



**INSTITUTO FEDERAL**

Sertão Pernambucano

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO  
PERNAMBUCANO  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM  
FÍSICA**

**MARCOS VINICIUS RODRIGUES DE CARVALHO**

**MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UM ÍMÃ  
DE NEODÍMIO NO CONTEXTO DE UM LABORATÓRIO DIDÁTICO**

**SALGUEIRO**

**2024**

MARCOS VINICIUS RODRIGUES DE CARVALHO

MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UM ÍMÃ DE  
NEODÍMIO NO CONTEXTO DE UM LABORATÓRIO DIDÁTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Salgueiro, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador(a): Prof. Thiago Alves de Sá Muniz Sampaio.

SALGUEIRO

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

C331 Carvalho, Marcos Vinicius Rodrigues de.

Métodos para medição do campo magnético gerado por um ímã de neodímio no contexto de um laboratório didático / Marcos Vinicius Rodrigues de Carvalho. - Salgueiro, 2024.  
54 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, 2024.  
Orientação: Prof. Msc. Thiago Alves de Sá Muniz Sampaio.

1. Ensino de Física. 2. Campo Magnético. 3. Laboratório Didático. 4. Força Magnética. I. Título.

CDD 530.07

---

MARCOS VINICIUS RODRIGUES DE CARVALHO

MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UM ÍMÃ DE  
NEODÍMIO NO CONTEXTO DE UM LABORATÓRIO DIDÁTICO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Coordenação do curso de  
Licenciatura em Física do Instituto Federal  
de Educação, Ciência e Tecnologia do  
Sertão Pernambucano, campus Salgueiro,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Licenciado em Física.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Thiago Alves de Sá Muniz Sampaio Orientador(a)  
IFSertãoPE – Campus Salgueiro

---

Prof. Wellington dos Santos Souza  
IFSertãoPE – Campus Salgueiro

---

Prof. Samuel dos Santos Feitosa  
IFSertãoPE – Campus Salgueiro

---

Rosicleide Maria da Silva Ribeiro

SALGUEIRO

2024

Dedicatória.

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos, tios, tias, amigos, professores e gestores que contribuíram ao longo dessa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a minha família, principalmente aos meus pais e meus irmãos, por todo o apoio prestado no decorrer desta caminhada.

Ao Prof. Thiago Alves de Sá Muniz Sampaio, por todo o apoio, paciência e pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinador Wellington dos Santos Souza, Samuel dos Santos Feitosa e Rosicleide Maria da Silva Ribeiro pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos amigos e colegas da turma, pelas reflexões, críticas, sugestões recebidas e por todo o conhecimento compartilhado no decorrer desta graduação.

Agradeço também a todos os professores que fazem parte da Coordenação do Curso de Licenciatura em Física da Instituição, por todos os ensinamentos e conhecimentos compartilhados durante todo o curso.

“A coisa mais bela que o homem pode experimentar é o mistério. É essa emoção fundamental que está na raiz de toda ciência e toda arte.”

Albert Einstein

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado um estudo a respeito do campo magnético gerado por um ímã de neodímio e três propostas de atividades experimentais no contexto de um laboratório didático. Além disso, também é evidenciado nessa pesquisa uma abordagem de estudo a respeito da força magnética que atua entre dois ímãs magnetizados. Neste caso, foi desenvolvida uma atividade experimental com materiais alternativos para determinar a força magnética entre os ímãs. O objetivo desse trabalho é propor um estudo com abordagem e elaboração de experimentos voltado ao ensino de física, cuja o estudo teórico evidenciado servirá como base para compreender as propostas dos experimentos desenvolvidos, a respeito do campo magnético e da força magnética. Através dos resultados obtidos pelas propostas experimentais, conseguimos perceber que o modelo utilizado para a descrição do campo magnético do ímã é válido e com isso, conseguimos obter o momento de dipolo magnético do ímã, além disso, no estudo da força magnética constatamos que a interação mantida entre os ímãs se comporta de acordo com o modelo previsto pela teoria.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Campo Magnético. Laboratório Didático. Força Magnética.

## **ABSTRACT**

In this work, a study about the magnetic field generated by a neodymium magnet and three proposals for experimental activities in the context of a didactic laboratory are presented. In addition, this research also evidences an approach to study the magnetic force that acts between two magnetized magnets. In this case, an experimental activity was carried out with alternative materials to determine the magnetic force between the magnets. The objective of this work is to propose a study with an approach and elaboration of experiments aimed at the teaching of physics, whose theoretical study evidenced will serve as a basis to understand the proposals of the experiments developed, regarding the magnetic field and the magnetic force. Through the results obtained by the experimental proposals, we can see that the model used to describe the magnetic field of the magnet is valid and with that, we can obtain the magnetic dipole moment of the magnet, in addition, in the study of the magnetic force we found that the interaction maintained between the magnets behaves according to the model predicted by the theory.

**Keywords:** Physics Teaching. Magnetic Field. Didactic Laboratory. Magnetic Force.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Linhas de campo magnético .....	17
Figura 2	– Orientação dos momentos magnéticos dentro do domínio magnético de um material ferromagnético .....	21
Figura 3	– Orientação de magnetização dos domínios magnéticos de um material ferromagnético: à esquerda orientação aleatória dos domínios. À direita orientação paralela dos domínios com o campo $\vec{B}$ aplicado .....	21
Figura 4	– Campo magnético medido no eixo axial de simetria da face cilíndrica de um ímã .....	22
Figura 5	– Posicionamento do papel milimetrado na mesa de plástico .....	23
Figura 6	– Base de fixação do ímã .....	24
Figura 7	– Posicionamento do sensor de campo magnético .....	25
Figura 8	– Programa do Cidepe para obtenção dos dados experimentais .....	25
Figura 9	– Aparato experimental montado .....	26
Figura 10	– Intensidade do campo magnético (em Gauss) em função da distância mantida entre o ímã e o sensor .....	28
Figura 11	– Campo magnético em função da razão $\frac{1}{x^3}$ para os valores de distância .....	28
Figura 12	– Linhas retas delimitadas no papel milimetrado .....	31
Figura 13	– Bússola posicionada no interior do solenoide .....	32
Figura 14	– Aparato experimental pronto .....	33
Figura 15	– Regra da mão direita aplicada no solenoide .....	33
Figura 16	– Fonte de alimentação digital utilizada na atividade experimental .....	34
Figura 17	– Diagrama de forças: $\vec{B}_i$ campo magnético do ímã, $\vec{B}_{TS}$ soma do campo magnético da Terra com o campo magnético do solenoide e $\vec{B}_R$ campo magnético resultante sobre a agulha da bússola .....	36
Figura 18	– Módulo do campo magnético em função da distância mantida entre o ímã e o centro da bússola.....	37

Figura 19 – Campo magnético em função da relação $\frac{1}{x^3}$ para os valores de distância.....	38
Figura 20 – Dois ímãs cilíndricos iguais de comprimento L, raio R e separados por uma distância x .....	41
Figura 21 – Primeiro aparato experimental montado .....	43
Figura 22 – Ímã de neodímio fixo ao êmbolo de uma seringa .....	45
Figura 23 – Haste metálica fixa no êmbolo com o ímã .....	45
Figura 24 – Haste metálica fixa ao copo transparente .....	46
Figura 25 – Segundo aparato experimental montado .....	47
Figura 26 – Diagrama de forças atuantes sobre o sistema experimental .....	48
Figura 27 – Força magnética em função da distância entre os ímãs .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados experimentais. X: distância entre o sensor e o ímã; $B_i$ : módulo do campo magnético obtido do ímã .....	27
Tabela 2 – Dados obtidos no experimento. X: distância do ímã ao centro da bússola; $\theta$ : ângulo formado pelo movimento da agulha da bússola $B_i$ : campo magnético obtido do ímã .....	37
Tabela 3 – Dados obtidos experimentalmente .....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

App	Aplicativo
Cidepe	Centro Industrial de Equipamentos de Ensino e Pesquisa
IFSertãoPE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>História e desenvolvimento do magnetismo .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Campo magnético .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Características físicas de um ímã e materiais ferromagnéticos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Campo magnético de um ímã cilíndrico .....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DE UM ÍMÃ DE NEODÍMIO UTILIZANDO O SENSOR DO CIDEPE .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Método experimental .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>MEDIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DE UM ÍMÃ DE NEODÍMIO A PARTIR DO USO DE UMA BÚSSOLA NO INTERIOR DE UM SOLENOIDE PERCORRIDO POR CORRENTE ELÉTRICA .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1</b>	<b>Método experimental .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>FORÇA MAGNÉTICA ENTRE DOIS ÍMÃS CILÍNDRICOS .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Verificação da força magnética entre dois ímãs cilíndricos .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2</b>	<b>Método experimental .....</b>	<b>42</b>
<b>5.3</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É importante destacar que a realização das atividades experimentais sempre foi de grande relevância no processo de ensino e aprendizagem de Física. Atualmente, vários trabalhos são publicados em periódicos com o foco no desenvolvimento de experimentos voltados para o ensino de Física, e muitos desses estudos são voltados a propostas de atividades experimentais de baixo custo. Segundo Alves et al. (2023), muitos desses trabalhos publicados em periódicos auxiliam no tempo dos professores, visto que várias dessas pesquisas oferecem a descrição detalhada do procedimento utilizado para montagem dos experimentos, facilitando a reprodução dessa atividade por parte do público interessado. Assim, por meio das publicações desses estudos, as atividades experimentais se tornam mais acessíveis aos professores interessados, da mesma forma que também facilita a reprodução desses experimentos dentro da sala de aula.

Nesse contexto, fica claro que o desenvolvimento de experimentos alternativos é de grande importância para o ensino de física. Araújo e Abib (2003) destacam que o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de física tem sido indicado por professores e alunos como uma das formas mais proveitosas para minimizar tanto as dificuldades de aprender como de ensinar Física de maneira significativa e consistente.

Como afirmam Moraes e Júnior (2015) a abordagem da ciência através de experimentos didáticos atribui grande importância à aprendizagem dos estudantes, isso porque na prática, estimulado por sua curiosidade, que os alunos procuram novas revelações, põem em questão vários assuntos e, com isso, contribui para a aprendizagem significativa. Assim, percebemos que o uso de experimentos didáticos nas aulas de Física, além de contribuir como forma de estratégia para o ensino de Física, também proporciona de forma significativa a aprendizagem dos estudantes. Com isso, fica evidente que a experimentação atua como uma ferramenta que possibilita entender e compreender a relação entre a teoria e os eventos ocorridos no dia a dia.

Tendo em vista todo esse discurso, neste trabalho é proposta uma abordagem teórica com sugestões de atividades experimentais a respeito de temas voltados ao estudo do campo magnético gerado por um ímã de neodímio. Neste estudo, esse tipo de ímã foi escolhido, porque esses magnetos são característicos por produzir um campo magnético intenso, mesmo se o ímã for de pequeno tamanho.

Especificamente, duas propostas com métodos diferentes foram utilizadas para confirmação do estudo a respeito do campo magnético gerado pelo mesmo ímã. Por fim, evidenciamos um estudo da força magnética mantida em função da interação entre dois ímãs cilíndricos, onde é proposta uma atividade experimental para observação desse fenômeno, destacando o estudo teórico e os resultados obtidos pela proposta.

