

# PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO: ANÁLISE DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO CAMPO MAGNÉTICO UTILIZANDO SMARTPHONES

## PROPOSAL FOR A DIDACTIC SEQUENCE FOR TEACHING ELECTROMAGNETISM: ANALYSIS OF THE TEMPORAL VARIATION OF THE MAGNETIC FIELD USING SMARTPHONES

THULIO ALVES DE SÁ MUNIZ SAMPAIO  \* <sup>1</sup>, RENÊR PEREIRA DE SOUZA <sup>†1</sup>,  
WELLINGTON DOS SANTOS SOUZA  ‡<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, BR-232, Km 508, s/n - Zona Rural, Salgueiro, PE, CEP 56000-000

### Resumo

*Este trabalho teve como objetivo avaliar duas atividades práticas para analisar o comportamento temporal do campo magnético gerado pelo alinhamento da agulha de uma bússola próxima a um fio de cobre sujeito à passagem de uma corrente estacionária e por um solenoide sob as mesmas condições. Após a avaliação dessas atividades, foi elaborada uma sequência didática como proposta de inserir estes experimentos em uma aula de física para alunos do 3º ano do ensino médio. Através de materiais de baixo custo, foram feitos com um fio de cobre uma réplica da experiência de Ørsted e um solenoide, os quais transportavam uma corrente elétrica ao serem conectados a duas pilhas AA de 1,5 V. Aproximando dos circuitos um smartphone com o aplicativo Phyphox instalado, foi possível obter as componentes e o módulo do campo magnético resultante da soma vetorial dos campos local e induzido pelas correntes e um gráfico da sua intensidade em função do tempo através da função Magnetômetro. Para as medidas feitas com a bússola, obteve-se um gráfico representativo de uma oscilação amortecida, proveniente da força restauradora associada ao retorno da agulha à direção norte-sul e do atrito com seu suporte. A amplitude diminuiu a cada volta até que a bússola se alinhasse ao campo externo. Nas medidas realizadas com o solenoide transportando corrente, constatou-se que a permeabilidade magnética do meio exerce uma influência significativa no campo magnético resultante: a inserção de um núcleo de ferro aumentou significativamente o seu módulo, possibilitando a atração de limalhas de ferro postas nas proximidades. Além disso, registrou-se a mudança do sentido do campo ao se alterar a polaridade*

\*thulio.alves.muniz@gmail.com

†rener.pereira@aluno.ifsertao-pe.edu.br

‡wellington.souza@ifsertao-pe.edu.br

dos fios. Embora as atividades avaliadas sejam recorrentes no ensino de física, a inserção de smartphones nessas atividades viabilizou a análise de diversos aspectos do campo magnético, tais como o seu caráter vetorial, a sua relação de causa e efeito com a intensidade da corrente, sua dependência com a permeabilidade magnética do meio, seu comportamento temporal pouco explorado e alguns atributos dos materiais ferromagnéticos. Além disso, o uso de smartphones torna essas atividades mais dinâmicas e interativas, inserindo os alunos como protagonistas no processo de ensino-aprendizagem e contribuindo para uma melhor compreensão desses conceitos.

**Palavras-chave:** Experimento de Ørsted. Materiais magnéticos. Smartphones. Ensino de física.

---

### Abstract

*This work aimed to evaluate two practical activities to analyze the temporal behavior of the magnetic field generated by aligning a compass needle close to a copper wire subject to the passage of a stationary current and a solenoid under the same conditions. After evaluating these activities, a didactic sequence was developed as a proposal to insert these experiments into a physics class for 3rd year high school students. Using low-cost materials, a replica of Ørsted's experiment and a solenoid were made with a copper wire, which carried an electric current when connected to two 1.5 V AA batteries. With the Phyphox application installed, it was possible to obtain the components and module of the magnetic field resulting from the vector sum of the local and current-induced fields and a graph of its intensity as a function of time using the Magnetometer function. For measurements made with the compass, a graph representing a damped oscillation was obtained, arising from the restoring force associated with the return of the needle to the north-south direction and the friction with its support. The amplitude decreased with each turn until the compass aligned with the external field. In measurements carried out with the solenoid carrying current, it was found that the magnetic permeability of the medium exerts a significant influence on the resulting magnetic field: the insertion of an iron core significantly increased its modulus, enabling the attraction of iron filings placed nearby. Furthermore, the change in the direction of the field was recorded when the polarity of the wires was changed. Although the activities evaluated are recurrent in physics teaching, the insertion of smartphones in these activities made it possible to analyze various aspects of the magnetic field, such as its vectorial character, its cause and effect relationship with the intensity of the current, its dependence with the magnetic permeability of the medium, its little explored temporal behavior and some attributes of ferromagnetic materials. Furthermore, the use of smartphones makes these activities more dynamic and interactive, inserting students as protagonists in the teaching-learning process and contributing to a better understanding of these concepts.*

**Keywords:** Ørsted's experiment. Magnetic materials. Smartphones. Physics education.

---

## I. INTRODUÇÃO

Durante séculos, os estudos sobre os fenômenos elétricos e magnéticos ocorreram sem que se existisse a compreensão de uma relação entre eles. O estudo da eletrização de corpos data desde a Grécia antiga, em torno de 600 A.C., onde se percebeu que o âmbar, uma resina fossilizada de árvores, conseguia atrair palha e penas para si quando atritado (TIPLER; MOSCA, 2000). Não é para tanto que a etimologia da palavra elétrico encontra-se em *elektron*, que significa âmbar em grego (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

Por outro lado, de acordo com Serway e Jewett (2005) existem registros que indicam o conhecimento do magnetismo na China de 2000 A.C., bem como relatos sobre fragmentos de um minério de ferro que atraía outros pedaços de ferro na região da magnésia da Grécia antiga, a magnetita ( $Fe_3O_4$ ) (NUSSENZVEIG, 1997), cujo nome também está na etimologia da palavra magnetismo. Atualmente, utilizamos propriedades derivadas de fenômenos elétricos e magnéticos em diversos aparelhos cotidianos, tais como alto-falantes, fornos de micro-ondas e discos rígidos de computadores (YOUNG; FREEDMAN, 2015), mas nem sempre essa associação foi clara e passível de aplicações.

