

## Campo Electromagnético 2007/2008

### Aula 17

- Força magnética entre fios.
- Força electromotriz induzida.
- Estudo da lei de Faraday da indução.
- Princípio de Lenz.
- Estudo do campo magnético criado pela força electromotriz induzida
- Resolução de exercícios.

Maria Rute André

rferreira@ua.pt

### Força magnética entre fios



Corrente a circular no mesmo sentido



Corrente a circular em sentidos opostos

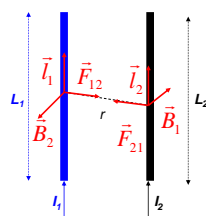
### Resolução de exercícios

16. Um fio condutor está enrolado sobre um toróide de eixo vertical  $\Delta$  e de raio  $b$ . As espiras formam círculos de raio  $a$  ( $a < b$ ) e são juntas, de modo que se conta  $N$  espiras/rad. Determine o campo magnético no interior das espiras, e no exterior, quando o fio está percorrido por uma intensidade  $I$ .

Solução:  $\vec{B}_{\text{int}} = \mu_0 \frac{NI}{r} \vec{u}_\theta$  ;  $\vec{B}_{\text{ext}} = 0$

### Força magnética entre fios

Consideremos dois fios condutores, de comprimento  $L_1$  e  $L_2$ , que transportam correntes diferentes.



Considerando os fios infinitos,

A força total exercida em cada fio será:

$$\vec{F}_{21} = I_2 \vec{L}_2 \times \vec{B}_1 \quad \wedge \quad \vec{F}_{12} = I_1 \vec{L}_1 \times \vec{B}_2$$

Em módulo:

$$F_{21} = I_2 L_2 B_1 \quad \wedge \quad F_{12} = I_1 L_1 B_2$$

Pela Lei de Biot-Savat

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} \quad \wedge \quad B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$$

$$F_{21} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L_2}{2\pi r} \quad \wedge \quad F_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L_1}{2\pi r}$$

Pela "regra da mão direita", cada força tende a aproximar um fio do outro

### Resolução de exercícios

8. Dois fios condutores rectilíneos, paralelos e infinitos, distanciados de  $d$ , estão percorridos pelas correntes  $I$  e  $I'$ . Entre eles e no mesmo plano, coloca-se um terceiro fio condutor de comprimento  $L$ , percorrido por  $I''$  e podendo deslocar-se lateralmente.

- Como devem ser os sentidos das correntes para existir uma posição de equilíbrio do 3º condutor entre os dois primeiros?
- Qual é a posição de equilíbrio do 3º condutor? Será que o comprimento desse tem uma influência? Discute a estabilidade do equilíbrio.

Solução: a)  $I$  e  $I'$  de mesmo sentido b)  $x = \frac{1}{|I - I'|} d$

### Indução magnética

#### Lei geral da indução ou lei de Faraday

Até agora, sabemos que:

1. distribuições de carga, geram campo eléctrico
2. distribuições de corrente, geram campo magnético, podendo concluir que o O campo eléctrico e magnético são independentes.

Tal só é válido, se o campo magnético não variar no tempo. Se o campo magnético variar no tempo, origina um campo eléctrico (induzido) que, de um modo geral, também varia no tempo (Faraday, em 1831).

## Indução magnética

### Lei geral da indução ou lei de Faraday

Consideremos a seguinte experiência



O ponteiro do galvanômetro move-se em diferentes direcções, quando a barra se afasta e se aproxima.



Não existe corrente induzida no anel, quando a barra magnética não se move



O aparecimento da corrente é compreensível pela existência de uma f.e.m induzida ( $\epsilon$ ).

## Indução magnética

### Lei geral da indução ou lei de Faraday

Vamos definir as várias convenções de sinais:

1. Fem e correntes são positivas se forem contrárias ao sentido de movimento dos ponteiros do relógio;
2. o fluxo é positivo se apontar no sentido do observador

Basta pensar que o sentido positivo do fluxo e corrente se relaciona com a regra do saca rolhas.

