

Professor: _____ **Data:** ____/____/____

Nome: _____ **RA:** _____

Nome: _____ **RA:** _____

Nome: _____ **RA:** _____

Nome: _____ **RA:** _____

Nome: _____ **RA:** _____

Nome: _____ **RA:** _____

Introdução e Objetivos

Relatos históricos indicam que a bússola já era um instrumento utilizado pelos chineses há cerca de 3300 anos atrás. No ocidente, a civilização grega descobriu uma pedra capaz de atrair pedaços de ferro numa região da Tessália denominada Magnésia, aí a origem da palavra magneto, magnético, magnetismo, etc. A bússola trata-se de um pequeno magneto, ou agulha magnetizada, suspensa pelo seu centro de gravidade, de modo a poder girar livremente. Após atingir o equilíbrio, um dos pólos magnéticos da agulha da bússola aponta no sentido do campo magnético do local. Na ausência de outras fontes de campo, temos apenas o campo magnético terrestre e um dos pólos da bússola aponta aproximadamente para o norte geográfico da Terra – por esse motivo se convencionou denominar esse pólo do magneto de Norte. No passado, uma bússola era imprescindível em longas viagens, principalmente nas marítimas, saber onde estava o norte era extremamente importante para se localizar. Imagine a situação de você estar navegando à noite com o céu nublado e sem uma bússola (e sem um receptor GPS)! É interessante salientar que já estamos muito acostumados com o sistema de posicionamento global (GPS), mas esse sistema de

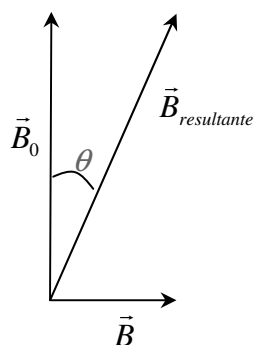
Apostila elaborada pelo Prof. Reinaldo Luiz Cavasso Filho em março de 2012.

navegação sofisticado que utiliza relógios atômicos em satélites entrou em operação apenas em 1995.

Até onde sabemos, todo e qualquer campo magnético é produzido pelo movimento de cargas elétricas. Embora o campo magnético já fosse conhecido e aplicado desde a antiguidade, essa relação do campo magnético com o movimento de cargas começou a ficar clara apenas após um experimento realizado por Hans Christian Oersted em 1819. Ele percebeu que, ao passar uma corrente elétrica através de um condutor, a agulha de uma bússola próxima deixava de apontar na direção do campo terrestre e sofria uma pequena deflexão.

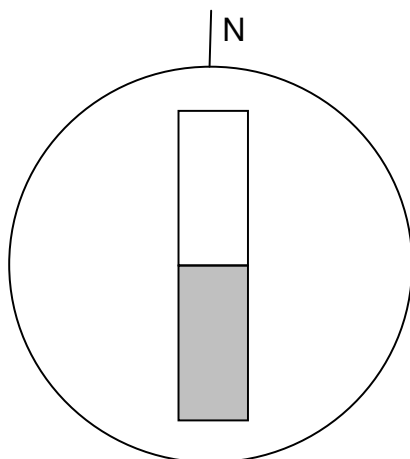
Nesse experimento, utilizaremos o campo magnético terrestre como uma “régua” para determinar o campo gerado pela corrente elétrica no fio. Esse campo natural varia com a localização no globo, sendo de $30 \mu\text{T}$ na região do equador, chegando a $70 \mu\text{T}$ nos pólos. Devido a anomalia magnética brasileira, no estado de São Paulo esse campo natural é da ordem de $B_0 = 18 \mu\text{T}$ [B.A.M. Almeida e I.M. Martim, 2007, disponível on-line em <http://www.bibl.ita.br/xiiiencita/FUND28.pdf>].

Uma bússola, na ausência de qualquer campo magnético que não o terrestre, aponta na direção de $\vec{B}_0$. Quando geramos um campo magnético adicional $\vec{B}$, essa apontará na direção do campo magnético resultante $\vec{B}_{\text{resultante}}$, como na figura a seguir. Portanto, conhecendo o a magnitude do campo natural, podemos determinar o campo aplicado através da deflexão da bússola. No caso do campo adicional $\vec{B}$ estar no plano horizontal e ser perpendicular ao campo $\vec{B}_0$, temos a situação mostrada no diagrama abaixo.



Do diagrama, observamos facilmente que $\text{tg}(\theta) = \frac{B}{B_0}$. Assim, a magnitude do campo aplicado B pode ser determinado a partir de B_0 e da deflexão da agulha θ .

Questão 1. Na ausência de outros campos, na superfície terrestre o pólo magnético Norte de toda a bússola aponta aproximadamente para o Norte geográfico da Terra, indicado na figura abaixo. Modelando a Terra como possuindo uma esfera com um gigantesco imã no seu interior, desenhe as linhas de campo magnético. Foi convencionalizado que as linhas de campo saem do pólo Norte magnético e entram no pólo Sul magnético.