Assim, o texto a seguir está estruturado da seguinte forma: No capítulo dois é feito uma abordagem da história e desenvolvimento do magnetismo, do conceito de campo magnético, descrição das linhas de campo, campo magnético da Terra, força magnética atuante sobre uma carga elétrica em meio a um campo, magnetização de materiais, características físicas de um ímã e materiais ferromagnéticos, e campo magnético de um ímã cilíndrico; já no capítulo três destacamos uma proposta experimental para determinar o campo de um ímã de neodímio utilizando um sensor do Cidepe, com descrição do método utilizado e os resultados obtidos; no capítulo quatro evidenciamos uma nova proposta para determinar o campo magnético do mesmo ímã utilizado no capítulo três, utilizando uma bússola no interior de um solenoide percorrido por corrente elétrica, também é discutido o método experimental utilizado e os resultados obtidos dessa atividade; no capítulo cinco introduzimos a teoria sobre a força magnética entre dois ímãs cilíndricos, também destacamos uma proposta experimental que abrange esse fenômeno, com descrição do método experimental utilizado e os resultados obtidos na realização dessa atividade; no capítulo seis temos as considerações finais com a abordagem da importância das atividades experimentais no ensino de Física e a importâncias das propostas de experimentos utilizadas nesse estudo e por fim, esse trabalho finaliza com as referências bibliográficas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 História e desenvolvimento do magnetismo

O primeiro mecanismo contribuinte para o desenvolvimento do campo do magnetismo foi a descoberta da magnetita (JÚNIOR, 2010). A magnetita, durante séculos, despertou a curiosidade de cientistas e filósofos devido a sua capacidade de atrair e repelir minério de ferro e de se nortear na Terra (REZENDE, 2000). Tal propriedade desencadeou estudos voltados à explicação desse fenômeno relacionado ao comportamento atrativo da magnetita com outros materiais.

Segundo Nussenzveig (1997), as propriedades desses materiais já eram conhecidas desde a Grécia Antiga. Esses pequenos fragmentos de minérios, ou como também eram chamados de “pedra-ímã”, ficaram bem conhecidos graças a sua capacidade de interagir atraindo pedaços de ferro e outros materiais. Assim as bússolas de precisão foram desenvolvidas através do processo de imantar a agulha de ferro, que se magnetizava ao esfregar-se a uma pedra-ímã (JÚNIOR, 2010).

Machado (2002) afirma que a bússola inventada pelos chineses foi uma importante aplicação do fenômeno magnético. Esse instrumento ficou bastante conhecido graças a sua capacidade de nortear a direção Norte-Sul geográfico e essa aplicabilidade foi obtida graças ao movimento da agulha da bússola, ocorrido em função das suas propriedades magnéticas e também devido a interação sofrida pelo campo magnético terrestre. Em função disso, a bússola se tornou um instrumento de grande serventia para os povos da Ásia e da América na realização de seus deslocamentos, e serviu também para estimular a curiosidade dos pesquisadores (REZENDE, 2000).

Em 1600, William Gilbert publicou um importante estudo sobre os fenômenos magnéticos, no qual destacou que a Terra se comporta como um grande ímã (NUSSENZVEIG, 1997). Essa obra foi intitulada como “De magnete” e como destaca Magalhães (2007), ela foi escrita voltada ao estudo do magnetismo e descrição de experimentos que Gilbert teria realizado com a pedra-ímã. Assim, é notório que, desde a descoberta, os fenômenos magnéticos estão intimamente relacionados com a experimentação.

Com isso, foram através das observações feitas por pensadores daquele período, que levaram a perceber as relações entre o magnetismo e a eletricidade. Em função dessa atenção voltada à ocorrência desses eventos, como, a magnetização

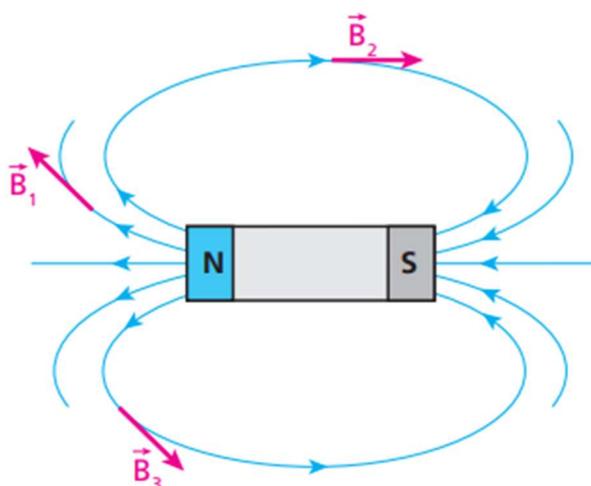
de peças metálicas ao serem atingidas por raios e o fato de a bússola sofrer mudanças na orientação devido aos raios que caíam próximos a esses instrumentos, foram indícios de ligação entre os fenômenos elétricos e magnéticos (CHAIB e ASSIS, 2007).

Em 1820, o estudo experimental do dinamarquês Hans Christian Oersted mostrou que os fenômenos elétricos e magnéticos não ocorriam de forma tão independentes, como era sugerido até o momento. Experimentalmente Oersted observou que a corrente elétrica conduzida por um fio retilíneo, nas proximidades de uma bússola, era capaz de provocar uma deflexão na agulha magnética, evidenciando uma relação direta entre os fenômenos elétricos e magnéticos (BISCUOLA et al. 2012).

## 2.2 Campo magnético

O campo magnético é uma grandeza vetorial relacionada a cada ponto do espaço (YOUNG e FREEDMAN, 2009). Nesse contexto, o campo magnético é mapeado por linhas imaginárias fechadas, chamadas de linhas de campo magnético, onde a linha que passa em cada ponto é tangente ao vetor campo magnético. Além disso, nos locais em que as linhas de campo magnético estão mais compactas, o módulo do campo magnético é mais intenso, porém, nos locais onde as linhas estão mais afastadas, a intensidade do campo magnético é fraca (YOUNG e FREEDMAN, 2009). Dentro do ímã, as linhas são orientadas do polo Sul para o polo Norte, enquanto fora do ímã as linhas são dirigidas do polo Norte para o polo Sul (MACHADO, 2002).

Figura 1 - Linhas de campo magnético.



Fonte: Biscuola et al., 2012.

Como é perceptível na Figura 1, as linhas de campo magnético de um ímã são sempre descritas pela trajetória fechada, cuja maior concentração de linhas é dada nas extremidades do ímã. Devido a isso, a intensidade do campo magnético nessa região é maior. É através dessa propriedade que certos materiais possuem a capacidade de atrair ou interagir uns com os outros, como por exemplo, os ímãs permanentes. A própria Terra atua como um grande ímã e próximo da sua superfície o seu campo magnético é semelhante ao campo produzido por um enorme ímã em forma de barra (HALLIDAY e RESNICK, 2016). Assim, o campo magnético pode ser definido em termos da força magnética que atua sobre uma partícula carregada que se move na presença de um campo.

No estudo da eletrostática, uma partícula carregada cria um campo elétrico ao seu redor, onde é através disso que ocorre a interação entre duas partículas carregadas. Uma delas sabe a existência da outra por meio da ação da força elétrica proveniente do campo elétrico criado nessa região. Assim, o campo elétrico é determinado em um ponto, colocando uma partícula de prova carregada nesse ponto e medindo a força elétrica que age sobre essa partícula (HALLIDAY e RESNICK, 2016).

Diferentemente da eletrostática, na magnetostática o campo magnético não pode ser definido igualmente ao campo elétrico, isso porque não existem monopolos magnéticos. Porém, o campo magnético  $\vec{B}$  pode ser definido experimentalmente, visto que uma partícula eletricamente carregada se movendo em um campo magnético, sente a presença de uma força magnética  $\vec{F}$  atuando sobre esta partícula (HALLIDAY e RESNICK, 2016).

Com isso, a força magnética  $\vec{F}$  que age sobre uma carga “ $q$ ” que se move com velocidade  $\vec{v}$  no interior de um campo magnético  $\vec{B}$  é dada pela seguinte equação vetorial:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Em um caso particular, dada quando a velocidade  $\vec{v}$  é perpendicular ao campo  $\vec{B}$ , o módulo do campo magnético pode ser definido em termos do módulo da força magnética, dada pela seguinte expressão:

$$B = \frac{F}{|q|v}$$

Escrevendo o módulo da força magnética  $F$ , temos:

$$F = |q|vB\sin\theta$$

Onde: " $\theta$ " é o ângulo formado entre as direções da velocidade  $\vec{v}$  e do campo magnético  $\vec{B}$ . Assim, a força magnética que age sobre a carga em movimento em meio a um campo magnético é sempre perpendicular a  $\vec{v}$  e a  $\vec{B}$ . A partir dessa análise mostrada anteriormente, o campo magnético pode ser definido em função de uma partícula que se move na presença de um campo.

Os campos magnéticos podem ser produzidos através de duas formas diferentes: a primeira consiste em usar partículas eletricamente carregadas, como os elétrons, responsáveis por gerar a corrente elétrica através de um fio que dá origem a um campo, e esse campo pode ser usado para fabricar um eletroímã. A segunda forma é baseada na própria característica que muitas partículas elementares que constituem o material, como os elétrons, possuem de ter um campo magnético intrínseco, onde os campos magnéticos dos elétrons se articulam para produzir um campo magnético em torno do material; é através disso que os ímãs possuem um campo magnético permanente (HALLIDAY e RESNICK, 2016).

Além disso, os campos magnéticos também podem ser gerados através de dois mecanismos, relacionados aos momentos dipolares magnéticos dos elétrons: o momento angular de spin e o momento angular orbital, que são características intrínsecas de um elétron. Associado ao spin do elétron existe um momento dipolar magnético de spin e ao momento angular orbital existe um momento dipolar magnético orbital associado (HALLIDAY e RESNICK, 2016). Dessa forma, o momento magnético total do átomo é dado pela soma vetorial dos momentos orbital e de spin (BARBOSA, 2012).

Por outro lado, outra grandeza importante no estudo do magnetismo e relacionada com as propriedades magnéticas da matéria é a magnetização, representada por  $\vec{M}$ . Essa grandeza vetorial macroscópica (REITZ, 1982) é definida como a razão do momento magnético total  $\vec{m}_{total}$  por unidade de volume  $V$ , dada pela seguinte relação:

$$\vec{M} = \frac{\vec{m}_{total}}{V}$$

Dessa forma, um material é dito como magnetizado quando a soma dos momentos magnéticos é diferente de zero.

### **2.3 Características físicas de um ímã e materiais ferromagnéticos**

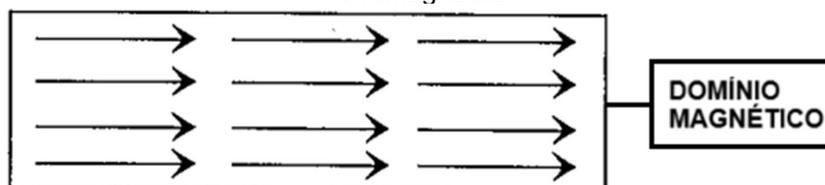
Os ímãs são objetos magnéticos capazes de produzir um campo magnético na região à sua volta. É através dessa característica que os ímãs são capazes de atrair alguns materiais. Esses magnetos sempre possuem dois polos magnéticos e, por isso, são chamados de dipolo magnético. Seus polos são chamados de polo Norte e polo Sul. Quando dois ímãs são colocados um na presença do outro, observa-se o fenômeno de interação magnética, dada pela força magnética. Entre polos iguais surge uma força magnética de repulsão e entre polos diferentes a força é de atração (MACHADO, 2002).

Outra característica importante atribuída a esses objetos, é a inseparabilidade dos polos de um ímã, visto que nunca foi comprovada a existência de monopolos magnéticos. Experimentalmente, é impossível separar os polos norte e sul de um ímã (NUSSENZVEIG, 1997). Portanto, quando um ímã é dividido ao meio, dois novos ímãs são obtidos, cada um com dois polos magnéticos: norte e sul. Em função disso um ímã pode ser dividido em várias partes de maneira que cada pedaço continuará sendo um dipolo magnético (BISCUOLA et al., 2012).

