

Polaridade magnética e sensor Hall: uma proposta de experimento para os ensinos fundamental e médio

Magnetic polarity and Hall sensor: an experiment proposal for elementary and high school

Antonio Augusto Soares^{*1}, Jefferson Buonafina Pereira Junior¹,
Ana Paula Furquim Moreira¹, Luiz Cláudio Chiavini¹

¹Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Física, Química e Matemática,
Sorocaba, SP, Brasil.

Recebido em 18 de maio de 2021. Revisado em 23 de junho de 2021. Aceito em 24 de junho de 2021.

Apresentamos uma proposta de montagem experimental utilizando o Arduino e dois sensores Hall a3144 para o estudo da polaridade magnética de fontes de campo magnético. O uso do sensor Hall permite ao professor discutir junto a seus estudantes esse importante fenômeno da física moderna que se alicerça nos conceitos de campo elétrico e magnético. A montagem é simples e de relativo baixo custo, permitindo aos estudantes determinarem a polaridade (norte ou sul) de ímãs e eletroímãs, por exemplo. Este experimento, de cunho qualitativo, é aplicável aos ensinos fundamental e médio e pode levar a uma maior concretização de conceitos relativos ao eletromagnetismo e, conseqüentemente, permitir um aprendizado num contexto de maior significação.

Palavras-chave: Efeito Hall, polos magnéticos, Arduino, experimentação.

We present an experiment proposal using a prototyping Arduino board and two a3144 Hall sensor to study the magnetic polarity of magnetic field sources. Using Hall sensors allow teachers to discuss along with the students this important modern physics phenomenon that is anchored on the electric and magnetic field concepts. It is a simple experimental setup and relatively low cost allowing students to determine the magnetic polarity of magnets and electromagnets. This qualitative experiment is suitable for elementary and high school and can lead to a large concretization about concepts related to magnetism allowing more meaningful learning.

Keywords: Hall effect, magnetic poles, Arduino, experimentation.

1. Introdução

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) têm desempenhado um papel bastante importante na vida das pessoas, incluídas aí aquelas situações relacionadas ao ensino. Um dos elementos que tem apresentado boa envergadura no desenvolvimento e aplicação especificamente no ensino de física é a placa de prototipagem Arduino associada a diversos sensores disponíveis no mercado por preços bastante acessíveis. Tal placa tem permitido o acesso a uma série de experimentos outrora não factíveis devido à ausência de equipamentos, muitas vezes por conta do alto custo.

Um exemplo de uso do Arduino em projetos experimentais para o ensino de física é o trabalho desenvolvido por Ilibio e Girardi [1] que, usando o Arduino e um sensor ultrassônico, propuseram um experimento para determinar a velocidade do som no ar em função da temperatura. Em outro trabalho, Buj e Revuelta [2] apresentam um conjunto de possibilidades de experimentos utilizando diferentes sensores conectados ao Arduino tanto para o ensino de física como de química. Dentre os temas relacionados à física, esse trabalho aborda

experimentos sobre energia e temperatura, comunicação sem fio, intensidade sonora, dentre outros.

No que tange a conteúdo, como apontado por Terrazan [3], muitos dos fenômenos físicos do dia a dia da sociedade bem como elementos tecnológicos deles decorrentes só podem ser estudados e compreendidos quando exploramos conceitos físicos que foram devidamente estabelecidos a partir do início do século passado, isto é, conceitos relacionados à física contemporânea. Ainda segundo esse autor, o fato de o conhecimento acerca da física moderna e contemporânea ser mandatório para a compreensão do mundo (tecnológico) atual exige que nos enveredemos na busca por formas de inserir, de maneira adequada e completa, tais temas no ensino médio (EM).

