



# FÍSICA III

Professora Mauren Pomalis

[mauren.pomalis@unir.br](mailto:mauren.pomalis@unir.br)

ENGENHARIA ELÉTRICA - 3º PERÍODO

UNIR/PORTO VELHO

2017/1

# Lei de Faraday

# Sumário

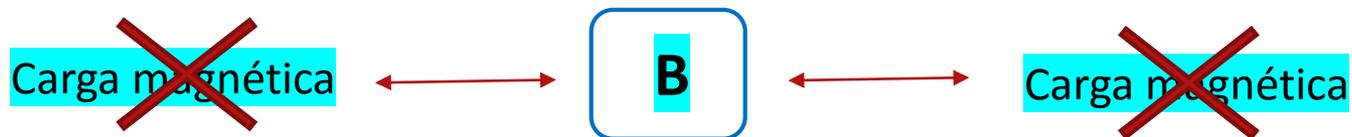
- ▶ Introdução
- ▶ Experiências de Faraday
- ▶ Lei de Faraday
- ▶ Fluxo Magnético
- ▶ Lei de Lenz
- ▶ Indução e Transferência de energia
- ▶ Campo elétrico induzido

# Introdução

- ▶ Estudamos sobre campo elétrico, e como ele é produzido.



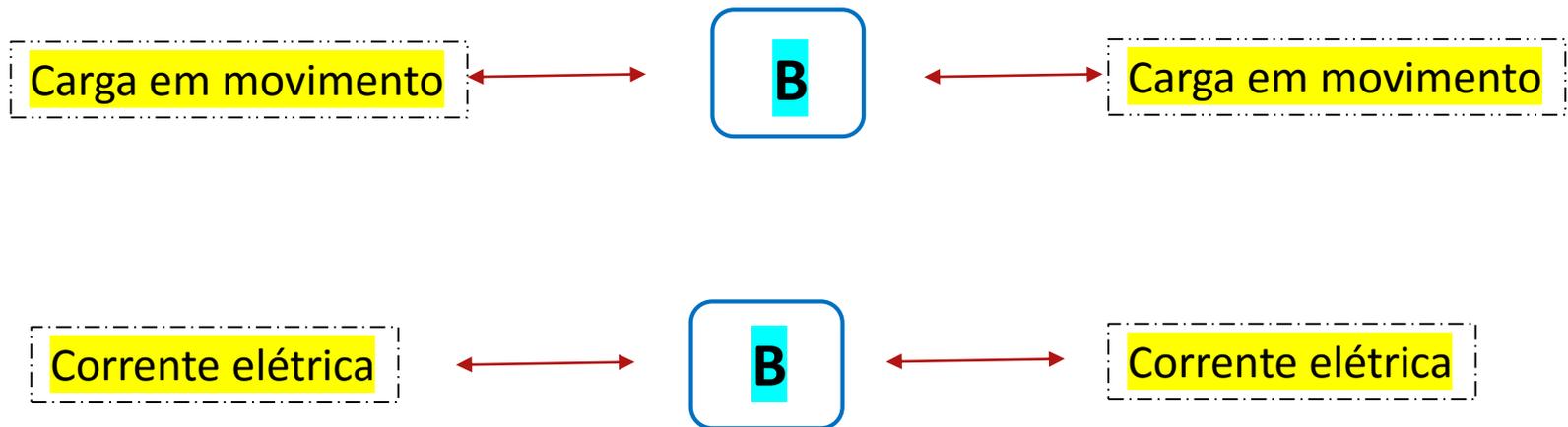
- ▶ Então, iniciamos o estudo de campo magnético. Onde analogias poderiam nos levar a pensar da seguinte forma:



- ▶ Porém, como já visto, não há objetos puntiformes isolados dos quais emergem linhas de campo magnético (ou até o momento não foram encontrados na natureza).

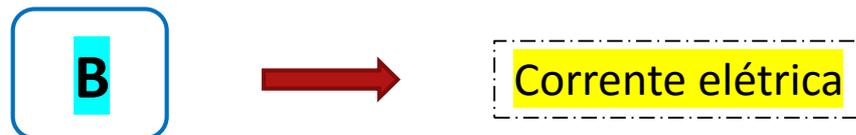
# Introdução

- ▶ Vimos que o campo magnético é produzido por:



# Introdução

- ▶ Agora estudaremos campo magnético que produz corrente elétrica.