O físico dinamarquês Hans Christian Ørsted, procurando verificar no ano de 1819 se uma corrente elétrica poderia produzir algum efeito em uma bússola, colocou esta última em uma posição que formava um ângulo reto com um fio submetido à passagem de corrente. Porém, nada aconteceu. Entretanto, quando a bússola era posta paralelamente ao fio, sua agulha sofria uma deflexão e orientava-se perpendicularmente a ele (NUSSENZVEIG, 1997). Isto indicava que, de alguma maneira, uma corrente gerava um campo magnético ao seu redor.

Esse acontecimento espantoso para os cientistas da época, o qual deu início, no século XIX, à determinação de uma relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos (SERWAY; JEWETT, 2005), constitui a essência do funcionamento de muitos equipamentos eletromagnéticos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012; SANTIAGO, 2022), tornando-se um ponto de inflexão no estudo deste tema. Segundo Feynman, Leighton e Sands (2008), isso fez com que duas coisas que pareciam inicialmente díspares fossem interpretadas como dois aspectos de um mesmo fenômeno.

Contudo, apesar de anos de estudo terem consolidado o eletromagnetismo como um dos pilares da física e da engenharia elétrica, muitos estudantes do Ensino Médio ainda têm dificuldade em compreender o campo magnético e tomam-no como algo intangível. Os métodos avaliativos que envolvem questões convencionais e o imediatismo na busca de soluções (FILHO; SILVA, D., 2002; JUNIOR; SILVA, M. C., 2017) acabam fomentando a reprodução de definições encontradas nos manuais, sem haver uma real assimilação do conhecimento.

Este trabalho propôs avaliar duas atividades práticas utilizando smartphones com o objetivo de proporcionar uma melhor compreensão dos conceitos magnéticos envolvidos. Além disso, foi estruturada uma proposta de sequência didática para trabalhar esses conceitos com alunos do 3º ano do ensino médio de maneira dinâmica e interativa, desenvolvendo a capacidade crítica e a autonomia do aluno. Com esse objetivo, foi feita na primeira atividade uma réplica de baixo custo do experimento de Ørsted com um pedaço de fio de cobre e duas pilhas de 1,5 V, enquanto na segunda atividade construiu-se um solenoide finito que foi

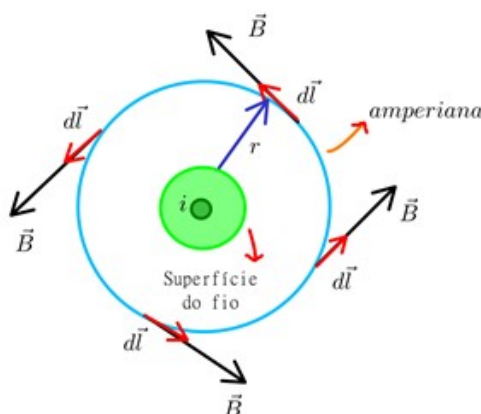
ligado diretamente na fonte de força eletromotriz (fem); nesta última, também foi analisada a influência de um núcleo de ferro no interior da bobina helicoidal e como este alterava o campo resultante. Tendo em mente que o uso de smartphones em sala de aula enseja novas possibilidades para o ensino de ciências (SAMPAIO et al., 2022), a análise das medidas de campo magnético foi realizada por meio do aplicativo Phyphox.

## II. FONTES DE CAMPO MAGNÉTICO E SUPERPOSIÇÃO

De uma maneira geral, ímãs permanentes e correntes elétricas, sendo este último caso proposto por André-Marie Ampère (HEWITT, 2015), são fontes de campos magnéticos. Uma maneira de determinar uma expressão para o campo magnético resultante ao redor de um condutor que transporta um fluxo de corrente elétrica se dá através do uso da Lei de Ampère:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot i_{\text{inte}} \quad (1)$$

A relação dada pela equação (1) associa a circulação do campo magnético em torno de uma curva fechada chamada de amperiana (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012), dada pela integral de linha do lado esquerdo, com a corrente elétrica contida no interior da amperiana, situada no lado direito da equação. A constante  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética do vácuo, cujo valor é de  $4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$  (TORRES; FERRARO; SOARES, 2010). Para o ar,  $\mu \approx \mu_0$ , de modo que podemos considerar a permeabilidade magnética do vácuo sem perda de validade. Para o caso de um fio retilíneo transportando corrente, o campo será tangente à amperiana e terá o mesmo módulo em todos os pontos situados à mesma distância do fio, exibindo, portanto, uma simetria cilíndrica, conforme exibe a figura 1:



**Figura 1:** Percurso de integração com a curva amperiana centralizada no fio retilíneo transportando corrente.

Dessa forma, B é constante na equação (1) e a integral de linha de dl resulta em  $2\pi r$ , onde r é a distância do fio a um ponto da amperiana. Logo, isso nos dá

$$B = \frac{\mu_0 i_{\text{inte}}}{2\pi r} \quad (2)$$

A equação (2) demonstra que o campo magnético induzido pela corrente ao longo do fio retilíneo e infinito é inversamente proporcional à distância e diretamente proporcional a intensidade da corrente.

Considerações análogas, definindo uma curva amperiana de formato retangular que passa em torno de um enrolamento helicoidal de fio que transporta corrente, nos permitem determinar o campo magnético no interior de um solenoide:

$$B = \mu_0 n i_{inte} \quad (3)$$

Onde  $n$  é o número de espiras por unidade de comprimento. A equação (3) somente é válida para pontos internos próximos do centro de um solenoide que possui espiras enroladas de forma compacta e cujo comprimento é muito maior que o raio de sua seção transversal (YOUNG; FREEDMAN, 2015), situação na qual o campo é paralelo ao seu eixo e aproximadamente uniforme no seu interior, assumindo valores pequenos na parte externa perto do centro.

