

B-1 Indução Eletromagnética

Este subtema aborda um conceito de grande importância tecnológica, a indução eletromagnética. Este fenômeno físico é a base de inúmeras aplicações do dia a dia, em particular na produção, transporte e distribuição de energia elétrica.

1 Efeito magnético da corrente elétrica. Experiência de Oersted

O que observou Oersted?

Em 1820, o físico dinamarquês **Hans Christian Oersted**, estabeleceu, pela primeira vez, uma **relação entre fenômenos elétricos e magnéticos**. Oersted descobriu que a passagem de corrente num condutor elétrico provocava, na sua vizinhança, um campo magnético.

Para o observar, colocou um fio condutor paralelamente a uma agulha magnética, como se ilustra na figura 92(a). Ao fazer **passar uma corrente elétrica no fio**, observou que a **agulha magnética se desviava** da sua posição de alinhamento com o campo magnético terrestre, orientando-se na direção e sentido do campo induzido, como se mostra na figura 92(b). Interrompendo a passagem de corrente, a agulha magnética retomava a posição inicial. Verificou ainda que, invertendo o sentido da corrente, a agulha da bússola invertia a sua posição, como se ilustra na figura 92(c). Observou ainda que o **campo magnético aumentava com o valor da corrente elétrica**, mas **diminuía com a distância** a essa corrente.



Hans Christian Oersted (1777-1851)

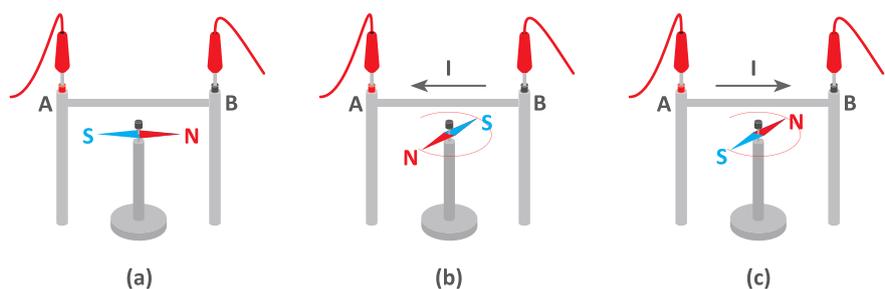


Figura 92 – Ação da corrente elétrica sobre uma bússola.

A saber:

Uma corrente elétrica induz à sua volta um campo magnético.

Quanto maior for a intensidade da corrente elétrica mais intenso é o campo magnético.

Oersted verificou assim, que a corrente elétrica pode produzir fenômenos semelhantes aos verificados com ímanes, isto é, em ambos os casos é produzido um campo magnético.

2 Indução eletromagnética

O que é a indução magnética?

Em 1831, o físico e químico britânico, **Michael Faraday**, demonstrou experimentalmente ser possível **produzir um campo elétrico a partir de um campo magnético variável**. A corrente elétrica assim produzida chama-se **corrente induzida** ou **corrente de indução**.

Este fenómeno designa-se por **indução eletromagnética**.

A montagem experimental ilustrada na figura 93 permite estudar as correntes induzidas.

Quando se aproxima ou se afasta da bobina um íman, o ponteiro do galvanómetro sofre uma deflexão, detetando a presença de uma corrente elétrica. A deflexão do ponteiro é maior com o aumento da rapidez dos movimentos do íman em relação a bobina.

Quando se inverte o sentido de movimento do íman observa-se que o ponteiro do galvanómetro vai novamente defletir, mas em sentido contrário, o que indica que a corrente na espira tem sentido inverso. Do mesmo modo, ao se inverter o íman, trocando o polo voltado para a bobina, a deflexão ocorre também, embora em sentido contrário.

Ao íman utilizado para o efeito chama-se **indutor**, e à bobina, **induzido**.

Na montagem experimental ilustrada na figura 94, duas bobinas são colocadas próximas uma da outra, e mantidas em repouso e sem contacto. Quando se fecha o interruptor, permitindo a passagem de corrente elétrica numa das bobinas, observa-se uma deflexão momentânea do ponteiro do galvanómetro que está no circuito da outra bobina, voltando, a seguir, ao zero. Do mesmo modo, quando se abre o interruptor, o ponteiro sofre uma deflexão momentânea, porém em sentido oposto.

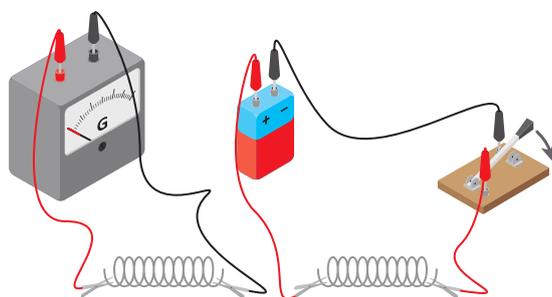


Figura 94 – Indução eletromagnética.

