

## **CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR HALL PARA USO EM EXPERIMENTOS DE FÍSICA**

Rejane Bueno de Moraes<sup>1</sup>, Esdras Garcia Alves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bolsista (IFMG-Congonhas), Curso de Licenciatura em Física, IFMG - campus Congonhas, Congonhas – MG; rejanebueno.morais@gmail.com

<sup>2</sup>Orientador, Pesquisador do IFMG, IFMG - campus Congonhas, Congonhas – MG; esdras.alves@ifmg.edu.br

### **RESUMO**

A realização de experimentos é algo comumente aceito como relevante nas aulas de física. Por ser uma disciplina cujo objeto de estudo é constituído pelos fenômenos naturais é compreensível que a fenomenologia tenha um papel importante em seu ensino. Apesar disso, a experimentação não é algo universalmente presente nas aulas de física. Um dos fatores apontados pela pesquisa em ensino de física para essa situação é a falta de equipamentos disponíveis nas salas de aula. Essa situação pode ser compreendida considerando a falta de recursos financeiros pela qual passam as instituições de ensino e o alto custo dos experimentos comercializados por empresas dedicadas à produção de experimentos didáticos. No sentido de superar essas dificuldades a comunidade envolvida com o ensino de física tem produzido experimentos didáticos de baixo custo e compartilhado essas propostas nos periódicos dedicados a esta área. Alinhado com essa perspectiva da comunidade acadêmica, foi proposto um projeto de pesquisa voltado para a calibração de um sensor de efeito hall, com o objetivo de ser usado como medidor de campo magnético. Um sensor de efeito hall produz uma diferença de potencial em seus terminais quando ele se encontra na presença de um campo magnético. Em particular, o sensor usado neste projeto possui uma tensão de saída proporcional ao valor do campo magnético aplicado. O sensor foi calibrado por meio de dois métodos diferentes. No primeiro foi empregada uma bobina de Helmholtz para produzir um campo magnético uniforme e, no segundo, um solenoide. Variando o valor do campo magnético nesses dispositivos foi possível levantar a curva  $V \times B$  para o sensor e assim estabelecer a equação para sua calibração. Com a curva de calibração, o sensor será utilizado para medir o campo magnético entre dois ímãs em um experimento de custo reduzido, atualmente em desenvolvimento, destinado à medição da força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica.

### **INTRODUÇÃO**

A realização de experimentos é uma atividade importante na Física e no Ensino da Física. Pereira e Moreira (2017), associam as origens da importância atribuída aos experimentos no ensino da Física aos grandes projetos de renovação curricular que foram criados/implementados no início da segunda metade do século passado. Esses mesmos autores, contudo, destacam que tão antiga quanto a defesa do uso de experimentos no ensino é a crítica à aceitação tácita da experimentação como algo capaz de resolver as dificuldades de aprendizagem dos estudantes. De fato, a Pesquisa em Educação tem mostrado que a experimentação por si não é capaz de resolver os problemas de ensino, contudo, não se pode deixar de considerá-la como um importante recurso que o professor tem à sua disposição para abordar os conteúdos em sala de aula.

Se por um lado a experimentação é algo relevante para o ensino, por outro é possível constatar que ela não está universalmente presente nas salas de aula. Laburú, Barros e Kanbach (2007), afirmam que elas raramente são utilizadas nas escolas de Ensino Médio. Baseados em diversas pesquisas, esses autores listam uma série de razões dadas pelos professores para a não utilização de experimentos em suas aulas. Dentre elas destacamos a indisponibilidade ou a qualidade dos materiais experimentais disponíveis na escola. Considerando o atual cenário de cortes de verbas pelo qual passam as instituições de ensino, a impossibilidade de adquirir experimentos tem afetado até mesmo as escolas da rede federal. Todo esse cenário de dificuldades tem levado a comunidade de professores e pesquisadores em ensino de física a propor soluções para esse problema com base em sugestões de experimentos de baixo custo.

Uma parte importante da literatura dedicada ao ensino da física, em diferentes épocas, tem como objeto o desenvolvimento de aparatos experimentais de baixo custo (para alguns exemplos, ver ALMEIDA, 2021; BOFF et al., 2017, SOUZA et al., 2011; PIMENTEL, et al., 1989). Tal esforço da comunidade acadêmica tem relação tanto com o alto custo das montagens comercializadas por empresas do ramo de materiais para laboratório quanto com a quantidade de recursos destinada às instituições de ensino. Muitas vezes, diante da impossibilidade de comprar equipamentos, professores e estudantes recorrem a este importante auxílio da comunidade para suprir as demandas por equipamentos didáticos, construindo seus próprios experimentos.