Caso coloquemos um núcleo de ferro no interior do solenoide, devemos considerar não mais a permeabilidade magnética do vácuo, mas sim a permeabilidade magnética do material  $\mu$ . Dessa forma, temos

$$B = \mu n i_{inte} \quad (4)$$

E o campo resultante será dado pela soma do campo no interior do solenoide com a contribuição do campo induzido devido à magnetização do núcleo de ferro:

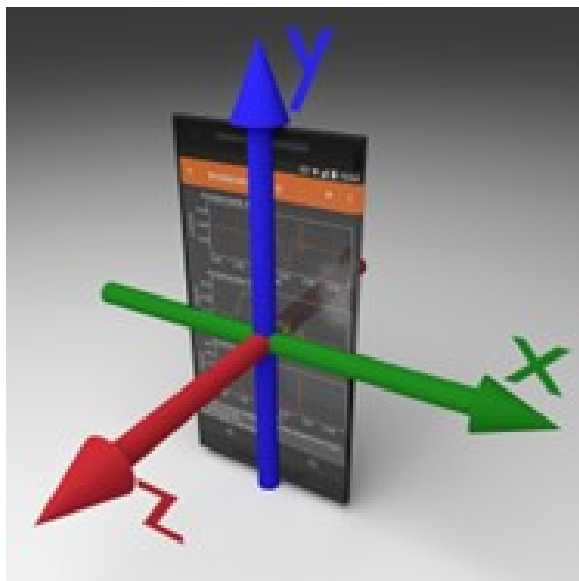
$$\vec{B} = \vec{B}_o + \vec{B}_m \quad (5)$$

Sendo  $\vec{B}_o$  o campo induzido por uma distribuição de correntes e  $\vec{B}_m$  o campo produzido pela magnetização do material.

### III. USO DO APLICATIVO PHYPHOX EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

O Phyphox é um aplicativo gratuito desenvolvido por dois professores da Universidade Técnica da Renânia do Norte-Vestfália/Vestefália em Aachen (RWTH AACHEN UNIVERSITY, 2023), o qual faz uso dos diferentes sensores presentes nos smartphones para quantificar grandezas físicas. Em sua interface, pode-se obter os dados puros captados diretamente pelos sensores e existem sugestões de experimentos de mecânica, eletromagnetismo e acústica aliadas às suas descrições, havendo também as possibilidades de acesso das suas funcionalidades por meio de um computador e da exportação de planilhas para análise em outros programas. Ele pode ser utilizado em qualquer smartphone, mas as medições e as atividades propostas que envolvem sensores não presentes no dispositivo do usuário são destacadas como indisponíveis.

As suas configurações consideram o eixo  $z$  como sendo perpendicular à tela do aparelho, apontando para fora dela; por sua vez, o eixo  $x$  aponta à direita quando o smartphone encontra-se com sua tela orientada verticalmente e o eixo  $y$  alinha-se à largura do dispositivo, segundo exhibe a figura 2.



**Figura 2:** Orientação do sistema de coordenadas no aplicativo Phyphox. (PHYPHOX, 2024).

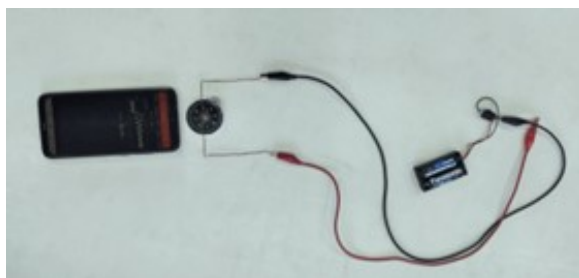
#### IV. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste artigo propomos duas atividades práticas destinadas a explorar o campo magnético gerado por um fio retilíneo finito e por um solenoide real e finito, utilizando sensores de smartphones. Ambas as atividades têm um caráter qualitativo e visam analisar a intensidade do campo magnético em função do tempo, além dos conceitos relacionados a esses fenômenos. Os materiais utilizados para a realização dos experimentos estão listados logo abaixo:

- Duas pilhas de 1,5 V;
- Dois cabos garra jacaré;
- Suporte de pilhas 2xAA;
- Fio de cobre com bitola de 0,4 mm e 2 m de comprimento;
- Bússola;
- Mesa;
- Pregos
- Limalha de ferro;
- *Smartphone*;
- Fonte de alimentação digital Cidepe.

#### IV.1. Campo magnético gerado por um fio retilíneo e finito

O primeiro experimento efetuado consistiu em elaborar uma réplica da experiência de Ørsted por meio do corte de um pedaço do fio de cobre de 2 m de comprimento, o qual foi retirado de um aparelho telefônico antigo, dobrando-o de modo que dois trechos pudessem ser fixados em uma mesa e sua parte central ficasse levemente acima da base, adquirindo a configuração demonstrada na figura 3.



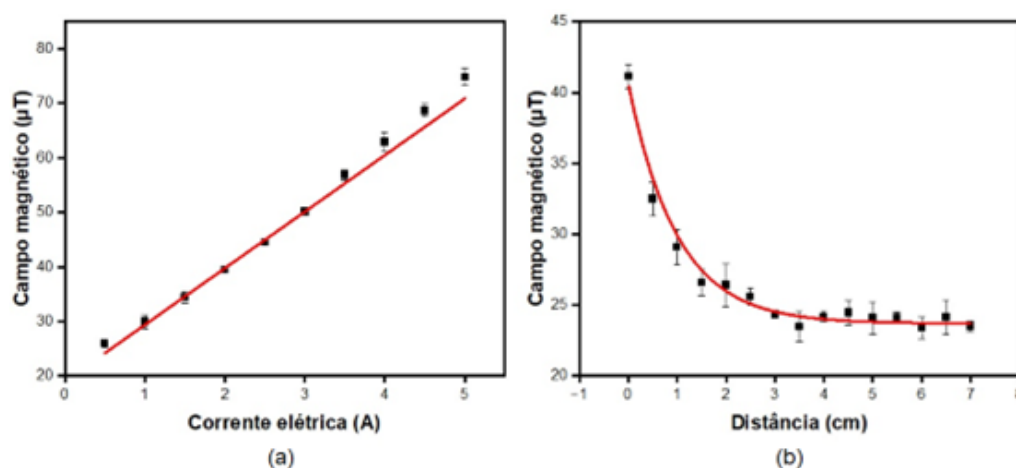
**Figura 3:** Suporte de pilhas, contendo duas pilhas AA de 1,5 V, conectado ao fio de cobre por meio de dois cabos garra jacaré. A bússola está posicionada logo abaixo da parte superior do fio, e o smartphone encontra-se ao seu lado realizando a medida do campo magnético em função do tempo.