O objetivo principal desse experimento é o de utilizar uma bússola para analisar o campo magnético produzido por uma corrente ao atravessar um fio reto, em particular, a dependência do campo magnético com a corrente, bem como com a distância ao fio e compará-las com a previsão teórica para um fio infinito. Outro objetivo é o de determinar experimentalmente a constante de permeabilidade magnética μ .

Teoria

Os resultados de vários estudos do campo magnético produzido por correntes elétricas, realizados no início do século XIX, podem ser sumarizados na lei de Biot-Savart. Podemos dizer que Lei de Biot-Savart é o análogo magnético da Lei de Coulomb. Ela dá a contribuição ao campo magnético $d\vec{B}$ num ponto $\vec{r}$ do espaço produzido por um “elemento infinitesimal de corrente” $i d\vec{s}$.

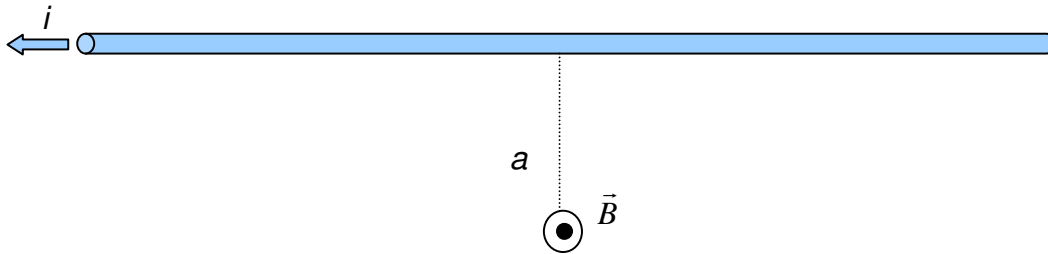
$$d\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{i d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad (1)$$

onde μ é uma constante que foi denominada de permeabilidade magnética do meio. O vetor $\vec{r}$ liga o ponto de observação ao elemento de corrente. Da mesma forma que na Lei da Gravitação Universal e na Lei de Coulomb, a Lei de Biot-Savart é uma lei de

inverso do quadrado da distância. Todavia, a diferença fundamental está na direção e sentido do campo, dado pelo produto vetorial $i d\mathbf{s} \times \mathbf{r}$. Esse produto vetorial significa que o campo produzido é perpendicular tanto à direção da corrente, dada por $d\mathbf{s}$, quanto a $\mathbf{r}$. Para encontrarmos o campo total $\mathbf{B}$ devido a um condutor de tamanho finito transportando corrente, devemos somar as contribuições de todos os elementos de corrente $i d\mathbf{s}$.

Questão 2. Considere um fio reto infinito posicionado no eixo x , transportando uma corrente i . Utilizando a Eq.(1), mostre que a intensidade do campo magnético gerado por essa distribuição de corrente a uma distância a do fio é dada por

$$B = \frac{\mu}{2\pi} \frac{i}{a} \quad (2)$$



A Eq.(2) poderia ser obtida de forma mais simples com a Lei de Ampère, que podemos considerar como o análogo magnético da Lei de Gauss - ambas são muito úteis em situações de grande simetria.

Procedimento Experimental

Nesse experimento, iremos utilizar uma fonte de corrente, um multímetro, uma régua, cabos, uma bússola, um bastão condutor de latão de comprimento L e um suporte em madeira. Os três últimos itens são mostrados na figura abaixo, o suporte de madeira permite posicionar o bastão condutor em diversas alturas.



Procedimento Inicial

Posicione a bússola na base do suporte de madeira, fazendo o eixo N-S indicado na bússola coincidir com a direção do condutor, o bastão de latão. Feito esse ajuste, mova o suporte inteiro até que a agulha da bússola coincida com o eixo N-S.

Procedimento Geral de Medida

- 1- Com o bastão posicionado numa altura determinada, conecte-o à fonte de corrente e a um multímetro em série.
- 2- Verifique se o multímetro está ajustado para leitura de corrente.
- 3- Ligue a fonte e ajuste o botão de controle da corrente do lado esquerdo da fonte. Ajuste a corrente desejada observando a medida no multímetro.
- 4- Faça a medida do ângulo de deflexão da agulha da bússola.
- 5- Ajuste novamente a corrente para um novo valor desejado **ou** Diminua a corrente até zerar e desligue a fonte para trocar a altura o bastão condutor.

Coleta e Análise de Dados

Vamos analisar inicialmente o **comportamento do campo magnético com a corrente** no fio condutor. Escolha uma posição e meça a distância do fio condutor ao centro de massa da agulha da bússola, estimando também sua incerteza:

$a =$.