Alinhado com essa perspectiva da comunidade dedicada ao ensino da física, foi proposto um projeto de pesquisa que visa o desenvolvimento de um medidor de campo magnético, comumente chamado de teslâmetro ou gaussímetro. Tal medidor será utilizado para medir o módulo do campo magnético em experimentos didáticos de física.

Há diversos fenômenos envolvendo o campo magnético que não podem ser investigados de forma quantitativa por não haver um gaussímetro com custo acessível. Um gaussímetro comercial, em sua versão mais simples, pode chegar a custar mais de mil reais (um medidor de campo magnético, e não um medidor de campo eletromagnético, que costuma ser bem mais barato). Considerando a necessidade de adquirir vários destes equipamentos para conduzir uma investigação com os estudantes em uma sala de aula, o custo total acaba sendo proibitivo para grande parte das escolas públicas.

Embora versões comerciais de um gaussímetro apresentem custo muito alto (pois geralmente veem associados a medidores com display etc.) é possível desenvolver uma versão apropriada a explorações didáticas utilizando um simples sensor de efeito hall. Os sensores de efeito hall são dispositivos que respondem a campos magnéticos e podem ser encontrados no mercado a um custo bastante reduzido, graças ao desenvolvimento e à popularização da robótica nas últimas décadas. Há sensores de efeito hall cuja saída de tensão é diretamente proporcional ao campo magnético aplicado. Este tipo de sensor pode se tornar muito útil para ser usado em experimentos didáticos após passar por uma etapa de calibração.

No projeto conduzido pelos autores deste trabalho foi construído um medidor de campo magnético usando um sensor de efeito hall 49E, associado a um circuito eletrônico simples e a um multímetro comum. O sensor 49E pode ser encontrado em lojas aqui no Brasil por menos de R\$ 10,00. Para calibrar o sensor, e assim poder utilizá-lo como um medidor de campo, foram empregados bobinas e solenoides percorridos por correntes elétricas. A partir da calibração será possível utilizar o sensor para medir o campo magnético produzido na região entre dois ímãs permanentes. Estes dois ímãs fazem parte de um experimento de custo reduzido que está em desenvolvimento e visa possibilitar aos estudantes investigar quantitativamente a força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica. Neste trabalho são relatados os procedimentos e os resultados obtidos com a realização primeira etapa do projeto, que envolve a calibração do sensor.

## **METODOLOGIA**

O primeiro passo metodológico, anterior ao início dos trabalhos experimentais, foi a realização de uma pesquisa em periódicos nacionais em busca de artigos publicados sobre temática similar. Foram encontrados dois trabalhos sobre o uso de sensores de efeito hall para a medição de campos magnéticos: o de Magno et al. (2010) e o de Silva e Fonseca (2021). No primeiro artigo os autores utilizaram um sensor de efeito hall retirado de um antigo drive de disquete de 5¼", que já não é facilmente encontrado. Como a proposta do projeto é fazer algo que outros professores possam reproduzir, este trabalho não poderia contribuir de forma positiva.

No segundo artigo os autores utilizaram o sensor hall linear 49E, que, segundo Silva e Fonseca (2021), apresenta um valor de tensão de saída proporcional ao campo magnético experimentado pelo sensor. Além disso, esses autores afirmam que é necessária a realização da calibração, uma vez que o mesmo componente, produzido por empresas diferentes, apresenta sensibilidades diferentes.

O sensor 49E é um circuito integrado que requer uma fonte de alimentação com uma tensão estável. Para sua alimentação foi construído um circuito simples composto por 3 pilhas do tipo AA em série (4,5 V) e uma chave liga/desliga. A saída do 49E foi ligada diretamente a um voltímetro digital na escala de 6 V por meio dos bornes de ligação. Esta é uma escala apropriada pois o sensor tem, de acordo com seu fabricante, uma tensão que pode variar de 0,9 a 4,2 V, dependendo do sentido e do módulo do campo magnético que experimenta.

