

# Medida horizontal do campo magnético terrestre

Horácio Fernandes

Departamento de Física, Instituto Superior Técnico, Lisboa

## Resumo

O sentido e direção do campo magnético são conceitos quase intuitivos para todos, graças à utilização da bússola. Já a sua medida, com a determinação dum valor nem que seja aproximado, exige equipamento caro e cujo funcionamento é incompreensível para os alunos. Neste artigo, propomos uma experiência simples com material corrente que permite determinar o valor da componente horizontal do campo magnético terrestre com uma precisão razoável, usando uma simples bússola e uma bobina de Helmholtz artesanal.

## Introdução

O campo magnético terrestre [1,2] é, por excelência, a melhor forma de comunicar o significado de campo vetorial, quer em física, quer em matemática, porque os alunos intuem através duma simples bússola a existência do seu sentido e direção e, consequentemente distinguem-no imediatamente dum campo escalar. Contudo, medir o seu valor afigura-se mais complexo e difícil.

Nesta experiência, iremos demonstrar uma forma de determinar o valor da componente horizontal do campo magnético terrestre numa atividade simples, associando a sua natureza às correntes elétricas. Por outro lado, permite ainda a compreensão aplicada da adição vetorial de grandezas. Uma versão mais elaborada e precisa pode ser consultada em [1] ou nas referências aí sugeridas.

A experiência consiste na construção duma bobina de Helmholtz e a posterior determinação do desvio da agulha duma bússola colocada no seu interior, devido à corrente elétrica que a percorre.

Para simplificar as medidas, iremos usar um número de espiras  $n$  tal que a corrente medida em miliamperes (mA) seja idêntica ao valor do campo magnético em microteslas ( $\mu\text{T}$ ). Com efeito, a partir da equação (1) [ver caixa de texto], resolvendo em ordem a  $n$  ficamos com:

$$n = \left(\frac{4}{5}\right)^{-3/2} \frac{r B}{\mu_0 I}$$

e para  $B=1 \mu\text{T}$  e  $I=1 \text{ mA}$ , obtemos  $n=26\pm 1$ , sendo no nosso caso  $r=24 \text{ mm}$ . De acordo com cada montagem experimental, este valor deve ser recalculado atendendo à geome-

## Bobina de Helmholtz

A “bobina de Helmholtz” [3] consiste, na prática, em duas bobinas idênticas e paralelas entre si separadas por uma distância entre ambas é igual aos seus raios. Esta bobina tem a particularidade de possuir um campo axial praticamente uniforme em  $2/3$  do seu volume central. Com efeito, como a primeira e segunda derivadas do campo praticamente se anulam, conclui-se que, para uma distância entre o par de bobinas equivalente ao seu raio, o valor do campo magnético nesse volume é constante e igual a:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \mu_0 \frac{nI}{r} \quad (1)$$

onde  $n$  é o número de espiras de cada uma das bobinas,  $\mu_0$  a permeabilidade magnética do ar,  $r$  o seu raio e  $I$  a corrente que as atravessa.

tria precisa das bobinas, ou seja, levando em conta a sua espessura média aproximada e a determinação do diâmetro exato da garrafa (ver adiante, secção Montagem Experimental) nos sulcos. Caso os sulcos onde se bobinam os enrolamentos distem entre si mais do que o valor de um raio, deve-se arredondar por excesso o número das espiras; na situação inversa, arredondar por defeito. Desta forma, compensamos o campo devido a este pequeno erro sistemático.

Ao arredondar para o inteiro mais próximo, cometemos um erro sistemático que, em conjunto com as medidas aproximadas das bobinas, não deve ultrapassar na totalidade os 10 %, embora este erro possa ser corrigido *a posteriori* calculando exatamente o campo.

## Montagem experimental

Material:

- 1 garrafa de água plástica de 0,5 l vazia (cerca de 50 mm diâmetro) com sulcos paralelos
- 1 amperímetro (0 mA – 200 mA)
- Fio de cobre isolado com verniz (por exemplo retirado dum transformador)
- Suporte pilhas 1,5 V
- Bússola
- Reóstato de 100  $\Omega$  a 1 k $\Omega$
- Fio elétrico q.b.
- 2 conectores bananas e interruptor (facultativo)

Inicialmente, escolhe-se um suporte cilíndrico que permita bobinar corretamente as espiras da bobina de Helmholtz (Fig. 1). Este par de bobinas circulares é montado sobre um eixo comum, por exemplo uma vulgar garrafa de água, com correntes iguais entre si e que fluem no mesmo sentido. No nosso caso, tiramos partido da tampa da garrafa para fixar o reóstato (resistência variá-



Fig. 1 - Montagem experimental com o potenciômetro fixo à tampa de modo a facilitar a execução da experiência. A escolha judiciosa do número de espiras permite uma leitura direta em microtesla usando o amperímetro na escala de miliampere.

vel), tendo o cuidado de traçar os cabos elétricos enrolando-os sobre si mesmos para não criarem campos de erro (estando o cabo traçado e sendo as correntes anti-paralelas).

