

ABORDAGEM FENOMENOLÓGICA NO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO: UM ESTUDO QUALITATIVO DO CAMPO GEOMAGNÉTICO LOCAL

Raphael Lima Sodré¹
Leonardo Moraes Armesto²

RESUMO: O presente trabalho trata do estudo analítico do campo magnético do planeta Terra na cidade de Caravelas, localizada na região extremo-sul da Bahia. A pesquisa possui origem num contexto educacional a partir de discussões com os educandos de uma turma da 3ª série do Ensino Médio do Colégio Polivalente de Caravelas, no ano de 2023, durante uma aula de fenômenos eletromagnéticos (Geomagnetismo e Biomagnetismo) na disciplina de Física. O objetivo da pesquisa consiste em proporcionar aos educandos uma visão científica voltada para a prática experimental, de modo a compreender o campo magnético terrestre e como alguns animais o utiliza para migrarem pelo planeta. A pesquisa é caracterizada como quantitativa, exploratória, fenomenológica e de cunho experimental. Para isto, buscou-se juntamente aos educandos observar, medir e quantificar grandezas físicas associadas à interação do campo magnético terrestre local com um campo magnético gerado por uma bobina quadrada sobre uma bússola localizada em seu centro por meio de uma análise estatística quantitativa. Esta bobina quadrada foi feita pelo professor utilizando materiais de baixo custo. Os cálculos matemáticos estimativos com a equação que descreve a Lei de Biot-Savart do Eletromagnetismo, realizados a partir das medições experimentais indicaram um valor condizente para a componente horizontal do campo magnético local da Terra como sendo igual a 0,297 Gauss, o que é bem próximo ao valor presente na literatura acadêmica de 0,30 Gauss para a região equatorial do planeta. Com isto, os educandos puderam interpretar os resultados obtidos numericamente e compreender como o campo magnético pode ser utilizado para geolocalização de algumas espécies de seres vivos, como bactérias, tubarão martelo, tartaruga marinha, algumas aves migratórias etc., dos quais alguns destes são frequentes em determinadas épocas do ano nos mares do município de Caravelas.

PALAVRAS-CHAVE: Abordagem fenomenológica. Bobina de tesla. Campo geomagnético. Eletromagnetismo. Ensino de física.

ABSTRACT: This work deals with the analytical study of the magnetic field of planet Earth in the city of Caravelas, located in the extreme south of Bahia. The research originated in an educational context based on discussions with the students of a 3rd grade high school class at the Colégio Polivalente de Caravelas, in 2023, during a lesson on electromagnetic phenomena (Geomagnetism and Biomagnetism) in the subject of Physics. The aim of the research is to provide students with a scientific vision focused on experimental practice, in order to understand the Earth's magnetic field and how some animals use it to migrate around the planet. The research is characterized as quantitative, exploratory, phenomenological and experimental. To do this, the students were asked to observe, measure and quantify the physical quantities associated with the interaction of the Earth's local magnetic field with a magnetic field generated by a square coil on a compass located in its center by means of a quantitative statistical analysis. This square coil was made by the teacher using low-cost materials. The estimated mathematical calculations using the equation describing the Biot-Savart Law of Electromagnetism, carried out on the basis of the experimental measurements, indicated a consistent value for the horizontal component of the Earth's local magnetic field as being equal to 0.297 Gauss, which is very close to the value found in academic literature of 0.30 Gauss for the equatorial region of the planet. With this, the students were able to interpret the results obtained numerically and understand how the magnetic field can be used to geolocate some

¹Graduado em Licenciatura em Física. Especialista em Ensino de Física. Especialista em Ensino de Ciências. Especialista em Ciências da Natureza, suas Tecnologias e o Mundo do Trabalho. Especialista em Ensino de Astronomia. Professor efetivo de Física do Colégio Polivalente de Caravelas-BA. Email: rl.sodre1@gmail.com.

²Orientador: Doutor e Mestre em Engenharia, Multigraduado, Multiespecialista e Coordenador Pedagógico de Pós-Graduação e Pesquisa. Orientador e Professor de Trabalhos de Curso. E-mail: leonardo.armesto@faculdaedefocus.com.br.

species of living beings, such as bacteria, hammerhead sharks, sea turtles, some migratory birds, etc., some of which are frequent at certain times of the year in the seas around the municipality of Caravelas.

KEYWORDS: Phenomenological approach. Tesla coil. Geomagnetic field. Electromagnetism. Teaching physics.

