

Bobinas de Helmholtz

Universidade de Aveiro

Henrique Manuel Pereira Ferreira,
Pedro Miguel Miranda Melo,
David Poeta Pelicano



Bobinas de Helmholtz

Dept. de Eletrónica, Telecomunicações e Informática
Universidade de Aveiro

Henrique Manuel Pereira Ferreira,
Pedro Miguel Miranda Melo,
David Poeta Pelicano
(113600) ferreira.manuel.henrique04@ua.pt,
(114208) pedro.m.melo@ua.pt,
(113391) davidpoetapelicano@ua.pt

7 de dezembro de 2023

Conteúdo

1	Resumo	1
2	Introdução	2
3	Parte A: Calibração da sonda de Hall	3
3.1	Material utilizado	3
3.2	Procedimento	3
3.3	Cuidados a ter	4
4	Parte B: Verificação do princípio da sobreposição para o campo magnético	5
4.1	Material utilizado	5
4.2	Procedimento	5
4.3	Cuidados a ter	5
5	Análise de resultados	6
5.1	Parte A: Calibração da sonda de Hall	6
5.1.1	Representação gráfica de $V_H = f(I_s)$	6
5.1.2	Determinação da constante de calibração (C_C) da sonda de Hall	6
5.2	Parte B: Verificação do princípio da sobreposição para o campo magnético	7
5.2.1	Representação do gráfico do campo magnético para as duas bobinas ligadas isoladamente e em série $B_H(x)$	7
5.2.2	Determinação do cálculo do número de espiras das bobinas de Helmholtz	8
6	Discussão e conclusão	9

Capítulo 1

Resumo

Este trabalho tem como principal objetivo a calibração de uma sonda de efeito Hall através de um solenoide padrão e a medição do campo magnético ao longo do eixo de duas bobinas estreitas com o propósito de verificar o princípio da sobreposição para o campo magnético utilizando a configuração de Helmholtz. A metodologia adotada envolve um conjunto de experiências e análises de dados. Em primeiro lugar, a sonda de Hall é calibrada utilizando um solenoide padrão, em que a constante de calibração é determinada através da expressão do campo produzido pelo solenoide. De seguida, o campo magnético é medido ao longo do eixo de duas bobinas estreitas, utilizando a sonda de Hall. Os dados obtidos são registados e analisados para verificar o princípio da sobreposição. A análise inclui a representação gráfica do campo magnético para as duas bobinas ligadas isoladamente e em série, bem como a estimativa do número de espiras das bobinas de Helmholtz com base nas medidas de campo magnético no centro de uma bobina.

Os resultados experimentais foram comparados com as expectativas teóricas, considerando a precisão e exatidão das medições.

Capítulo 2

Introdução

A manipulação e estudo de campos magnéticos desempenham um papel essencial em diversas áreas científicas e tecnológicas. As leis de Biot-Savart e Ampère fornecem uma base teórica robusta para entender como correntes elétricas e cargas em movimento geram campos magnéticos.

Nesse contexto, o solenoide padrão (solenóide finito) pode ser considerado como um conjunto de anéis idênticos, alinhados lado a lado e percorridos pela mesma corrente I_S . A expressão do campo magnético no interior de um solenoide de comprimento infinito, que tem apenas a componente longitudinal, também é válida para um solenoide finito, cujo comprimento é muito maior que o raio, $l \gg R$, e é dada por

$$B_{SOL} = \mu_0 \left(\frac{N}{L} \right) I \quad (2.1)$$

onde $\frac{N}{L}$ representa o número de espiras por unidade de comprimento, μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo, e I é a corrente no solenoide.

As bobinas de Helmholtz são um dispositivo, constituído por dois enrolamentos paralelos, cujo raio é muito maior que o comprimento, $R \gg l$, o que permite criar no espaço entre esses enrolamentos e ao longo do respetivo eixo, um campo magnético, muito mais uniforme do que o devido campo de apenas um enrolamento. Se as bobinas estiverem em configuração de Helmholtz é possível obter uma expressão para o campo magnético criado pelas duas bobinas num ponto x genérico do seu eixo, a partir da expressão do campo magnético no eixo de um anel de corrente (centrado em $x = x_0$)

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0 I R^2}{2 (R^2 + (x - x_0)^2)^{\frac{3}{2}}} \hat{\mathbf{x}} \quad (2.2)$$

onde R é o raio das bobinas e x é a distância ao longo do eixo entre as bobinas.

Para medir campos magnéticos com uma sonda de Hall precisamos determinar a constante de calibração (C_C), a partir da relação entre o campo magnético (B) e a tensão de Hall (V_H) numa sonda de efeito de Hall, expressa pela fórmula

$$B = C_C V_H \quad (2.3)$$

onde C_C é a constante de calibração específica para a sonda. A compreensão teórica destes conceitos é essencial para a interpretação dos resultados experimentais.