A deflexão só ocorre quando a corrente elétrica que percorre a bobina está a aumentar ou a diminuir.



Michael Faraday (1791-1867)

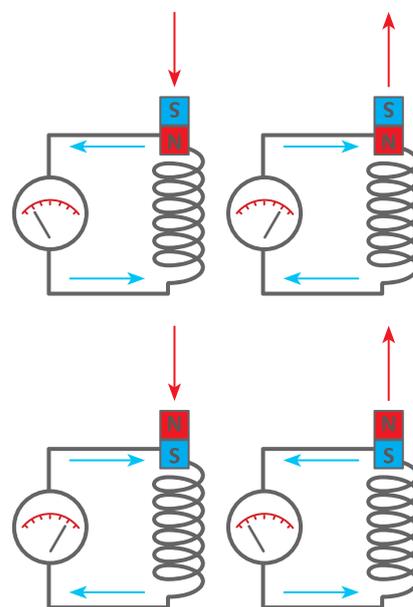


Figura 93 – Indução eletromagnética.

A saber:

O movimento relativo entre um íman e uma bobina cria correntes induzidas.

O sentido do movimento relativo entre um íman e uma bobina altera o sentido da corrente induzida.

Quanto maior a rapidez do movimento relativo entre um íman e uma bobina, maior é a intensidade da corrente induzida.

3 Fluxo magnético

Como se calcula o fluxo magnético através de uma superfície?

Considere-se uma região do espaço onde existe um campo magnético, \vec{B} . O **fluxo do campo magnético**, Φ_B , através de uma superfície de área S , é uma grandeza escalar dada por:

$$\Phi_B = B S \cos \alpha$$

sendo α o ângulo entre um vetor unitário \hat{n} perpendicular ao plano da espira e o vetor campo magnético, \vec{B} .

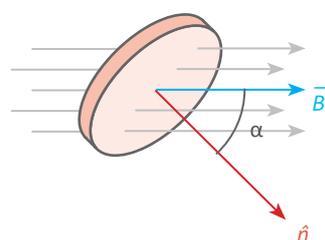


Figura 95 – Fluxo do campo magnético através duma superfície.



Wilhelm Weber (1804-1891)

A unidade no Sistema Internacional para o fluxo magnético é $T \cdot m^2$, ao qual se dá o nome de weber.

Se forem colocadas N espiras num campo magnético uniforme, o fluxo através delas será a soma dos fluxos magnéticos através de cada uma. Se aquelas forem iguais e dispostas paralelamente umas às outras, o fluxo será:

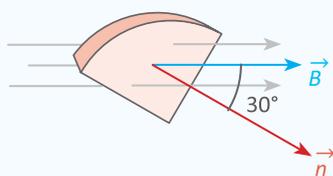
$$\Phi_B = N B S \cos \alpha$$

onde N é o número de espiras.

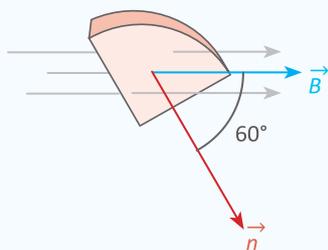
Questões resolvidas

1. A espira da figura tem a forma de um quarto de círculo, e área 10 cm^2 . Encontra-se imersa num campo magnético $B = 2 \text{ T}$. Calcule o fluxo em cada uma das orientações ilustradas.

1.1.



1.2.



Resolução:

1.1. $\Phi_B = B S \cos \alpha = 2 \times 10 \times 10^{-4} \times \cos 30^\circ = 1,7 \text{ mWb.}$

1.2. $\Phi_B = B S \cos \alpha = 2 \times 10 \times 10^{-4} \times \cos 60^\circ = 1,0 \text{ mWb.}$

2. Uma espira condutora com área 20 cm^2 encontra-se num campo magnético uniforme de $1,5 \text{ T}$. Calcule o fluxo magnético através da espira, se as linhas de campo:

2.1. Forem perpendiculares ao plano da espira.

2.2. Fizerem um ângulo de 60° com o plano da espira.

2.3. Fizerem um ângulo de 0° com o plano da espira.

Resolução:

2. Numa região do espaço onde existe um campo magnético uniforme \vec{B} , o fluxo magnético, Φ_B , através de uma espira que delimita uma área S é:

$$\Phi_B = B S \cos \alpha$$

2.1. $\Phi_B = 1,5 \times 20 \times 10^{-4} \times \cos 0^\circ = 3 \text{ mWb.}$

2.2. $\Phi_B = 1,5 \times 20 \times 10^{-4} \times \cos 30^\circ = 2,6 \text{ mWb.}$

2.3. $\Phi_B = 1,5 \times 20 \times 10^{-4} \times \cos 90^\circ = 0 \text{ Wb.}$

4 Força eletromotriz induzida. Lei de Faraday

Quais as condições para se gerar uma força eletromotriz induzida?