A bússola foi colocada logo abaixo da parte superior do fio a uma distância de 4,5 cm, que teve suas extremidades conectadas através de dois cabos garra jacaré a duas pilhas AA de 1,5 V ligadas em série por meio de um suporte de pilhas. Inicialmente, ele foi posto paralelamente à agulha magnética, a qual estava alinhada às linhas do campo magnético local. Contudo, quando este circuito era ligado ao se fechar a chave de ativação do suporte de pilhas, ela sofria uma deflexão e oscilava até se alinhar ao campo magnético resultante da soma vetorial do campo local com o campo induzido. Através do aplicativo Phyphox instalado em um smartphone, foi possível medir o módulo do campo magnético resultante e analisar o seu comportamento através do gráfico de intensidade gerado pela função Magnetômetro.

Para reduzir possíveis interferências nas medidas do campo magnético devido à influência dos fios nas extremidades, o smartphone foi posicionado no ponto médio do comprimento do fio. Para o fio finito, se estivermos a uma distância suficientemente grande em relação ao comprimento do fio, podemos considerar o fio como um segmento infinitesimalmente pequeno e usar a equação (2). No entanto, se estivermos mais próximos do fio, a geometria finita do fio começa a ter um efeito significativo e outras considerações geométricas podem ser necessárias para calcular o campo magnético com precisão (MACHADO, 2002).

Realizamos alguns testes iniciais medindo o campo magnético gerado pelo fio retilíneo e finito (figura 3) para verificar o comportamento deste em função da corrente e da distância ao fio. Neste caso fizemos duas análises: (i) a distância entre o fio e o smartphone foi mantida constante e variamos a intensidade da corrente utilizando uma fonte de alimentação digital com saída ajustável (0 a 30VCC/5ACC) da Cidepe; (ii) consideramos a corrente constante com intensidade  $i = 2A$  e variamos a distância entre o fio e o smartphone. Os gráficos podem ser observados na figura 4.

No gráfico da figura 4(a), os resultados estão dentro do esperado e é possível determinar



**Figura 4:** Campo magnético gerado por um fio retilíneo e finito em função: (a) da corrente transportada pelo fio; (b) da distância ao fio.

a distância do fio ao sensor do smartphone a partir do cálculo da inclinação da reta. O valor obtido foi de aproximadamente  $d \approx (1,9 \pm 0,3) \text{ cm}$ . Já no gráfico da figura (b), observa-se que o campo diminui exponencialmente com o aumento da distância, sendo dado pela equação  $B = B_0 + C.e^{-r}$ . A partir dessa equação foi possível determinar o valor do campo magnético local  $B_0 \approx (23,70 \pm 0,12) \mu\text{T}$ . Além disso, observa-se que a distância limite (a partir da qual o sensor não mais coleta informação do campo magnético gerado pelo fio) foi de aproximadamente  $4,0 \text{ cm}$ .

## IV.2. Campo magnético gerado por um solenoide real e finito

No segundo experimento, utilizou-se outro segmento do mesmo fio de cobre para formar um solenoide através do seu enrolamento em treze voltas. A bobina em formato helicoidal, que é um dos componentes mais utilizados em experimentos de eletromagnetismo, foi conectada diretamente ao circuito alimentado pelas pilhas e, de maneira análoga à atividade já citada, o módulo do campo magnético resultante em função do tempo foi obtido através do aplicativo Phyphox. Após isso, inseriu-se um prego no interior do solenoide para que este se comportasse como um núcleo de ferro, aumentando a intensidade do campo magnético induzido. Verificou-se que, nesta situação, pôde-se atrair algumas limalhas de ferro. As mesmas medidas feitas nas atividades anteriores também foram realizadas para este caso.

Vale salientar que as equações (3) e (4) são obtidas para o caso ideal de um solenoide infinito, o qual apresenta um comprimento muito maior que o diâmetro de sua seção reta e cujas espiras são enroladas de forma bastante compacta; nesse caso, o campo encontrar-se-ia inteiramente confinado em sua parte interna, de modo que não conseguiríamos medi-lo na região externa por apresentar um valor nulo (MACHADO, 2002). Contudo, utilizamos neste trabalho um solenoide real e finito que claramente se afasta das características ideais citadas anteriormente, de modo que o campo magnético sai pelas suas extremidades e pelos interstícios existentes entre as espiras (NUSSENZVEIG, 1997). Neste caso é possível medir um campo magnético externo gerado pelo Solenóide, mas com intensidade menor do que o campo interno que permanece sendo descrito de acordo com a equação (4) (NUSSENZVEIG,

1997).

## V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### V.1. Análise do alinhamento da bússola ao campo externo

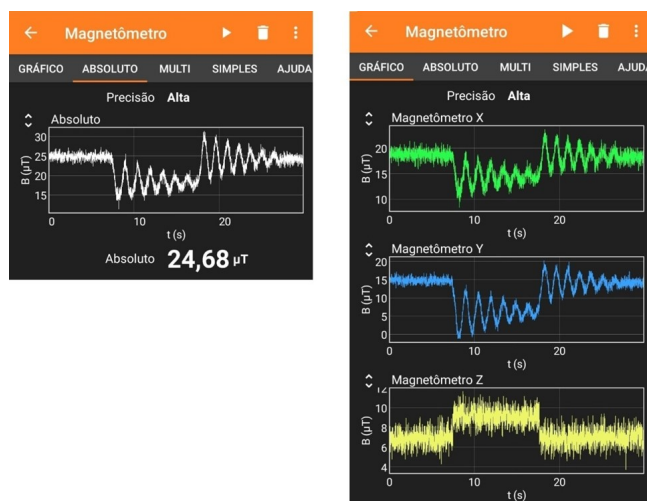
Com o fio de cobre dobrado e fixado sobre a mesa, as suas extremidades foram conectadas ao suporte de pilhas, que comportava duas pilhas AA de 1,5 V, por meio dos cabos garra jacaré. Dessa maneira, formou-se um circuito com diferença de potencial (d.d.p.) de 1,5 V e cuja corrente elétrica resultante era igual à soma das correntes elétricas devidas a cada pilha (SILVEIRA; AXT, 2003). Feito isso, a bússola foi colocada logo abaixo da parte superior do fio, de modo que este último ficou alinhado à agulha magnética que, por sua vez, mantinha sua posição estável. Ao se fechar a chave de ativação do suporte de pilhas, uma corrente elétrica passou a ser transportada ao longo do fio e a agulha sofreu uma deflexão, conforme se pôde visualizar na figura 3. Tal efeito adveio do torque magnético que tendeu a alinhar o momento de dipolo da agulha com o novo campo resultante na região.

