

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELLECTUAL DA UNICAMP

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000100009&script=sci_abstract

DOI: 10.1590/S1806-11172007000100009

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2007 by Sociedade Brasileira de Física. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>

Experiência de Oersted em sala de aula

(*Oersted's experience in the classroom*)

J.P.M.C. Chaib e A.K.T. Assis¹

Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil

Recebido em 3/6/2006; Aceito em 6/6/2006

Em 1820 Oersted observou a deflexão de um pequeno ímã colocado próximo a um fio com corrente constante. Esta descoberta fundamental desencadeou uma série de pesquisas que levou à unificação dos fenômenos elétricos e magnéticos. Este artigo visa contribuir para o resgate da relevância da experiência de Oersted. É feita uma breve contextualização histórica desta experiência. Descreve-se uma reprodução moderna dos procedimentos e observações de Oersted com materiais de baixo custo.

Palavras-chave: eletrodinâmica, eletromagnetismo, experiência de Oersted.

In 1820 Oersted observed the deflection of a small magnet placed close to a wire carrying a steady current. This fundamental discovery unleashed a series of researches which led to the unification of the electric and magnetic phenomena. The goal of this paper is to contribute to show the importance of Oersted's experiment. It is made a short historical contextualization of this experiment. It is described a modern reproduction of the procedures and observations of Oersted utilizing low cost materials.

Keywords: electrodynamics, electromagnetism, Oersted's experiment.

1. Introdução

A realização de experimentos de baixo custo dentro de salas de aula pode vir a ser uma fonte de ilustração, motivação e discussão a respeito do assunto a ser tratado. Sendo assim, este trabalho visa contribuir para o resgate da relevância histórica da experiência de Oersted, que foi o primeiro impulso para a série de descobertas a respeito da unificação dos fenômenos elétricos e magnéticos. É feita uma breve contextualização histórica desta experiência, assim como uma reprodução dos procedimentos e observações de Oersted adaptados com a utilização de materiais de baixo custo. Com isto, esta experiência fundamental se torna acessível a alunos e professores dos mais variados níveis escolares. Considerando que devemos conhecer o passado para entender o presente, destaca-se a importância deste trabalho de Oersted. Espera-se, com este artigo, contribuir para um entendimento mais concreto da física, refletido no conhecimento da sua história e na reprodução de seus principais fenômenos experimentais.

2. Breve apresentação histórica

Desde a Grécia antiga se sabia que o minério de magnetita possuía a propriedade de atrair o ferro e seus

compostos e que o âmbar (*elektron* em grego) atritado atraía corpos leves. Desde pelo menos o século XI d.C., pelo menos, já se utilizava na China as propriedades de orientação de uma agulha magnetizada ao longo da direção norte-sul geográfica terrestre, sendo que este conhecimento passou a ser adotado no ocidente por volta do século XII [1]. Um avanço importante no estudo do magnetismo foi feito por Pedro Peregrino (data de nascimento e morte desconhecidas [1]). Baseado na experimentação escreve em 1269 a sua *Epístola sobre o Ímã*, onde descreve as propriedades e os efeitos dos ímãs naturais. Ele parece ter sido o primeiro a utilizar a expressão *pólo* para se referir a um pólo magnético, além de apresentar o primeiro método para determinar os pólos de um ímã. Já em 1600 William Gilbert (1540-1603), médico inglês, publicou o livro *Sobre os Ímãs, sobre os Corpos Magnéticos, e sobre o Grande Ímã, a Terra* [2]. Neste livro fez uma analogia comparando a terra com um enorme ímã, onde os pólos magnéticos da terra estariam localizados junto aos pólos geográficos. Gilbert também estudou os fenômenos elétricos. Conseguiu reproduzir o efeito observado no âmbar em uma grande quantidade de materiais. Os materiais que, como o âmbar, atraíam corpos leves após serem atritados, foram denominados por Gilbert de *elétricos* e os outros materiais de *não elétricos*. Hoje denominamos os primeiros materiais de

¹E-mail: assis@ifi.unicamp.br.

isolantes e os outros materiais de *condutores* de carga elétrica.

O século XVIII produziu uma riqueza de experimentadores, inclusive no que diz respeito à eletricidade e ao magnetismo. Stephen Gray (1666-1736) descobriu em 1729 a existência de condutores e isolantes elétricos. Charles Dufay (1698 -1739) propôs em 1733 a existência de dois tipos de carga elétrica, com cargas de mesmo tipo se repelindo e cargas de tipos opostos se atraindo. Apesar disto, observavam-se diferenças notáveis entre as interações elétricas e magnéticas. Vários corpos reagem à presença de um corpo carregado eletricamente, sendo que poucos respondem ao magnetismo. Não há análogo no magnetismo para os isolantes elétricos. As cargas elétricas podem ser isoladas umas das outras, o que não acontece com os pólos magnéticos (pelo que se tenha notícia até hoje). Visto de longe, parecia que os fenômenos magnéticos e elétricos não tinham nenhum vínculo. Porém, existiam elementos que levaram vários pensadores a crerem em alguma relação entre o magnetismo e a eletricidade. O fato de peças metálicas serem magnetizadas ao cair um raio sobre elas e a mudança da orientação das bússolas quando um raio caía próximo a elas tornaram-se uns dos fortes indícios que geravam a suposição da conexão entre magnetismo e eletricidade. Além disso, graças às experiências de Dufay, a eletrostática não era mais vista apenas como um fenômeno de atração mas, junto com a magnetostática, apresentava comportamentos tanto de repulsão como de atração. Somando-se a tudo isso, Priestley (1733-1804) em 1767, John Robison (1739-1805) em 1769 e Coulomb (1738-1806) em 1785 anunciaram a lei do inverso do quadrado para a força eletrostática, sendo que uma lei análoga para a magnetostática foi anunciada por Coulomb em 1785.²

Apesar dos indícios citados, havia uma grande dificuldade em relacionar os dois fenômenos. Vários pesquisadores tentaram em vão encontrar algum efeito empírico que relacionasse a eletrostática e o magnetismo. Podemos até imaginar que muitos desanimavam acreditando não ser possível demonstrar alguma relação entre estes dois conjuntos de fenômenos.