Para facilitar seu manuseio, o sensor foi soldado a uma pequena tira de placa de circuito impresso. Na placa de circuito impresso foram feitas as trilhas que se ligam aos fios de alimentação e à saída de sinal. Uma fotografia da montagem deste circuito pode ser vista na Figura 1.

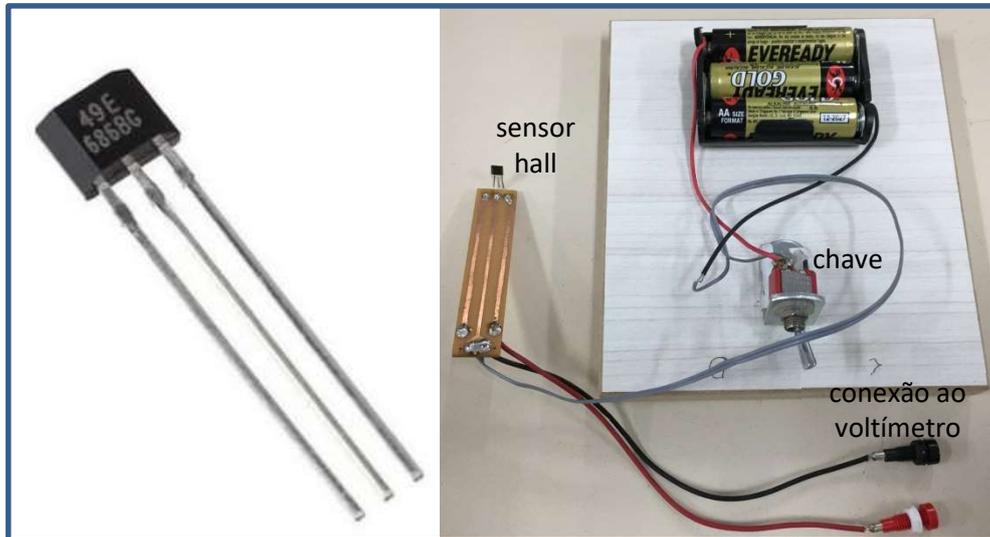


Figura 1 – Detalhe do sensor 49E e seu circuito de alimentação.

A etapa de calibração foi realizada por dois métodos diferentes. Em um primeiro momento foi utilizada uma bobina de Helmholtz e, em um segundo, um solenoide previamente calibrado.

Uma bobina de Helmholtz é constituída por duas bobinas idênticas e paralelas, separadas por uma distância igual ao raio das mesmas (Robert, 2003). Quando uma corrente passa por essas bobinas cria campos magnéticos que se somam. O interessante dessa montagem é que o campo magnético  $B$  é praticamente uniforme na região central das bobinas e pode ser calculado pela equação (1).

$$B = \frac{8\mu_0 NI}{5^{3/2}r} \quad (1)$$

Na equação (1),  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética do vácuo,  $N$  o número de espiras em uma das bobinas,  $I$  a corrente elétrica que circula por elas e  $r$  o raio das bobinas (Reitz et al., 1991). No projeto foi construída uma bobina de Helmholtz com 214 voltas (214 voltas em cada uma das bobinas), enroladas em um carretel de polietileno com diâmetro interno de 38 mm e externo de 50 mm. Os carretéis foram encaixados em um tubo de PVC, que por sua vez foi apoiado em um suporte construído em MDF. Uma fonte de tensão variável, capaz de fornecer correntes de até 4 A, foi utilizada para variar a corrente na bobina. Para fazer a leitura da corrente foi utilizado um multímetro configurado como amperímetro na faixa de correntes de 20 A. A Figura 2 mostra uma fotografia de toda a montagem utilizada nesta etapa da calibração. O sensor foi posicionado no centro das bobinas.

Variando a corrente elétrica na bobina de Helmholtz, varia o campo magnético em seu centro. Com o voltímetro é realizada a medida da tensão de saída do sensor em função da corrente (que está diretamente relacionada ao campo pela equação (1)). De posse das medições foi feito um gráfico da tensão do sensor em função do campo magnético calculado pela equação (1).

A segunda parte da calibração foi realizada utilizando um solenoide. No decorrer do desenvolvimento do projeto os pesquisadores tiveram acesso a um solenoide com 15,3 cm de comprimento, previamente calibrado com um teslâmetro da marca Phywe.