Efetue pelo menos 8 medidas de corrente e a correspondente deflexão da bússola e anote na tabela abaixo. O campo magnético pode ser calculado através de

$$B = B_0 \operatorname{tg}(\theta) \quad (3)$$

Vamos considerar o campo terrestre local $B_0 = 18 \mu\text{T}$.

Tabela 1:

$i \text{ (A)}$	$\sigma_i \text{ (A)}$	$\theta \text{ (grau)}$	$\sigma_\theta \text{ (grau)}$	$\operatorname{tg}(\theta)$	$B \text{ ()}$	$\sigma_B \text{ ()}$

Questão 3. Desprezando a incerteza em B_0 , mostre que a incerteza no campo magnético é dado por $\sigma_B = \frac{B_0}{\cos^2 \theta} \frac{\pi}{180} \sigma_\theta$ quando σ_θ é dado em graus.

Com os dados da Tabela 1, construa um gráfico do campo magnético em função da corrente.

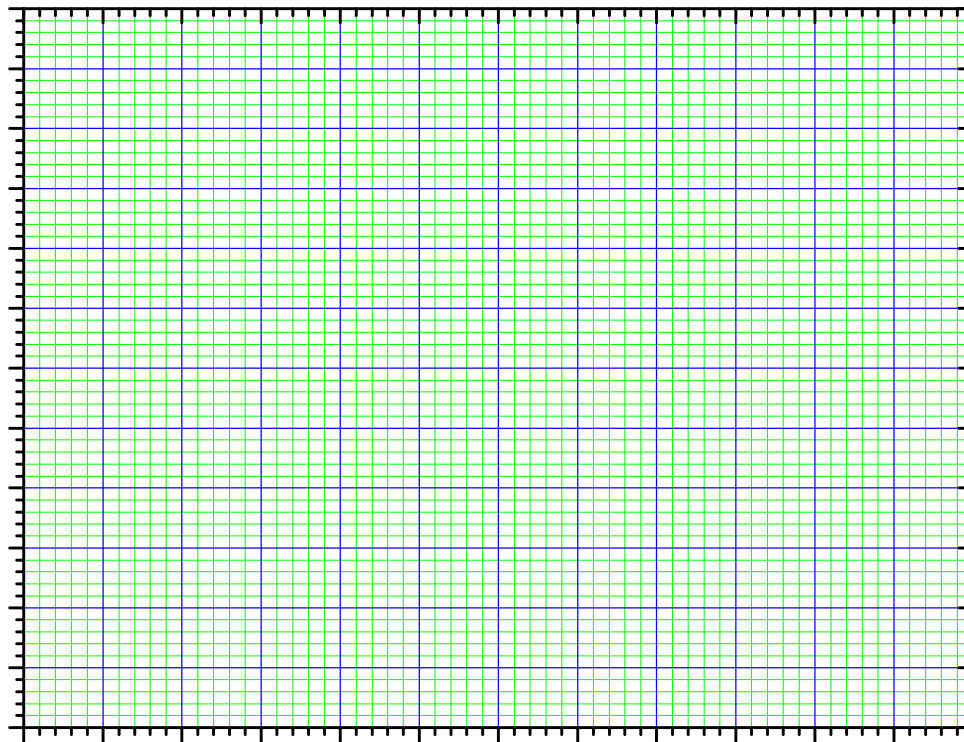


Gráfico 1: _____

Questão 4. O que você conclui sobre o comportamento observado do campo magnético com a corrente? Esse comportamento é compatível com a previsão teórica para um fio reto infinito, Eq.(2) ?

Vamos analisar agora o **comportamento do campo magnético com a distância** ao fio condutor para uma corrente fixa. Ajuste a fonte para fornecer uma corrente de aproximadamente 6 A. Determine o campo magnético para várias alturas do fio condutor medindo a deflexão da bússola e utilizando a Eq.(3).

IMPORTANTE: Desligue a fonte para fazer a variação de altura.

Tabela 2: _____

$a \text{ (m)}$	$\sigma_a \text{ (m)}$	$\theta \text{ (grau)}$	$\sigma_\theta \text{ (grau)}$	$\text{tg}(\theta)$	$B \text{ ()}$	$\sigma_B \text{ ()}$

Com os dados da tabela acima, construa um gráfico do campo magnético em função da distância.

