

Campo Magnético no Exterior Condutores Lineares

Física II, 2025/2026

José Luís Argáin, Dário Passos

1 Fundamento teórico

A Lei de Ampère permite obter a seguinte expressão, para a intensidade do campo magnético, B , no exterior de um condutor filiforme, retilíneo e infinito ($L = \infty$), através do qual flui uma corrente estacionária I ,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}, \quad (1)$$

onde r representa a distância perpendicular ao condutor (ver Fig. 1a,b) e μ_0 é uma constante física universal denominada *permeabilidade magnética do vácuo* a qual, numa boa aproximação é dada por $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$. As unidades de B e I no sistema S.I. são o Tesla e o Ampère, respetivamente. De acordo com a expressão anterior, B é diretamente proporcional a I e inversamente proporcional à distância r . No caso de um condutor filiforme retilíneo de comprimento finito L , esta equação pode ser considerada aplicável se se verificar que $r/L \ll 1$. No entanto, para satisfazer esta condição seria necessário usar um condutor muito comprido ou a medir o campo magnético a uma distância r muito pequena, o que não é muito prático. Por outro lado, pode ser demonstrado que se r está à distância $L/2$, do extremo do fio (ver Fig. 1a), a Eq. (1) pode ser considerada válida, não sendo imprescindível cumprir a condição $r/L \ll 1$.

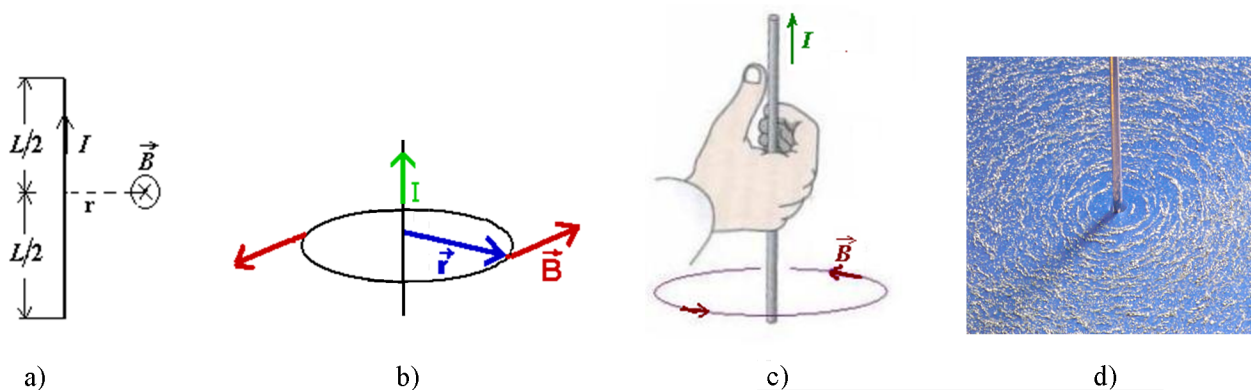


Figura 1: a) Campo magnético gerado por uma corrente I , que flui através dum condutor filiforme retilíneo de comprimento L . Como a corrente está orientada para cima, o vetor do campo magnético \vec{B} , entra perpendicularmente no plano da folha. b) Representação em perspectiva de \vec{B} e \vec{r} e do sentido de I . c) Ilustração da regra do parafuso para determinar o sentido de \vec{B} . d) Ilustração das linhas de campo magnético, em torno de um condutor filiforme retilíneo, obtidas com limalha de ferro.

Para determinar a direção e sentido de \vec{B} pode usar-se a regra do parafuso (é uma das várias regras da mão direita), ilustrada na Fig. 1c). Estica-se o polegar para cima, no sentido da corrente, I , e ao rodar-se a mão em torno do dedo polegar, descreve-se uma circunferência em torno do condutor. O sentido do movimento de rotação da mão, em torno do dedo polegar, é o do vetor \vec{B} , que é sempre tangente a essa circunferência e está contido no plano que a contém (este plano é perpendicular ao condutor).

1.1 Campo magnético resultante da sobreposição dos campos magnéticos de dois condutores lineares paralelos

Usando a regra do parafuso é fácil verificar que, se dois condutores paralelos são percorridos por correntes com o mesmo sentido, então os seus campos magnéticos têm sentidos opostos em qualquer ponto situado entre eles. Se os condutores forem percorridos por correntes de sentidos opostos, então os seus campos magnéticos têm o mesmo sentido em qualquer ponto situado entre eles. Portanto, no primeiro caso os campos subtraem-se e no segundo, somam-se (ver Fig. 1a,b), respetivamente).