Por sua vez, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) [4] indica que a compreensão, utilização e criação relacionadas às tecnologias digitais de informação e comunicação devem ocorrer, dentre outras, de forma crítica e significativa permitindo ao cidadão resolver problemas e produzir conhecimento. De forma explícita, esse mesmo documento orienta que se deve desenvolver junto aos estudantes a habilidade de investigar equipamentos eletrônicos e de automação de modo a compreender as tecnologias contemporâneas e suas implicações no dia a dia da sociedade.

* Endereço de correspondência: aasoares@ufscar.br

Nessa linha, este trabalho tem como objetivo contribuir através da apresentação de uma proposta de abordagem de um tema relacionado ao eletromagnetismo – polaridade magnética e efeito Hall – através da aplicação do Arduino no ensino de física. Apresentamos e discutimos um experimento para o estudo da polaridade de fontes de campo magnético utilizando sensores que se valem do efeito Hall. Por tratar-se de um tema, como muitos outros do eletromagnetismo, com alto grau de abstração, nos alinhamos com Gaspar [5] que destaca que a experimentação apresenta as vantagens da motivação e concretização perante outras práticas didáticas. Dessa forma, as dificuldades relacionadas à compreensão sobre os polos de diferentes fontes de campo magnético podem ser reduzidas a partir da concretização que esta proposta experimental permite atingir.

2. Montagem Experimental

O fenômeno físico responsável pelo funcionamento de sensores do tipo Hall, incluindo o utilizado nesta proposta de experimento, foi observado primeiramente por Edwin Herbert Hall (1855–1938). No efeito Hall há o surgimento de uma diferença de potencial elétrico devido à separação de cargas em uma tira metálica que é percorrida por uma corrente elétrica i e encontra-se na presença de um campo magnético de intensidade B , orientado perpendicularmente ao fluxo dos portadores de carga (elétrons neste caso) que constituem a corrente elétrica.

A imagem do topo da Figura 1(a) mostra a vista superior de uma representação de uma fita condutora de largura d que é atravessada por uma corrente elétrica i no exato momento ($t = 0$) em que um campo magnético de intensidade B , perpendicular à folha e saindo dela, é ligado.

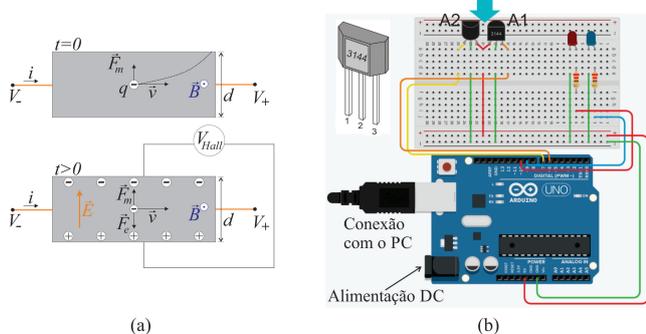


Figura 1: (a) Na parte superior, fita condutora atravessada por uma corrente elétrica i em $t = 0$ (instante no qual o campo magnético é ligado). Na parte inferior ($t > 0$), fita condutora mostrando a polarização devido à ação do campo \vec{B} (vetor em azul e saindo da folha). Em (b), ilustração da protoboard onde os componentes estão montados e a placa do Arduino. No destaque são mostrados os terminais do sensor Hall a3144.

A corrente representada na Figura 1(a) é a real e podemos observar um elétron típico (com carga elétrica q) movendo-se da esquerda para a direita devido à diferença de potencial $\Delta V = V_+ - V_-$. Desta forma, esses elétrons que constituem a corrente estão sujeitos a uma força magnética de intensidade F_m , perpendicular ao plano formado pelos vetores velocidade e campo magnético dada por:

$$F_m = qvB. \quad (1)$$

Essa força magnética, como ilustrado na parte superior da Figura 1(a), desvia os elétrons para uma das bordas da fita (neste caso, parte de cima da figura) gerando um excesso de cargas negativas desse lado e de positivas na borda oposta como ilustrado na imagem inferior da Figura 1(a). Essa polarização, por sua vez, leva ao surgimento de um campo elétrico de módulo E , indicado pelo vetor em laranja nessa mesma figura. Esse campo elétrico faz com que os elétrons experimentem uma força elétrica de módulo $F_e = qE$ que se equilibra com a força magnética conforme ilustrado na parte inferior da Figura 1(a). Ao se igualar à F_m , F_e impede que o acúmulo de cargas nas bordas da fita condutora aumente, estabilizando-se: e a corrente elétrica volta a seguir seu fluxo normal.