Oersted (1777-1851) estava entre os pesquisadores que acreditavam *que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos poderes que os elétricos*.³ Para tentar confirmar suas idéias, realizou experiências a fim de buscar uma relação entre uma agulha imantada e o “conflito elétrico.” Este termo utilizado por Oersted vinha de sua concepção da natureza da corrente elétrica. Ele imaginava que existiam duas correntes em um fio metálico ligado a uma bateria, uma positiva e outra negativa, fluindo em sentidos opostos. Elas teriam que se encontrar e se separar várias vezes ao longo do

fio. Segundo Oersted, a eletricidade se propaga “por um tipo de contínua decomposição e recomposição, ou melhor, por uma ação que perturba o equilíbrio em cada momento, e o restabelece no instante seguinte. Pode-se exprimir essa sucessão de forças opostas que existe na transmissão da eletricidade, dizendo que *a eletricidade sempre se propaga de modo ondulatório*.”⁴

Tendo isso em vista, Oersted colocou um fio metálico *paralelo* a uma agulha magnética que estava orientada ao longo do meridiano magnético terrestre. Ao passar uma corrente elétrica constante no fio observou que a agulha era defletida de sua direção original. Tal descoberta foi descrita na Academia Real de Ciências da França em 4 de setembro de 1820 pelo então presidente Arago. Diante da descrença generalizada, este repetiu a experiência de Oersted perante a Academia em 11 de setembro.⁵

É importante ter em mente as dificuldades da realização prática do experimento, bem como sua concepção. Na época, o tipo de materiais para a realização da experiência era muito diferente do que temos hoje em dia. Oersted usa uma grande pilha como fonte de corrente elétrica. Não temos detalhes da força eletromotriz produzida pela pilha, mas em termos de comodidade e praticidade não se compara a uma pequena bateria moderna de 9 V. A simetria do experimento também é peculiar e inédita para a época. Inclusive nos nossos dias, é natural presenciarmos uma tentativa frustrada da reprodução do experimento de Oersted devido a uma falta de atenção na posição da bússola e do fio com corrente.

O trabalho de Oersted foi publicado pela primeira vez, às custas do próprio autor, em 1820. Era um folheto de quatro páginas com o seguinte título em latim: *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam* (Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética) [6].

Usualmente é contado que Oersted chegou por acidente ao resultado experimental. No entanto, como nos mostra Martins, [4], sua descoberta foi fruto de uma longa jornada. Não só de Oersted, mas de todos os outros que o antecederam e contribuíram para que se chegasse nos resultados obtidos.

3. Reprodução das experiências de Oersted com material de baixo custo

3.1. Material

Para a realização do experimento será necessário (ver Fig. 1):

- Esquadro e transferidor
- Cartolina branca

²Ver Ref. [3], p. 3-5.

³Ver Ref. [4], p. 95.

⁴Oersted, *apud*, Ref.[4], p. 96.

⁵Ver Refs. [3], p. 23, e [5], p. 231 e 236.

- Uma pilha de 9 V. Para melhorar o desempenho da ação da corrente sobre a agulha podemos colocar duas ou mais pilhas em paralelo. Pode-se também usar uma ou mais pilhas de 1,5 V
- 110 cm de fio de cobre rígido com diâmetro de 1,5 mm
- 60 cm de fio de cobre flexível com diâmetro de 1,5 mm
- Para construir os postes de sustentação e seus encaixes, como descritos abaixo, utilizam-se de dois a cinco copos descartáveis de café, de dois a cinco palitos de churrasco e cinco canudos
- Gesso
- Um pregador de roupa para construir a chave ou interruptor, mais duas abraçadeiras (piranhas) ou dois pregadores de roupa para nivelar o fio rígido no poste. O uso do pregador é para minimizar o custo do experimento, mas este pode ser substituído por um interruptor comum comprado em lojas de materiais elétricos
- Três cortiças ou rolhas de tampa de garrafa de vinho
- Um prego (entre 4 cm e 5 cm de altura)
- Seis agulhas de costura, que chamaremos de alfinetes para não confundir com a agulha da bússola. Elas possuem entre 4 cm e 5 cm de altura
- Um pedaço de arame tendo entre 10 e 15 cm de altura
- Tachinhas (em quantidade variada)
- Uma bússola pequena
- Uma caixa de colchetes
- Uma latinha de alumínio
- Fita isolante
- Placa espessa de isopor
- 25 cm de fio de estanho (fio de solda)
- Placas finas de plástico, papel, madeira, isopor, papel alumínio, guardanapos, um copo de vidro, um copo de plástico transparente (pode ser uma metade de garrafa de plástico), uma garrafa de plástico e outros materiais que possam ser interpostos entre a bússola e o fio

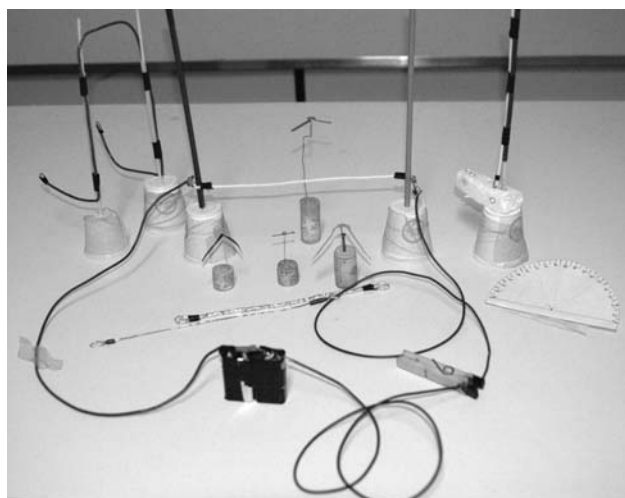


Figura 1 - Material usado para a experiência.

3.2. Montagem experimental

Para reproduzir a experiência de Oersted, antes de tudo, deve-se preparar todo o aparato experimental. Iniciemos, portanto, com o mais importante: a bússola. Para ver sua deflexão com mais clareza tanto no plano vertical como no horizontal, fica mais prático tirar a tampa da bússola e apoiar sua agulha imantada sobre a ponta de um alfinete preso a uma rolha, como indicado na Fig. 2a. Deve ser verificado se a agulha imantada está livre para girar em todas as direções ao redor da ponta do alfinete, ficando em geral orientada pela ação do magnetismo terrestre, como acontece nas bússolas usuais.

Agora, como indicado na Fig. 9a, é construído um suporte mais elevado para a agulha. Primeiro finca-se um arame na rolha e dobra-se o outro extremo de modo que aponte para cima e o fio rígido passe por debaixo dele. Nesta mesma extremidade superior do arame prendemos o alfinete com ajuda de fita adesiva. Para ver se não irá ocorrer nenhum problema, a agulha magnética é colocada sobre o alfinete e se verifica sua orientação na direção norte-sul.

Montemos também alguns versoriums [7, 8]. Este é o nome dado ao primeiro instrumento elétrico construído por Gilbert, um tipo de eletroscópio. É como se fosse uma agulha de bússola, mas não magnetizada, que pode girar na presença de corpos eletrizados.