INTRODUÇÃO

O Eletromagnetismo, uma das áreas fundamentais da Física, apresenta desafios significativos para os estudantes do Ensino Médio durante o processo de ensino e aprendizagem, especialmente em instituições públicas de ensino. A compreensão dos conceitos abstratos e matematicamente complexos muitas vezes requer uma abordagem pedagógica que vá além da simples transmissão teórica dos conteúdos, conforme preconiza (Delizoicov; Angotti, 1990; Moreira, 2017; 2018). Este trabalho, portanto, propõe uma abordagem fenomenológica para o ensino de Eletromagnetismo, com ênfase na observação e análise do campo geomagnético local como um fenômeno natural acessível e mensurável pelos próprios estudantes a partir da confecção de um aparato experimental com materiais de baixo custo. A fenomenologia, nesse contexto, prioriza a experiência direta e a observação dos fenômenos, promovendo uma aprendizagem mais engajada, contextualizada e significativa, conforme preconiza Moreira (2017; 2018).

A escolha da temática está fundamentada na necessidade de tornar o ensino de Eletromagnetismo mais acessível e significativo para os alunos do terceiro ano do Ensino Médio, cuja aplicação se deu em uma escola pública no estado da Bahia e pode ser estendida para qualquer outro contexto educacional. O estudo do campo geomagnético local, um fenômeno físico real e presente no cotidiano, oferece uma oportunidade única de aproximar os conceitos teóricos da realidade prática dos estudantes. Além disso, a metodologia proposta favorece o desenvolvimento de habilidades investigativas e analíticas, essenciais para a formação científica crítica e reflexiva, conforme preconiza o documento normativo da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Médio (Brasil, 2018) ao enfatizar o desenvolvimento de competências gerais e específicas e habilidades associadas às Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

A motivação para a escolha desta proposta advém da constatação de que muitos alunos apresentam dificuldades em associar os conceitos de Eletromagnetismo com aplicações práticas e fenômenos observáveis. Ao possibilitar que os estudantes realizem medições e análises do campo geomagnético local, espera-se que eles desenvolvam uma compreensão mais

profunda e contextualizada dos princípios da Teoria Eletromagnética Clássica. A implementação de uma abordagem fenomenológica, que valoriza a observação e a experiência direta, visa a promover um ensino mais significativo e engajador.

Dado o desafio de ensinar conceitos abstratos como os que envolvem o Eletromagnetismo, surge a questão: de que maneira a abordagem fenomenológica, centrada na análise do campo geomagnético local, pode contribuir para a compreensão e aprendizagem significativa dos conceitos fundamentais do Eletromagnetismo entre alunos do terceiro ano do Ensino Médio? A hipótese central deste trabalho é que a abordagem fenomenológica, ao enfatizar a experiência direta e a observação dos fenômenos naturais, como o campo geomagnético, pode facilitar a compreensão dos conceitos fundamentais de Eletromagnetismo. Espera-se que os alunos que participarem desta proposta pedagógica apresentem uma melhor compreensão dos princípios teóricos quando estes são aplicados em um contexto real e acessível e percebam a importância do campo magnético para a vida na Terra.

Por isso, o estudo feito e apresentado no artigo se delimita apenas aos fenômenos físicos associados ao magnetismo. Ou seja, mais especificamente o campo magnético gerado pelo planeta Terra em seu interior, devido à movimentação de seu núcleo de ferro fundido que induz uma corrente elétrica em sua superfície, chamadas de correntes de Facoult (Nussenzveig, 2014). E da literatura científica, corrente elétrica gera campo magnético (Chaves; Sampaio, 2012). Portanto, o estudo trata a Terra como um poderoso e imenso ímã natural do qual foi objeto central de estudo.

A presente pesquisa é fundamental para ser aplicada paralelamente aos conteúdos teóricos de Física sobre fenômenos magnéticos no Ensino Médio, visto que esses fenômenos são amplamente aplicados nas tecnologias utilizadas diariamente pelas pessoas. Uma abordagem experimental enriquece as aulas de Física e torna o ensino mais palatável aos jovens estudantes durante seus processos de aprendizagem de conceitos científicos associados aos fenômenos da natureza. O objetivo geral deste trabalho é investigar a eficácia de uma abordagem fenomenológica no ensino de Eletromagnetismo, utilizando a análise quali- quantitativa do campo geomagnético local como um meio de facilitar a compreensão dos conceitos fundamentais da Teoria Eletromagnética por estudantes do terceiro ano do Ensino Médio. Para isso, os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos:

- Introduzir os conceitos básicos de Eletromagnetismo a partir da

- observação experimental do campo geomagnético local;
- Verificar empiricamente a validade da Lei de Biot-Savart;
 - Compreender a interação entre a corrente elétrica que passa por uma bobina quadrada com a agulha de uma bússola colocada em seu centro;
 - Determinar o valor da componente horizontal do campo magnético local da Terra;
 - Validar a importância de se estudar o campo magnético terrestre;
- Avaliar a eficácia da abordagem fenomenológica no ensino de Eletromagnetismo, medindo o impacto na compreensão dos alunos sobre os conceitos estudados.