Os ímãs permanentes são feitos de materiais ferromagnéticos. O ferromagnetismo é um fenômeno observado no ferro, níquel, cobalto, gadolínio, disprósio e em ligas que contêm esses metais (TIPLER e MOSCA, 2006). Nesses materiais, os momentos dipolares magnéticos dos átomos vizinhos se alinham através do fenômeno chamado de acoplamento de câmbio (HALLIDAY e RESNICK, 2016). É através desse fenômeno que os spins dos elétrons de um átomo interagem com os spins dos elétrons do átomo vizinho, resultando no alinhamento dos momentos dipolares magnéticos dos átomos, dando origem ao magnetismo permanente dos materiais ferromagnéticos (HALLIDAY e RESNICK, 2016).

Nos materiais ferromagnéticos, o alinhamento entre os momentos dipolares magnéticos atômicos é dado por meio de interações ocorridas em regiões do espaço conhecidas como domínios magnéticos (TIPLER e MOSCA, 2006). A Figura 2 a seguir ilustra a orientação dos momentos magnéticos dentro de um domínio magnético.

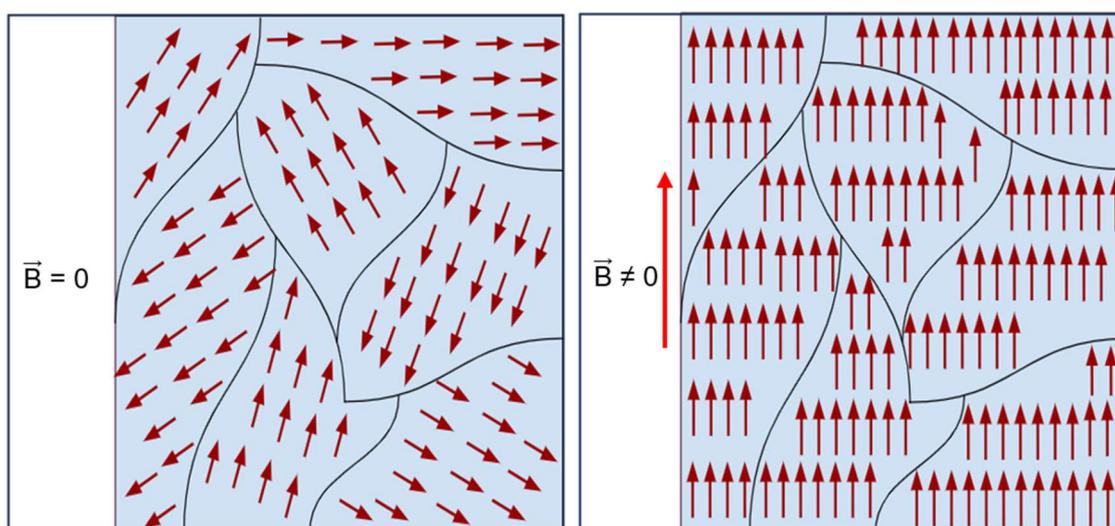
Figura 2: Orientação dos momentos magnéticos dentro do domínio magnético de um material ferromagnético.



Fonte: Adaptado de FURLANI, 2001.

Na ausência de um campo magnético externo aplicado, as magnetizações dos domínios são orientadas de forma aleatória; no entanto, na presença de um campo magnético externo, os domínios possuem tendência de manter a sua orientação paralela ao campo (YOUNG e FREEDMAN, 2009). Com isso, a orientação de magnetização dos domínios magnéticos é diretamente influenciada pela ação de um campo magnético externo, como é evidenciado na Figura 3.

Figura 3: Orientação de magnetização dos domínios magnéticos de um material ferromagnético: à esquerda orientação aleatória dos domínios. À direita orientação paralela dos domínios com o campo  $\vec{B}$  aplicado.



Fonte: Adaptado do Site Bóson Treinamentos<sup>1</sup>.

É através do campo magnético aplicado, que uma amostra ferromagnética adquire a magnetização, cuja intensidade do campo influencia diretamente no seu valor máximo, denominado de magnetização de saturação. Nesse estado os dipolos estão quase todos alinhados com o campo aplicado (MACHADO, 2002). Assim, um ímã permanente adquire as propriedades magnéticas por meio do processo de magnetização. É através desse processo que um ímã obtém a capacidade de produzir

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/conceitos-basicos-de-magnetismo/>. Acesso em: 24 out. 2024.

o seu próprio campo magnético.

## 2.4 Campo magnético de um ímã cilíndrico

De acordo com Furlani (2001), considerando um ímã cilíndrico magnetizado de raio  $R$  e comprimento  $L$ , a expressão para o campo magnético medido em um ponto ao seu redor, à uma distância  $r \gg L$ , é dada por meio da seguinte expressão abaixo:

$$\vec{B}_{(r)} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left( \frac{3(\vec{m} \cdot \vec{r})\vec{r}}{r^5} - \frac{\vec{m}}{r^3} \right) \quad (1)$$

Porém, o campo magnético também pode ser medido em um ponto "P" específico, como é mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Campo magnético medido no eixo axial de simetria da face cilíndrica de um ímã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste caso em particular, quando o campo magnético é medido no eixo axial de simetria da face cilíndrica do ímã, temos que a direção do momento de dipolo do ímã  $\vec{m}$  é paralela à direção  $\vec{r}$ , em módulo, ou seja, os dois termos entre parênteses da equação (1) se subtraem, resultando na seguinte expressão:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot m}{2\pi \cdot r^3} \quad (2)$$

Onde:  $B$  é o campo magnético,  $\mu_0$  é a permeabilidade do vácuo,  $m$  é o momento de dipolo do ímã e  $r$  é a distância do ímã até o ponto que o campo está sendo medido. Com isso, essa expressão permite, além de determinar o valor do campo magnético, estimar o momento de dipolo magnético de um ímã em função do estudo do comportamento das medidas de campo obtidas em diferentes pontos distante do magneto. Vale ressaltar que esse modelo, destacado pela equação (2), é uma aproximação e não se aplica ao estudo do campo magnético quando se trata de valores de distâncias "r" muito pequenas.

### 3 DETERMINAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DE UM ÍMÃ DE NEODÍMIO UTILIZANDO O SENSOR DO CIDEPE

A primeira atividade experimental consistiu em determinar a intensidade do campo magnético de um ímã de neodímio em diferentes distâncias “x”, entre o ímã e o sensor, para isso foi utilizado um sensor de campo magnético do Cidepe conectado à interface Lab200 juntamente ao programa CidepeLAB V6 no notebook.

#### 3.1 Método experimental

Para a realização dessa atividade foram utilizados os seguintes materiais:

- Bússola;
- Ímã de neodímio (5mm x 18mm);
- Papel milimetrado (280mm x 390mm);
- Notebook;
- Sensor de campo magnético
- Interface Lab200;
- Mesa de plástico;
- Régua;
- Fita adesiva;
- Fita crepe.

No primeiro momento, para a realização dessa atividade foi utilizada uma folha de papel milimetrado com dimensões (280mm x 390mm), com suas extremidades fixa com fita adesiva sobre uma mesa de plástico, onde fez necessário utilizar uma bússola e o sensor de campo para posicionar o papel milimetrado perpendicular a direção dos eixos dos polos geográficos da Terra, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Posicionamento do papel milimetrado na mesa de plástico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foi traçada uma linha reta no centro do papel milimetrado, perpendicular à direção dos polos geográficos da Terra, no sentido Leste-Oeste. Sobre essa linha foram marcados 16 pontos separados por 2 cm uns dos outros.

Após isso, foi usada uma régua fixa verticalmente ao tubo de fita crepe com a finalidade de montar uma base para fixar o ímã de neodímio, como mostrado na Figura 6.

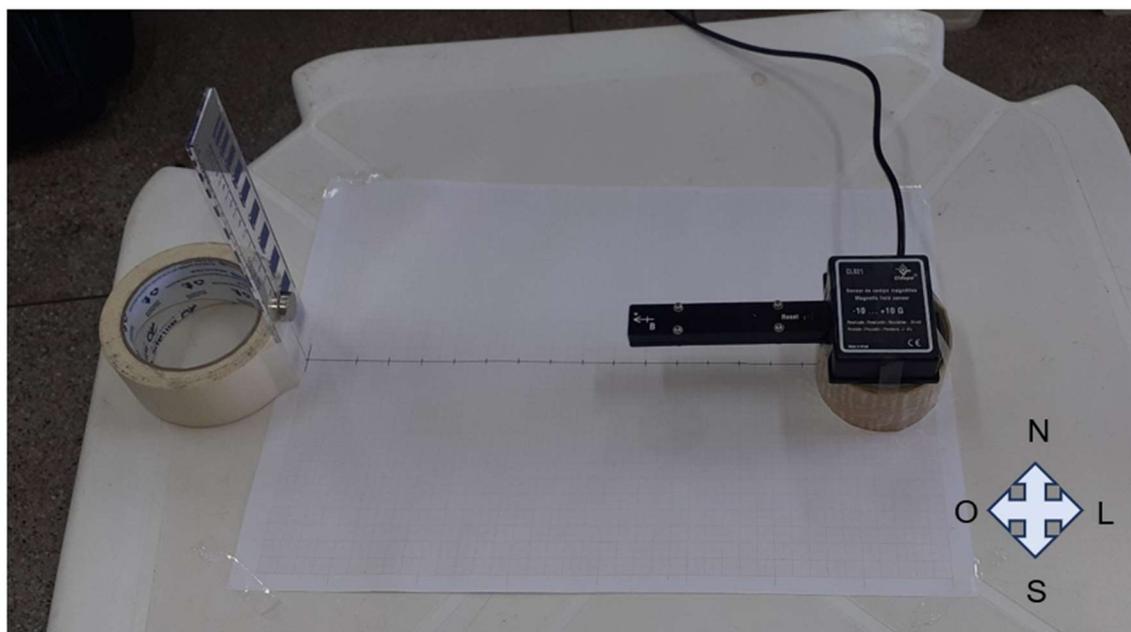
Figura 6 - Base de fixação do ímã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como o sensor de campo não possuía uma base que ficasse alinhada com a base do ímã, se fez necessário fixar o sensor sobre um tubo de fita adesiva transparente. Após isso, o ímã de neodímio foi fixado com fita adesiva na régua da Figura 6, na mesma altura que o sensor de campo, evidenciado pela Figura 7 a seguir.

Figura 7 - Posicionamento do sensor de campo magnético.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, como mostra a Figura 7, a base do ímã foi posicionada no início da linha, no sentido Oeste da folha, e o sensor no sentido Leste, a uma distância inicialmente de 37 cm um do outro. Logo após isso, o sensor de campo magnético foi conectado na interface Lab200 e este ao notebook. O programa CidepeLAB V6 do Cidepe foi responsável por obter os dados provenientes da interface e mostrar as medidas do campo magnético do ímã em cada ponto especificado. A Figura 8 mostra a obtenção das medidas do campo magnético.