Capítulo 3

Parte A: Calibração da sonda de Hall

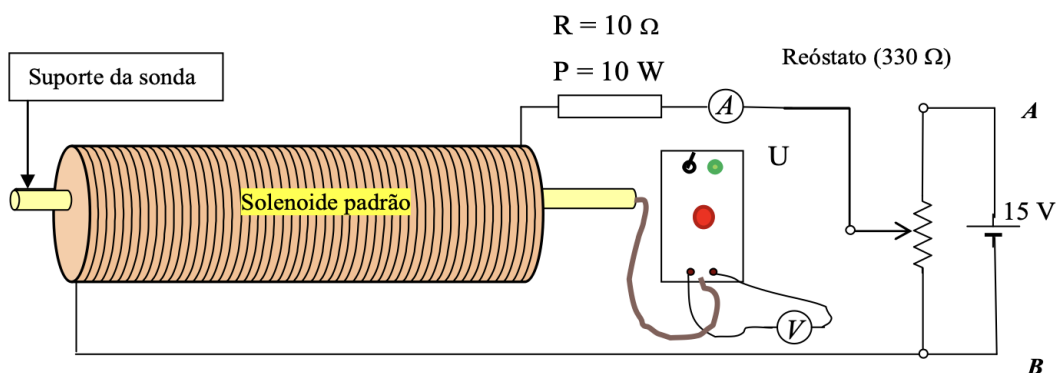


Figura 3.1: Esquema da experiência

3.1 Material utilizado

Um reóstato, uma resistência, um amperímetro e um voltímetro, uma fonte de alimentação, um solenoide padrão, um suporte e sonda de Hall e vários cabos de conexão.

3.2 Procedimento

Primeiro começa-se por montar o esquema da figura 3.1. Após a conexão completa dos componentes, a sonda é introduzida de forma a estar centrada no solenoide e, com o reóstato sem corrente elétrica, a sonda é ajustada para tensão nula, estabelecendo assim o ponto zero. Em seguida, procede-se à análise para diferentes valores de corrente elétrica no reóstato, variando em incrementos de 0.05A , para registrar os correspondentes valores de voltagem da sonda. Com base nos resultados obtidos, é possível elaborar um gráfico da tensão elétrica em função da corrente elétrica. A partir do declive dessa mesma função, calcula-se o valor da constante de calibração da sonda de Hall.

3.3 Cuidados a ter

Ao realizar a calibração da sonda de Hall, verifica-se as conexões elétricas para evitar curtos-circuitos e garante-se que as correntes estejam dentro dos limites seguros. Posiciona-se cuidadosamente a sonda no centro do solenóide para obter-se resultados precisos e, antes das medições, assegura-se que a sonda de Hall está devidamente calibrada com o solenóide padrão. Realiza-se leituras e ajustes precisos nos instrumentos, como voltímetros e amperímetros, e respeita-se os limites de corrente no solenóide para evitar correntes excessivas. Verifique a corrente elétrica nos cabos para minimizar a dissipação de energia.

Capítulo 4

Parte B: Verificação do princípio da sobreposição para o campo magnético

4.1 Material utilizado

Um reóstato, uma resistência, um amperímetro e um voltímetro, uma fonte de alimentação, as bobinas de Helmholtz, um suporte e sonda de Hall e vários cabos de conexão.

4.2 Procedimento

Começa-se por montar o esquema semelhante ao da parte A, mas em vez da solenoide, estão as bobinas de Helmholtz, estão a uma distância igual ao valor do raio que é 6,5cm. Esta experiência envolve a análise do campo magnético para as duas bobinas ligadas isoladamente e em série $B_H(x)$. Antes de iniciar a obtenção de dados é necessário ajustar o reóstato a 0.5A. Para cada experiência, foram obtidos 23 dados referentes à tensão da sonda de Hall, movendo-a de 1 em 1cm ao longo das bobinas, de modo a atravessar ambas. Com os resultados obtidos, é possível elaborar um gráfico para cada posição, a respetiva tensão. Além disso, esses dados possibilitam o cálculo do campo magnético e do número de espiras de cada bobina.

4.3 Cuidados a ter

Na verificação do Princípio da Sobreposição, confirma-se que as bobinas de Helmholtz estão corretamente posicionadas, paralelas e a uma distância adequada. Evita-se exceder os limites de corrente nas bobinas e realizamos leituras cuidadosas do campo magnético ao longo do eixo usando a sonda de Hall, evitando movimentos bruscos que possam impactar as medições. Mantém-se um registo preciso dos dados, incluindo a posição da sonda, a corrente nas bobinas e a tensão de Hall. Utiliza-se equações relevantes para análise e verifica-se, se os resultados experimentais estão em conformidade com as expectativas teóricas. Verifique a corrente elétrica nos cabos para minimizar a dissipação de energia.