Como é lícito analisar a situação por meio do sentido convencional da corrente, o qual estabelece que ela flui do polo positivo para o polo negativo, seu sentido na figura 3 é horário e parte do fio vermelho. Pela regra da mão direita, isto nos diz que o campo magnético induzido pelo fio retilíneo da parte superior, dado pela equação (2), está entrando na região do plano da imagem situada acima da bússola e saindo no lado inferior. Por conseguinte, sua agulha passa a oscilar até se estabilizar na posição indicada na figura 3, alinhando-se com o campo magnético resultante da soma vetorial do campo local com o campo induzido pelo fio. Ainda usando a regra da mão direita, vemos que ambos os fios que estão fixados na mesa produzem um campo magnético circular em seu entorno.

Posicionando próximo ao fio um smartphone com o aplicativo Phyphox aberto na função Magnetômetro, pôde-se medir o módulo do campo resultante e verificar como se deu a sua variação ao longo do tempo. Tal processo se dá mediante a variação do fluxo magnético que perpassa o sensor do aparelho, o qual transforma a informação do número de linhas de campo que o atravessam, alterada em razão da superposição dos campos e do movimento da agulha magnética, em sinais elétricos que são decodificados pelo circuito do aparelho e interpretados pelo aplicativo na forma do gráfico ilustrado na figura 4.

Na figura 5, vemos que o campo magnético inicial era aproximadamente constante, possuindo um valor médio de  $(24,8 \pm 0,8)\mu T$ . Tal valor corresponde ao campo magnético local. Em seguida, ao se fechar a chave do circuito, o campo magnético resultante passou a ser dado pela soma vetorial do campo local com o campo induzido pela corrente estacionária ao longo do fio. Devido a isso, a agulha magnética da bússola passa a se alinhar com este novo campo. Entretanto, isso não ocorre imediatamente. Por conta da tendência da agulha da bússola de retornar à direção norte-sul em virtude do campo magnético local, surge uma força restauradora que tenta fazê-la retornar para sua posição de equilíbrio inicial. Trata-se de uma manifestação do princípio da ação e reação provocada pela interação descrita, e o movimento oscilatório resultante deste efeito está exibido no gráfico da figura 4.

Quando a agulha, ao desenvolver esse movimento periódico, estava prestes a completar sete oscilações, abriu-se a chave do circuito. Isso inverteu o seu sentido de oscilação,



**Figura 5:** Função Magnetômetro do aplicativo Phyphox. A imagem à esquerda exibe a variação em função do tempo do valor absoluto do campo magnético durante o movimento da agulha da bússola, enquanto a imagem à direita ilustra a mudança das coordenadas do campo nesta situação.

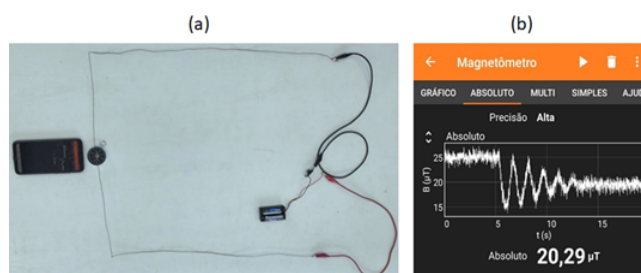
fazendo-a realinhar-se apenas com o campo local, o que também está descrito na figura 5, apresentando configuração simétrica ao alinhamento anterior. Percebe-se que, após cerca de oito oscilações, o movimento da agulha da bússola se estabiliza em razão de o seu momento de dipolo tornar-se paralelo ao campo resultante, cujo módulo em função do tempo volta a estar em torno dos  $(24,8 \pm 0,8)T$ .

No lado direito da figura 5, selecionamos a opção gráfico, o que possibilitou visualizar a variação de cada componente separadamente. As curvas verde, amarela e azul correspondem, respectivamente, ao módulo do campo em função do tempo ao longo dos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ , enquanto a curva branca do lado esquerdo representa o seu valor absoluto, que é obtido da soma vetorial das componentes. Inicialmente, o aplicativo estava medindo o campo magnético local, o qual é indicado pelos valores aproximadamente constantes de  $(18,7 \pm 0,9)\mu T$ ,  $(14,8 \pm 0,8)\mu T$  e  $(6,9 \pm 0,8)\mu T$  para as componentes  $x$ ,  $y$  e  $z$ , as quais fornecem o valor absoluto de  $(24,8 \pm 0,8)\mu T$  quando devidamente somadas. De maneira análoga a este último, vemos que as componentes  $x$  e  $y$  oscilam quando se fecha a chave do suporte de pilhas. Por outro lado, a intensidade da componente  $z$  apenas aumenta nesse instante.

Esse comportamento ocorre porque a bússola estava posicionada no plano da mesa, e sua agulha somente oscila ao longo desta região. O aumento de intensidade ao longo do eixo  $z$  corresponde à soma vetorial do campo local com o campo induzido pela corrente, os quais apresentam o mesmo sentido e direção e, portanto, também se somam em módulo e atingem um novo valor constante. A mesma análise vale para quando o circuito é aberto e a agulha inverte seu sentido de oscilação a fim de alinhar-se à direção norte-sul do campo magnético local: a componente  $z$  retorna ao valor determinado no princípio da medição, ao passo que as componentes  $x$  e  $y$  oscilam até regressarem, também, aos valores iniciais, os quais fazem referência ao campo magnético local.

Todavia, percebe-se nas imagens que a amplitude da oscilação diminui a cada volta da agulha magnética. Isso acontece porque os gráficos oscilatórios visualizados para as

componentes  $x$  e  $y$  e para o valor absoluto do campo magnético em função do tempo dizem respeito a oscilações amortecidas. Isto é, o movimento é regido pela força restauradora, mas há de se levar em conta o amortecimento gerado pelo atrito, mesmo que pequeno, dela com seu suporte, responsável pela diminuição da amplitude a cada oscilação executada. As mesmas medições foram realizadas utilizando-se um fio de cobre bem mais longo que o anterior, de acordo com o demonstrado na figura 6 (a). Os resultados quantificados para esta situação estão indicados na figura 6 (b).