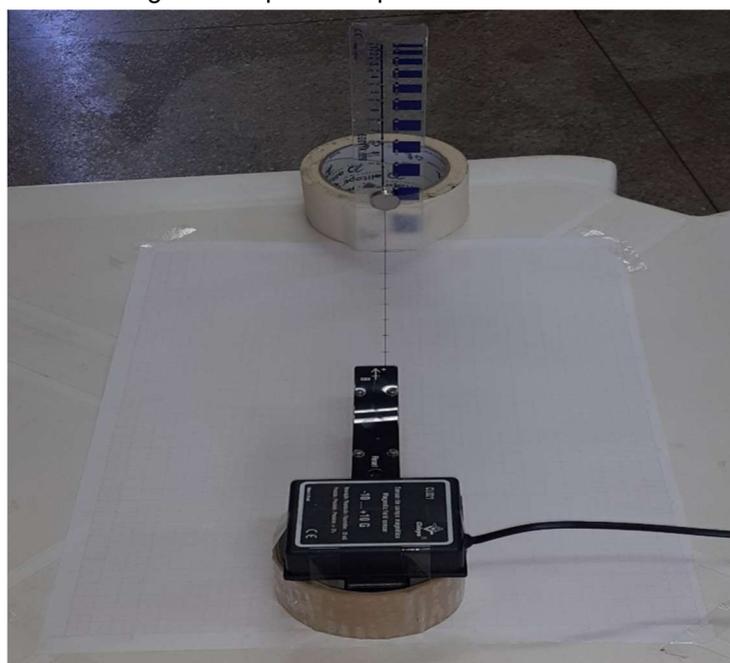
Figura 8 - Programa do Cidepe para obtenção dos dados experimentais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em virtude disso, com o aparato montado, se fez necessário utilizar uma régua no momento da coleta de dados, pois a mesma foi utilizada para posicionar o sensor de campo magnético alinhado com a linha central da folha. Vale evidenciar que o suporte do ímã, foi posicionado de tal forma a deixar o ímã alinhado com o sensor de campo magnético. Através disso, o sensor de campo magnético foi deslocado no sentido Leste-Oeste em direção ao ímã para a obtenção dos respectivos valores do módulo do campo magnético em função da aproximação do sensor com o ímã, como mostra a Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Aparato experimental montado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, para obter os dados, o sensor de campo magnético foi posicionado em cada ponto estabelecido, alinhado com o eixo de simetria do ímã, de maneira que, a

cada deslocamento do sensor em direção ao ímã, o valor do campo magnético era registrado no programa do Cidepe, na tela do notebook.

### 3.2 Resultados e discussão

Ao aproximar o sensor de campo magnético em direção ao ímã, percebe-se que os valores do campo aumentam, visto que a distância entre o sensor e o ímã diminui a cada deslocamento. Através disso, foram obtidas várias medidas para essas grandezas, sendo possível com isso fazer o estudo deste comportamento. A seguir, a Tabela 1 mostra os dados experimentais obtidos no decorrer da realização dessa atividade.

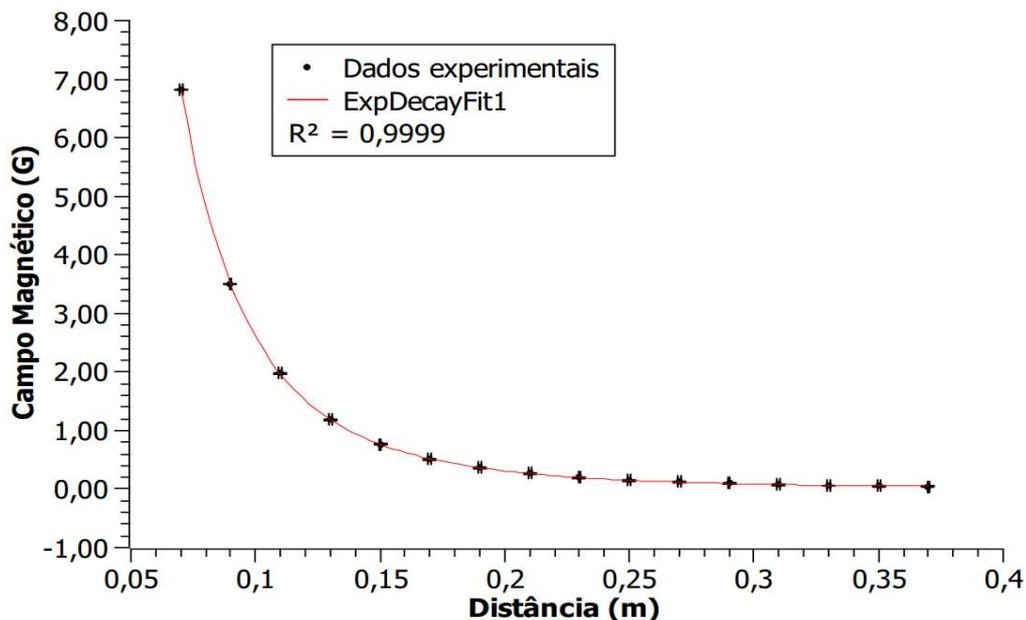
Tabela 1 - Dados experimentais. X: distância entre o sensor e o ímã;  $B_i$  : módulo do campo magnético obtido do ímã.

X (m) $\pm 5 \times 10^{-4}$ m	$B_i$ ( $10^{-4}$ T) $\pm 0,01 \times 10^{-4}$ T
0,37	0,04
0,35	0,05
0,33	0,06
0,31	0,08
0,29	0,10
0,27	0,12
0,25	0,15
0,23	0,20
0,21	0,27
0,19	0,36
0,17	0,51
0,15	0,76
0,13	1,18
0,11	1,98
0,09	3,50
0,07	6,82

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser visto na Figura 10, todos os dados obtidos no experimento foram plotados por meio do programa SciDAVis, e como mostrado, as informações evidenciam que há uma relação inversa, não linear, mantida entre a intensidade do campo magnético do ímã e a distância.

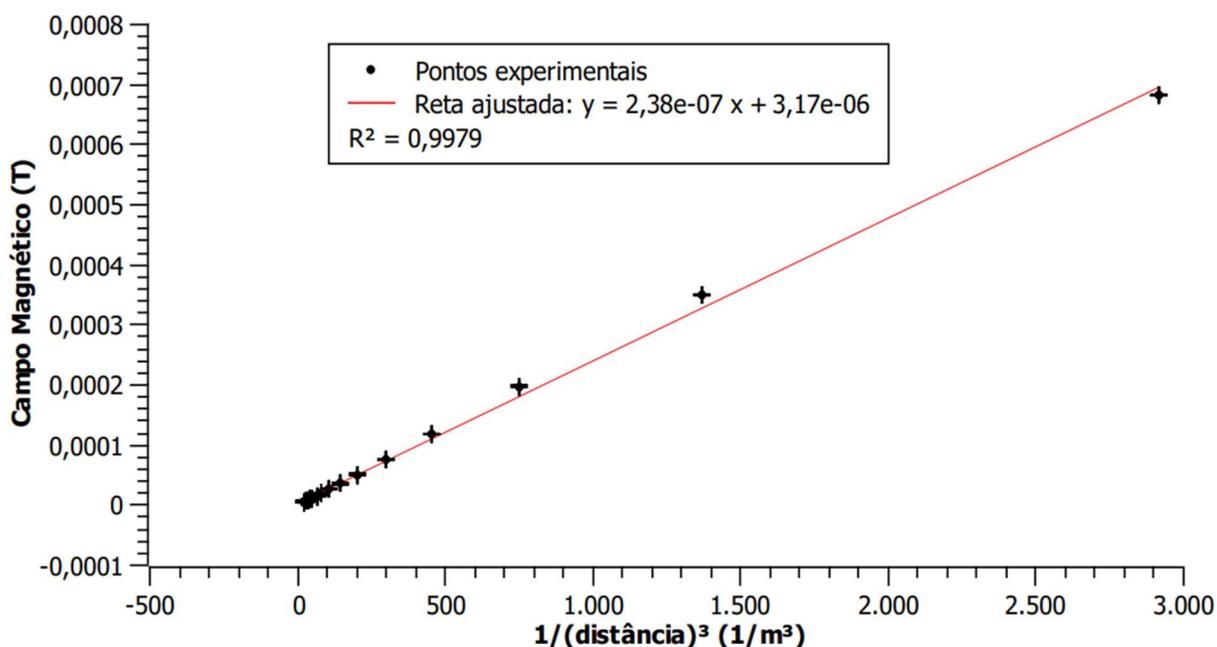
Figura 10 – Intensidade do campo magnético (em Gauss) em função da distância mantida entre o ímã e o sensor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, como previsto pela teoria dada pela lei de formação da equação (2), esse modelo não se aplica ao estudo do campo magnético quando se trata de pequenos valores de distância “r”, assim esse modelo é aplicado ao estudo do campo considerando uma distância mínima de 0,07 m. Através disso, para uma análise mais detalhada dos dados obtidos, utilizamos o programa SciDAVis para associar os dados do campo magnético em função dos valores das distâncias, visto que, experimentalmente o campo é proporcional à distância dada pela razão  $\frac{1}{x^3}$ . Por meio dessa aplicação, essas informações foram dispostas na Figura 11.

Figura 11 - Campo magnético em função da razão  $\frac{1}{x^3}$  para os valores de distância.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio da Figura 11, vemos que a regressão linear se ajusta bem aos dados obtidos, contribuindo para a obtenção de uma informação importante a respeito do campo magnético do ímã de neodímio, conhecida como momento de dipolo magnético “ $m$ ”. Para determinar essa grandeza, vale evidenciar que se fez necessário utilizar a configuração do programa para obter o valor do coeficiente angular “ $a$ ” da equação da reta, mostrado na Figura 11, cujo valor obtido foi de  $(2,38 \pm 0,003) \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}^3$ .

Como o campo magnético está relacionado com a distância por meio do termo  $\frac{1}{x^3}$ , podemos comparar a equação (2) do campo com a equação da reta, mostrado na Figura 11 e estabelecer a relação de igualdade entre os termos por meio da seguinte expressão:

$$\frac{\mu_0 \cdot m}{2\pi} = a \quad (3)$$

Isolando o momento de dipolo “ $m$ ” na equação (3), temos que:

$$m = \frac{2\pi \cdot a}{\mu_0} \quad (4)$$

Substituindo os valores das grandezas na equação (4), temos que o momento de dipolo “ $m$ ” do ímã encontrado a partir da regressão linear, corresponde ao valor de  $(1,19 \pm 0,002) \text{ A}\cdot\text{m}^2$ . Assim, através da análise feita como os dados obtidos para o campo magnético do ímã em função das distâncias, conseguimos estimar o valor do momento de dipolo magnético do ímã de neodímio utilizado na atividade experimental.

Diante da realização deste experimento, é válido destacar que existem limitações associadas à execução desta atividade, de início o próprio sensor de medição de campo magnético se limita na detecção de campo na faixa de  $-10\text{ G}$  a  $+10\text{ G}$ , limitando assim a quantidade de medidas a serem obtidas e, conseqüentemente, isso pode vir a interferir na precisão dos resultados finais da atividade. Ainda associado às incertezas experimentais, podemos destacar que o próprio sensor por não possuir um suporte móvel para deslocamento horizontal, com ajuste de altura, também pode de alguma forma interferir na obtenção dos dados experimentais, visto que seu posicionamento se deu sobre um tubo de fita adesiva e o alinhamento do próprio sensor com o ímã foi realizado com o auxílio de uma régua, para garantir um posicionamento mais preciso com a face do ímã. Apesar dessas limitações e com os resultados obtidos, foi constatado que o experimento obteve êxito no seu desenvolvimento, onde conseguimos obter valores para o campo magnético e com esses dados, foi possível obter de forma analítica o valor do momento de dipolo do ímã utilizado no experimento. Em virtude disso, podemos destacar que a atividade experimental desenvolvida nesta seção, possui uma proposta que se mostra interessante para ser aplicada no ensino de Física e ao mesmo tempo é adaptável ao laboratório didático.

#### **4 MEDIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DE UM ÍMÃ DE NEODÍMIO A PARTIR DO USO DE UMA BÚSSOLA NO INTERIOR DE UM SOLENOIDE PERCORRIDO POR CORRENTE ELÉTRICA**

Como nova forma de propor um método para a medição do campo magnético de um ímã de neodímio, a fim de compararmos os resultados ao método anterior, foi integrado a esse objetivo uma nova atividade experimental, agora com o uso de uma bússola no interior de um solenoide percorrido por corrente elétrica.