A pesquisa adotará uma abordagem quali-quantitativa do tipo semiestruturada (Creswell; Creswell, 2021; Gil, 2014; Lakatos; Marconi, 2021; 2022a; 2022b), permitindo tanto a coleta de dados numéricos quanto a análise interpretativa das percepções dos alunos. A metodologia será aplicada em uma turma de terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública na cidade de Caravelas-BA, onde os estudantes serão divididos em grupos para realizar as medições do campo geomagnético local. A análise quantitativa envolverá a compilação e interpretação dos dados obtidos nas medições, enquanto a análise qualitativa se concentrará nas reflexões e feedbacks dos alunos em relação à experiência de aprendizagem. Este enfoque metodológico visa a capturar uma visão abrangente da eficácia da abordagem fenomenológica proposta, integrando tanto os aspectos objetivos quanto subjetivos da aprendizagem.

Este estudo busca contribuir significativamente para o campo do Ensino de Ciências Exatas (Física), especialmente no ensino de Eletromagnetismo, ao propor uma abordagem inovadora e contextualizada (Carvalho *et al.*, 2013). A relevância deste trabalho pode ser destacada em várias dimensões:

1. **Contribuição Pedagógica:** A pesquisa oferece uma alternativa pedagógica que integra teoria e prática de maneira significativa, utilizando a fenomenologia como uma abordagem que promove a aprendizagem ativa e reflexiva. Isso pode servir de modelo para a implementação de práticas semelhantes em outras escolas e contextos educacionais.
2. **Desenvolvimento de Habilidades Científicas:** Ao engajar os estudantes em atividades práticas de medição e análise do campo geomagnético, o estudo contribui para o desenvolvimento de habilidades científicas essenciais, como a investigação empírica, a análise de dados e a

interpretação de fenômenos naturais. Isso fortalece a formação científica dos alunos e os prepara para desafios futuros no campo das Ciências Exatas.

3. **Valorização do Contexto Local:** A escolha do campo geomagnético local como objeto de estudo aproxima os conteúdos escolares da realidade dos alunos, tornando a aprendizagem mais relevante e significativa. Ao valorizar o fenômeno natural presente no cotidiano, a pesquisa incentiva os estudantes a perceberem a Física como uma ciência viva e presente em seu entorno.
4. **Inovação Metodológica:** A adoção de uma metodologia quali-quantitativa semiestruturada, que combina análise quantitativa com uma reflexão qualitativa profunda, proporciona uma compreensão mais completa e abrangente dos processos de aprendizagem envolvidos. Isso pode inspirar novas pesquisas e abordagens metodológicas no campo da educação em ciências.
5. **Impacto na Formação Docente:** O estudo pode servir como uma referência para a formação de futuros professores de Física, ao demonstrar a eficácia de métodos que privilegiam a experiência direta e a contextualização dos conteúdos. A pesquisa destaca a importância de práticas pedagógicas que são ao mesmo tempo inovadoras e acessíveis, contribuindo para a melhoria da qualidade do ensino em escolas públicas.

Esta pesquisa visa, portanto, contribuir para a melhoria do Ensino de Física (Eletromagnetismo) no contexto escolar, propondo uma metodologia que alinha teoria e prática, promovendo uma aprendizagem mais significativa e contextualizada para os estudantes (Delizoicov; Angotti, 1990; Gaspar, 2014), não apenas buscando melhorar a compreensão dos conceitos de Eletromagnetismo entre os alunos do Ensino Médio, mas também pretende contribuir para o desenvolvimento de uma prática pedagógica mais engajadora e eficaz, alinhada com os desafios e realidades da educação pública no Brasil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundamentos Eletromagnéticos

A experiência de Oersted em 1819 demonstrou que uma bússola próxima a um fio condutor de corrente tende a orientar sua agulha na direção ortogonal ao fio e contornando o mesmo. Isso mostra que o campo magnético gerado pela corrente tem linhas de força que contornam o fio. Verificou-se também que as linhas

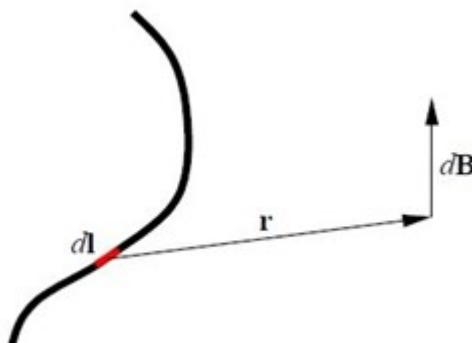
de força do campo magnético contornam o fio no sentido anti-horário quando vistas do lado para o qual aponta a corrente (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

A Lei de Biot-Savart é uma análise precisa desse fenômeno em que descreve matematicamente o campo magnético $\mathbf{B}$ gerado por uma corrente elétrica I constante no tempo. O fato de o campo magnético ser um pseudovetor implica que ele deve ser expresso em termos do um produto vetorial entre $I d\mathbf{l}$ e $\mathbf{r}$. Logo, a lei de Biot-Savart diz que o campo magnético $d\mathbf{B}$ gerado pelo elemento de corrente $I d\mathbf{l}$ é dado por (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014):

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^2} \quad (1)$$

no qual μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo, I é a corrente elétrica num elemento retilíneo infinitesimal $d\mathbf{l}$, $\mathbf{r}$ é o vetor que vai do elemento ao ponto onde se encontra $d\mathbf{B}$ e r é o módulo do vetor $\mathbf{r}$ (Figura 1).