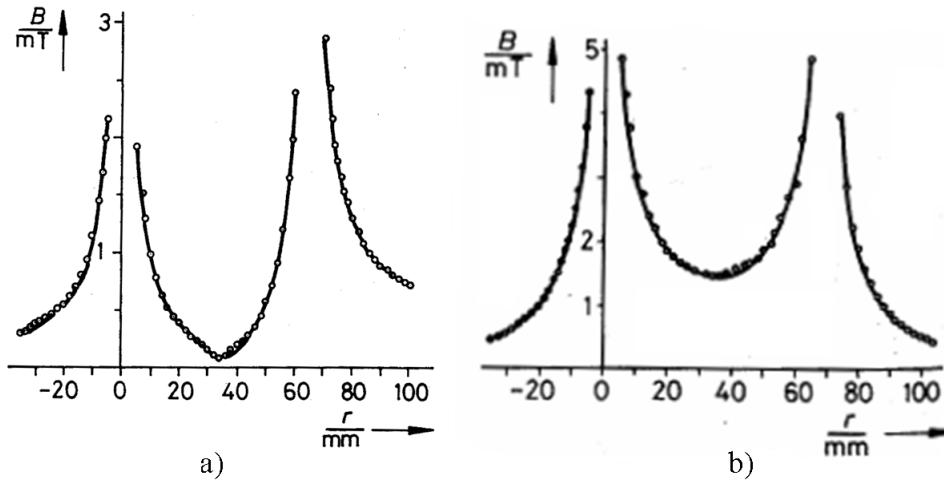


Figura 2: Campo magnético em função da distância, resultante da sobreposição dos campos magnéticos produzidos por dois condutores lineares, percorridos por a) correntes com o mesmo sentido e b) correntes com sentidos opostos.

2 Objetivos

Verificar a validade da expressão (1), mostrando que o campo magnético, B , produzido por um condutor linear e filiforme é proporcional à corrente que o atravessa (I) e inversamente proporcional à distância de observação (r). Para isto é conveniente escrever (1) nas seguintes formas linearizadas,

$$\underbrace{B}_y = \underbrace{\frac{\mu_0}{2\pi r}}_{a_t} \times \underbrace{I}_x + \underbrace{0}_{b_t}, \quad (2)$$

e

$$\underbrace{B}_y = \underbrace{\frac{\mu_0 I}{2\pi}}_{a_t} \times \underbrace{\frac{1}{r}}_x + \underbrace{0}_{b_t}. \quad (3)$$

Medido um conjunto de pontos (B, I) , a dependência obtida deverá ser linear (em concordância com a expressão (2)), e com declive próximo do valor declive esperado (declive teórico ou esperado), $a_t = \mu_0 / (2\pi r)$. Desta forma, poder-se-á verificar se, realmente, B é linearmente proporcional a I .

Por outro lado, obtendo experimentalmente um conjunto de pontos $(B, 1/r)$, a dependência obtida deverá ser linear, em concordância com a Eq. (3), e com declive próximo do valor declive esperado, $a_t = \mu_0 I / (2\pi)$. Desta forma, poder-se-á verificar se, realmente, B é inversamente proporcional a r .

3 Materiais

Os materiais usados são (ver Fig. 3): fios de ligação, núcleo laminado de ferro curto, núcleo laminado de ferro em forma de U, fonte de tensão; multímetro digital, sonda de Hall + amplificador; pinça amperimétrica, bobina de 140 espiras, bobina de 6 espiras, barra de suporte, suporte de bancada, base de apoio, cruzeta e régua.