##### **4.1 Método experimental**

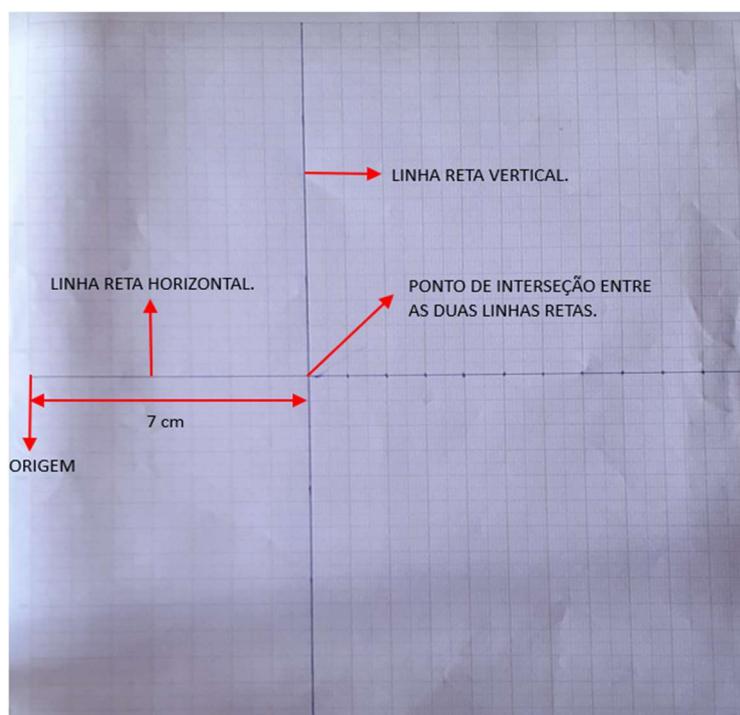
Materiais Utilizados:

- Bússola;
- Cabos conectores;
- Fonte de alimentação digital;

- Ímã de neodímio (5mm x 18mm);
- Lápis;
- Mesa de plástico;
- Papel milimetrado (280mm x 390mm);
- Fita adesiva;
- App “phyphox”;
- Smartphone;
- Solenoide projetável;
- Régua de 30 cm;

De início, foi utilizada uma folha de papel milimetrado (280mm x 390mm), com as extremidades fixas com fita adesiva sobre uma mesa de plástico, com o objetivo de facilitar o posicionamento do solenoide de maneira a deixar a bússola orientada o mais próximo possível da orientação dos polos geográficos Norte-Sul da Terra. Para isso, foi necessário delimitar duas linhas retas no papel milimetrado, a primeira linha foi feita horizontalmente, dividindo a largura da folha milimetrada ao meio, e a segunda linha foi feita verticalmente, perpendicular à primeira, há uma distância de 7 cm da origem da primeira linha, como pode ser visto por meio da Figura 12 a seguir.

Figura 12 – Linhas retas delimitadas no papel milimetrado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após isso, o solenoide projetável pelo Cidepe foi posicionado no papel milimetrado sobre o ponto de interseção entre as duas linhas retas feitas no papel, em seguida, uma bússola foi inserida no interior do solenoide, posicionada aproximadamente sobre o ponto de encontro entre as duas linhas, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Bússola posicionada no interior do solenoide.



Fonte: Elaborado pelo autor.

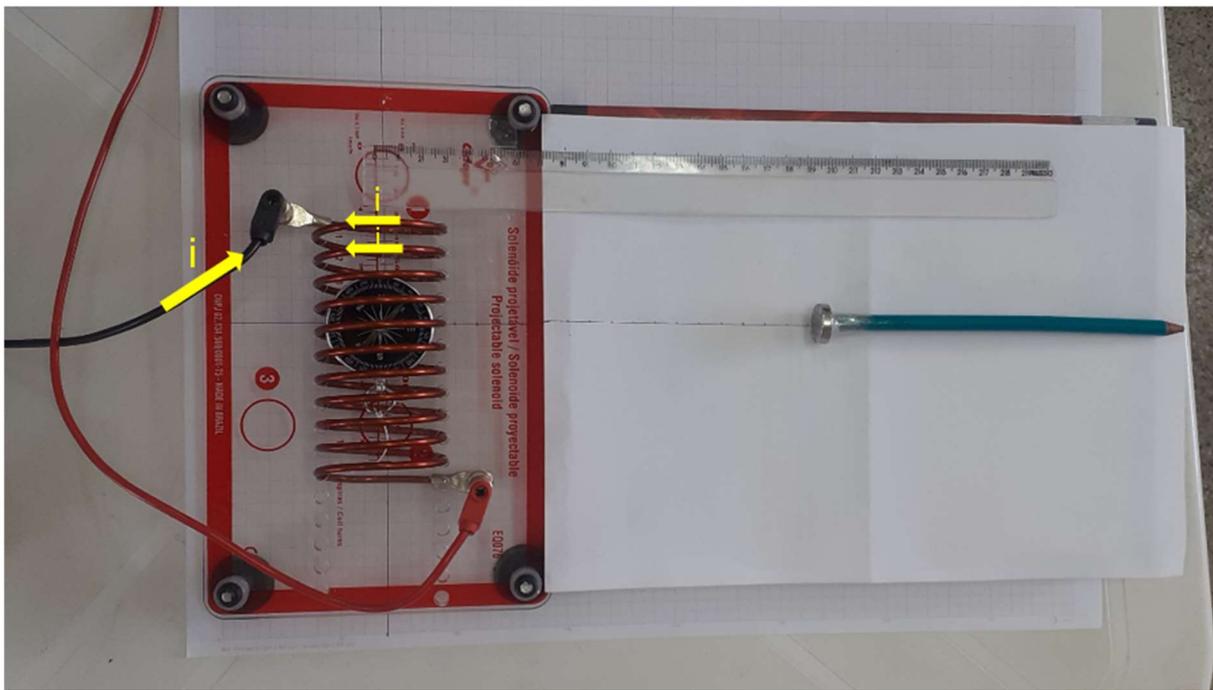
Como é perceptível na Figura 13, o solenoide envolveu a bússola através de cinco espiras, essas espiras serão percorridas por uma corrente elétrica e com isso será gerado um campo magnético no interior do solenoide.

Após isso, foi fixada com fita adesiva uma régua de 30 cm no suporte do solenoide, perpendicular ao marco correspondente ao centro do solenoide, marco esse obtido através da imagem de uma régua impressa no próprio suporte do solenoide, onde essa régua foi usada para facilitar a verificação da distância do ímã ao centro da bússola. Além disso foi utilizada uma folha A4 sem pauta, onde foi delimitada uma linha reta dividindo a largura da folha ao meio e sobre esta linha foram elencados 16 pontos equidistantes 1 cm uns dos outros.

Para o procedimento de coleta de dados, a folha A4 foi fixada na borda da base do solenoide com fita adesiva, sobre um livro, para ficar alinhada com a primeira linha do papel milimetrado, e também posicionada na mesma altura que o solenoide. Como

mostra na Figura 14, o ímã foi fixado ao lápis com fita para facilitar o seu deslocamento em direção a bússola e dessa maneira atrair a agulha da bússola.

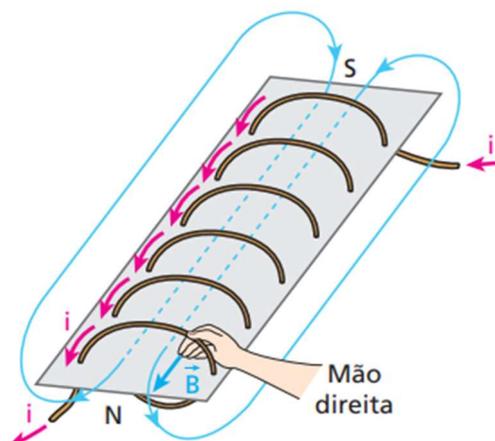
Figura 14 - Aparato experimental pronto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após isso, os cabos conectores ligados à fonte digital foram conectados ao solenoide de tal forma a proporcionar que a corrente elétrica que flui pelas espiras produza um campo magnético resultante na mesma direção e sentido do campo magnético da Terra, para assim a agulha da bússola não sofrer uma deflexão na sua posição já estabelecida anteriormente. Diante disso, se fez necessário analisar o sentido que a corrente elétrica deveria percorrer o solenoide, como é mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Regra da mão direita aplicada no solenoide.



Fonte: Biscuola et al., 2012.

Na Figura 15, a regra da mão direita é ilustrada em uma espira do solenoide, como perceptível o polegar da mão direita é posicionado no sentido que a corrente elétrica flui sobre a espira e os demais dedos indicam o sentido das linhas de indução gerado pelo campo magnético. Diante desse princípio, os cabos conectores da fonte digital foram ligados no solenoide como disposto na Figura 14. Assim, a corrente elétrica que flui pelas espiras, no seu sentido real, é dada do terminal negativo (cabo conector na cor preta) para o terminal positivo (cabo conector na cor vermelha), mostrado na Figura 14, e o campo magnético gerado no interior do solenoide foi obtido de maneira análoga ao da Figura 15, cuja a direção e o sentido adquirida foi a mesma do campo magnético terrestre.

Com o aparato experimental montado, a corrente elétrica utilizada no procedimento de coleta de dados foi de 4 ampères com uma tensão de 0,4 volts.

Figura 16 - Fonte de alimentação digital utilizada na atividade experimental.



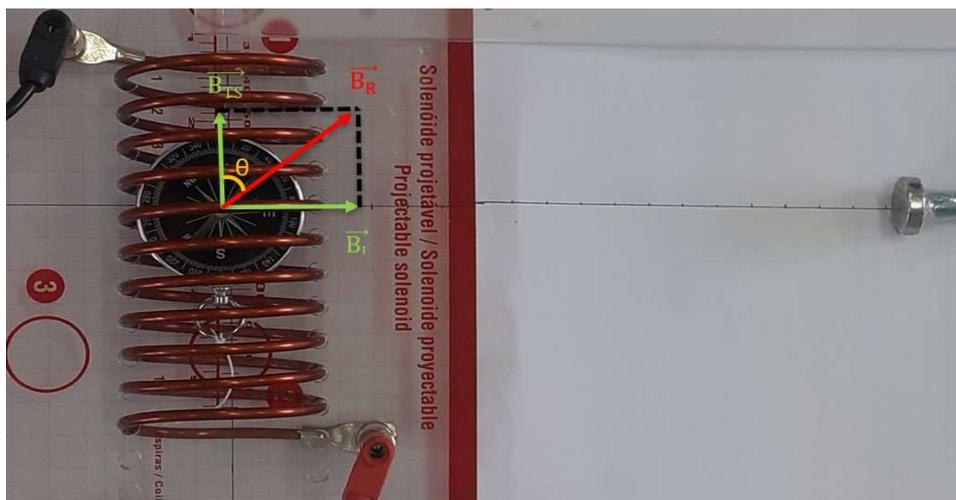
Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, o procedimento de coleta de dados consistiu em aproximar o ímã de neodímio no sentido da bússola e, com isso, verificar os valores dos ângulos horizontais formados pelo movimento da agulha da bússola, para que fosse obtido o valor do campo magnético do ímã em cada ponto estabelecido. Por questões de segurança, a cada medida feita a fonte era desligada para evitar um possível aquecimento no solenoide.

#### 4.2 Resultados e discussão

Através da aproximação do ímã em sentido à bússola, foram obtidas várias medidas do ângulo " $\theta$ " determinado através do movimento da agulha da bússola, em função do posicionamento do ímã nos pontos estabelecidos. Como descrito, sabe-se que a bússola foi um importante instrumento para a obtenção de dados que proporcionou obter as medidas do campo magnético do ímã " $B_i$ ". Para obter esses dados foi necessário analisar o diagrama de forças que atua sobre o sistema no momento da realização dessa atividade experimental; visto que a bússola está sobre influência do campo magnético da Terra, do campo magnético do solenoide, campo esse gerado através da passagem de corrente elétrica pelas espiras que envolveram a bússola; e do campo do ímã de neodímio. A Figura 17 mostra os campos atuantes na bússola no momento da atividade experimental.