Figura 1. Campo magnético gerado pela corrente elétrica que passa por um elemento retilíneo infinitesimal



Fonte: Produzido pelo Autor (2024)

O Princípio da Superposição possibilita obter o campo gerado pelo fio, ou conjunto de fios conduzindo corrente, em um ponto qualquer. Para isso, deve-se somar vetorialmente as contribuições de todos os elementos de corrente. Para efetuar essa soma, é conveniente fazer uma alteração na notação de (1). Em um dado sistema de coordenadas, o ponto de prova é descrito por um vetor $\mathbf{r}$ e os elementos de circuitos têm posições descritas pelo vetor $\mathbf{r}'$. Com essa notação, o vetor deslocamento do elemento de circuito ao ponto de prova na equação (1) é designado por $\mathbf{r}$ será dado por $\mathbf{r} - \mathbf{r}'$. O campo magnético gerado por um fio retilíneo (Figura 2) pode agora ser obtido integrando-se o campo magnético gerado pelo elemento $d\mathbf{B}$ (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004;

Nussenzweig, 2014), logo:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\mathbf{l} \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \quad (2)$$

A constante de proporcionalidade que aparece na Lei de Biot-Savart tem no SI o valor numérico:

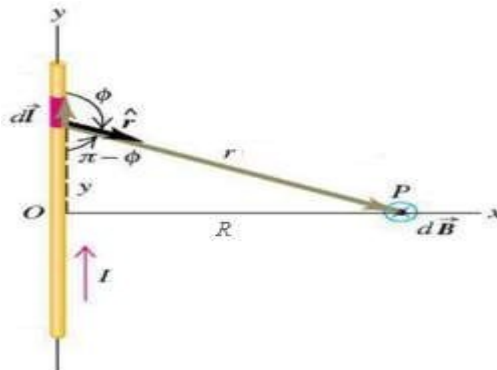
$$\begin{aligned} \frac{\mu_0}{4\pi} &= 10^{-7} \frac{Tm}{A} \\ \mu_0 &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A} \\ \mu_0 &\cong 1,256 \times 10^{-7} \frac{Tm}{A} \end{aligned}$$

Onde μ_0 é denominada permeabilidade magnética do vácuo.

2.1.1 Campo magnético gerado por uma corrente em um fio reto

O campo magnético de um fio reto e infinito que conduz uma corrente elétrica I (Figura 2) é obtido aplicando-se a lei de Biot-Savart (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzweig, 2014).

Figura 2. Esquema para o cálculo do campo magnético de um fio reto infinito transportando uma corrente elétrica I .



Fonte: Adaptado de Macêdo e Macêdo (s. d)

O sistema de eixos é escolhido de maneira que o fio se localiza ao longo do eixo y . O ponto genérico no qual se pretende calcular o campo está no plano xy . O campo gerado pelo segmento diferencial $d\mathbf{l} = j dy$ do fio é dado por (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzweig, 2014):

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dy \mathbf{j} \times \mathbf{r}}{r^2} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dy \sin\phi}{r^2} \mathbf{k}.$$

Da Figura 2, considerando que $\sin\phi = \sin(\pi - \phi)$ e $\cos\phi = -\cos(\pi - \phi)$, temos que:

$$\frac{1}{r} = \frac{\sin\theta}{r}, \quad y = -R \cot\theta \Rightarrow dy = R \frac{d\theta}{\sin\theta}.$$

Portanto, a intensidade do campo magnético será:

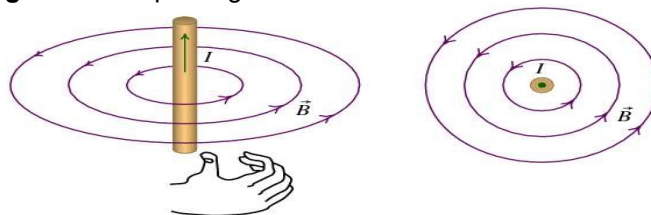
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin\theta dy}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_0^\pi \sin\theta d\theta.$$

Logo, resolvendo-se a integral acima temos que:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

A Figura 3 mostra as linhas de força do campo magnético gerado por um fio reto perpendicular ao plano da folha. O sentido da corrente elétrica é determinado através da regra da mão direita, sendo este saindo do plano da folha (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Figura 3. Campo magnético de um fio retilíneo com corrente