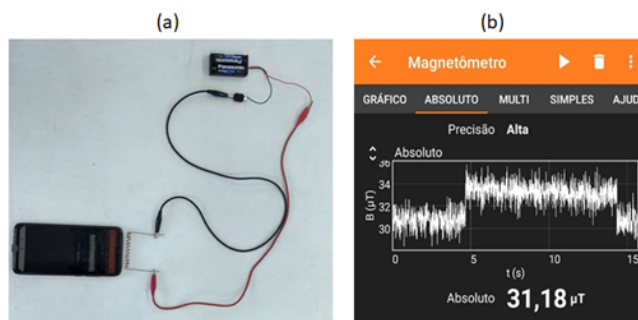
**Figura 6:** (a) Suporte de pilhas conectado, por meio dos cabos garra jacaré, a um fio bem mais longo que o da primeira experiência. O arranjo dos materiais é o mesmo do ilustrado na Figura 3; (b) Gráfico do valor absoluto do campo magnético em função do tempo para a configuração do fio longo apresentada.

A partir da figura 6 (b), vemos que a agulha magnética completou cinco oscilações, um número menor do que quando se utilizou o fio mais curto. Além disso, percebe-se que o módulo do campo magnético resultante após a bússola estar alinhada foi de  $(19,4 \pm 0,8) \mu T$ , valor mais baixo do que somente o campo na localidade:  $(24,8 \pm 0,8) \mu T$ . Como a resistência elétrica do fio é proporcional ao seu comprimento, uma menor corrente elétrica foi gerada nesta situação por conta da potência dissipada pelo aquecimento Joule (REITZ; MILFORD; CHRISTY, 1982). Logo, de acordo com a equação (2), o módulo do campo magnético induzido pelo fio também diminui. Contudo, ainda temos de levar em conta o caráter vetorial da superposição dos campos: algumas componentes possuem sentidos contrários e subtraem-se, fazendo com que o módulo da soma vetorial resulte em um valor menor a depender das coordenadas locais.

## V.2. Análise da influência da permeabilidade magnética no campo magnético induzido por um solenoide

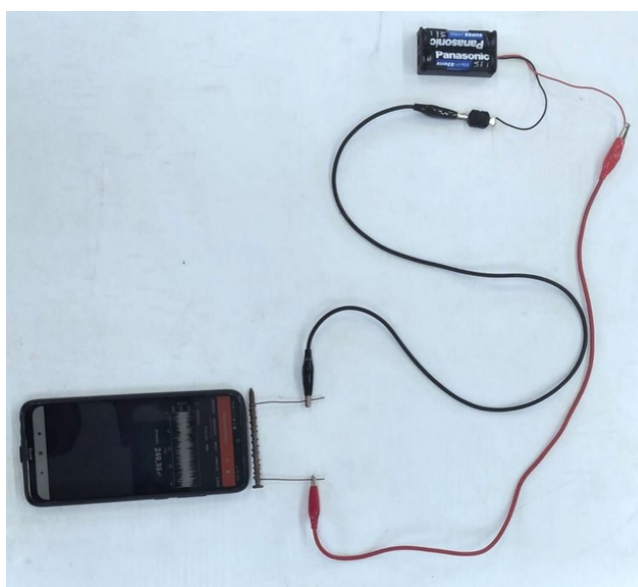
Para a segunda atividade, cortou-se um pedaço do fio de cobre para produzir um solenoide a partir do seu enrolamento. Foram realizadas treze voltas e, após conectar suas extremidades diretamente nos cabos garra jacaré, um smartphone foi posicionado próximo ao circuito. A montagem está indicada na figura 7 (a).

De maneira análoga à atividade anterior, a Figura 7 (b) exibe o aplicativo Phyphox fornecendo informações sobre o módulo do campo magnético resultante e seu comportamento em função do tempo. Vemos que, ao se fechar o circuito, o módulo do campo resultante é aproximadamente constante, apresentando um valor médio de  $(33,2 \pm 0,8) \mu T$ , maior do que o do campo na localidade de realização do experimento. Nota-se que o módulo do campo local, nesta situação, está maior que os  $(24,8 \pm 0,8) \mu T$  da experiência anterior, alteração que



**Figura 7:** (a) Solenoide conectado ao suporte de pilhas através dos cabos garra jacaré. O smartphone encontra-se situado logo à sua frente, medindo a variação do campo magnético em função do tempo; (b) Gráfico do valor absoluto do campo magnético induzido pelo solenoide sujeito à passagem da corrente estacionária.

pode estar associada a influência de campos gerados por outros materiais nas proximidades. Sendo assim, torna-se mais sensato nos referirmos a esse módulo como sendo o do campo local, e não o do campo terrestre. Não obstante, em busca de verificar o comportamento do campo gerado pelo solenoide ao se alterar o valor de  $\mu_0$  para  $\mu$  na equação (3), inseriu-se um prego no seu interior (Figura 8):



**Figura 8:** Solenoide, com núcleo de ferro em seu interior, conectado ao suporte de pilhas através dos cabos garra jacaré. O smartphone está posicionado à sua frente registrando a variação do campo magnético em função do tempo.

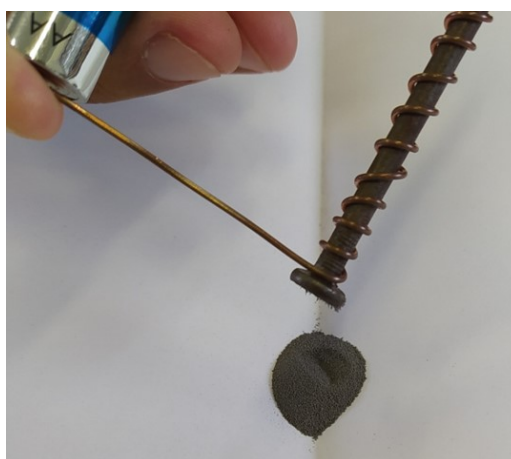
Ao fazer isso, o prego passa a se comportar como um núcleo de ferro cuja permeabilidade magnética  $\mu$  é muito maior que  $\mu_0$ . Logo, o campo magnético resultante deve aumentar de intensidade ao se inserir este material ferromagnético, já que seus domínios magnéticos paralelos ao campo externo aumentam de tamanho (GRIFFITHS, 2010). A verificação desta hipótese está registrada na Figura 9.