Figura 17 – Diagrama de forças:  $\vec{B}_i$  campo magnético do ímã,  $\vec{B}_{TS}$  soma do campo magnético da Terra com o campo magnético do solenoide e  $\vec{B}_R$  campo magnético resultante sobre a agulha da bússola.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 17 mostra o diagrama de forças com os campos atuantes sobre o sistema estudado, como o campo da Terra e o campo do solenoide são paralelos e orientados na mesma direção e sentido, podemos somar vetorialmente esses campos e representa-los por um único vetor chamado de  $B_{TS}$ . Assim, foi através das relações trigonométricas no triângulo retângulo e da decomposição vetorial que chegamos à equação (5), expressão essa que determina o campo magnético do dipolo " $B_i$ " em cada ponto, dado por:

$$B_i = \tan(\theta) \cdot B_{TS} \quad (5)$$

Onde:  $\theta$  é o ângulo obtido pelo movimento horizontal da agulha da bússola em função do posicionamento do ímã em cada ponto estabelecido, e  $B_{TS}$  é a soma do campo magnético da Terra com o campo do solenoide. O campo da Terra foi obtido no local da realização dos experimentos, que ocorreu no laboratório de Física do IFSertãoPE campus Salgueiro, através do App "phyphox" instalado no smartphone. O campo terrestre local obtido pelo App foi de 0,5 G em média, e o campo magnético do solenoide foi calculado pela expressão do campo de um solenoide, que pode ser demonstrada através da lei de Ampère mostrada a seguir:

$$B_S = \mu_0 \cdot n \cdot i \quad (6)$$

Onde:  $B_S$  é o campo magnético do solenoide,  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética do vácuo  $4\pi \times 10^{-7} N \cdot A^{-2}$ ,  $n$  é a densidade de espiras do solenoide, que foi estimada como sendo de  $10^2 m^{-1}$ , obtida pela razão entre o número de espiras sobrepostas a bússola, cuja quantidade foi de 5 espiras, e o comprimento do solenoide foi de 0,05 m, e  $i$  a corrente elétrica. Através das características desse arranjo e desprezando o efeito do campo nas bordas do solenoide, o campo magnético do solenoide teve como resultado 5,026 G. Portanto, o valor de  $B_{TS}$  foi estimado como sendo 5,526 G. Aplicando esses dados na equação (5), podemos obter resultados para as intensidades do campo magnético do ímã em função da distância até a bússola, como mostra a Tabela 2. A Tabela 2 mostra os dados coletados no decorrer da atividade experimental.

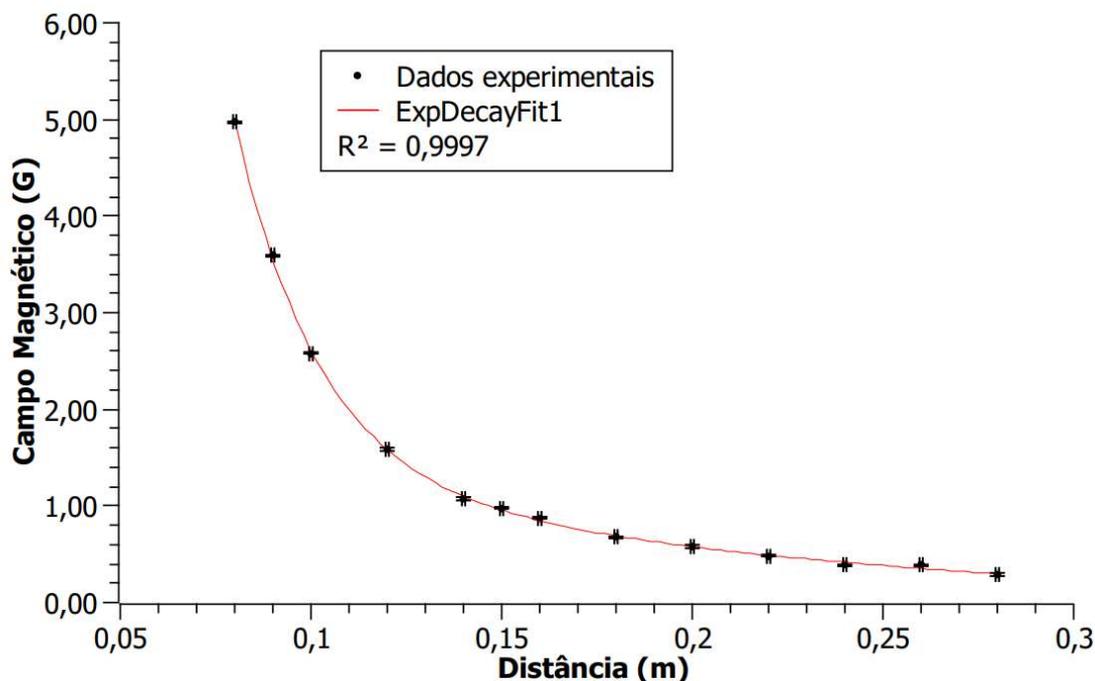
Tabela 2 - Dados obtidos no experimento. X: distância do ímã ao centro da bússola;  $\theta$ : ângulo formado pelo movimento da agulha da bússola;  $B_i$ : campo magnético obtido do ímã.

X (m) $\pm 0,0005$ m	Ângulo ( $\theta$ ) $\pm 1^\circ$	$B_i$ ( $10^{-4}$ T) $\pm 0,10 \times 10^{-4}$ T
0,28	$\theta = 3^\circ$	0,290
0,26	$\theta = 4^\circ$	0,386
0,24	$\theta = 4^\circ$	0,386
0,22	$\theta = 5^\circ$	0,483
0,20	$\theta = 6^\circ$	0,581
0,18	$\theta = 7^\circ$	0,679
0,16	$\theta = 9^\circ$	0,875
0,15	$\theta = 10^\circ$	0,974
0,14	$\theta = 11^\circ$	1,07
0,12	$\theta = 16^\circ$	1,58
0,10	$\theta = 25^\circ$	2,58
0,09	$\theta = 33^\circ$	3,59
0,08	$\theta = 42^\circ$	4,98

Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, a Figura 18 mostra os dados plotados dos módulos do campo magnético em função da distância do ímã à bússola, no programa SciDAVis.

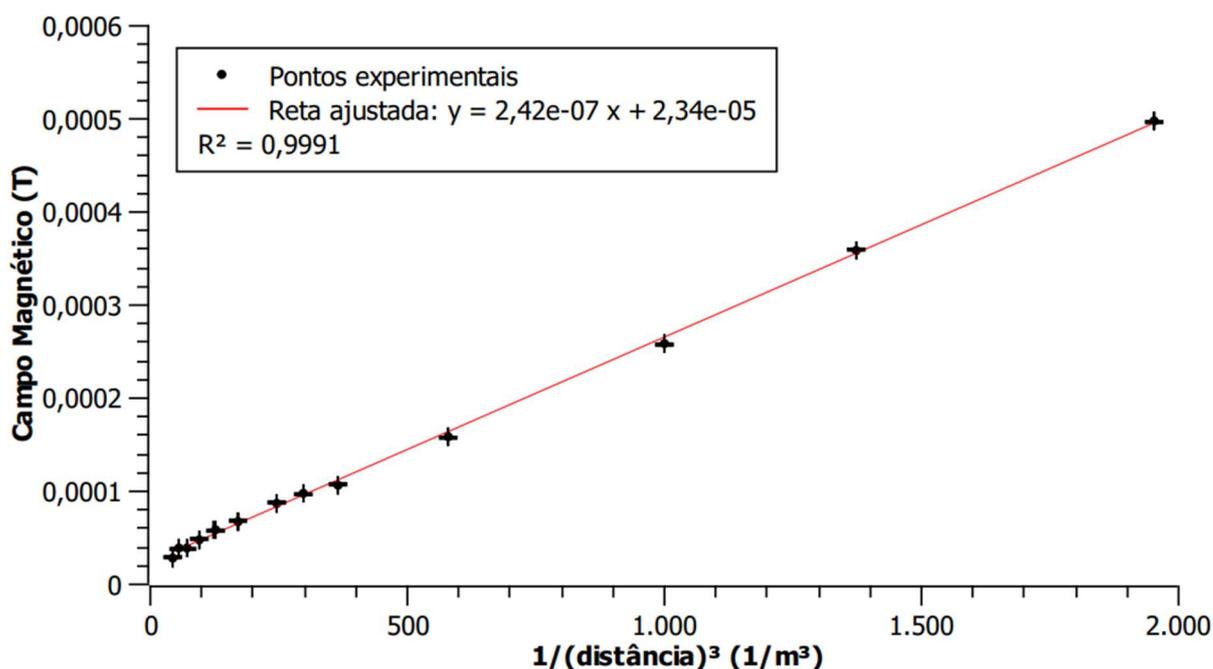
Figura 18 – Módulo do campo magnético em função da distância mantida entre o ímã e o centro da bússola.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 18 mostra que há uma relação inversa, não linear, entre a magnitude do campo magnético e a distância; porém, para uma análise mais detalhada, esses dados foram plotados em uma nova planilha, agora com os valores de campo em função da relação  $\frac{1}{x^3}$  dos valores para as distâncias, a Figura 19 mostra essa relação entre as grandezas envolvidas.

Figura 19 - Campo magnético em função da relação  $\frac{1}{x^3}$  para os valores de distância.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da configuração do programa utilizado, foi possível obter a medida do coeficiente angular “a” da equação da reta, cujo valor foi de  $(2,42 \pm 0,005) \times 10^{-7} \text{ T.m}^3$ . Com isso, foi possível relacionar a equação da reta do gráfico com a equação (2) do campo de um dipolo, obtendo a expressão do momento de dipolo magnético, como mostra a expressão a seguir.

$$m = \frac{2\pi \cdot 2,42 \times 10^{-7}}{\mu_0} \quad (4)$$

A partir dessa expressão, o momento de dipolo “m” obtido foi correspondente ao valor de  $(1,21 \pm 0,002) \text{ A.m}^2$ . Assim, através dos dados obtidos, podemos ver que a partir do estudo do campo magnético de um ímã, é possível estimar o valor de seu momento de dipolo, característica importante para o ímã. Além disso, com os dados experimentais apresentados nos capítulos 3.0 e 4.0 obtivemos resultados com valores muito próximos para o momento de dipolo magnético do ímã utilizado, ou seja, os resultados obtidos concordam-se entre si e foram confirmados através da utilização de dois métodos experimentais diferentes.

Através da realização desse experimento, podemos constatar que existem limitações no decorrer do seu desenvolvimento, de início, os cabos conectores da fonte de alimentação devem ser conectados ao solenoide a fim de garantir que o campo produzido pelo solenoide, possua a mesma direção e sentido que o campo da Terra, para que a agulha da bússola permaneça em equilíbrio com o campo local; associado ao solenoide podemos evidenciar que se deve tomar cuidado com o tempo de funcionamento da fonte de tensão após ser ligada, pois, no momento da coleta de dados, essa fonte precisa ser ligada e desligada rapidamente para obter cada medida, com o intuito de evitar um possível aquecimento no solenoide. Também é válido destacar que o ímã deve ser posicionado em cada ponto de forma que fique imóvel e ao mesmo tempo, o mais alinhado possível com a bússola, para que não ocorram movimentos desnecessários na agulha da bússola e assim não sejam aferidas de maneira errônea possíveis medidas para os ângulos; na própria bússola também eventualmente pode ocorrer a interferência da força de atrito e assim atuar como possíveis fontes de erros. Apesar dessas limitações, podemos afirmar que o experimento elaborado evidencia que é possível elaborar um aparato experimental com matérias que são acessíveis em laboratórios didáticos, contribuindo como uma importante ferramenta para o ensino de Física.