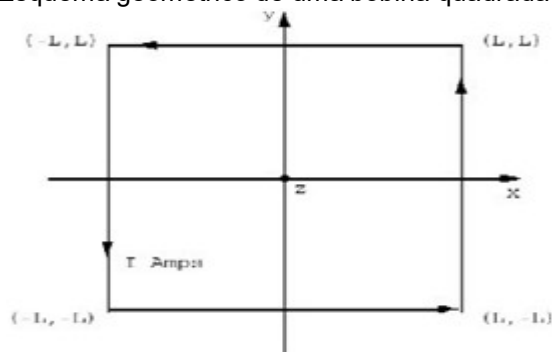


Fonte: Firmino (2019)

2.1.2 Campo magnético ao longo do eixo z de uma bobina quadrada

Alguns estudos mostram que conjuntos magnéticos formados por bobinas quadradas geram um campo magnético muito homogêneo. Nossa proposta é calcular o vetor indução magnética de uma bobina quadrada no seu centro. A bobina apresenta lado igual a $2L$ e um número N indeterminado de espiras. O campo magnético é gerado pela corrente elétrica que circula por todos os lados da bobina quadrada (Figura 4).

Figura 4. Esquema geométrico de uma bobina quadrada de lado $2L$



Fonte: Produzido pelo Autor (2024)

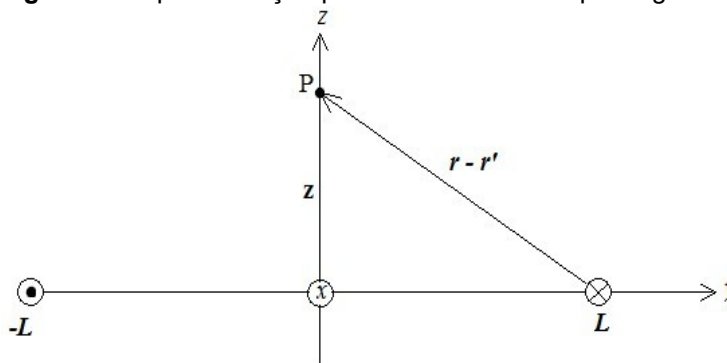
O campo magnético gerado por uma bobina qualquer pode ser calculado partindo-se da Lei de Biot-Savat aplicada a uma espira de mesma geometria e depois multiplicando o valor do campo pelo número de voltas que a bobina possui (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Dada a Lei de Biot-Savart (2) e aplicando o princípio da superposição, o campo magnético de uma espira quadrada é igual à soma dos campos magnéticos em cada um dos segmentos retos (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Logo:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = \sum \vec{B}_{fi}$$

Logo:

Figura 5. Esquematização para o cálculo do campo magnético



Fonte: Produzido pelo Autor (2024)

$$d = |\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{L^2 + Z^2} \quad (3) \quad \therefore d^2 = L^2 + Z^2 \quad (4)$$

O campo magnético para um segmento reto é dado por:

$$B_{fio} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \frac{L}{\sqrt{d^2 + L^2}} \quad (5)$$

Então, de (3) e (4) em (5), temos:

$$B_{fio} = \frac{\mu_0 I}{2\pi \sqrt{L^2 + Z^2}} \frac{L}{\sqrt{L^2 + Z^2 + L^2}}$$

Logo:

$$B_{fio} = \frac{\mu_0 I}{2\pi \sqrt{L^2 + Z^2}} \frac{L}{\sqrt{Z^2 + 2L^2}} \quad (6)$$

É o campo magnético em um dos segmentos da espira quadrada. Analisando a direção e o sentido do campo, temos:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = \sum \vec{B}_{fio} = 4B_{fio}\cos\varnothing\mathbf{k} \quad (7)$$

Da figura 5, nota-se que a seguinte relação trigonométrica:

$$\cos\varnothing = \frac{L}{d} = \frac{L}{\sqrt{L^2 + Z^2}} \quad (8)$$

De (6) e (8) em (7), temos então que:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = 4 \frac{\mu_0 I}{2\pi\sqrt{L^2 + Z^2}} \frac{L}{\sqrt{Z^2 + 2L^2}} \frac{L}{\sqrt{L^2 + Z^2}} \mathbf{k}$$

Logo:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = \frac{2\mu_0 I}{\pi} \frac{L^2}{(L^2 + Z^2)\sqrt{Z^2 + 2L^2}} \mathbf{k} \quad (9)$$

Para o campo magnético no centro dessa espira tomamos $z = 0$ em (9). Logo:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = \frac{2\mu_0 I}{\pi} \frac{1}{L\sqrt{2}} \mathbf{k} \quad (10)$$

O campo magnético $\vec{B}_{\text{bobina}}$ no centro (ou ao longo do eixo z) da bobina quadrada é obtido multiplicando-se o número N de espiras dessa bobina pelo valor do campo magnético $\vec{B}_{\text{espira}}$ de uma única espira (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Logo:

$$\begin{aligned} \vec{B}_{\text{bobina}} &= N\vec{B}_{\text{espira}} \\ \vec{B}_{\text{bobina}} &= \frac{2\mu_0 I}{\pi} \frac{N}{L\sqrt{2}} \mathbf{k} \\ \vec{B}_{\text{bobina}} &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{\mu_0 IN}{L} \mathbf{k} \end{aligned} \quad (11)$$

Ou ainda:

$$B_{\text{bobina}} = 0,4501 \frac{\mu_0 IN}{L} \quad (12)$$

As componentes do campo magnético em função de $\mathbf{i}$ e $\mathbf{j}$ se anulam pela simetria geometria apresentada na espira, resultando apenas a componente em função de $\mathbf{k}$.