A partir da Figura 9, vemos que de fato é isso que acontece. Houve um aumento



**Figura 9:** Na imagem da esquerda, temos o gráfico do valor absoluto do campo magnético induzido pelo solenoide com núcleo de ferro ao ser percorrido pela corrente estacionária; na da direita, visualizamos os gráficos das componentes do campo em função do tempo.

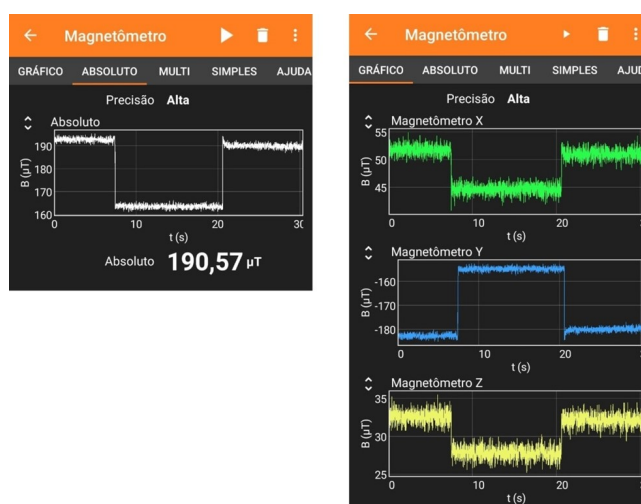
substantial no módulo do campo magnético resultante após o circuito ser fechado, chegando ao valor aproximadamente constante de cerca de  $(174,7 \pm 0,9)\mu T$ , resultado da soma entre o campo no interior do solenoide com a contribuição do campo induzido devido à magnetização do núcleo de ferro, conforme a equação (5). No lado direito da Figura 8 vemos que as componentes  $x$  e  $z$  crescem positivamente, enquanto que a componente  $y$  tem um aumento significativo ao longo do sentido negativo do eixo  $y$ . Isso mostra que o campo local e o campo resultante da corrente elétrica e da magnetização do núcleo de ferro possuem sentidos contrários, havendo uma subtração de suas componentes nesta direção.



**Figura 10:** Quando conectado a uma única pilha AA de 1,5 V, o solenoide encerrando o núcleo de ferro produziu um campo magnético intenso o suficiente para atrair limalhas de ferro em suas proximidades.

Ainda assim, o campo na região central continua sendo aproximadamente uniforme e dado pelas equações (3) e (4). Também se verificou que, ao inserir o núcleo de ferro no solenoide, somente com o uso de uma pilha AA de 1,5 V foi possível atrair alguns pedaços de limalha de ferro, em conformidade com o exibido pela Figura 10.

Essas decorrências exemplificam que a mudança da permeabilidade magnética do meio produz alterações significativas na intensidade do campo magnético. Além disso, alterando-se a polaridade dos cabos, ou seja, a posição dos cabos garra jacaré, o sentido da corrente elétrica é invertido. Por conseguinte, o sentido do campo magnético também muda, como demonstra a Figura 11.



**Figura 11:** A imagem à esquerda exibe a inversão do sentido do campo magnético resultante ao mudarmos a polaridade dos fios, enquanto a imagem à direita demonstra o mesmo efeito ocorrendo em suas componentes.

Comparando-a com a Figura 9, vemos que as componentes são simétricas. Enquanto a variação das componentes  $x$  e  $z$  tinha sido positiva, desta vez foi negativa. Por outro lado, a variação negativa ao longo do eixo  $y$  tornou-se positiva.

### V.3. Possibilidades de aplicações em sala de aula: proposta para sequência didática

Nesta seção, apresentamos uma proposta de sequência didática para o ensino de eletromagnetismo com foco na análise da variação temporal do campo magnético. A integração de Smartphones como ferramentas educacionais desencadeia uma abordagem prática e envolvente que permite aos alunos explorar, experimentar e compreender os conceitos fundamentais de maneira significativa. A proposta para sequência didática foi pensada para ser aplicada em 12 aulas e busca atingir os seguintes objetivos:

- Introduzir os conceitos básicos do eletromagnetismo;
- Demonstrar a relação entre a variação temporal de um campo magnético e a geração de uma corrente elétrica induzida;
- Capacitar os alunos a utilizar smartphones como instrumentos de medição para coletar dados sobre a variação temporal de um campo magnético;
- Desenvolver habilidades de análise de dados, interpretação de gráficos e formulação de conclusões baseadas nas observações feitas.

| <b>Campo magnético: características vetoriais, lei de Ampère e oscilações</b>                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Público-alvo:</b> 3º ano do Ensino Médio                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Pré-requisitos:</b> Eletrostática; eletrodinâmica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                  |
| <b>Metodologia:</b> Investigação fenomenológica por meio de experimento empregando dispositivo móvel |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Número de aulas previstas</b> |
| <b>Tema ordem</b>                                                                                    | <b>Atividades</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Objetivos específicos</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Total: 11</b>                 |
| Introdução conteúdos conceituais                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Apresentar a réplica do experimento de Ørsted;</li> <li>•Fomentar a discussão dos estudantes sobre o porquê de a agulha ser defletida.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Demonstrar que correntes elétricas conseguem alterar as propriedades do espaço ao produzirem um campo magnético, o qual também é gerado por ímãs e pelo próprio planeta Terra;</li> <li>•Associar a situação-problema do experimento com a lei de Ampère.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                | 3                                |
| Desenvolvimento conteúdos conceituais e procedimentais                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Exibir a montagem do solenoide e ligá-lo à duas pilhas AA de 1,5 V, de modo a possibilitar a atração de limalha de ferro;</li> <li>•Inserir um prego no interior do solenoide e verificar a atração mais intensa da limalha de ferro;</li> <li>•Oportunizar o debate dos discentes sobre a influência da inserção do prego.</li> </ul>                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Exibir o princípio de funcionamento de eletroímãs;</li> <li>•Demonstrar o impacto da permeabilidade magnética do meio na lei de Ampère;</li> <li>•Discutir sobre os domínios magnéticos e a origem dos ímãs naturais.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 4                                |
| Aprofundamento e avaliação conteúdos procedimentais e atitudinais                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Dividir a turma em dois grupos, onde ambos vão utilizar um smartphone com o aplicativo Phyphox instalado para medir a intensidade do campo magnético produzido em uma das experiências anteriormente discutidas;</li> <li>•Alterar a polaridade dos cabos e realizar as mesmas medidas com o aplicativo;</li> <li>•Ensejar o desenvolvimento da capacidade de raciocínio crítico e de interpretação física dos estudantes ao deixá-los à vontade para tentarem explicar os dados colhidos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Observar o caráter vetorial do campo magnético por meio dos gráficos de suas componentes e discutir a superposição do campo local com o campo gerado no experimento;</li> <li>•Verificar o aumento da intensidade do campo magnético ao se inserir um prego no interior do solenoide e a sua inversão quando se modifica a polaridade dos cabos;</li> <li>•Discutir sobre o porquê de o gráfico do campo magnético na réplica do experimento de Ørsted exibir uma forma oscilatória cuja amplitude decresce com o tempo.</li> </ul> | 4                                |