A **Lei de Faraday** está na origem da produção de grande parte da energia elétrica. Faraday enunciou a seguinte lei para explicar a indução eletromagnética:

A **força eletromotriz induzida, f.e.m., ε_i** , numa espira é igual à **variação do fluxo magnético que atravessa a espira num determinado intervalo de tempo.**

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

A força eletromotriz induzida é uma tensão elétrica, ou diferença de potencial, que surge num circuito, e a sua unidade Sistema Internacional é o volt, V.

Para que o fluxo magnético varie, pelo menos uma destas condições tem que se verificar:

- o campo magnético variar;
- a área delimitada pela espira sujeita ao campo magnético variar;
- o ângulo entre o plano definido pela espira e o campo magnético variar.

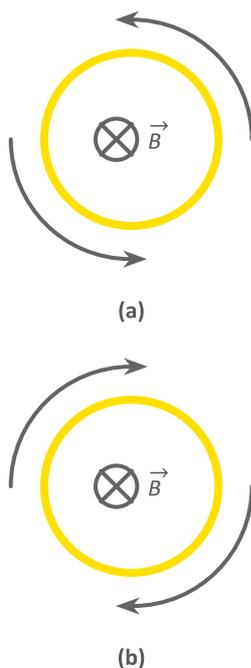


Figura 96 – Corrente induzida com (a) Campo a aumentar. (b) Campo a diminuir.

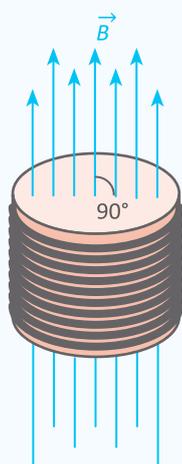
O sinal negativo significa que a indução de uma força eletromotriz é tal que se opõe à variação de fluxo magnético que a origina.

Considere-se a figura 96. Em 96a), o campo magnético está para lá do plano da folha e perpendicular a ele e a sua intensidade aumenta. Logo, o fluxo também aumenta para lá. Para contrariar esse aumento é necessário criar um campo para cá. Isso consegue-se com uma corrente no sentido anti-horário.

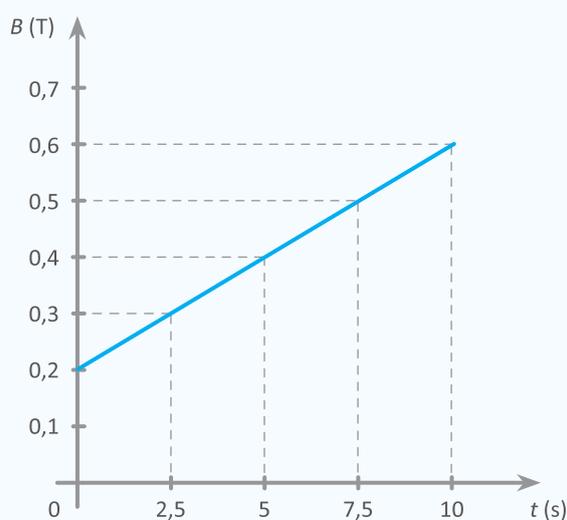
Na figura 96b) o campo magnético está para lá do plano da folha e perpendicular a ele e a sua intensidade diminui. Logo, o fluxo diminui para lá. Para contrariar essa diminuição é necessário criar um campo para lá. Isso consegue-se com uma corrente induzida no sentido horário. Isto é, o sentido da corrente induzida é tal que tende a opor-se à causa que a origina.

Questões resolvidas

1. Uma bobina com 10 espiras de raio 2 cm, encontra-se numa região em que existe um campo magnético, como o representado na figura.



A intensidade do campo magnético varia com o tempo, de acordo com o gráfico representado.



1.1. Determine o fluxo do campo magnético que atravessa a bobina no instante $t = 10$ s.

1.2. Determine o valor da f.e.m. induzida na bobina.

Resolução:

1.1. $\Phi_B = 10 \times 0,6 \times \pi \times (2 \times 10^{-2})^2 \times \cos 0^\circ = 7,5 \times 10^{-3}$ Wb.

1.2. A força eletromotriz induzida na bobina é

$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, pelo que o seu módulo é:

$\varepsilon_i = 10 \times \pi \times (2 \times 10^{-2})^2 \times 0,04 = 0,5$ mV.

2. Considere uma espira quadrada, de perímetro 12 cm, colocada numa região onde existe um campo magnético uniforme, cuja intensidade é 1 T. Determine o fluxo magnético através da espira quando esta é posicionada perpendicularmente às linhas de campo magnético.

Resolução:

2. O ângulo formado entre as linhas de campo magnético e a reta perpendicular à espira é $\alpha = 0$

$$\Phi_B = B S \cos \alpha$$

$$\Phi_B = 1 \times (3 \times 10^{-2})^2 \times \cos 0^\circ = 9 \times 10^{-4} \text{ Wb.}$$