que ele tente fazer em casa.

Independentemente da forma como a bobina for construída, ou o experimento for individual ou demonstrativo, o importante é o processo de utilização da mesma, envolvendo sempre um problema a ser solucionado e tornando a aula interativa, como ressalta Borges [8].

Exemplo de atividade

Reconhecemos que o aparato desenvolvido não tem por si só um conteúdo a ser explorado, mas como mencionado anteriormente podemos utilizar este produto para nos auxiliar a trabalhar, por exemplo, o conteúdo de indução eletromagnética. Apesar da simplicidade da proposta, ou até mesmo por este motivo, ela pode servir de ponto de partida para estimular os alunos nas atividades experimentais de maneira independente.

Um pouco dos fundamentos teóricos envolvidos

São reconhecidamente importantes os papéis de Oersted e Faraday para a composição das bases do eletromagnetismo. O primeiro – Oersted – observou em seus estudos que a passagem de corrente elétrica por um fio possibilita a existência de um campo magnético à sua volta. O segundo observou o inverso de Oersted, ou seja, que a variação de um campo magnético induzia uma corrente elétrica².

Com seus estudos, Faraday e Henry mostraram que ao movimentar-se um ímã no interior de uma bobina, faz-se surgir uma corrente elétrica no fio da mesma. Este fenômeno é chamado de indução eletromagnética [12]. À corrente gerada por esta variação do campo magnético dá-se o nome de *corrente induzida* e a voltagem (causa) que permite o aparecimento da corrente elétrica é denominada de *força eletromotriz*.

A indução desta força eletromotriz (f.e.m.) e da corrente é explicada pela variação da quantidade de linhas de campo magnético na espira ou bobina, o que conhecemos como “lei de Faraday” [13].

Matematicamente, a lei de Faraday pode ser expressa por

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2)$$

onde \mathcal{E} é a força eletromotriz induzida no circuito, responsável pela corrente indu-

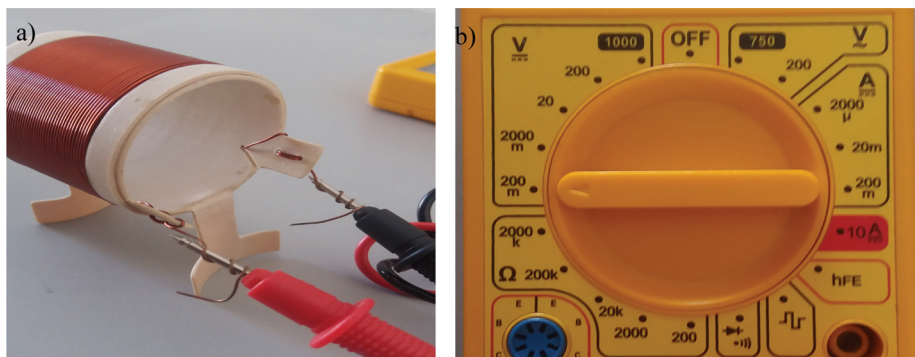


Figura 12: Preparação do experimento. (a) Ligação do multímetro a bobina e (b) Ajuste da escala.

zida, e $d\Phi_B/dt$ é a taxa de variação do fluxo magnético (Φ_B) com relação ao tempo, isto é, variação das linhas de campo magnético na área dada. O sentido da corrente elétrica induzida pela f.e.m. configura-se de maneira que o seu campo magnético é contrário ao campo magnético que induz a corrente – conhecida como lei de Lenz [13].

Para uma bobina com N espiras obtemos a força eletromotriz total produzida multiplicando o lado direito da Eq. (2) pelo número N de espiras da bobina, pois em uma definição não formal uma bobina nada mais é que um aglomerado de espiras.

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3)$$

É importante notar que quanto maior for a quantidade de espiras da bobina sujeita a variação do campo magnético – fluxo – maior será a força eletromotriz induzida no circuito da mesma.

Sugestão experimental

Os materiais que constituem a proposta experimental são: uma bobina, um multímetro digital e um ímã de alto falante – caso se tenha à disposição um ímã em barra, os resultados são melhores.

Primeiramente conectamos as pontas

teste do multímetro digital às pontas de contato da bobina (Fig. 12a). Seguidamente ajustamos a escala para medir tensão (voltagem). É importante mencionar que devido às dimensões dos aparatos a f.e.m. produzida será pequena, assim devemos selecionar no multímetro uma escala pequena para detectarmos com mais precisão a variação de valores no decorrer da experimentação (Fig. 12b).

Agora pegamos o ímã e o movimentamos no lado oposto as conexões com o multímetro, aproximando e afastando lentamente (Fig.13).

Ao fazermos isto constantemente, durante um intervalo de tempo, estamos fazendo variar a quantidade de linhas de campo magnético que penetram a bobina, isto é, estamos produzindo uma taxa de variação do fluxo magnético e gerando uma f.e.m.

Fazendo esta variação de posição entre o ímã e a bobina, constatamos no visor do multímetro alguns valores para f.e.m.. Imagens do visor do multímetro para alguns dos valores obtidos experimentalmente estão mostrados na Fig. 13.

O sinal negativo que aparece nos valores são devidos ao sentido da variação das linhas de campo magnético que ora estão “entrando” na bobina, ora “saindo” da mesma.