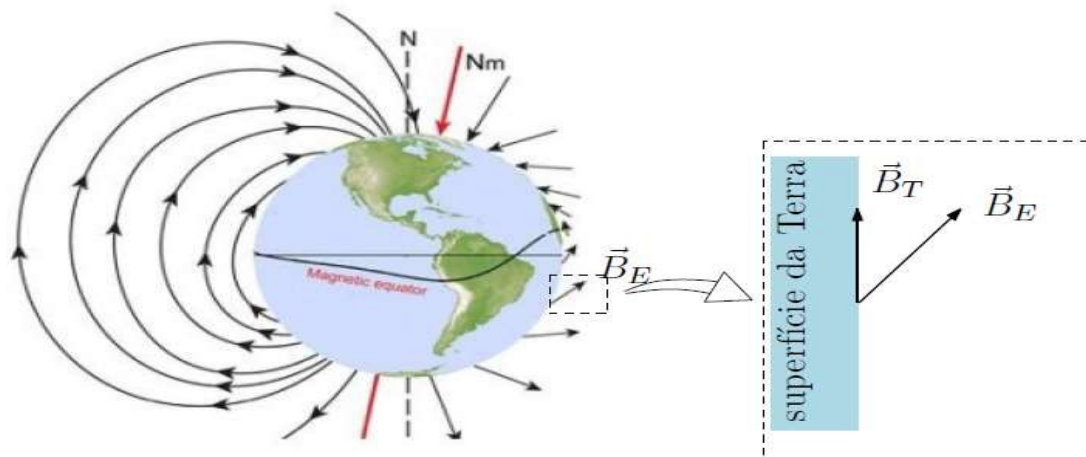
2.1.3 A bússola e o campo magnético da Terra

Sabe-se que a agulha de uma bússola se orienta no sentido do campo

magnético da Terra. Esse campo é gerado por uma combinação do movimento de rotação e a convecção do núcleo fluido da Terra. As linhas de campo se assemelham às linhas de campo de um dipolo magnético, como mostra a Figura 6 (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Como as linhas de campo de um dipolo são orientadas do polo norte para o polo sul magnético, nota-se que de fato, aquilo que se tem como polo norte da Terra está próximo ao sul magnético da Terra (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). O eixo geográfico norte-sul da Terra é levemente inclinado em relação ao eixo magnético da Terra. Na verdade, a agulha da bússola se alinha com a componente horizontal do vetor campo magnético da Terra, ou seja, a componente que tangencia a superfície da Terra numa dada latitude e longitude (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Representaremos essa componente como $\vec{B}_T$ (Figura 6).

Figura 6. Linhas de campo magnético da Terra



Fonte: UFOP (s. d)

As linhas são aproximadamente simétricas em relação ao eixo de dipolo magnético da Terra, indicado por N_m . Do lado direito do globo, está representado apenas o vetor campo magnético próximo à superfície. Note que apesar de menos intenso próximo à linha do equador, sua inclinação é maior próxima aos polos. É a componente horizontal $\vec{B}_T$ desse vetor de campo que orienta a agulha de uma bússola (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). A orientação da agulha da bússola poderá ser desviada se um segundo campo magnético estiver presente. O que ocorre é que a agulha da bússola, que é um dipolo magnético, irá se alinhar ao campo magnético resultante da soma vetorial desses dois campos. Campo magnético é uma grandeza vetorial (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Correntes elétricas são fontes de campo magnético e a orientação do campo será sempre perpendicular à corrente que o gera. O sentido das linhas de campo é dado pela regra da mão direita (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). O campo magnético terrestre é de fundamental importância para a sobrevivência das espécies. Sem ele, muitos animais como aves, tubarões, lagostas etc., teriam sua migração anual afetada drasticamente, pois se orientam através das linhas de campo magnético da Terra (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Esse campo magnético também protege os seres vivos das violentas radiações cósmicas do Sol (Figura 7). Partículas carregadas oriundas do Sol são desviadas para longe devido ao campo que age como um escudo, permitindo apenas a passagem da luz visível e de calor, pois essas radiações não carregam cargas (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Segundo Nussenzveig (2014), Halliday, Resnick e Krane (2004) e Chaves e Sampaio (2012), parte dessas partículas carregadas chega aos polos geográficos da Terra na qual interagem com os elementos químicos presentes em nossa atmosfera, ionizando-a, sendo a causa do fenômeno da aurora boreal (no hemisfério norte) e austral (no hemisfério sul).