## Indução magnética

### Lei geral da indução ou lei de Faraday

Verifica-se, experimentalmente, que  $\epsilon$  só depende da taxa de variação do fluxo magnético ( $\phi$ ), através da espira:

$$\epsilon = - \frac{d\phi}{dt}$$

Como sabemos que:

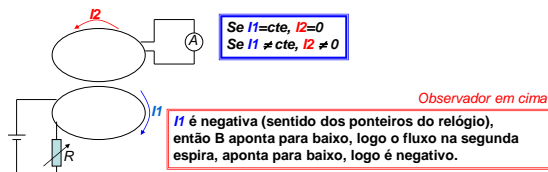
$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Existem situações em que há variação do fluxo e, por conseguinte, a existência de correntes induzidas:

1. variação da intensidade de campo magnético
2. variação da área  $dS$
3. variação do ângulo entre os vectores campo magnético ( $B$ ) e  $dS$

## Indução magnética

### Lei geral da indução ou lei de Faraday



$$I1 \text{ aumenta com o tempo: } \left( -\frac{dI1}{dt} > 0 \right) \quad I1 \text{ diminui com o tempo: } \left( -\frac{dI1}{dt} < 0 \right)$$

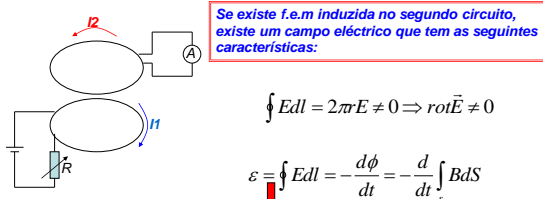
$I1$  é negativa

$$\Rightarrow \frac{d\phi}{dt} < 0 \Leftrightarrow -\frac{d\phi}{dt} > 0 \Rightarrow \quad \Rightarrow \frac{d\phi}{dt} > 0 \Leftrightarrow -\frac{d\phi}{dt} < 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{corrente induzida } I_2 (\alpha\epsilon) \text{ é positiva} \quad \Rightarrow \text{corrente induzida } I_2 (\alpha\epsilon) \text{ é negativa}$$

## Indução magnética

### Lei geral da indução ou lei de Faraday



Aplicando o teorema de Stokes

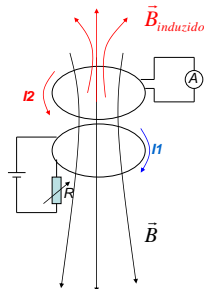
$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$$

Lei pontual da indução

## Indução magnética

**Lei de Lenz:** a f.e.m induzida, produz um fluxo que tende a opor-se à causa que a originou.

Exemplos práticos



Se  $I1$  está a aumentar no tempo, então do fluxo do vector  $B$ , através do segundo circuito, também, aumenta no tempo.

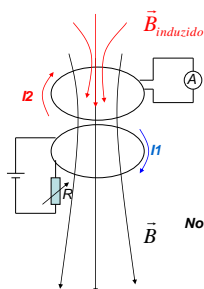
A Corrente  $I2$ , cria um campo  $B$  induzido que se opõe a esta variação de  $B$

O sentido de  $B$  é oposto a  $B_{\text{induzido}}$ .

## Indução magnética

**Lei de Lenz:** a f.e.m induzida, produz um fluxo que tende a opor-se à causa que a originou.

Exemplos práticos



Se  $I_1$  está a diminuir no tempo, então do fluxo do vector  $B$ , através do segundo circuito, também, diminui no tempo.

A corrente  $I_2$ , cria um campo  $B_{\text{induzido}}$  que se opõe a esta variação de  $B$

O sentido de  $B$  é o mesmo de  $B_{\text{induzido}}$ .

Nota: f.e.m numa espira  $\mathcal{E} = -\frac{d\phi}{dt}$

f.e.m em  $n$  espiras  $\mathcal{E} = -n\frac{d\phi}{dt}$