Para construir um versorium de alumínio, cortamos com uma tesoura um pedaço retangular de uma lata de refrigerante de alumínio e o dobramos de modo que as pernas fiquem arqueadas para baixo para que o centro de gravidade do corpo fique abaixo do ponto de apoio, isto é, abaixo da ponta do alfinete como mostra a Fig. 2b. Isto faz com que a nossa “agulha eletrostática” de alumínio não tombe para o chão ao ser solta em repouso apoiada sobre o alfinete. Caso este trabalho seja feito com crianças é importante tomar as devidas precauções com o alumínio e os alfinetes. Neste caso é melhor o adulto realizar esta tarefa antecipadamente, permitindo que as crianças apenas sobreponham a “agulha” feita de alumínio sobre o alfinete. Podem ser feitos versoriums de outros materiais recortando um canudinho de plástico, de isopor e de outros materiais na forma retangular e dobrando-os como mostra na Fig. 2b. Na Fig. 2c apresenta-se uma outra alternativa de se fazer um versorium. Neste caso prende-se uma tachinha nesta “agulha” feita de um material qualquer, lembrando que as duas pernas devem estar um pouco inclinadas para baixo.. Finca-se um prego em uma rolha. A tachinha presa à “agulha” fica então apoiada sobre a cabeça do prego, como indicado na Fig. 2d. Verifique se todos os versoriums mantêm o equilíbrio na horizontal, estando livres para girar em todas as direções. Friccione um plástico (régua, caneta, canudinho) na camisa e o aproxime do versorium. Veja se este gira sem cair, apontando para o plástico atritado. (Atenção! Às vezes o versorium pode não girar porque o material não foi devidamente eletrizado!)

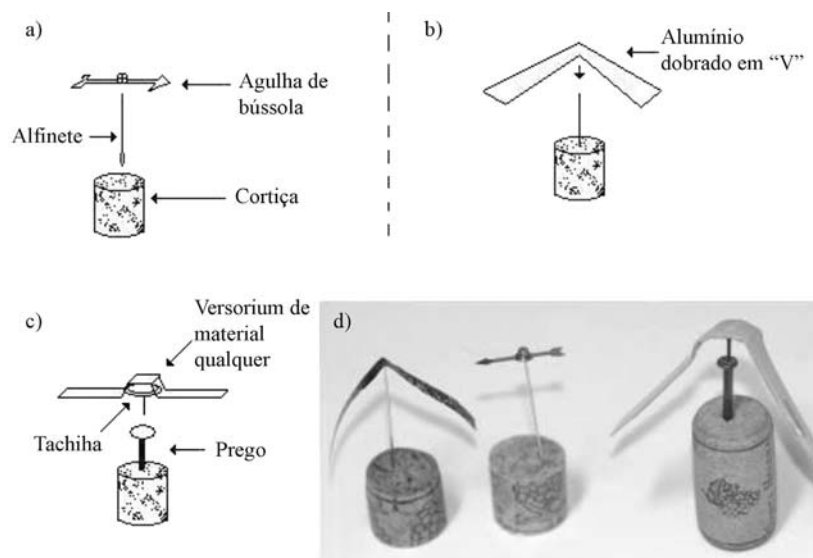


Figura 2 - a) Agulha de bússola apoiada sobre a ponta de um alfinete preso a uma rolha. b) Versorium de alumínio (pedaço de alumínio apoiado sobre um alfinete, com as extremidades do alumínio abaixadas em relação a seu centro). c) Versoriums feitos de materiais variados. O versorium de papelão (ou de outros materiais) é fixado sobre a tachinha. O prego é preso na rolha. A tachinha presa ao versorium se apóia sobre o prego. d) Foto dos três instrumentos.

Agora montemos os postes de sustentação do circuito. Para isso, encaixe um palito de churrasco no centro da base do copo de café descartável e coloque gesso no interior do copo para fixar melhor o palito e dar mais sustentação, como indicado na Fig. 3. O palito de churrasco preso com gesso no copo de café é utilizado para dar uma melhor sustentação ao canudinho de plástico colocado em volta dele. É bom fazer 5 postes como este para ter todo esquema montado como na Fig. 1, mas o mínimo necessário são 2 postes.

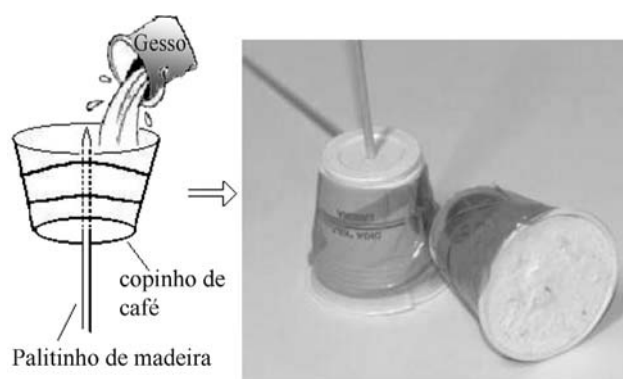


Figura 3 - Base e poste de sustentação para o suporte.

Reparta os fios flexíveis em três partes. Uma parte fará contato com uma extremidade do fio rígido e um dos pólos da pilha. Outra parte do fio flexível fará contato com a outra extremidade do fio rígido e com uma das bases do pregador de roupa (ou interruptor). Este pregador de roupa funcionará como a chave ou interruptor de corrente do circuito. A parte restante do fio flexível fará o contato com o outro pólo da pilha e a outra base do pregador de roupa. Quando pressionamos o pregador de roupa fazemos contato elétrico entre os

condutores, fechando o circuito e permitindo a passagem de corrente elétrica. Para melhor visualização veja o esquema da Fig. 4.

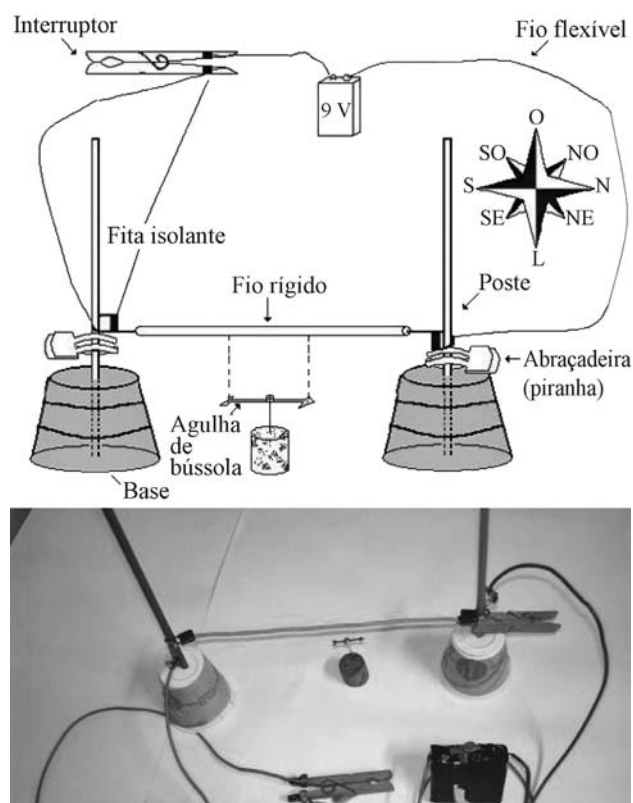


Figura 4 - O fio rígido está preso aos postes de sustentação, nivelado pelas abraçadeiras (ou pregadores) e paralelo à agulha magnética. Nesta configuração o arranjo experimental está orientado ao longo do eixo norte-sul magnético terrestre. Ao pressionarmos o pregador de roupas fazemos contato entre os condutores, fechando o circuito, e permitindo a passagem de corrente elétrica.

Para tornar mais versátil o contato do fio flexível com o fio rígido, a extremidade do fio flexível é prendida em um colchete como mostra a Fig. 5a.