O solenoide, que pode ser visto na Figura 3, possui a equação de calibração mostrada na equação (2). Nesta equação, o campo magnético  $B$ , dado em militesla (mT), é função da corrente ( $I$ ), medida em amperes, que circula nos condutores do solenoide. A montagem para a calibração é muito semelhante àquela utilizada na Figura 2, porém, com o solenoide no lugar da bobina de Helmholtz. O sensor foi posicionado no centro do solenoide para a realização da calibração.

$$B = 11,066 I + 0,103 \quad (2)$$

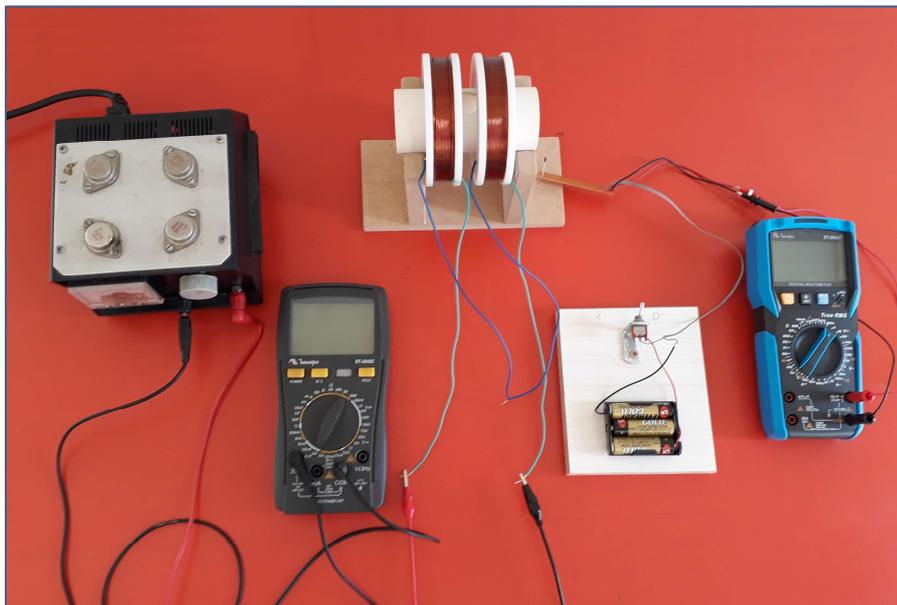


Figura 2 – Montagem utilizada na calibração do sensor com a bobina de Helmholtz.

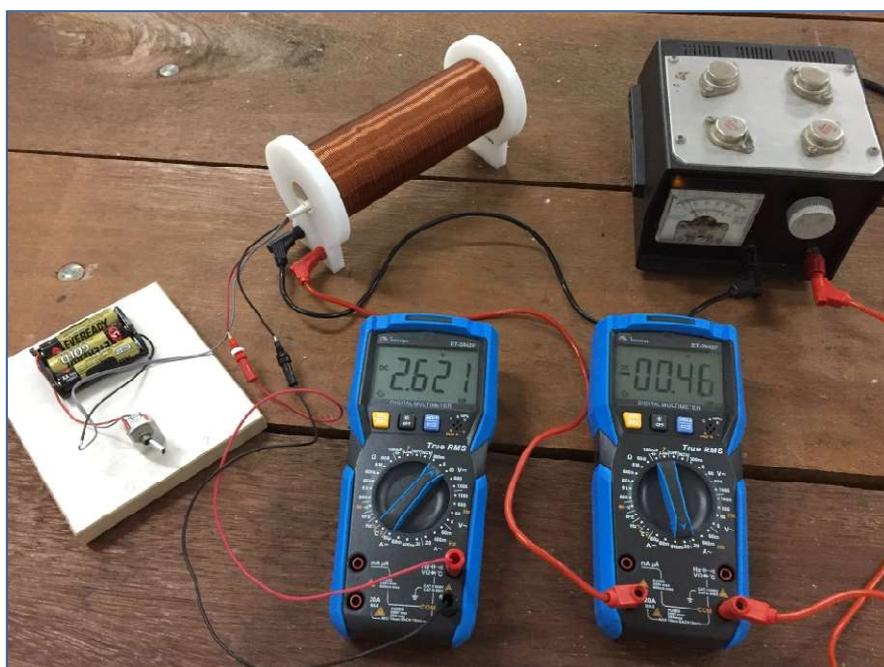


Figura 3 – Montagem utilizada na calibração do sensor com o solenoide.