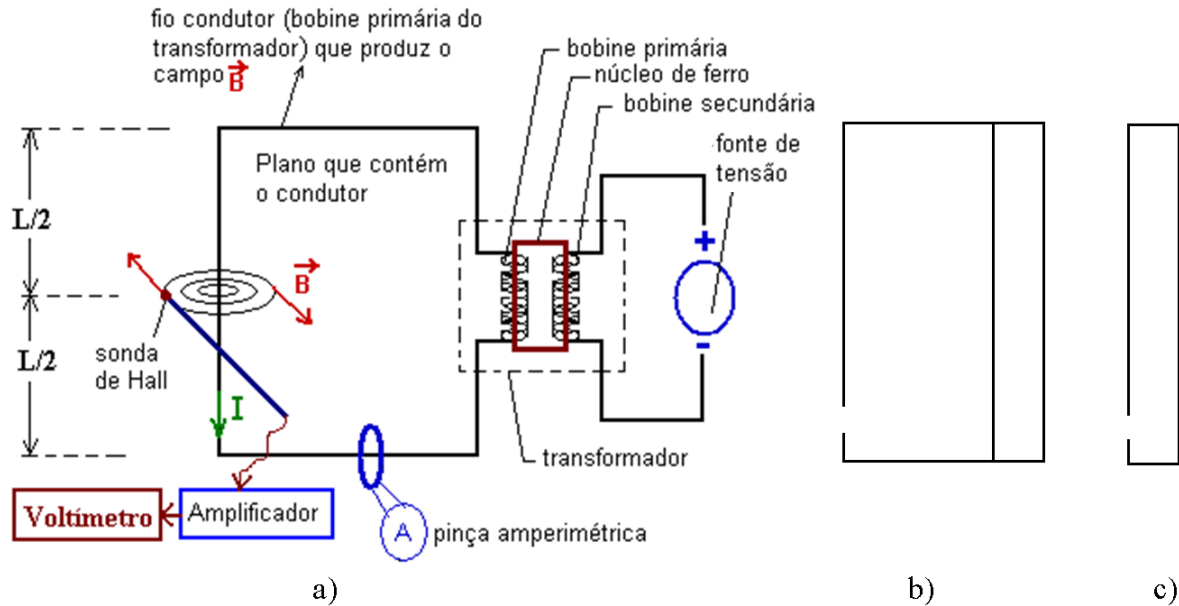


Figura 3: a) Esquema da montagem experimental. b) Condutor para determinar o campo magnético resultante da sobreposição dos campos magnéticos de dois condutores lineares paralelos e percorridos por correntes iguais, com o mesmo sentido. c) O mesmo que em b) mas para correntes iguais, mas com sentidos opostos.

4 Procedimento experimental

4.1 Notas importantes, para a obtenção de bons resultados e a proteção do equipamento

1. Anote o erro de leitura de todos os instrumentos que utilizar;
2. O sensor que permite medir o campo magnético encontra-se na extremidade do tubo horizontal fino (ver Fig. 3) é uma sonda de efeito de Hall. O sinal proveniente deste sensor, é processado

num amplificador (caixa branca pequena) que converte o valor da tensão recebida, no valor do campo magnético observado, que neste caso é medido no multímetro (em modo de voltímetro). Este instrumento (i.e., o conjunto sonda de Hall, amplificador e voltímetro), para a medição de B , denomina-se teslâmetro. O voltímetro ligado ao amplificador deve estar na escala dos 2V (ou um valor próximo) de tensão alternada (\sim). Note-se que valor registado pelo voltímetro, corresponde ao valor de B , dado em mT. Para realizar os cálculos este valor deve ser convertido de mT para T;

3. Em todos os ensaios, a extremidade da sonda de Hall (sensor para medição do campo magnético) deve estar no plano que contém o condutor. Todos os condutores utilizados estão dobrados em forma de quadrilátero. Portanto a ponta da sonda deve estar assente no plano que contém o quadrilátero e deslocar-se sempre nesse plano (ver Fig. 3);
4. Em todos os ensaios, a extremidade da sonda de Hall deve estar numa posição equidistante ($L/2$), em relação à direção vertical do condutor (arestas verticais do quadrilátero), cujo campo está a ser medido;
5. O multímetro pode dar um valor do campo diferente de zero mesmo quando não passa corrente pelo fio. Este é um valor residual que pode estar relacionado com o campo magnético da terra (0,025-0,065 mT) e (ou) com erros de calibração;
6. A distância r deve ser medida entre o centro do fio condutor e o centro da sonda de Hall.