## 5 FORÇA MAGNÉTICA ENTRE DOIS ÍMÃS CILÍNDRICOS

A força magnética é um tipo de força que atua à distância, sem necessidade de um meio de contato para manter a interação, assim como a força gravitacional e a força elétrica (SILVA, 2019). Quando dois ímãs são colocados um próximo do outro, observa-se que existe uma interação entre os dipolos, seja de atração ou repulsão. Esse fenômeno é proveniente da ação exercida por meio da força de interação magnética, que ocorre independentemente de haver contato entre os ímãs (MELLO, 2011). Diante disso, é importância destacar que a força magnética e a força elétrica possuem a mesma natureza, ou seja, ambas podem ser chamadas de força eletromagnética.

Assim, as forças magnéticas de atração e repulsão surgem em virtude das interações magnéticas provenientes dos campos magnéticos produzidos pelos magnetos. Dessa forma, o que justifica as propriedades magnéticas obtidas em certos materiais está inteiramente relacionado do ponto de vista microscópico, à existência de movimentos provenientes de partículas (elétrons) que se deslocam em torno dos núcleos dos átomos que constituem o material (MACHADO, 2002). Diante disso, é através dessas relações microscópicas que certos materiais magnéticos, estando estes na presença de um campo magnético externo, se tornam magnetizados, possuindo a capacidade de interagir com outros meios através das suas propriedades magnéticas.

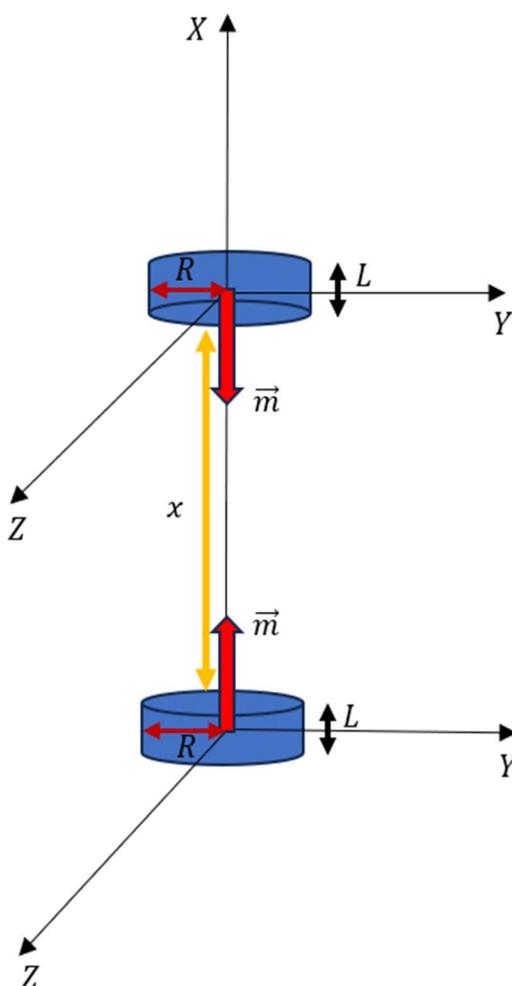
Em virtude disso, é válido destacar que na literatura existem várias equações analíticas utilizadas para determinar a força de interação magnética entre ímãs cilíndricos, porém, existem limitações relacionadas à sua aplicabilidade. Pois, diante desse estudo, para determinar a força magnética entre ímãs, é necessário levar em consideração alguns fatores como: a magnetização do ímã, o formato geométrico, a orientação e a distância entre os magnetos. Devido a esses fatores, cada caso deve ser estudado levando em consideração essas características associadas ao evento em questão.

Segundo Furlani (2001), a força magnética que atua entre dois ímãs cilíndricos, orientados no mesmo eixo, é dada pela seguinte equação:

$$F(x) \simeq \frac{\pi\mu_0}{4} M^2 R^4 \left[ \frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x+2L)^2} - \frac{2}{(x+L)^2} \right] \quad (7)$$

Onde:  $\mu_0$  é a permeabilidade do vácuo,  $M$  é a magnetização dos ímãs,  $R$  é o raio do ímã,  $x$  é a distância de separação entre as faces dos ímãs e  $L$  é o comprimento do ímã. A Figura 20 ilustra a atuação dessas grandezas entre os magnetos.

Figura 20 – Dois ímãs cilíndricos iguais de comprimento  $L$ , raio  $R$  e separados por uma distância  $x$ .



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, como afirma Vokoun et al. (2009), essa equação fornece a força magnética aproximada, levando em consideração dois ímãs cilíndricos iguais e separados por uma distância  $x$ , cuja os vetores de magnetização devem estar situados

ambos no mesmo eixo. Sabendo disso, a equação (7) possibilita estudar o comportamento da força magnética mantida através da interação entre dois ímãs idênticos e magnetizados. Na seção seguinte, destacamos uma proposta experimental sobre a força magnética entre ímãs cilíndricos, com o objetivo de testar o modelo proposto pela equação (7).

### **5.1 Verificação da força magnética entre dois ímãs cilíndricos**

A fim de visualizar o fenômeno de interação magnética entre dois dipolos magnéticos, foi montado um aparato experimental de baixo custo e fácil aquisição, com materiais que podem ser encontrados de maneira fácil em um laboratório didático. Assim, para a realização desse experimento, se fez necessário produzir um suporte vertical de madeira e fixar sobre este um tubo de acrílico, com diâmetro similar ao diâmetro do ímã de neodímio utilizado nos dois experimentos anteriores.

### **5.2 Método experimental**

Os materiais utilizados foram:

- Máquina de Atwood;
- Fio de nylon;
- Discos de latão;
- Haste metálica;
- Copo transparente;
- Béquer;
- Balança de precisão;
- Fita adesiva;
- Tesoura;
- Lápis;
- 2 ímãs de neodímio (5 mm x 18 mm);
- Êmbolo de uma seringa;
- Cano PVC de 25 mm;
- Cano PVC de 20 mm;
- Régua;
- Roldana;
- Suporte vertical de madeira com tubo de acrílico.

Para a realização dessa atividade experimental, foi utilizado um suporte vertical de madeira, que foi confeccionado com duas tábuas e uma pequena dobradiça, de maneira que, na tábua móvel do suporte foi necessário fixar dois pedaços de cano

PVC com diâmetro externo de 25 mm, estes cortados em uma pequena parte a fim de fazer um suporte para fixar o tubo de acrílico. Com isso, o tubo de acrílico utilizado possuía diâmetro interno de 21 mm, diâmetro externo de 25 mm e comprimento de 49,7 cm.

Após fixar o tubo ao suporte vertical, foi utilizado um ímã de neodímio fixo com fita em um pequeno pedaço de cano PVC de 20 mm, e esse conjunto foi inserido na parte inferior do tubo de acrílico e fixado com fita adesiva. Em seguida, a proposta experimental consistiu em dois métodos, ambos utilizando o suporte vertical e a máquina de Atwood, que foi acoplar ao sistema um copo transparente através de um fio de nylon, movido pela roldana da máquina de Atwood. No primeiro método, o suporte vertical com o tubo foi colocado ao lado da máquina de Atwood, onde um ímã de neodímio foi fixo na extremidade de um lápis e este acoplado ao copo transparente por meio de um fio de nylon, em seguida esse lápis foi inserido no interior do tubo com a face do ímã voltada para o outro ímã, posicionado na parte inferior do tubo, ambos com polos iguais, mantendo a interação magnética por meio da força magnética de repulsão entre os dipolos, como é mostrado na Figura 21 a seguir.

Figura 21 – Primeiro aparato experimental montado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, o procedimento experimental consistiu inicialmente em pesar o ímã fixo ao lápis e pesar o copo, cuja coleta de dados se concentrou em determinar as distâncias entre as faces dos ímãs em função do acréscimo de água ao copo. Vale evidenciar que o acréscimo de água no copo foi realizado com o béquer e a cada acréscimo de volume de água a massa do copo era aferida com a balança de precisão.

Nesse procedimento, foram obtidas doze medidas de distâncias, variando de 0,041 m até 0,088 m.

O segundo método foi elaborado com intuito de verificar distâncias inferiores às distâncias obtidas no primeiro método, para isso, fez-se necessário utilizar uma haste metálica acoplada a um ímã e esse ímã fixo em um êmbolo de seringa, de modo a aumentar o peso do sistema. Visto, pela Figura 22, o êmbolo de seringa foi utilizado porque o ímã não poderia estar diretamente em contato com a haste metálica para não interferir no campo magnético.

Figura 22 - Ímã de neodímio fixo ao êmbolo de uma seringa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após isso, a outra extremidade do êmbolo foi fixada na haste metálica com um fio de nylon e fita adesiva. A seguir a Figura 23 mostra esse sistema pronto.

Figura 23 - Haste metálica fixa no êmbolo com o ímã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foi fixado um pedaço de fio de nylon na parte superior da haste metálica e acoplado ao copo transparente. Esse copo fez a função de receber os discos de latão a fim de manter o equilíbrio do sistema, como mostra a Figura 24.

Figura 24 - Haste metálica fixa ao copo transparente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir disso, foi necessário utilizar uma régua fixa na parte frontal do tubo, tomando como referência a face do ímã que foi acoplado na parte inferior do tubo,

para assim ser observado o valor das distâncias entre as faces dos ímãs. Vale ressaltar que a haste metálica acoplada ao ímã, foi introduzida ao tubo de acrílico, cujo fio que uniu o sistema passou por dentro da roldana na máquina de Atwood e as faces dos ímãs foram colocadas uma sobreposta à outra com polos iguais, a fim de verificar as forças magnéticas entre os dipolos, como pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Segundo aparato experimental montado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

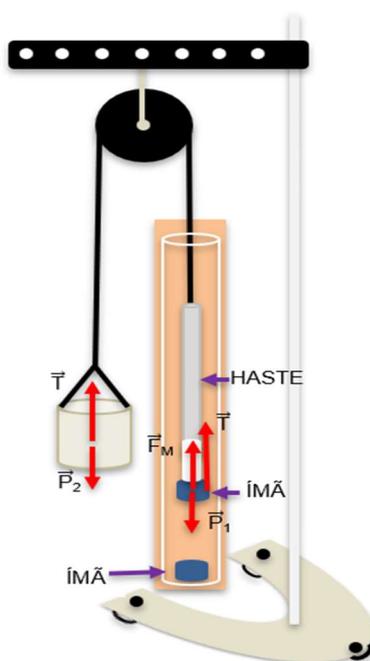
A Figura 25 mostra o aparato experimental pronto, de modo que o experimento consistiu em adicionar os discos de latão ao copo e verificar a distância entre as faces dos ímãs, sendo visualizada através da régua. Vale evidenciar que se fez necessário pesar a haste completa com o ímã, e o copo foi pesado à medida que eram acrescentadas as respectivas massas dos discos. Os dados das massas foram importantes para a obtenção das forças magnéticas em cada etapa do experimento. Nesse procedimento, foram obtidas onze medidas de distâncias entre as faces dos ímãs, medidas dadas de 0,015 m até 0,038 m.

### 5.3 Resultados e discussão

Por meio da metodologia descrita na seção 5.2, os ímãs foram inseridos no tubo de acrílico com as polaridades iguais, cuja interação mantida foi por meio da força magnética de repulsão entre os ímãs. Diante disso, à medida que as massas de latão eram acrescentadas no copo, visível na Figura 24, a distância entre os dipolos aumentava gradativamente, fornecendo dados para a determinação da força de interação magnética.

Para determinar a força magnética entre os dipolos, foi necessário analisar as forças atuantes sobre o sistema. Em função disso, a Figura 26 foi elaborada com o intuito de fornecer o diagrama das forças atuantes no momento da atividade experimental.