De posse dos valores obtidos para as tensões produzidas pelo sensor hall em função da corrente no solenoide (que se relaciona diretamente com o campo magnético produzido por ele pela equação (2)), foi construído um gráfico para proceder à calibração do sensor. Os resultados das calibrações pelos dois métodos podem ser encontrados na próxima seção.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tanto em uma, como na outra montagem usada para a calibração do sensor, a corrente foi variada no intervalo aproximado de  $-3\text{ A}$  a  $+3\text{ A}$ . Para cada um dos métodos de calibração foram calculados os valores dos campos magnéticos produzidos: para a bobina de Helmholtz, foi empregada a equação (1), e para o solenoide, a (2). Com base nos valores dos campos calculados e das tensões medidas foram construídos os Gráficos 1 e 2, a seguir. Para cada gráfico foi realizada uma regressão linear, de modo a obter a equação da curva que contém os parâmetros de calibração do sensor.

Gráfico 1 – Curva de calibração do sensor utilizando a bobina de Helmholtz.

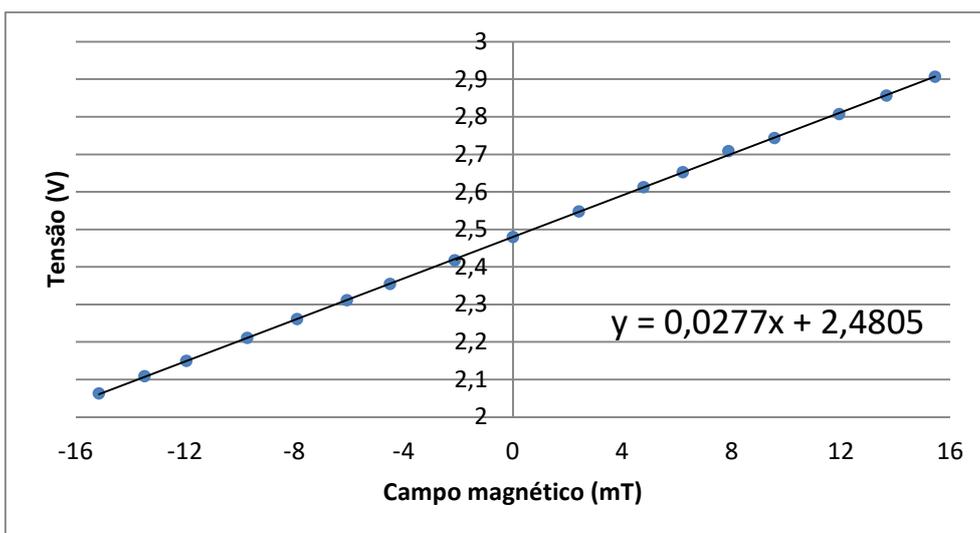
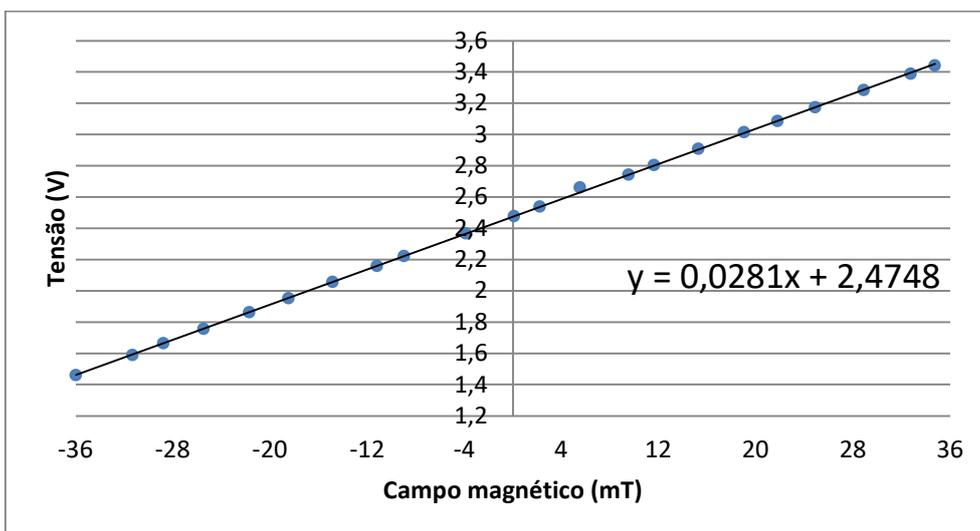


Gráfico 2 – Curva de calibração do sensor utilizando o solenoide.