Dando sequência, vamos ajeitar o fio pelo qual passa a corrente que age sobre a agulha magnética separando os dois postes de sustentação e encaixando em cada poste um canudo de plástico. Em seguida são cortados 25 cm de fio rígido, suas pontas são desencapadas e dobradas de forma a parecer um cabo de guarda-chuva. Cada ponta é encaixada em um poste e envolvida com fita isolante. O fio deve deslizar nos postes de modo que se possa controlar a altura em que o fio fica na horizontal. Tal controle pode ser feito ao colocar braçadeiras ou pregadores de roupa que impeçam que o fio deslize para a base do poste. Com o fio de estanho (fio de solda) realize o mesmo procedimento que no fio de cobre. Faça também um fio com uma tira de papel alumínio, enrolando-a ao longo de seu comprimento,

dobrando depois as duas pontas na forma de um cabo de guarda-chuva. Pode-se fazer a mesma coisa com fios de outros materiais (como latão e ferro). O resultado final é mostrado na Fig. 5b.

Na Fig. 5c é mostrada uma conexão versátil de um fio flexível com um fio rígido feito de um material metálico qualquer utilizando um colchete.

Corte mais 15 cm de fio rígido, desencape suas pontas e dobre-as como anteriormente. Prenda um canudo de plástico no fio como mostra a Fig. 6a. Em seguida, corte um retângulo não muito espesso na placa de isopor, com uma base um pouco maior que o tamanho da agulha imantada e tendo um furo para se encaixar o palito de churrasco, como mostra a Fig. 6b. Depois encaixe o alfinete no isopor com sua ponta para cima, encaixe o isopor no poste através do furo e depois encaixe o canudo com o fio no palito de churrasco, Fig. 6c. Note que a agulha imantada não pode tocar no fio.

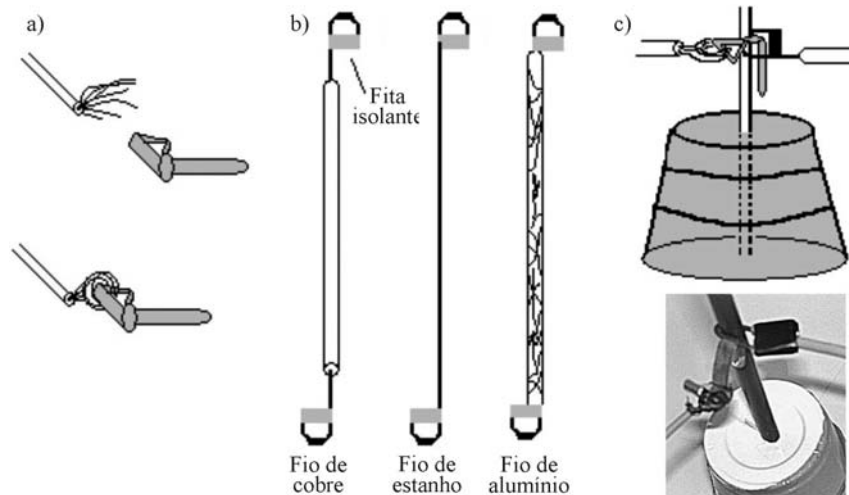


Figura 5 - a) Fio flexível enrolado no colchete. b) Fios de materiais diferentes. c) Conexão versátil.

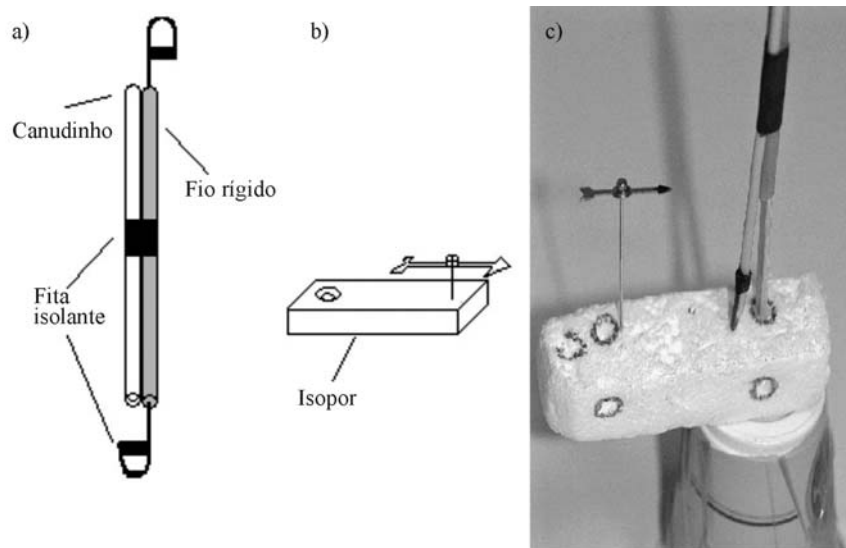


Figura 6 - Fio rígido perpendicular à agulha magnética.

Dobre os outros 60 cm de fio rígido a fim de que tenhamos duas pernas paralelas num mesmo fio na forma da letra U invertida. Recorte o isopor de modo a ficar-

mos com um arranjo semelhante ao esquema demonstrado na Fig. 7.

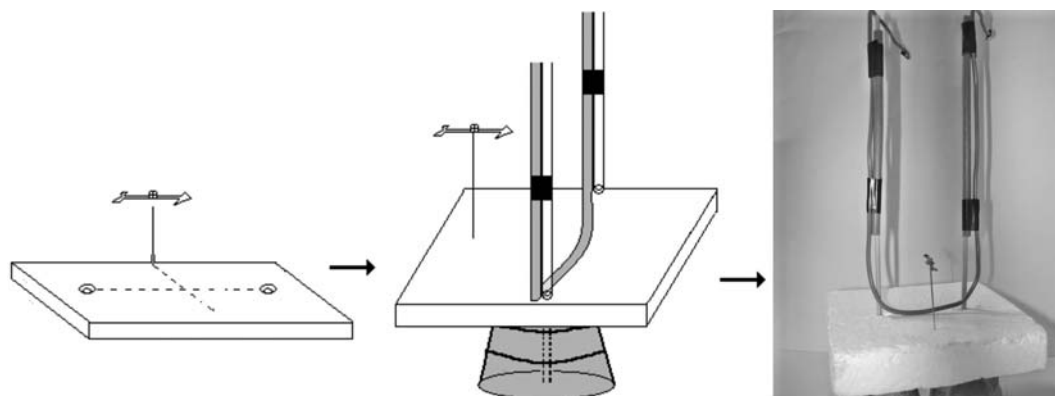


Figura 7 - Esquema para a montagem de pernas paralelas.

As experiências podem então ser iniciadas.