A polarização gerada devido à presença do campo magnético leva ao surgimento de uma diferença de potencial (V_{Hall}) entre as duas bordas da fita. Essa ddp é proporcional à largura d da fita e ao campo elétrico e é conhecida como potencial Hall. Por exemplo, medindo-se essa diferença de potencial e a corrente elétrica que flui e conhecendo-se as características geométricas do condutor, é possível determinar o campo magnético aplicado, configurando-se num sensor de campo magnético.

O sensor a3144, esquematicamente ilustrado no destaque da Figura 1(b), se vale de tal fenômeno físico. O terminal 1 é o de alimentação (de 4,5V até 24V), o 2 é o terra e o 3 é o terminal de saída (sinal). Na ausência de campo magnético, o estado do sensor é “high”, isto é, o terminal 3 apresenta estado lógico 1. Por outro lado, na presença de um campo magnético o sensor passa para um estado “low”, e o terminal 3 passa a apresentar estado lógico 0.

Nesta proposta experimental utilizamos uma placa Arduino Uno, 2 sensores Hall a3144, 2 leds difusos de 5 mm (azul e vermelho) e 2 resistores de 220 Ω . O objetivo é que quando o par de sensores Hall detectarem a presença de um polo magnético norte, o led vermelho seja acionado. Por outro lado, a detecção de um polo magnético sul será indicada pelo acionamento do led azul.

A Figura 1(b) mostra uma representação esquemática da montagem dos sensores com o Arduino. Como é possível observar, trata-se um circuito relativamente simples. Na parte inferior está a placa Arduino conectada ao computador para programação e alimentação elétrica. Acima está a protoboard utilizada para a

fixação e conexão dos componentes. Os leds azul e vermelho estão ligados às portas digitais 5 e 6 do Arduino e para limitação de tensão estão, cada um, associados em série a um resistor de 220Ω. Os sensores Hall são alimentados com 5 V (terminal 1) pelo Arduino estando seus terminais 2 (terra) conectados ao GND. O sinal de cada um dos sensores são enviados às portas digitais 9 e 10 do Arduino.

Outra característica importante do sensor Hall a3144 – e que o torna adequado a esta proposta experimental – é que a face frontal do sensor (lado chanfrado onde estão impressas informações acerca do sensor) é sensibilizada apenas por um polo magnético sul de forma que se aproximarmos um polo norte à face frontal o estado lógico não se altera, isto é, mantém-se em 1. Por sua vez, com a face traseira do sensor (não chanfrada) ocorre o oposto, sendo sensibilizada apenas na presença de um polo norte magnético.

É essa característica do sensor Hall a3144 que exige que usemos dois deles na composição de nosso experimento, colocando-os lado a lado, porém um com as faces invertidas, isto é, um “olhando” para frente e outro para trás como pode ser observado na Figura 1(b) (A1 e A2). Com isso e conforme indicado pela seta no topo da Figura 1(b), se aproximarmos do par A1 e A2 um pólo sul, o sensor A2 que está com a parte chanfrada voltada para o lado do objeto magnético, terá seu estado lógico alterado de 1 para 0 enquanto A1 permanecerá no estado 1 gerando, então, um sinal binário do tipo “0 1”. Por outro lado, se aproximarmos um polo norte do conjunto, apenas o sensor A1, voltado para trás, terá seu estado lógico alterado de 1 para 0 e o sinal binário obtido será “1 0”. Na ausência de campo magnético ambos permanecerão no estado 1 e o sinal binário lógico será “1 1”.