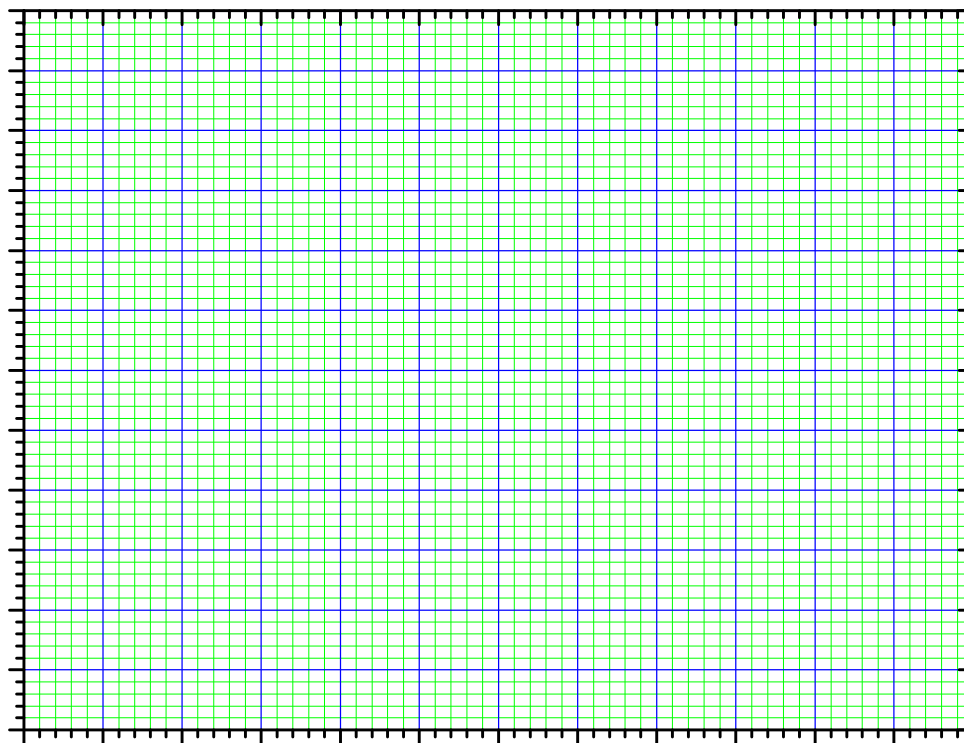


Gráfico 2: _____

Construa agora um gráfico do campo magnético em função do inverso da distância, $1/a$.

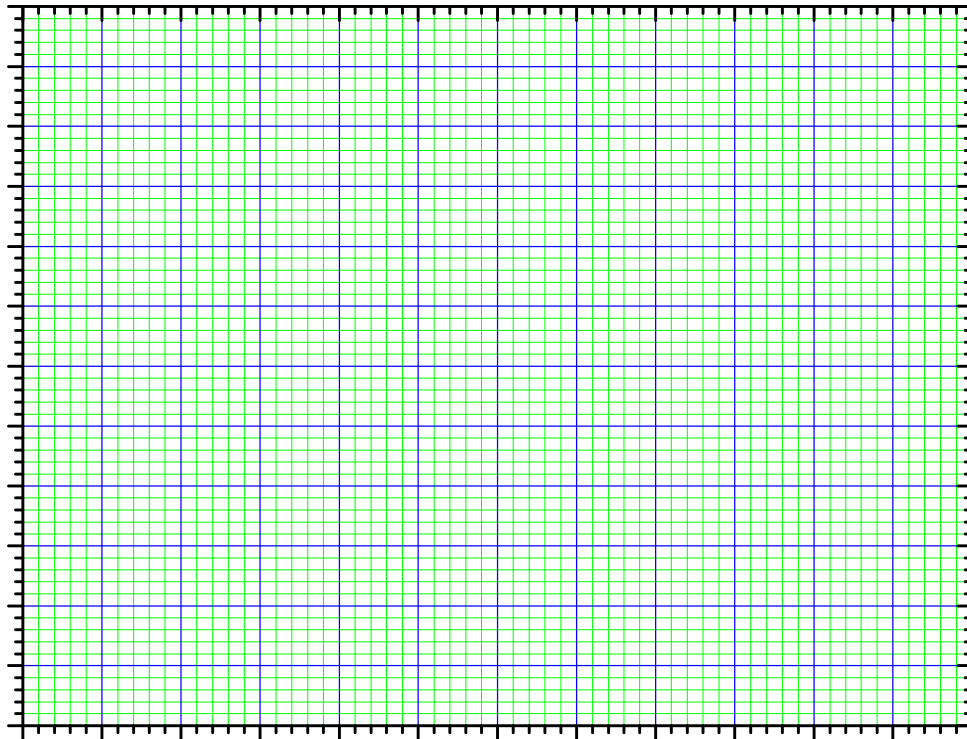


Gráfico 3: _____

Questão 5. Escolha um de seus dados experimentais da Tabela 1 ou da Tabela 2 e determine , utilizando a Eq.(2), a permeabilidade magnética do ar μ e sua incerteza.

Questão 6. Você esperaria alguma deflexão provocada pelo campo magnético do condutor transportando corrente se alinhássemos inicialmente (com $i = 0$) a agulha da bússola a 90° da direção que escolhemos?