Capítulo 5

Análise de resultados

5.1 Parte A: Calibração da sonda de Hall

5.1.1 Representação gráfica de $V_H = f(I_s)$

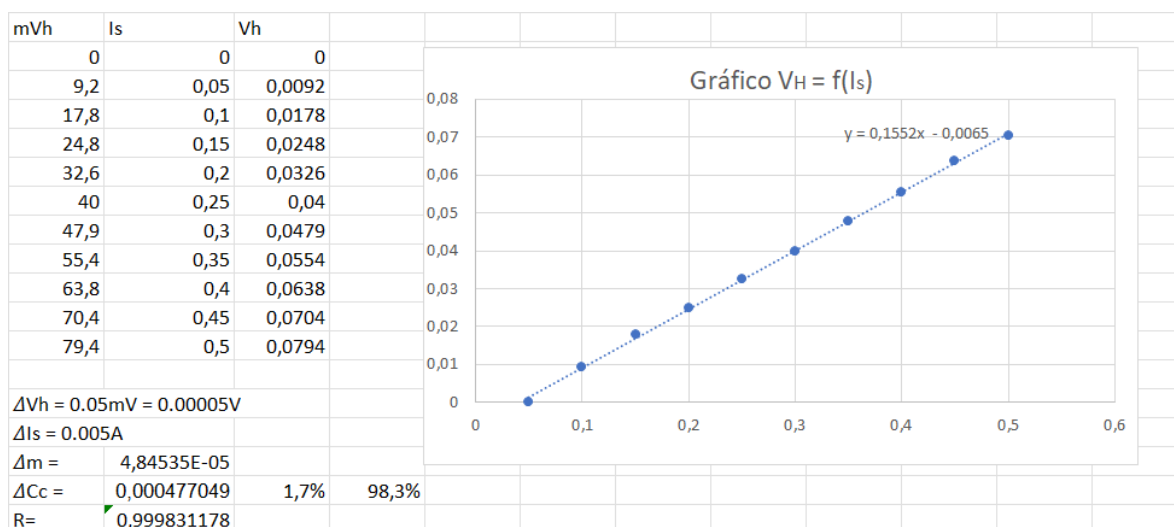


Figura 5.1: Dados e Gráfico obtidos na parte A

Os dados retirados da experiência da parte A foram obtidos a partir de um voltímetro e um amperímetro, medidos em mVh e em A, respetivamente, a partir destes foi então feito um gráfico da função da tensão de Hall em função da corrente elétrica, estes dados e o gráfico podem ser observados na figura 5.1.

5.1.2 Determinação da constante de calibração (C_C) da sonda de Hall

Para calcular a constante de calibração, recorreremos à fórmula 2.1 e à fórmula 2.3. A partir destas fórmulas, obtemos a equação 5.1.

$$\mu_0 \left(\frac{N}{L} \right) \cdot I_s = C_C \cdot V_H \quad (5.1)$$

$$V_H = \frac{\mu_0 \cdot \left(\frac{N}{L}\right)}{C_C} \cdot I_s \quad (5.2)$$

Considerando que a função da reta do gráfico $V_H = f(I_S)$ é dada por

$$V_H = m \cdot I_s + b \quad (5.3)$$

podemos então concluir que

$$\frac{\mu_0 \cdot \left(\frac{N}{L}\right)}{C_C} = m(\text{declive da reta}) \quad (5.4)$$

Ao isolar C_C em função de m , obtemos o valor da constante de calibração.

$$C_C = \frac{\mu_0 \cdot \left(\frac{N}{L}\right)}{m} \Rightarrow C_C = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3467}{0.1552} = 0.0281 \pm 0,0005 \quad (5.5)$$