Na literatura, o valor do campo magnético da Terra em seus hemisférios é de 0,7 Gauss, ao passo que na região equatorial esse valor é de 0,3 Gauss. Um Gauss equivale a 10^{-4} Tesla. O Tesla é a medida internacional do campo magnético (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Essa diferença é denominada como anomalia magnética e se deve ao fato de que o núcleo fluido de ferro no interior da Terra não está localizado exatamente em seu centro geométrico (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Figura 7. Campo magnético da Terra agindo como escudo contra os violentos raios cósmicos oriundos do Sol



Fonte: Borges (2020)

A imagem na Figura 7 acima contém uma ilustração fora de escala do Sol e a Terra. Nela, pode-se notar o campo magnético da Terra que age como escudo defletor das partículas altamente carregadas provenientes do Sol e que chegam à Terra por meio das ondas eletromagnéticas e erupções solares. Esse campo magnético é o protetor da vida na Terra e sem ele, não haveria possibilidade de vida, uma vez que a superfície terrestre estaria sendo bombardeada constantemente com essas partículas altamente energéticas, inviabilizando a formação da vida.

3. METODOLOGIA

Sabe-se que uma bússola se orienta no campo magnético terrestre. Esta orientação pode ser modificada se algum campo magnético externo adicional for aplicado sobre ela. Neste caso a bússola procurará ficar orientada no campo magnético resultante da soma vetorial destes dois campos. A componente horizontal do campo magnético da Terra pode ser medida observando-se a mudança na orientação da bússola quando sobre ela for aplicado um campo magnético externo perpendicular ao campo magnético terrestre. Para produzir este campo magnético externo utilizaremos uma bobina com geometria quadrada de lado igual a $2L$, ao qual podemos produzir um campo magnético conhecido (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

As bobinas são conjuntos magnéticos geralmente usados para se medir e gerar campos magnéticos submetidos a condições controladas, bem como outras aplicações. Os conjuntos magnéticos com geometria quadradas são mais convenientes que os circulares para o experimento de cancelamento do campo magnético terrestre. Um estudo teórico-experimental de uma bobina quadrada é apresentado de forma concisa no presente trabalho. Foi obtida a expressão da indução do campo magnético no centro da bobina quadrada e calculado o valor do campo magnético local da Terra (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

3.1 Materiais Utilizados

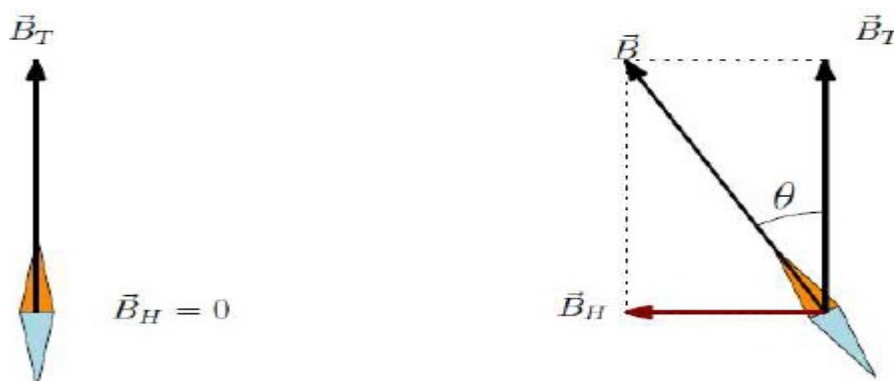
- ✓ Uma bússola;
- ✓ Uma bobina quadrada;
- ✓ Um Multímetro;
- ✓ Uma Fonte de corrente contínua;
- ✓ Um suporte para bússola (feito de caixa de papelão);
- ✓ Uma base-circuito para a bobina;
- ✓ Fios condutores para ligação.

3.2 Procedimento Experimental

Em nosso experimento, utilizamos uma bobina quadrada de forma a criar um campo magnético $\vec{B}_H$ horizontal e perpendicular à componente horizontal do campo magnético da Terra $\vec{B}_T$. Uma bússola posicionada no centro entre da bobina quadrada, sofreu uma deflexão no sentido do campo resultante $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_H$, formando um ângulo θ com a direção norte (direção do campo da Terra), como ilustrado na Figura 8. Há uma relação trigonométrica entre as intensidades destes dois campos que é dada pela tangente de θ . Logo:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\vec{B}_H}{\vec{B}_T} \quad (13)$$

Figura 8. Orientação dos vetores de campo magnético



Fonte: UFOP (s. d)

À esquerda, a bobina quadrada não está sendo percorrida por corrente elétrica, logo $\vec{B}_H$ é nulo e a agulha da bússola permanece alinhada com a componente $\vec{B}_T$ do campo da Terra. À direita, a passagem da corrente elétrica pela bobina é evidenciada, então um campo $\vec{B}_H$ é gerado defletindo a agulha da bússola na direção do vetor campo magnético resultante $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_H$ (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Foi montado o circuito com a bobina ligado a fonte de corrente contínua e a bússola disposta exatamente no centro dessa bobina. Foram feitas várias medições para valores a fim de se obter um valor médio.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Usando a equação (12), os valores de corrente e tomando-se o número de espiras como sendo aproximadamente igual a 20 (ver tabela abaixo), bem como o valor do lado $L = 10$ cm da bobina e sendo a permeabilidade magnética do vácuo igual

a $4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A, foram obtidos os valores do módulo do vetor indução magnética $\vec{B}_H$ gerado pela bobina em seu centro, sobre a bússola para cada valor de corrente I (ver tabela abaixo).