3.3. Experiências

Para começar o experimento disponha os postes de sustentação de modo que a agulha magnética e o fio rígido estejam paralelos entre si quando não passa corrente no fio, como mostra a Fig. 4. O fio rígido deve ficar em um plano horizontal, acima da bússola, a uma distância de cerca de 1,0 cm do centro da agulha imantada. Caso necessário, fixe as bases dos postes na mesa utilizando fita adesiva. Quando não passa corrente no fio veja que a bússola se orienta - devido ao magnetismo terrestre - na *direção norte-sul magnética*. Ou seja, como os pólos opostos se atraem, o pólo norte da agulha aponta para o pólo sul *magnético* da Terra, que fica próximo do pólo norte *geográfico* terrestre. O ângulo entre o meridiano geográfico terrestre e o meridiano magnético local é chamado de declinação magnética. O plano vertical que passa pelo eixo da agulha imantada define o *meridiano magnético local*.

Agora, fecha-se o circuito. A voz de Oersted, que vem de 1820, nos descreverá o que acontece: *Nessa situação, a agulha magnética será movida, e a sua extremidade que está sob a parte do fio de conexão mais próxima ao terminal negativo do aparelho galvânico será desviada para oeste*.⁶ O aparelho galvânico de Oersted tem o mesmo papel que nossa pilha comum.

Observa-se que a agulha imantada não faz um ângulo perpendicular ao fio. O ângulo entre o eixo da agulha imantada e o fio retilíneo com corrente encontrado por Oersted foi de 45°, quando a distância entre

o fio e o centro da agulha era de aproximadamente $\frac{3}{4}$ de polegada, ou seja, de 1,9 cm.⁷ Isto porque a ação magnética da terra sobre a bússola soma-se ao torque produzido pela corrente elétrica sobre a bússola. O valor aproximado que se encontra com o nosso arranjo experimental quando o fio com corrente encontra-se a 1,0 cm de distância do centro da agulha imantada foi um pouco maior do que 45°, Fig. 8. É bom lembrar que a corrente que a pilha provoca enfraquece conforme o uso desta.

Pode-se fazer uma estimativa moderna da corrente utilizada por Oersted. Como ele obteve um ângulo de 45° vem que o campo magnético gerado pelo fio era igual ao campo magnético terrestre, B_T , se desprezarmos a inclinação deste campo magnético em relação ao plano horizontal. O campo magnético devido a um longo fio retilíneo no qual flui uma corrente constante I , a uma distância d do fio, é dado por $\mu_0 I / 2\pi d$. Igualando estas duas grandezas vem: $I = 2\pi d B_T / \mu_0$. Utilizando o valor de 5×10^{-5} T para o valor aproximado do campo magnético da terra na Europa,⁸ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m e $d = 1,9$ cm, chegaremos que ele conseguiu algo em torno de 4,7 A. Com os mesmos cálculos, mas usando 3×10^{-5} T para o valor aproximado do campo magnético da terra no Brasil, [9, p. 73], e $d = 1,0$ cm, chegamos que o valor teórico nossa corrente seria de 1,50 A. Medimos nossa corrente com um amperímetro e encontramos o valor de 1,54 A.

Dando continuidade, afastemos verticalmente o fio da agulha imantada, tomando o cuidado para o fio permanecer sempre paralelo e acima da agulha. Observa-se que o efeito de deflexão diminui na medida em que

⁶Ver Ref. [6], p. 116.

⁷Ver Ref. [6], p. 119.

⁸Ver Ref. [9], p. 73.

aumentamos a distância entre o fio e o centro da agulha magnética, extinguindo-se quando este tamanho atinge aproximadamente 6 cm. Oersted descreveu a influência da distância entre o fio retilíneo e o centro da agulha em relação ao valor do ângulo de deflexão da bússola

nos seguintes termos: *Se a distância entre o fio de conexão e a agulha magnética não exceder $\frac{3}{4}$ de polegada, o desvio da agulha fará um ângulo de cerca de 45° . Se a distância variar, o ângulo diminuirá à medida que a distância cresce.*⁹

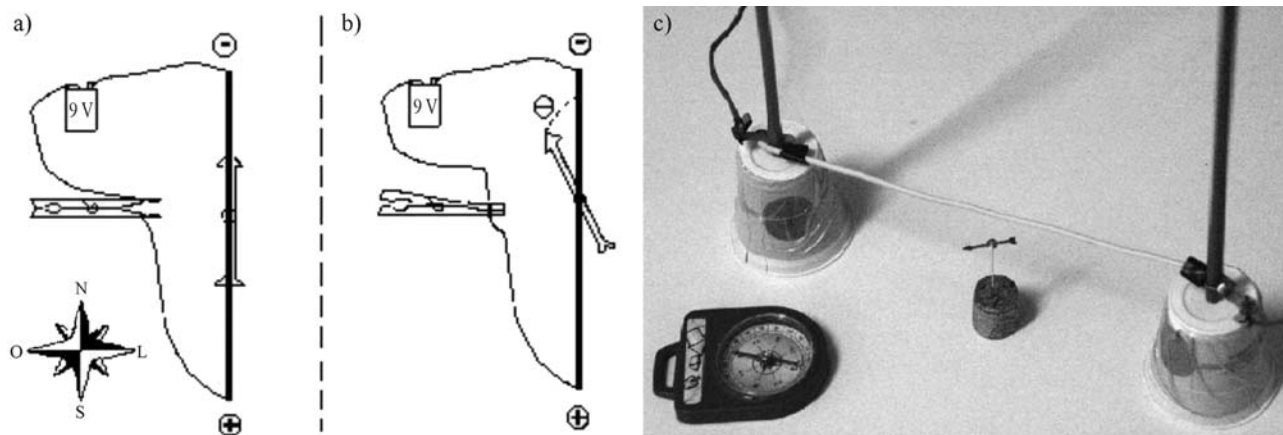


Figura 8 - a) Coloca-se o fio rígido sobre a bússola, apontando na direção norte-sul magnética terrestre (meridiano magnético local). b) Ao fechar o circuito verificamos que o pólo norte do ímã foi desviado de um ângulo θ em relação ao fio, na direção oeste. c) A agulha sob o fio aponta para uma direção diferente da agulha longe do fio (observe que o fio está paralelo à segunda agulha).

Voltando com o fio para a posição original (a 1,0 cm de distância da agulha) podemos inverter a conexão das extremidades do fio rígido com os pólos positivo e negativo da pilha. Observa-se que a deflexão da agulha imantada fica invertida. Isso não era necessariamente um fenômeno esperado, pois a deflexão da agulha poderia depender apenas da direção da corrente e não do seu sentido, mas não foi o que ocorreu. No caso da Fig. 8a, por exemplo, ao fecharmos o circuito ligando a extremidade superior do fio rígido ao terminal positivo da pilha, vem que a ponta da agulha magnética sob o fio que apontava para o norte será desviada para leste. Já o pólo sul da agulha imantada, que agora está voltado para o terminal negativo da pilha, será desviado para oeste. Deste modo, observa-se que independente do sentido da corrente, o pólo da agulha magnética que está sob a parte do fio ligada ao terminal negativo continuará girando para oeste.