Figura 26 – Diagrama de forças atuantes sobre o sistema experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para essa análise, vale evidenciar que desprezamos as forças de atrito atuantes no sistema e a massa da roldana da máquina de Atwood. A partir da análise das forças, podemos aplicar a segunda lei de Newton para obter a expressão da força magnética atuante entre os ímãs.

$$\begin{aligned}\vec{F}_M + \vec{T} - \vec{P}_1 &= 0 \\ \vec{F}_M &= \vec{P}_1 - \vec{T} \\ \vec{F}_M &= \vec{P}_1 - \vec{P}_2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\vec{F}_M &= m_1 \cdot \vec{g} - \vec{m}_2 \cdot \vec{g} \\ \vec{F}_M &= (m_1 - m_2) \cdot \vec{g}\end{aligned}\quad (8)$$

Onde:  $\vec{F}_M$  é a força magnética, onde no primeiro método deste experimento  $m_1$  é a massa do conjunto (ímã + lápis) e  $m_2$  é a massa do conjunto (copo + volumes de água). Já no segundo método deste experimento  $m_1$  é a massa do conjunto (ímã + êmbolo + haste metálica),  $m_2$  é a massa do conjunto (copo + discos) e a grandeza  $\vec{g}$  é a aceleração da gravidade. A Tabela 3 mostra os valores da força magnética, obtidos nos dois métodos pela equação (8), em função de cada distância entre as faces dos ímãs.

Tabela 3 - Dados obtidos experimentalmente.

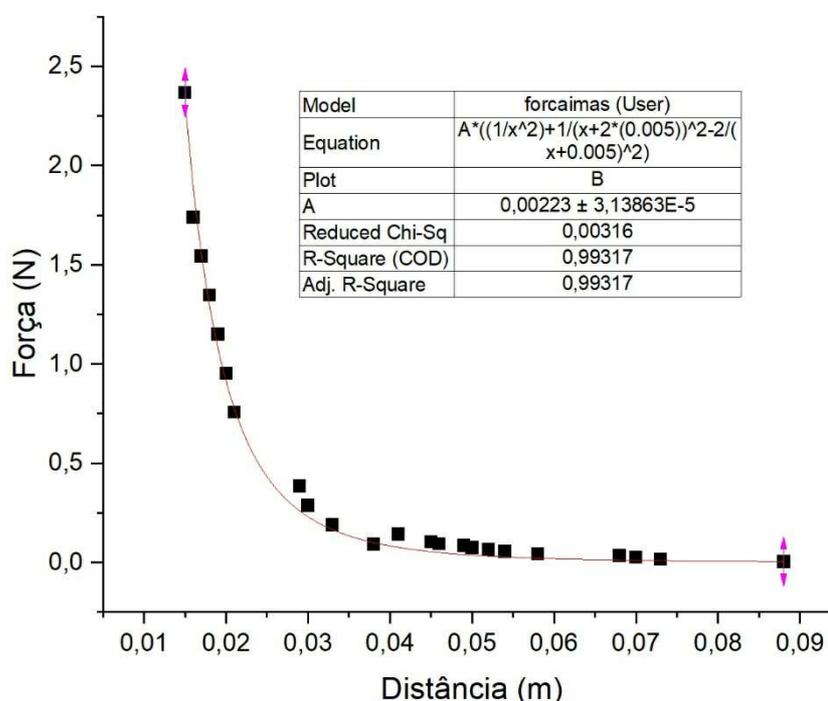
X (m) $\pm 0,0005$ m	$F_M$ (N) $\pm 0,001$ N
0,015	2,36670
0,016	1,73950
0,017	1,54350
0,018	1,34652
0,019	1,14954
0,020	0,95354
0,021	0,75754
0,029	0,38514
0,030	0,28714
0,033	0,18914
0,038	0,09114
0,041	0,14210
0,045	0,10388
0,046	0,09408
0,049	0,08428
0,050	0,07448
0,052	0,06468
0,054	0,05488
0,058	0,04410
0,068	0,03430
0,070	0,02548
0,073	0,01568
0,088	0,00490

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 3, os dados da força magnética obtidos a partir da distância 0,015 m até 0,038 m corresponde ao segundo método utilizado no experimento, já os dados da força magnética obtidos no intervalo de distância de 0,041 m até 0,088 m correspondem ao primeiro método da atividade. Para uma análise mais detalhada do

comportamento da força magnética entre os ímãs, os dados mostrados na Tabela 3 foram inseridos no programa Origin. Além disso, nessa mesma plataforma foi inserida a equação (7) em conjunto com os dados obtidos, para uma verificação do comportamento desses dados em concordância com a equação (7), como é mostrado na Figura 27 a seguir.

Figura 27 - Força magnética em função da distância entre os ímãs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 27, vemos que os dados experimentais obtidos nessa proposta experimental estão em concordância com a teoria, dada pela equação (7). Essa conformidade é destacada pelo coeficiente de determinação, como visto  $R^2 = 0,99$ ; isso justifica que diante dessa atividade prática experimental, elaborada com materiais de baixo custo, podemos verificar o comportamento da força magnética que atua entre dois ímãs de neodímio, dada pela interação magnética entre os magnetos.

Dessa forma, com o desenvolvimento deste experimento, podemos constatar que existem algumas limitações, dentre elas, podemos destacar que o suporte vertical deve ser bem posicionado verticalmente para garantir que o ímã móvel se desloque no interior do tubo de acrílico sem haver contatos com o tubo, de modo a garantir que não haja atrito durante o movimento do ímã. Também é válido destacar, que diante

das possíveis fontes de erro, temos a questão da coleta das distâncias entre as faces dos ímãs, visto que para isso foi utilizada uma régua e mesmo sendo bem posicionada na face frontal do tubo ainda existe uma margem de erro associada à visão, pois na coleta desses dados o observador tem que posicionar sua visão alinhada com a altura do ímã móvel, para assim diminuir esses possíveis erros; também destacamos que a massa da roldana da máquina de Atwood e as possíveis forças de atrito atuantes no sistema, foram desprezadas durante a análise das grandezas atuantes sobre o sistema experimental. Entretanto, mesmo com essas limitações e as possíveis fontes de erros encontradas no decorrer desse experimento, podemos evidenciar sua importância para o ensino de Física, visto que o experimento sobre força magnética é uma atividade muito pouco tentada, por ser um experimento complexo de ser realizado, mas diante dessa proposta e com o auxílio da máquina de Atwood, conseguimos realizar essa atividade e, com os dados obtidos, constatamos que o experimento da força magnética se enquadra dentro do modelo proposto pela equação (7). Assim, destacamos que esse experimento é uma atividade facilmente adaptável ao laboratório didático e ao mesmo tempo, sua aplicabilidade contribui como uma importante ferramenta para o ensino de Física.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A experimentação nas aulas de Física tem sido um mecanismo utilizado como forma de despertar o interesse e a curiosidade dos estudantes, ao mesmo tempo, essas atividades práticas proporcionam aos alunos o contato direto com os fenômenos físicos estudados em sala de aula. Assim, são através dos experimentos que os indivíduos relacionam de forma direta os conceitos vistos na teoria com as aplicações práticas do seu cotidiano, tornando o estudo mais atraente e ao mesmo tempo contribuindo para a melhoria do ensino-aprendizado.

Tendo em vista essa importância, esse trabalho destacou um estudo com propostas de métodos voltados para a medição do campo magnético de um ímã de neodímio, com materiais alternativos no contexto de um laboratório didático. Diante desse estudo, conseguimos estabelecer a ligação entre duas propostas experimentais para o estudo do campo magnético de um mesmo ímã, cuja concordância entre os resultados obtidos foram satisfatórios e condizentes com a teoria. Além disso, para o

fechamento desta pesquisa, destacamos o estudo a respeito da força magnética, mantida pela interação entre dois ímãs idênticos de neodímio, utilizando novamente materiais de baixo custo.

Em virtude disso, com os resultados obtidos conseguimos estabelecer a relação prevista pela teoria, evidenciando mais uma vez uma nova ferramenta para esse estudo e que pode ser utilizada dentro do contexto de um laboratório didático. Assim, as propostas de atividades experimentais destacadas neste trabalho, mostram que, através de materiais alternativos é possível desenvolver experimentos para o estudo a respeito de conteúdos de Física, sem necessariamente usar equipamentos caros. Dessa forma, destacamos que as atividades experimentais são essenciais para o ensino de Física, onde esperamos que as propostas destacadas neste trabalho sejam promissoras para a construção do conhecimento e aprendizagem, tanto de estudantes como de todo o público interessado nesse campo de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Esdras Garcia; DE MORAES, Rejane Bueno; SANTOS, Laís Kelly Marques. **Desenvolvimento de um experimento de custo reduzido para investigar aspectos da força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica.** A Física na Escola, [s. l.], v.21, n. 1, p. 230021-1, 2023. DOI: 10.59727/fne.v21i1.21. Disponível em: <<https://fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/21>>. Acesso em: 27 abr. 2024.

DE ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. **Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, p. 176-194, junho 2003.

BARBOSA, Mateus Bruno. **Superparamagnetismo em Jacobsitas sintéticas.** 2012. 70 p. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

BISCUOLA, Gualter José; DOCA, Ricardo Helou; BÔAS, Newton Villas. **Tópicos de Física 3: Eletricidade, Física Moderna e Análise Dimensional.** 18. Ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

**CidepeLAB200.** Cidepe. Disponível em: <<https://cidepe.com.br/index.php/br/download-de-software>>. Acesso em: 15 out. 2023.

CHAIB, João Paulo M. C.; ASSIS, André K. **Ampère e a origem do magnetismo terrestre.** Unicamp. Disponível em: <[https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Ampere-e-a-origem-do-magnetismo-terrestre\(2007\).pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Ampere-e-a-origem-do-magnetismo-terrestre(2007).pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2024.

FURLANI, Edward P. **Permanent Magnet And Electromechanical Devices.** New York: Academic Press, 2001.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo.** Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

JÚNIOR, Osvaldo Pessoa. **Modelo casual dos primórdios da ciência do magnetismo.** Scientiae Studia, v. 8, n. 2, p. 195-212, setembro 2010.

MACHADO, Kleber Daum. **Teoria do Eletromagnetismo.** v. 2. Ponta Grossa: UEPG, 2002.

MAGALHÃES, Antônio de Pádua. **Matéria elétrica e forma magnética: Experimentos e concepções de William Gilbert no *De Magnete*.** 2007. 140 p. Tese (Doutorado em História da Ciência) – PUC-SP, São Paulo, 2007.

MELLO, Vera Lúcia. **Instrumentação para o Ensino de Física III.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2011.

MORAES, José Uibson Pereira; JUNIOR, Romualdo S. Silva. **Experimentos didáticos no ensino de física com foco na aprendizagem significativa**. Revista Latino-Americana de Educação Física. v. 9, n. 2, junho 2015. ISSN 1870-9095.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica 3**. 1.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1997.

REZENDE, Sergio Machado. **Magnetismo na Terra Brasilis\***. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 22, n. 3, p. 293-298, setembro 2000.

REITZ, John R.; MILFORD, Frederick J.; CHRISTY, Robert W. **Fundamentos da Teoria Eletromagnética**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1982.

SILVA, Ivan Márcio da. **A experimentação no ensino de física no ensino médio: uma proposta didática de magnetismo através da interação entre dois dipolos magnéticos**. 2019. 37 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros, volume 2: Eletricidade e Magnetismo, Ótica**. Tradução: Fernando Ribeiro da Silva, Mauro Speranza Neto. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

VOKOUN, David; BELEGGIA, Marco; HELLER, Ludek; SITTNER, Petr. **Magnetostatic interactions and forces between cylindrical permanent magnets**. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 321. 3758 – 3763. 2009. DOI : 10.1016/j.jmmm.2009.07.030

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.; **Física III: Eletromagnetismo**. Tradução: Sonia Midori Yamamoto. Revisão técnica: Adir Moysés Luiz. 12.ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.