Desta forma é possível programar o Arduino (ver código no apêndice) para identificar tal sinal binário e, a depender do resultado, acionar um dos leds ou nenhum deles. A Tabela 1 apresenta as combinações possíveis de estados lógicos e o resultado que deve ser indicado pelo acionamento (ou não) dos leds.

A Figura 2 apresenta uma fotografia da montagem experimental, pronta para a execução do experimento, com os sensores já devidamente montados e conectados ao Arduino. Na parte inferior é possível ver a protoboard

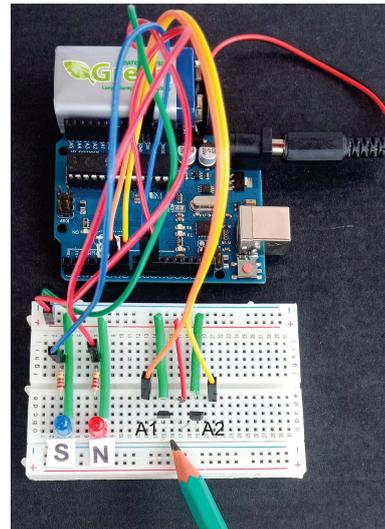


Figura 2: Fotografia do circuito montado e pronto para utilização em sala de aula. O Arduino é alimentado por uma bateria de 9V. Os sensores a3144 estão rotulados por A1 e A2 na região indicada pela ponta do lápis.

com os leds azul e vermelho bem como o par de sensores a3144 (A1 e A2). Na execução do experimento, a parte do elemento gerador de campo magnético que se deseja determinar a polaridade deve ser aproximada pelo lado indicado pela ponta do lápis. Uma vez que o Arduino já está programado com o código mostrado no apêndice, ele é alimentado por uma bateria de 9V, não mais sendo necessária a conexão com o computador através do cabo USB. Isto dá ao dispositivo maior mobilidade, permitindo ao professor dirigir-se a diferentes grupos de estudantes em sala de aula para que cada um deles faça seu experimento.

3. Resultados

Como a proposta aqui apresentada é de um experimento de cunho qualitativo e que tem como objetivo determinar o polo magnético de um dado elemento gerador de campo magnético, discutimos na sequência algumas propostas de aplicação junto a turmas do EM e EF.

A Figura 3 apresenta o resultado obtido utilizando a montagem aqui proposta para duas situações diferentes. Utilizamos como elemento gerador de campo magnético um dispositivo que faz parte do conteúdo do EM, o eletroímã.

O eletroímã, mostrado no destaque da Figura 3(a), é constituído de 200 voltas (espiras justapostas) de fio de cobre esmaltado AWG-25 enroladas em um prego que atua como núcleo ferromagnético. Nesse contexto, o professor pode discutir as características e os parâmetros envolvidos na determinação do campo magnético do solenóide explorando, inclusive, a questão das linhas do campo magnético, dando ênfase em sua relação com a intensidade do campo. Com isto é possível avaliar junto

Tabela 1: Combinação dos estados lógicos do terminal 3 dos sensores A1 e A2 e respectivas ações a serem realizadas pelo Arduino em relação aos leds para a indicação da polaridade magnética.