Desloquemos agora o fio rígido para leste, de forma que continue paralelo ao eixo norte-sul magnético local. Ao fechar o circuito, a bússola desloca-se novamente para oeste, embora o ângulo de deflexão possa ser um pouco diferente do caso anterior. O mesmo ocorre quando o fio é deslocado para oeste. Aí está outro fato interessante. Percebe-se que independente do fio rígido estar à direita ou à esquerda da agulha magnética, esta gira para o mesmo lado. Oersted uti-

liza esta experiência para eliminar a hipótese de que ao passar corrente no fio, este tivesse se imantado. Caso isto tivesse ocorrido, a agulha imantada experimentaria uma atração de um lado, uma repulsão do outro e giraria em sentido contrário:¹⁰ *Pode-se deslocar a posição do fio de conexão para leste ou para oeste, desde que ele permaneça paralelo à agulha, sem que o efeito mude, a não ser em sua grandeza; portanto o efeito não pode ser atribuído à atração, pois o mesmo pólo da agulha magnética que se aproxima do fio de conexão quando este está colocado a leste, deveria afastar-se dele quando colocado a oeste, se esses desvios dependessem de atrações ou repulsões.*

Agora usaremos o circuito descrito na Fig. 9b. Ou seja, a agulha imantada está agora sobre o fio.

Ao fechar o circuito acontece outro fenômeno curioso. Percebe-se que o pólo da agulha magnética que está do lado do terminal negativo da pilha, e que antes se desviava para o oeste, desvia-se agora para leste. Oersted descreveu este efeito com as seguintes palavras:¹¹ *Se o fio de conexão é colocado em um plano horizontal sob a agulha magnética, todos os efeitos são como no plano acima da agulha, mas em direção inversa. Pois o pólo da agulha magnética sob o qual está a parte do fio de conexão que está próximo ao terminal negativo do aparelho galvânico, desvia-se para leste.*

⁹Ver Ref. [6], p. 119.

¹⁰Ver Ref. [6], p. 119.

¹¹Ver Ref. [6], p. 119.

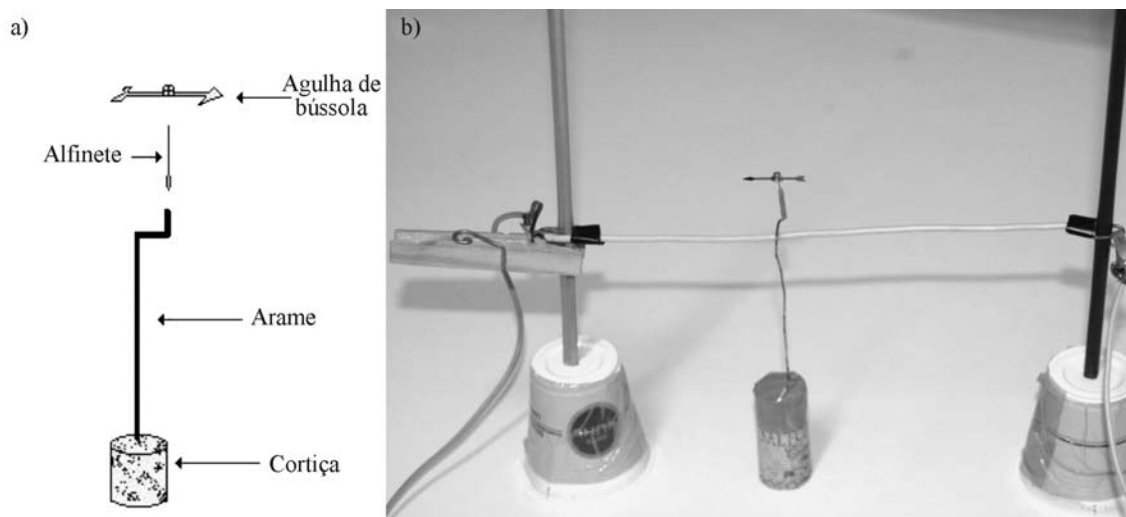


Figura 9 - A agulha magnética por cima do circuito.

Oersted resume suas observações da seguinte maneira:¹² *Para tornar mais fácil a memorização disso, pode-se usar a fórmula: O pólo sobre o qual entra a eletricidade negativa gira para oeste, ou para leste se entra abaixo.* Estas observações podem ser resumidas da seguinte maneira: 1) Dada uma configuração do circuito,

a agulha imantada gira sempre para o mesmo lado. 2) Quando trocamos as conexões do fio em relação aos terminais positivo e negativo da pilha, ou quando trocamos a posição da agulha magnética em relação ao fio (com a agulha ficando acima ou abaixo do fio), ela gira para o sentido oposto, Fig. 10.

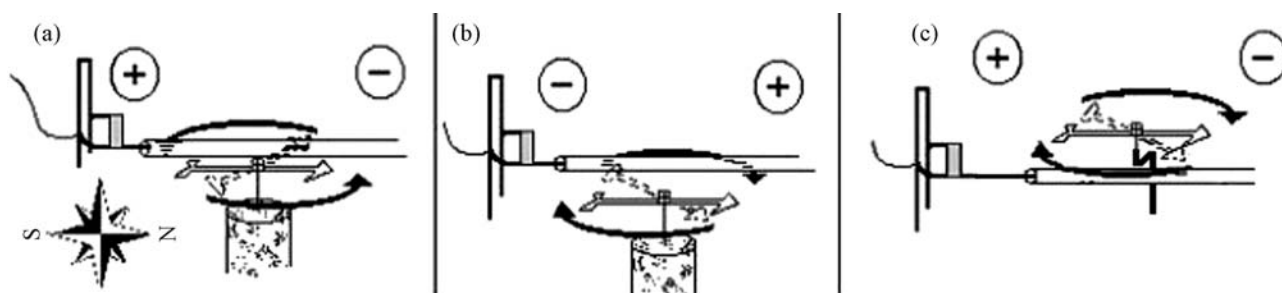


Figura 10 - a) e b): Colocando-se o fio condutor paralelo à agulha magnética, seu pólo voltado para o terminal negativo da pilha gira para oeste se estiver abaixo do fio. c) Este mesmo pólo gira para leste se estiver acima do fio.

Ao variar a altura do fio podemos alinhá-lo ao lado da agulha magnética, no mesmo plano horizontal e apontando ao longo do meridiano magnético. Ao fechar o circuito, acontece mais um fato curioso. A agulha não gira mais na horizontal. Em vez disso, o pólo que está direcionado para o contato negativo da pilha apresenta uma leve inclinação para baixo quando se encontra ao lado leste do fio, e uma leve inclinação para cima quando está do lado oeste.

Podemos ver novamente as palavras de Oersted ao realizar esta experiência:¹³ *Colocando-se o fio de conexão no mesmo plano horizontal no qual se move*

a agulha magnética, equilibrada por um contrapeso, e estando [o fio] paralelo à agulha, ela não se desvia nem para leste nem para oeste, mas inclina-se em relação ao plano, de tal modo que o pólo próximo à entrada da eletricidade negativa no fio se abaixa, quando [o fio] está no lado ocidental, e se eleva, quando está no lado oriental.