Fazendo as substituições apropriadas nas equações exibidas nos gráficos, considerando as grandezas representadas nos eixos, podemos reescrevê-las na forma a seguir.

$$V = 0,0277B + 2,4805$$

$$V = 0,0281B + 2,4748$$

Nas formas acima é possível notar mais claramente que a tensão de saída (V) do sensor é proporcional ao valor do campo magnético (B), adicionado de uma constante. Comparando as duas equações é possível perceber que os valores para a calibração, obtidos pelos dois métodos diferentes, apresentaram resultados bastante semelhantes, o que indica que os dois procedimentos são equivalentes em termos de qualidade dos dados. Em particular, pelo fato de o solenoide ter sido previamente calibrado com um teslâmetro Phywe (uma empresa que produz equipamentos de alta qualidade), ele se constitui como um parâmetro de boa qualidade para a calibração com a bobina de Helmholtz. Tal afirmação se baseia no fato de que o campo na bobina de Helmholtz foi determinado com base em cálculos envolvendo as dimensões físicas da bobina, cujos valores estão associados a incertezas. De forma diferente, no solenoide o campo foi efetivamente medido com um teslâmetro de boa qualidade.

Uma vez concluída esta etapa de calibração, o próximo passo do projeto é a utilização deste sensor para medir o campo magnético na região entre dois ímãs permanentes. Estes ímãs constituem a fonte de campo magnético em um experimento de baixo custo, atualmente em desenvolvimento, que permitirá a determinação da força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foram relatados dois métodos utilizados para a calibração de um sensor de efeito hall. O objetivo de calibrar este sensor é para utilizá-lo como um medidor de campo magnético de baixo custo em experimentos de física.

Os resultados mostram que a calibração do sensor por dois métodos diferentes levou a equações muito semelhantes, o que indica que o processo de calibração parece ter sido conduzido de forma adequada nos dois casos. Em particular, considerando que o solenoide foi previamente calibrado com um teslâmetro Phywe, pode-se considerar que o resultado obtido com a calibração utilizando o método da bobina de Helmholtz foi muito bom, uma vez que neste método o campo foi calculado teoricamente (e não medido com um teslâmetro industrial, como no caso do solenoide).

De posse deste medidor será dado prosseguimento ao desenvolvimento de um experimento destinado a medir a força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica. Espera-se com isso que seja possível ter um experimento de custo reduzido que possibilite investigações quantitativas sobre a força magnética. Além disso, tendo o sensor calibrado em mãos, será possível realizar inúmeras investigações didáticas envolvendo campos magnéticos.

A expectativa dos autores com a realização de projetos como esse é que outros professores e estudantes se sintam motivados a prosseguir nesta linha de desenvolvimento de experimentos de custo reduzido. Embora haja um grande número de propostas de construção de experimentos de baixo custo divulgadas na literatura, nota-se que o número é menor quando se busca por investigações experimentais quantitativas em certas áreas da física.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. Experimento de baixo custo para medição da dissipação da energia em um pêndulo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20200360, 2021.

BOFF, C.; BASTOS, R.; MELQUIADES, F. Práticas experimentais no ensino de física nuclear utilizando material de baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, 2017.

LABURÚ, C. E., BARROS, M. A e KANBACH, B. G. A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, 2007.

MAGNO, W.; ANDRADE, M.; ARAÚJO, A. Construção de um gaussímetro de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, 2010.

PEREIRA, M.; MOREIRA, M. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, 2017.

PIMENTEL, J.; ZUMPARO, V.; YAGINUMA, L. Trilho de ar: uma proposta de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 11, 1989.

REITZ, J.; MILFORD, F.; CHRISTY, R. **Fundamentos da teoria eletromagnética**. Trad. Renê Balduino Sander. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

ROBERT, R. Bobina de Helmholtz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, 2003.

SILVA, W.; FONSECA, J. Construção de um medidor de campo magnético utilizando um sensor de efeito hall linear de baixo custo. **A Física na Escola**, v. 19, n. 2, 2021.

SOUZA, A.; PAIXÃO, A.; UZÊDA, D.; DIAS, M.; DUARTE, S.; AMORIM, H. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 2011.