Ainda que não seja objetivo deste tra-

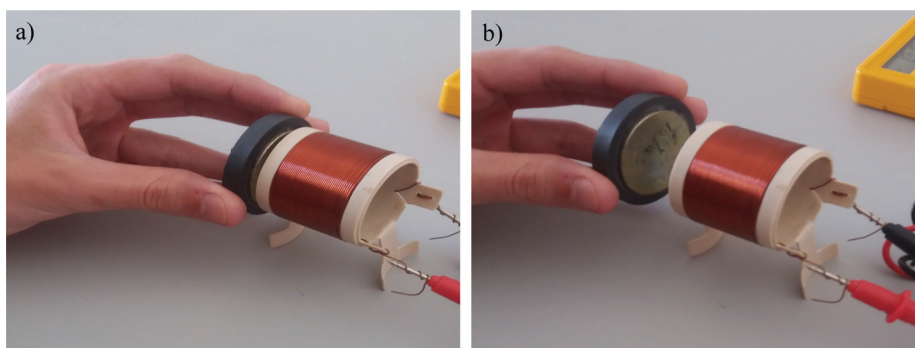


Figura 13: Movimentação do ímã produzindo variação das linhas de campo magnético (a e b).

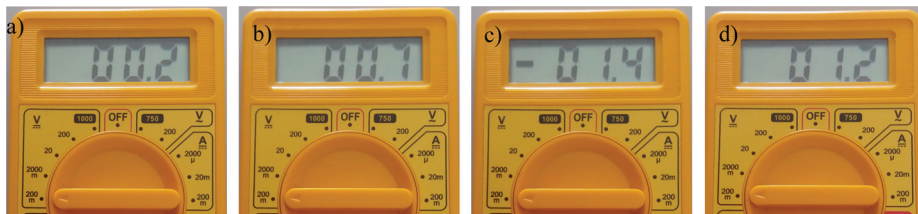


Figura 14: Registro dos valores da f.e.m. produzida pela variação das linhas de campo magnético na bobina (a, b, c e d).

balho desenvolver uma proposta de atividade ampla para a condução de uma atividade experimental (sequência didática), sugerimos uma abordagem problematizadora em que os alunos sejam instigados a planejarem e executarem o experimento sem seguir roteiros ou passos pré-determinados. Neste sentido, a ideia de laboratório construtivista de Rosa e Rosa [14] ou de laboratório desafiador de McComas [15] parecem-nos as mais indicadas.

A problematização, ou o problema a ser resolvido, pode partir de fenômenos

conhecidos pelos alunos, ou então conter elementos de história da ciência. No caso da opção por inserir a abordagem histórica, as descrições de Faraday e até mesmo a introdução de informações biográficas podem servir como material para a contextualização do experimento. Material sobre as primeiras observações de Faraday sobre a indução de correntes e sua biografia podem ser encontrados em Faraday [16]; Lima [17] e Dias e Martins [18].

Conclusão

Este trabalho parte da premissa de que

a atividade experimental pode contribuir para o ensino da física, estimulando os alunos a conhecerem de maneira prática os fenômenos físicos. Nesse sentido, buscamos por superar os principais obstáculos que usualmente são apontados pelos professores, como a ausência de materiais, apresentando a forma de construir uma bobina com materiais de baixo custo. A partir da bobina, o professor pode, diante de seu contexto, escolher a metodologia que julgar adequada para tornar a atividade experimental potencialmente enriquecedora, e buscar pela melhoria da própria prática.

Notas

¹O lado destes quadrados pode ser qualquer um, porém apenas é necessário que estejam exclusivamente em apenas um dos lados do cano.

²Os detalhes sobre a história do eletromagnetismo podem ser encontrados em Martins [9], Chaib e Assis [10] e Silva e Guerra [11].

Referências

- [1] M.B.P. Camargo e N. Zimmermann, *Revista da SBEnBIO* **7**, 5330 (2014).
- [2] W.E. Francisco Jr., L.H. Ferreira e D.R. Hartwig, *Química Nova na Escola* **30**, 34 (2008).
- [3] M.S.T. Araújo e M.L.V.S. Abib, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 176 (2003).
- [4] M.G. Séré, S.M. Coelho e A.D. Nunes, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **20**, 30 (2003).
- [5] S.E. Duarte, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **29**, 525 (2012).
- [6] E.I. Santos, L.P.C. Piassi e N.C. Ferreira, in *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*, Jaboticatubas-MG (2004).
- [7] B. Barreto Filho e C.X. Silva, in *Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna*, (FDT, São Paulo, 2013), 2nd ed, p. 142-147.
- [8] A.T. Borges, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 291 (2002).
- [9] R.A. Martins, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **10**, 89 (1986).
- [10] J.P.M.C. Chaib e A.K.T. Asis, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 41 (2007).
- [11] A.P.B. Silva e A. Guerra (orgs.), *História da ciência e ensino: fontes primárias e propostas para a sala de aula* (Livraria da Física, São Paulo, 2015).
- [12] P.G. Hewitt, in *Física conceitual*, (Bookman, Porto Alegre, 2011), 11^a ed, p. 445-460.
- [13] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, in *Fundamentos de física*, (LTC, Rio de Janeiro, 2011) 8^a ed, p. 263-303.
- [14] C.T.W. Rosa e A.B. Rosa, *Física na Escola* **13**, 4 (2012).
- [15] W. MCCOMAS, *The Science Teacher* **72**, 24 (2005).
- [16] M. Faraday, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **28**, 152 (2011).
- [17] I.P.C. Lima, in *História da ciência e ensino: fontes primárias e propostas para a sala de aula*, (Livraria da Física, São Paulo, 2015), p. 39-56.
- [18] V.S. Dias e R. A. Martins, *Ciência & Educação* **10**, 517 (2004).