Colocando a bússola no interior da garrafa e entre as bobinas segundo o seu plano médio, alinha-se a garrafa de modo a que as bobinas fiquem paralelas à agulha da bússola, ou seja, de modo a que na ausência de corrente a agulha da bússola fique a 90° com o eixo das bobinas. Deste modo, garantimos que quando começar a fluir corrente, o campo criado será ortogonal ao campo terrestre. Deve posicionar-se a agulha da bússola na região central onde o campo é mais uniforme, uma vez que o encapsulamento ocupa geralmente dimensões relevantes.

Liga-se o circuito e vai-se diminuindo a resistência do reóstato de modo a aumentar a corrente no circuito, facto que se constata facilmente ao medir o valor em mA no amperímetro. Como escolhemos o número de espiras adequadamente, esta medida indica o valor do campo magnético diretamente em  $\mu\text{T}$ . Quando a agulha da bússola mostrar um desvio de 45°, significa que o campo criado é de igual valor ao campo magnético local, o qual, em princípio, é somente o da Terra. Convém verificar que não existem objetos com massas significativas de material ferromagnético nas proximidades.

O circuito (Fig. 2) é facilmente roteado com o fio remanescente da bobina. Como este fio tem verniz, o que impede uma soldadura direta, para efetivar as soldaduras usa-se um truque simples: queimam-se as extremidades com a ajuda dum isqueiro e posteriormente limpam-se com uma lixa fina ou esfregão de cozinha.

Video da montagem experimental:

<https://youtu.be/8o9dTqbbceg>

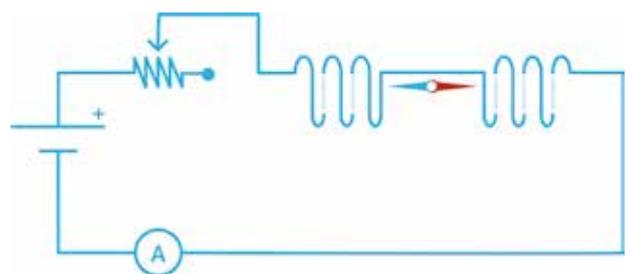


Fig. 2 - Circuito elétrico equivalente onde se pode utilizar um reóstato de 100  $\Omega$  a 1 k $\Omega$ , de acordo com a sensibilidade requerida e a bateria empregue.

## Resultados esperados

Devido à sensibilidade da bússola, convém realizar a experiência uma dezena de vezes, quer aproximando por excesso, quer por defeito a medida a  $45^\circ$ . Deste modo, os erros sistemáticos devidos ao atrito interno da agulha são minimizados.

Um conjunto de experiências adicionais poderá ser realizado para outros ângulos (Fig. 3): com efeito, a tangente do ângulo da bússola é a relação entre a força (torque) exercida pelo campo terrestre e o criado pela bobina. Ao traçar um gráfico do campo em função da tangente do ângulo de desvio da bússola, como a  $\tan \theta = B_{\text{Bobina}}/B_{\text{Terra}}$ , poderemos determinar o declive do ajuste linear do gráfico, que não é mais do que o campo magnético da Terra:

$$B_{\text{Bobina}} = B_{\text{Terra}} \cdot \tan \theta$$

Note-se que, devido aos erros sistemáticos e aleatórios, o valor determinado deverá ser expresso com os devidos algarismos significativos. A sensibilidade ao diâmetro da garrafa é particularmente importante, devido à sua dependência em  $r^2$ . Neste artigo não se deu particular importância ao tratamento de erros devido ao método artesanal empregue (realce para o desvio dos  $33 \mu\text{T}$  medidos para o valor mais preciso de  $26 \mu\text{T}$  determinado em [4]). Contudo, esta experiência é bastante inspiradora e liberta a criatividade dos alunos na obtenção de soluções para a melhoria dos dados experimentais.

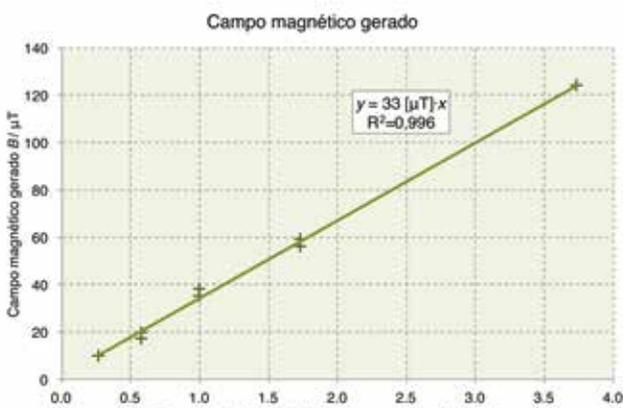


Figura 3 - Campo magnético gerado em função do ângulo da agulha da bússola.

## Referências

1. A. Cartacci e S. Straulino, "Measuring the Earth's magnetic field in a laboratory", *Physics Education* 43(4), 412 (2009).
2. <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/geomaginfo.shtml>, acesso 23/10/2017
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz\\_coil](https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_coil), acesso 23/10/2017
4. <https://ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>, acesso 23/10/2017



**Horácio Fernandes** é professor do Departamento de Física do IST e investigador no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, onde coordena a atividade do tokamak ISTTOK. Em 1999 criou o *e-lab*, laboratório remoto do IST, com acesso livre. Mantém igualmente uma regular participação em divulgação científica. Foi membro do *Technical Advisor Panel* da agência europeia para o ITER (F4E) e investigador coordenador duma atividade de pesquisa da IAEA.