Agora voltemos ao esquema da Fig. 4. Gire o fio rígido aos poucos em relação a um eixo que passa pelo centro da agulha magnética e pelo fio. Ou seja, o giro é em relação ao meridiano magnético. Verificamos neste caso, ao fechar o circuito, que o ângulo de de-

¹²Ver Ref. [6], p. 120.

¹³Ver Ref. [6], p. 120.

flexão da agulha imantada em relação ao fio rígido diminui (aumenta) conforme se gira o fio em direção à (na direção oposta da) posição da agulha perturbada. Também observamos que o desvio da agulha em relação ao meridiano magnético aumenta (diminui) conforme se gira o fio em direção à (na direção oposta da) posição da agulha perturbada. Oersted expressou isto da seguinte maneira:¹⁴ *Se o fio de conexão é girado em um plano horizontal de modo a formar um ângulo crescente com o meridiano magnético, o desvio da agulha magnética aumenta se o movimento do fio tende à posição da agulha perturbada, mas diminui se o fio se afastar dessa posição.*

Podemos também verificar se o fio com corrente exerce algum efeito eletrostático sobre algum condutor colocado próximo a ele. Para isto utilizamos novamente o esquema original. Porém, ao invés de utilizar a bússola, utilizamos um versorium elétrico, Fig. 2. Podemos utilizar versorium feitos de vários materiais tais como aço, alumínio, plástico, papel e madeira. Ao notar que estes materiais não se comportam como a agulha imantada, ou seja, não sofrem qualquer giro ou perturbação perceptível, independente de o circuito estar aberto ou fechado, demonstra-se que o efeito observado por Oersted sobre a agulha magnética não é devido aos fenômenos eletrostáticos usuais. Tal como nós, Oersted observou que: *Uma agulha de latão, suspensa como a agulha magnética, não se move sob a ação do fio de conexão. Também permanecem em repouso agulhas de vidro ou daquilo que se chama goma laca, quando submetidas a experiências semelhantes.*¹⁵

Em seguida variamos o material do condutor. Repetimos a experiência com a agulha magnética substituindo o fio rígido de cobre pelo fio de estanho e pelo fio de papel alumínio que haviam sido preparados anteriormente. Nestes dois casos foram observadas deflexões da bússola para oeste quando passou corrente no fio, mas os ângulos das deflexões foram diferentes em relação ao que havia acontecido com o fio de cobre. É importante marcar a distância em que se encontra o condutor (com ajuda das braçadeiras) do centro da agulha, assim como o ângulo de deflexão feito pela agulha magnética. Este tipo de experiência também foi realizado pela primeira vez por Oersted que concluiu o seguinte:¹⁶ *A natureza do metal não altera o efeito, mas influi em sua magnitude. Utilizamos com igual sucesso fios de platina, ouro, prata, latão, ferro, fitas de chumbo e estanho, e uma massa de mercúrio.* Ou seja, a agulha imantada ainda sofre uma deflexão, porém o ângulo entre a agulha magnética e o fio varia conforme a composição química deste último. Isto porque a composição estrutural e a espessura do condutor influenciam na intensidade de

corrente em seu interior.

Agora vamos interpor alguns materiais entre a agulha imantada e o fio, tais como papel, papel de alumínio, madeira, plástico e isopor. Em seguida coloque um copo de vidro emborcado para baixo cobrindo toda a agulha magnética. Faça o análogo para o copo de plástico. O que se observa é que ao fechar o circuito passando corrente no fio, a bússola se desvia como antes, não interessando se interposmos uma lâmina de um material condutor ou isolante entre o fio e a bússola.

Pode-se até mesmo colocar a agulha imantada dentro da água que ela ainda será desviada quando fluir corrente pelo fio. Para isto coloque a rolha com o alfinete dentro do copo de plástico transparente ou de vidro. Fixe a rolha com cola ou fita adesiva no fundo do copo para que, ao encher o copo de água, a rolha não flutue. Neste caso a agulha imantada vai ficar submersa. Ao fechar o circuito, a agulha se deflete normalmente.

Os casos podem ser combinados. Ou seja, colocar a agulha magnética dentro de um copo e tampá-lo com papel de alumínio, com isopor etc.

Em cada um dos casos, pode-se observar que a deflexão da agulha imantada não se altera.

Oersted descreveu da seguinte maneira suas experiências sobre a interposição de diferentes materiais entre o fio com corrente e a agulha magnética:¹⁷ *Os efeitos do fio de conexão sobre a agulha magnética passam através de vidro, metais, madeira, água, resina, argila e pedra; pois não vemos a interposição de placas de vidro, metal ou madeira impedi-los, e mesmo a interposição simultânea de placas de vidro, metal e madeira não faz com que eles diminuam sensivelmente. Ocorre o mesmo se interpusermos entre eles o disco de um eletróforo, uma placa de porfírita ou um vaso de argila, mesmo enchendo-o de água. Nossas experiências mostraram que o efeito descrito não se altera se a agulha magnética é colocada em uma caixa de latão cheia de água. Não é necessário advertir que nunca foi observada a passagem da eletricidade e do galvanismo através de todos esses materiais. Portanto, os efeitos que ocorrem no conflito elétrico são muito diferentes dos efeitos de qualquer dessas forças elétricas.*

Agora se monta o esquema da Fig. 6, dispondo a base para que o fio fique vertical, perpendicular ao eixo da agulha magnética. Em outras palavras, para que a agulha imantada aponte para o fio, na mesma direção do meridiano magnético. A agulha poderia apontar para cima ou para baixo, acompanhando a direção da corrente que passa no fio, mas deixemos que Oersted nos descreva o que acontece:¹⁸ *Quando o fio de conexão é colocado verticalmente na região defronte ao pólo da agulha magnética, e a extremidade superior do*

¹⁴Ver Ref. [6], p. 120.

¹⁵Ver Ref. [6], p. 120.

¹⁶Ver Ref. [6], p. 119.

¹⁷Ver Ref. [6], p. 119.

¹⁸Ver Ref. [6], p. 120.

o fio recebe eletricidade do terminal negativo do aparelho galvânico, o pólo se move para leste; mas se o fio é colocado na região entre o pólo e o meio da agulha, ela se move para oeste. Quando a extremidade superior do fio recebe eletricidade do terminal positivo, ocorrem os fenômenos inversos. Mais uma vez, a agulha gira.

Finalmente, montemos o esquema da Fig. 7 e orientemos as bases do arranjo de modo que o eixo da agulha magnética esteja perpendicular ao plano das pernas. Deste modo um pólo da agulha imantada estará apontando para “dentro” das pernas. O que ocorre neste caso é bem descrito por Oersted:¹⁹ *Se o fio de conexão é dobrado, até que ambas as partes se tornem duas pernas paralelas, os pólos magnéticos são atraídos*

ou repelidos conforme as circunstâncias. Se o fio [assim dobrado] é colocado em oposição [diante] do pólo da agulha, de modo que o plano das pernas paralelas seja perpendicular ao meridiano magnético, e a perna oriental seja unida ao terminal negativo do aparelho galvânico, a ocidental ao positivo; assim sendo, o pólo próximo será repellido, seja para leste, seja para oeste, dependendo da posição do plano das pernas. Unindo-se o ramo oriental com o terminal positivo e o ocidental com o terminal negativo, o pólo próximo será atraído. Quando o plano das pernas é colocado verticalmente em uma posição entre o pólo e o centro da agulha, ocorrem efeitos iguais, mas inversos.