Situação	Sensor A1	Sensor A2	Azul	Vermelho
Polo norte	0	1	Apagado	Aceso
Polo sul	1	0	Aceso	Apagado
Sem campo	1	1	Apagado	Apagado

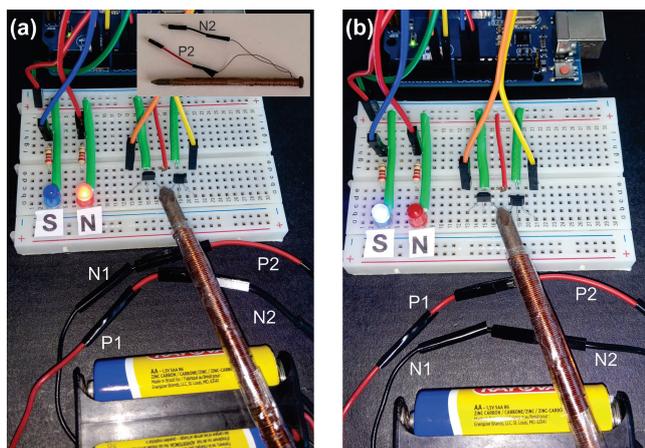


Figura 3: Determinação da polaridade magnética de um eletroímã formado por um prego (núcleo ferromagnético) e um solenóide com 200 voltas de fio de cobre esmaltado AWG-25 (ver destaque da figura (a)). P1(N1) indica o terminal positivo (negativo) do conjunto de 2 pilhas AA de 1,5 V cada uma. P2 e N2 indicam os conectores de alimentação do eletroímã. Em (a) um pólo norte é identificado (led vermelho aceso) e em (b) um polo sul (led azul aceso).

aos estudantes a questão relativa à sensibilidade dos sensores a3144, isto é, quão próximo ao par de sensores deve estar a fonte de campo magnético para que aquele polo seja “medido”.

Na Figura 3(a) é possível observar que dispositivo detectou um polo magnético norte uma vez que o led vermelho foi acionado devido à proximidade da ponta do prego ao par de sensores. Isso devido ao fato de o sensor A1 (ver Figura 2) ter sido acionado tendo seu estado lógico mudado de 1 para 0 e levando ao sinal lógico “0 1” para o par de sensores. Por outro lado, a Figura 3(b) indica que o dispositivo detectou um polo magnético sul dado que o led azul foi acionado. Nesta segunda situação, o sensor A1 não sofreu alteração em seu estado lógico, diferentemente o sensor A2 que mudou para o estado 0, fazendo com que o sinal lógico do par passasse para “1 0”.

Do ponto de vista físico, a diferença entre as situações mostradas nas Figuras 3(a) e 3(b) pode ser percebida ao se analisar as conexões elétricas da alimentação do eletroímã que é feita por um par de pilhas AA de 1,5 V cada uma. Na Figura 3(b) há uma inversão de polaridade da alimentação quando comparada à situação da Figura 3(a). Em 3(a) o terminal P1(N1) da pilha está ligado ao conector P2(N2) do eletroímã enquanto que na Figura 3(b) essas conexões estão invertidas. Essa inversão resulta em uma mudança na direção da corrente elétrica que atravessa cada espira que constitui o eletroímã levando, consequentemente, a uma inversão da polaridade magnética. O professor pode, portanto, discutir experimentalmente junto a seus estudantes a influência do sentido da corrente elétrica nas características do campo magnético por ela gerado.

Outra abordagem possível junto aos estudantes é a remoção do núcleo ferromagnético (prego) deixando apenas o solenóide constituído pelas espiras justapostas do fio de cobre. O núcleo ferromagnético aumenta a intensidade do campo magnético devido ao alinhamento de seus dipolos magnéticos. Na ausência do núcleo ferromagnético, o campo magnético na extremidade do solenóide apresenta menor intensidade. Nessa nova configuração o professor pode aproximar uma das extremidades do solenóide ao par de sensores A1 e A2 verificando que o campo não é suficientemente intenso para acionar o sensor. Em seguida, repete-se o experimento com o prego recolocado no interior do solenóide discutindo a questão da presença do núcleo de material ferromagnético.

Além do eletroímã, o professor pode analisar junto aos estudantes a polaridade de ímãs de diferentes formatos e aplicações como geladeira, alto-falante etc.