4.2 Determinação de B em função de I

1. Monte o circuito conforme a Fig. (3). Anote o valor do campo residual;
2. Utilize o fio condutor com forma retangular (ver Fig. 3a);
3. Faça as medições a meia altura ($L/2$) do retângulo, na aresta vertical mais distante do transformador;
4. Coloque o sensor, aproximadamente, a $r = 1$ cm (e do lado de fora do retângulo, para reduzir ao mínimo a influência parasita das outras 3 arestas);
5. Varie I entre 10 e 90 A, com acréscimos de 10 A. Meça B para cada valor de I .

4.3 Determinação de B em função de r

1. Utilize o fio condutor com forma retangular (ver Fig. 3a);
2. Faça as medições a meia altura ($L/2$) do retângulo, na aresta vertical mais distante do transformador;
3. Anote o valor de campo residual;
4. Fixe o valor da corrente para, aproximadamente, 60 A;
5. Varie r de 1 a 4.5 cm, com acréscimos de 0.5 cm (e do lado de fora do retângulo). Para cada r meça o valor de B .

4.4 Determinação do B resultante da sobreposição dos valores de B produzidos por duas I paralelas no mesmo sentido, em condutores lineares

1. Use o fio condutor em forma de retângulo com bifurcação mostrado na Fig. (3b);
2. Faça as medições a meia altura ($L/2$) do condutor vertical. Anote o valor de campo residual;
3. Fixe a corrente em aproximadamente $I = 60$ A;
4. Varie r , em intervalos de 0.5cm, no espaço entre os dois condutores verticais mais próximos. A seguir, varie r na região exterior a estes dois condutores, em intervalos de 0.5 cm, até um máximo de $r = 4.5$ cm. Para cada r meça o valor de B .

4.5 Determinação do B resultante da sobreposição dos valores de B produzidos por duas I paralelas de sentidos opostos em condutores lineares

1. Use o fio condutor em forma de retângulo alongado mostrado na Fig. (3c);
2. Faça as medições a meia altura ($L/2$) do condutor vertical. Anote o valor de campo residual;
3. Fixe a corrente em aproximadamente $I = 60$ A;
4. Varie r , em intervalos de 0.5cm, no espaço entre os dois condutores verticais mais próximos. A seguir, varie r nas regiões exteriores, esquerda e direita, a estes dois condutores, em intervalos de 0.5 cm, até um máximo de $r = 4.5$ cm. Para cada r meça o valor de B .

5 Análise de resultados

Em todos os gráficos e operações use sempre as unidades no sistema S.I., i.e, o campo magnético em Tesla (T), a corrente em Ampère (A) e a distância em metros (m).

5.1 Determinação de B em função de I

1. Construa um gráfico de B em função de I , e ajuste uma reta de regressão linear ($y = ax + b$) ao gráfico, calculando o declive, a , a ordenada na origem, b , e os seus respetivos erros, δa e δb . Para isto, recomenda-se usar a função proj.lin do *software* Excel (ver seção 4.3 da sebeta "Fundamentos de Análise de Dados", na tutoria eletrónica). Note que o *software* Excel está acessível a todos os alunos da UAlg, no pacote Microsoft Office 365;
2. A partir da expressão (2) determine a_t e verifique se $a_t \in [a - \delta a, a + \delta a]$. Adicionalmente, determine o erro relativo percentual de a , em relação a a_t ;
3. Discuta os resultados e retire conclusões.

5.2 Determinação de B em função de r

1. Construa um gráfico de B em função de $1/r$, e ajuste uma reta de regressão linear ($y = ax + b$) ao gráfico, calculando o declive, a , a ordenada na origem, b , e os seus respetivos erros, δa e δb ;
2. A partir da expressão (3) determine a_t e verifique se $a_t \in [a - \delta a, a + \delta a]$. Adicionalmente, determine o erro relativo percentual de a , em relação a a_t ;
3. Discuta os resultados e retire conclusões.

5.3 Determinação do B resultante da sobreposição dos valores de B produzidos por duas I paralelas no mesmo sentido, em condutores lineares

1. Construa um gráfico de B em função de r (faça como na Fig. 2a mas com r dado em metros).
2. Verifique a forma do gráfico obtido e comente.

5.4 Determinação do B resultante da sobreposição dos valores de B produzidos por duas I paralelas de sentidos opostos em condutores lineares

1. Construa um gráfico de B em função de r (faça como na Fig. 2b mas com r dado em metros).
2. Verifique a forma do gráfico obtido e comente.