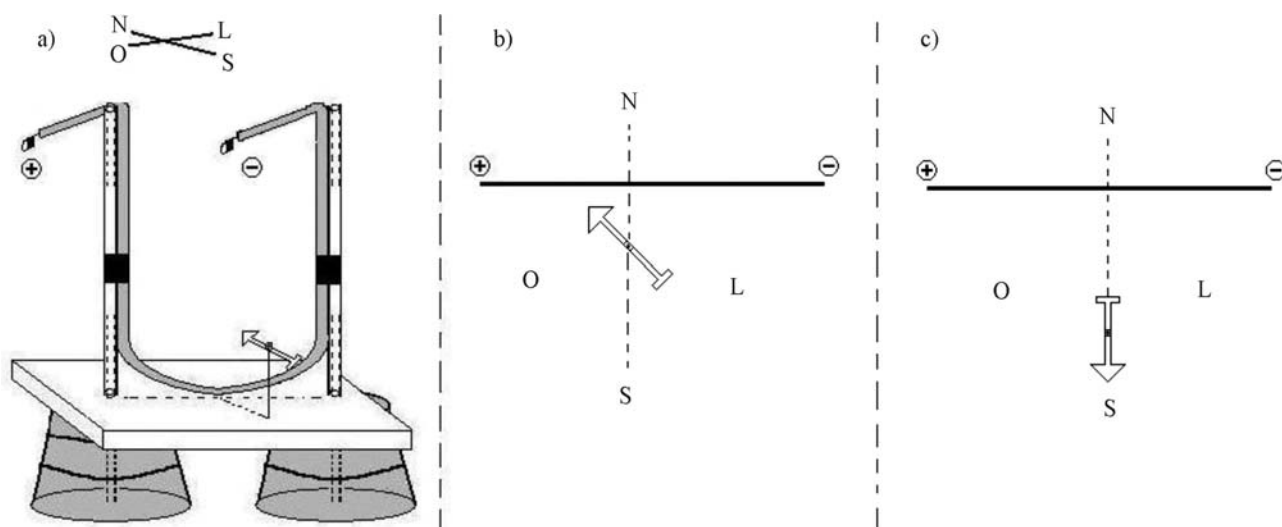


Figura 11 - a) Circuito com o plano das pernas (que estão paralelas entre si) perpendicular ao meridiano magnético. b) Quando se liga a perna oriental (ocidental) ao terminal negativo (positivo) da pilha, a agulha magnética - que estava orientada em direção ao pólo norte geográfico terrestre - fica em equilíbrio instável quando a força magnética exercida pelo circuito sobre os pólos do ímã é maior do que a força magnética exercida pela terra. Se o pólo da agulha for desviado levemente para leste ou para oeste, continuará sendo desviado nesta direção. c) Posição final de equilíbrio estável da agulha nesta condição.

O fio na forma da letra U invertida nas Figs. 7 e 11 funciona como uma espira. Para que seja observada a repulsão descrita por Oersted é necessário que a força exercida pela espira sobre um dos pólos tenha uma intensidade maior do que a força exercida pelo magnetismo terrestre sobre este mesmo pólo. Quando o eixo da agulha aponta para o centro da espira, com o plano da espira perpendicular ao meridiano magnético, um dos pólos da bússola vai ser atraído pela espira e o outro vai ser repellido por ela. Os pólos da agulha imantada vão estar sob a ação de duas forças paralelas. Se elas estiverem apontando no mesmo sentido, vão se somar. Se estiverem apontando em sentido contrário, vão se subtrair, sendo que a força resultante atuando sobre o pólo colocado próximo ao centro da espira vai estar na direção oposta à força exercida sobre este pólo

pelo magnetismo terrestre. Dependendo de qual dos pólos da agulha imantada estiver mais próximo da espira, a agulha ficará em equilíbrio estável (no caso de ela ser atraída pela espira) ou instável (quando está sendo repellido pela espira). No caso de equilíbrio instável, vem que qualquer perturbação da agulha em relação ao meridiano magnético, seja para leste ou para oeste, tenderá a ser ampliada, com a agulha não mais voltando à sua posição original. É esta a repulsão que foi descrita por Oersted e que pode ser reproduzida com a montagem descrita neste artigo.

Observamos, então, a riqueza de detalhes com que Oersted estudou o fenômeno da deflexão da agulha magnética por um circuito fechado. Se a intenção do leitor é apresentar este experimento a terceiros, recomendamos que se pergunte aos espectadores, antes de

¹⁹Ver Ref. [6], p. 120.

fazer cada passo, quais os fenômenos que eles esperam que vá ocorrer e como poderiam explicá-lo. Isto gera um debate saudável e a fixação dos fenômenos.

4. Conclusão

Este trabalho mostra que é possível reproduzir todas as experiências realizadas por Oersted em seu histórico trabalho utilizando materiais de baixo custo. Com isto se enriquecem bastante as aulas de eletromagnetismo já que os alunos terão oportunidade de visualizar os fenômenos em sala de aula, além de poderem acompanhar a descrição dos efeitos com as próprias palavras de Oersted. Com isto, a exposição do trabalho de Oersted fica enriquecida, avivando o interesse dos alunos pela história do eletromagnetismo. Além disso, os fenômenos são apreendidos de uma maneira mais palpável e com um efeito mais duradouro.

Agradecimentos

J.P.M.C. Chaib agradece à Funcamp - Unicamp pelo apoio financeiro concedido através de uma bolsa de doutorado durante a qual foi realizado este trabalho. Os

autores agradecem ao assessor pelas sugestões construtivas relativas à primeira versão deste trabalho.

Referências

- [1] E. Grant, *Dictionary of Scientific Biography*, edited by C.C. Gillispie (Charles Scribner's Sons, Nova Iorque, 1981), v. 9, p. 532-540.
- [2] W. Gilbert, *Great Books of the Western World* (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1978), v. 28, p. 1-121.
- [3] R.A.R. Tricker, *Early Electrodynamics - The First Law of Circulation* (Pergamon Press, Oxford, 1965).
- [4] R.D.A. Martins, *Cad. Hist. Fil. Ci.* **10**, 89 (1986).
- [5] J.R. Hofmann, *André-Marie Ampère - Enlightenment and Electrodynamics* (Cambridge University Press, Cambridge, 1996).
- [6] H.C. Ørsted, *Cad. Hist. Fil. Ci.* **10**, 115 (1986).
- [7] N.C. Ferreira, *Ciência Hoje na Escola* **12**, 18 (2001).
- [8] A. Medeiros, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **24**, 353 (2002).
- [9] W. Teixeira, M.C.M. Toledo, T.R. Fairchild e F. Taioli, *Decifrando a Terra* (Oficina de Textos, São Paulo, 2000). Dado obtido do mapa de intensidade do campo geomagnético.