**Tabela 1:** Esquema de organização da sequência didática.

A proposta de sequência didática apresentada tem o potencial de transformar a maneira como os alunos se aproximam dos conceitos de eletromagnetismo. A integração de smartphones não apenas torna o aprendizado mais envolvente, mas também prepara os alunos para um futuro no qual a tecnologia e a exploração prática são componentes essenciais da aprendizagem científica. Essa abordagem inovadora oferece um caminho promissor para aprimorar o ensino de eletromagnetismo e nutrir o pensamento crítico e a autonomia dos estudantes.

## VI. COMENTÁRIOS FINAIS

Este trabalho analisou o comportamento do campo magnético em função do tempo em duas situações: primeiramente, para o alinhamento da agulha magnética de uma bússola próxima a um fio de cobre sujeito à passagem de corrente elétrica em seu interior; por fim, investigou-se o comportamento do campo magnético em um solenoide sujeito à passagem de corrente. Nesta última, também se verificou a influência da permeabilidade magnética do meio ao se inserir um núcleo de ferro em sua parte interna. Para isso, foi utilizada a função Magnetômetro do aplicativo Phyphox ao se aproximar um smartphone dos circuitos elaborados.

Os resultados obtidos permitiram o estudo de diversas características dos campos magnéticos, tais como o seu caráter vetorial formado por três componentes, cuja superposição segue as regras da geometria analítica a sua relação de causa e efeito com a intensidade da corrente, sua dependência com a permeabilidade magnética do meio, o seu pouco abordado comportamento em função do tempo e alguns atributos dos materiais ferromagnéticos. Além disso, a análise do alinhamento da bússola com o campo externo possibilitou relacionar o tema do magnetismo com o estudo das oscilações, geralmente abordado nas turmas do 2º ano do Ensino Médio.

As atividades desenvolvidas e apresentadas neste trabalho podem ser aplicadas em turmas do 3º ano do Ensino Médio, motivando uma oportunidade para que os estudantes entrem em uma situação inicial de conflito com os gráficos e desenvolvam sua capacidade de raciocínio crítico e de interpretação física ao proporem hipóteses para o porquê de eles apresentarem as configurações explicitadas no presente artigo, havendo a posterior acomodação desse conhecimento em sua estrutura cognitiva (BOCK; FURTADO; TEIXEIRA, 2018). Ao criar este ambiente de discussão e contato entre pares, o professor pode atuar como um mediador e fazer associações com conteúdos já trabalhados anteriormente, tais como os de eletrodinâmica e de ondulatória, contribuindo para uma visão menos abstrata do conceito de campo magnético.

**Editora Responsável:** Maria de Fátima Da Silva Verdeaux

---

## REFERÊNCIAS

BOCK, A. M. B.; FURTADO, O.; TEIXEIRA, M. L. T. *Psicologias: uma introdução ao estudo da psicologia*. 15. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2018.

- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. *Lições de Física de Feynman: Edição Definitiva*. 2. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2008.
- FILHO, J. B.; SILVA, D. Buscando um sistema de avaliação contínua: ensino de eletrodinâmica no nível médio. *Ciência & Educação*, v. 8, n. 1, p. 27-38, 2002.
- GRIFFITHS, D. J. *Eletrodinâmica*. 3. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2010.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. 9 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.
- HEWITT, P. *Física Conceitual*. 12. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2015.
- JUNIOR, E. B. M.; SILVA, M. C. Ensino dos processos de eletrização no 3º ano do ensino médio usando as teorias cognitivistas de Vygotsky e de Ausubel aliadas a atividades experimentais. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, v. 4, n. 2, p. 169-201, 2017.
- MACHADO, K. D. *Teoria do Eletromagnetismo*. 1. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica 3: Eletromagnetismo*. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1997.
- MACHADO, K. D. *Teoria do Eletromagnetismo*. 2. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002.
- REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. *Fundamentos da Teoria Eletromagnética*. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus LTDA, 1982.
- RWTH AACHEN UNIVERSITY. Creators of the phyphox App Receive an Award. Disponível em: <<https://www.rwth-aachen.de/cms/root/die-rwth/aktuell/pressemitteilungen/april/~bbdarr/phyphox-app-ausgezeichnet/?lid=1>>. 2023. Acesso em: 16 abr. 2024.
- PHYPHOX. Supported Sensors. Disponível em: <<https://phyphox.org/sensors/>>. 2024. Acesso em: 16 abr. 2024.
- SAMPAIO, T. A. S. M. *et al.* Atividades práticas de baixo custo para o estudo de ondas estacionárias em cordas vibrantes usando smartphones. *A Física na Escola*, v. 20, n. 1, p. 1-5, 2022.
- SANTIAGO, R. B. Modelização das linhas de campo magnético via uma abordagem experimental empírico-indutivista. *A Física na Escola*, v. 20, n. 1, p. 210803-1, 2022.
- SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. *Princípios de Física: Eletromagnetismo*. 3 ed. São Paulo: Editora Thomson Learning, 2005.

SILVEIRA, F. L.; AXT, R. Associação de pilhas em paralelo: onde e quando a usamos?. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 20, n. 3, p. 391-399, 2003.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Física: Eletricidade e Magnetismo, Óptica*. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2000.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. *Física, Ciência e Tecnologia: Eletromagnetismo*. 2. ed. São Paulo: Editora Moderna, 2010.

YOUNG, H.; FREEDMAN, R. *Física III: Eletromagnetismo*. 14. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2015.

---