Tabela. Medição para o cálculo do campo magnético da Terra

Corrente I (mA)	Deflexão $\theta(^{\circ})$	$tg\theta$	N	$\vec{B}_H$ (10^{-5} T)	$\vec{B}_T$ (10^{-5} T)
0,1	40,0	0,8	22,3	2,26	2,68
0,2	59,6	1,7	22,7	4,52	2,65
0,4	70,2	2,7	18,6	9,05	3,29
0,8	79,8	5,5	18,9	1,81	3,26

Fonte: Produzida pelo Autor (2024)

Fazendo-se uso da equação (13) e dos ângulos da tabela, pôde-se calcular o valor da componente horizontal do campo magnético local da Terra $\vec{B}_T$ para cada valor de corrente I (ver tabela). Tirando-se o valor médio temos que a componente horizontal do campo magnético local da Terra = 0,297 Gauss (1 Gauss = 10^{-4} Tesla).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi verificada a validade da Lei de Biot-Savart por meio do valor da componente horizontal do campo magnético da Terra obtida nesse experimento ser compatível com o valor encontrado na literatura apresentado por (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Pôde-se compreender de forma empirista a fenomenologia expressa por trás dessas leis que regem o eletromagnetismo e verificar que o resultado obtido para a componente horizontal do campo magnético local da Terra corresponde ao valor esperado, que é de até 0,3 Gauss na região equatorial do planeta. É importante salientar que estudos desse tipo contribuem para o enriquecimento acadêmico dos alunos, e futuro professores.

Os dados obtidos durante a realização da experiência foram devidamente equacionados e o valor encontrado para o campo geomagnético local na cidade de Caravelas-BA ficou dentro de uma margem de erro aceitável, em relação com o valor do campo geomagnético global do planeta Terra. Isso permitiu um maior engajamento dos educandos durante a realização da prática experimental, desde a montagem inicial do aparato até às observações fenomenológicas de seu funcionamento e a obtenção dos dados. Logo, a presente pesquisa não apenas busca melhorar a compreensão dos conceitos de Eletromagnetismo entre os alunos do ensino médio, mas também pretende contribuir para o desenvolvimento de uma prática pedagógica mais engajadora e eficaz por meio de um Ensino Investigativo das fenomenologias associadas à corrente elétrica e ao magnetismo, alinhada com os desafios e realidades da educação pública no Brasil.

REFERÊNCIAS

BORGES, R. Os aquecimentos e resfriamentos cíclicos da terra. **Geobservatório**, 2020. Disponível em: <https://geobservatorio.com/blog/aquecimentos-e-resfriamentos-ciclicos-da-terra>. Acesso em: nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Base nacional comum curricular - educação é a base: competências e habilidades específicas em ciências da natureza e suas tecnologias no ensino médio**. Brasília: MEC/CNE, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#medio/area-de-ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias>. Acesso em: nov. 2022.

CARVALHO, A. M. P. de et al. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CHAVES, A; SAMPAIO, J. F. **Física básica: eletromagnetismo**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CRESWELL, J. W; CRESWELL, J. D. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2021.

FIRMINO, M. **Ondas eletromagnéticas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2019. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/josemacedo/disciplinas/2019/2019.2/03-ondas-eletromagneticas>. Acesso em: nov. 2023.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de vigotski**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; KRANE, K. S. **Física 3**. 5. ed. São Paulo: LTC, v. 4, 2004.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022a.

_____. **Técnicas de pesquisa**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

_____. **Metodologia do trabalho científico**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022b.

MACÊDO, M; MACÊDO, C. **Fontes de campo magnético**. Disponível em: https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15123816022012Fisica_B_aula_8.pdf. Acesso em: nov. 2023.

MOREIRA, A. **Ensino de física no século XXI: desafios e equívocos**. Revista do Professor de Física, v. 2, n. 3, Brasília, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/19959/18380>.

Acesso em: mar. 2023.

_____. **Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea.** Revista do Professor de Física, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>. Acesso em: abr. 2023.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: eletromagnetismo.** 5. ed. São Paulo: Blücher, v. 3, 2014.

PIETROCOLA, M. **Ensino de Física.** Florianópolis, UFSC, 2001.

UFOP. **Campo magnético da terra.** Disponível em: https://fisica.ufop.br/sites/default/files/defis/files/campo_magnetico_da_terra.pdf?m=1525725088. Acesso em: nov. 2023.