5.2 Parte B: Verificação do princípio da sobreposição para o campo magnético

5.2.1 Representação do gráfico do campo magnético para as duas bobinas ligadas isoladamente e em série $B_H(x)$

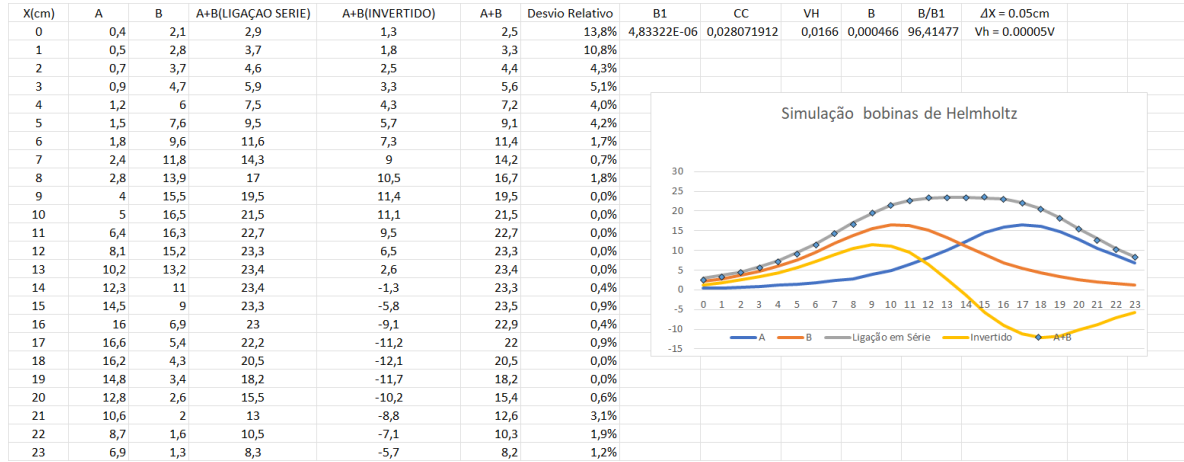


Figura 5.2: Dados e Gráfico obtidos na parte B

Os dados retirados da experiência da parte B foram obtidos a partir de um voltímetro, medidos em mV, a partir destes dados foi então efetuado um gráfico do campo magnético para as duas bobinas ligadas isoladamente e em série $B_H(x)$, estes dados e o gráfico podem ser observados na figura 5.2.

A partir da análise do gráfico e dos dados retirados da experiência podemos verificar o Princípio da Sobreposição do campo magnético, pois os valores observados para A+B(Ligação em Série) estão consistentes com a soma dos campos magnéticos das bobinas individualmente (A+B). O desvio relativo é geralmente baixo, o que sugere uma boa concordância.

5.2.2 Determinação do cálculo do número de espiras das bobinas de Helmholtz

Para calcular o número de espiras em cada bobina, recorreremos à fórmula:

$$B_N = N \cdot B_1 \Leftrightarrow N = \frac{B}{B_1} \quad (5.6)$$

Para determinar o campo elétrico no centro de uma bobina, recorreremos à fórmula 2.2 com $x = x_0$.

$$B_1 = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + (x - x_0)^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\mu_0 I}{2R} \Rightarrow B_1 = 4.83 \cdot 10^{-6} T \quad (5.7)$$

Para determinar o campo magnético criado pelas duas bobinas (B) recorreremos à equação 2.3, sendo C_C o valor obtido na equação 5.5 e V_H , o valor máximo da tensão de Hall dos dados da bobina A, visível na figura 5.2.

$$B = C_C V_H \Rightarrow B = 0.0281 \cdot 16.6 \cdot 10^{-3} = 4.66 \cdot 10^{-4} T \quad (5.8)$$

Tendo o valor das duas variáveis, já é possível calcular o número de espiras:

$$N = \frac{B}{B_1} = \frac{4.66 \cdot 10^{-4}}{4.83 \cdot 10^{-6}} = 96.4 \approx 96 \text{ espiras} \quad (5.9)$$

Capítulo 6

Discussão e conclusão

Na Parte A, o objetivo foi calibrar a sonda de Hall utilizando um solenóide padrão. Os resultados da análise entre a corrente no solenóide e a tensão de Hall permitiram determinar a constante de calibração C_C . O valor obtido desta, foi 0.0281 ± 0.0005 , sendo que este valor apresenta uma precisão de 98,3%. O cálculo desta constante desempenha um papel crucial para obter o campo magnético.

Na Parte B, a aplicação do Princípio da Sobreposição para campos magnéticos foi confirmada através do uso de bobinas de Helmholtz através do gráfico obtido, o princípio verifica-se a partir da comparação entre a soma das duas bobinas ligadas isoladamente e as bobinas ligadas em série $B_H(x)$. O cálculo do número de espiras demonstra concordância com o valor real de espiras. Esse resultado comprova a utilidade prática das bobinas de Helmholtz.

Em resumo, ambas as partes do experimento foram bem-sucedidas. A constante de calibração obtida na Parte A assegura a precisão das medições, enquanto a Parte B valida conceitos teóricos e destaca aplicações práticas das bobinas de Helmholtz. Qualquer desacordo observado pode ser atribuído a possíveis fontes de erro experimental ou variações nas condições dos instrumentos.