Já no contexto do EF o professor pode, por exemplo, discutir as características magnéticas de diferentes materiais e avaliar junto aos estudantes que materiais são atraídos por um ímã (“grudam”) e quais não são e, em seguida, avaliar a polaridade magnética do próprio ímã e de diferentes materiais que podem ser magnetizados (ou não) pelo ímã.

Aqui usamos o sensor Hall A3144 que não apresenta sensibilidade suficiente para detectar o campo magnético terrestre cuja componente horizontal na região onde realizamos os testes é da ordem de 0,18G. Porém existem outros sensores que se valem do mesmo fenômeno físico (o A1120, por exemplo) e que são mais sensíveis, conseguindo detectar campos magnéticos de menor intensidade. A depender da sensibilidade do sensor Hall utilizado o professor pode, por exemplo, utilizar a montagem aqui proposta como uma “bússola” eletrônica. Outra característica que deve ser levada em conta é se o sensor é do tipo *non-latching* ou *latching*. O primeiro, cujo A3144 é um exemplo, tem seu estado inicial alterado na presença do campo magnético, mas ao se remover o campo, o estado volta à condição inicial. Já o segundo caso, quando na presença do campo magnético o estado inicial é alterado e assim permanece mesmo com a remoção do campo.

4. Conclusões

A escolha desse sensor, advindo da descoberta do efeito Hall, para a atividade experimental aqui proposta ocorreu devido à sua relação direta com os conteúdos explorados nos EF e EM e por se tratar de um fenômeno relacionado à física contemporânea. Desta forma, a proposta permite a realização de atividade experimental que pode levar à concretização em relação ao conceito físico da polaridade magnética, principalmente de elementos que não apresentam de forma natural tal fenômeno (eletroímã, por exemplo). Além disso, coloca os estudantes em condições de aprender de forma crítica e significativa sobre um fenômeno que está presente em

diversas situações de seu dia a dia. Esta proposta pode, portanto, colaborar com o ensino dos fenômenos aqui explorados e contribuir com o alinhamento do ensino de física praticado nas escolas com as orientações constantes da BNCC no que tange à área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Há um considerável volume de aplicações de sensores do tipo Hall em elementos do cotidiano dos estudantes como, por exemplo, sensores de rotação e velocidade, sensor de corrente elétrica, smartphones, dentre outros. Isso faz com que esta proposta apresente o potencial de despertar a motivação intrínseca dos estudantes e pode levar a um processo de aprendizagem com maior significação.

A montagem experimental é relativamente simples e de relativo baixo custo e o experimento é de fácil execução, tanto por conta do custo dos materiais assim como pelo fato de a placa do Arduino ser aplicável a outras propostas de experimento, bastando trocar os sensores, por exemplo. Em relação à facilidade de construção, pode ser aplicado como projeto a ser desenvolvido pelos próprios estudantes para feiras de ciências levando, desta forma, a investigação e análises mais profundas do funcionamento dos elementos envolvidos e da lógica de programação.

A proposta é aplicável tanto no contexto do EM quando do EF, bastando que o professor faça a abordagem considerando aquele nível de ensino. Em ambos os casos, esta abordagem experimental tem potencial para aumentar o engajamento dos estudantes dada a utilização de elementos relacionados às TIC bem como a concretização relacionada aos pólos magnéticos que se pode obter.

Material suplementar

O seguinte material suplementar está disponível online:
Apêndice

Referências

- [1] M.B. Ilibio e M. Girardi, *A Física na Escola* **18**, 49 (2020).
- [2] M.S. Alegre Buj e M.J. Cuetos Revuelta, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **18**, 1202–1 (2021).
- [3] E.A. Terrazzan, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **9**, 209 (1992).
- [4] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. *Base Nacional Comum Curricular*, Brasília, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_ELEEF_110518-versaofinal_site.pdf.
- [5] A. Gaspar, *Atividades experimentais no Ensino de Física* (Livraria da Física, São Paulo, 2014).