# Lei da Indução de Faraday

- ▶ Portanto, um campo magnético pode gerar um campo elétrico, capaz de produzir uma corrente. A ligação entre um campo magnético e um campo elétrico produzido (*induzido*) é chamada de Lei da indução de Faraday.

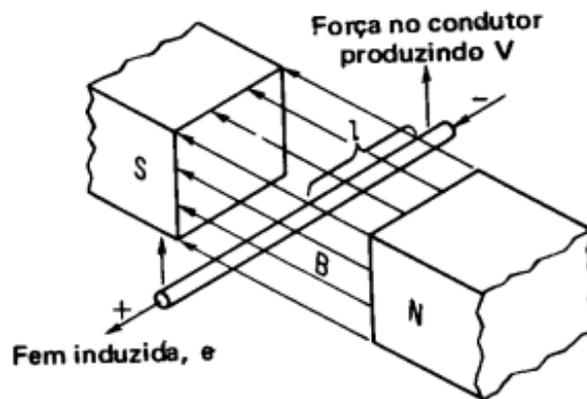
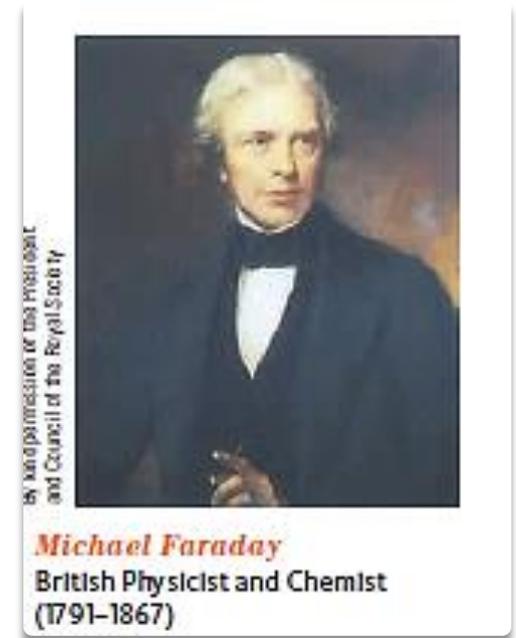


Fig. 1-1 — Condutor de comprimento  $l$  movendo-se em um campo magnético  $B$ , para gerar uma fem.

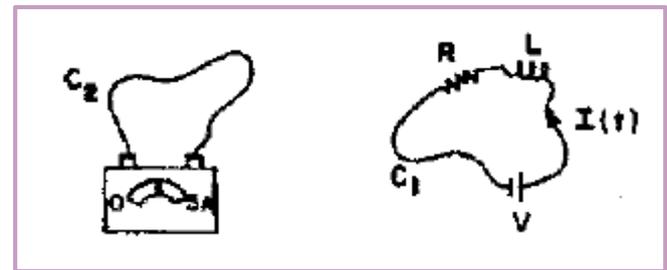
# Experiências de Faraday

- ▶ Michael Faraday, após a descoberta do fenômeno de eletromagnetismo por Orsted, em 1820, teve contato com pesquisa na área do eletromagnetismo.
- ▶ Faraday, estimulado por leituras, iniciou sua pesquisa através de experiências sobre rotações de ímãs e fios condutores de eletricidade utilizando os efeitos eletromagnéticos.

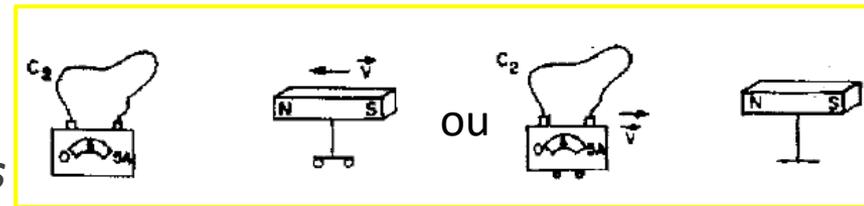


# Experiências de Faraday

- ▶ Em 1831 fez a descoberta de que uma **corrente era induzida** num circuito secundário desde que esta **corrente variasse** num circuito primário.



- ▶ Viu que também ocorria corrente induzida no segundo, mesmo com corrente constante no primeiro, SE houvesse **movimento relativo entre os 2 circuitos**.

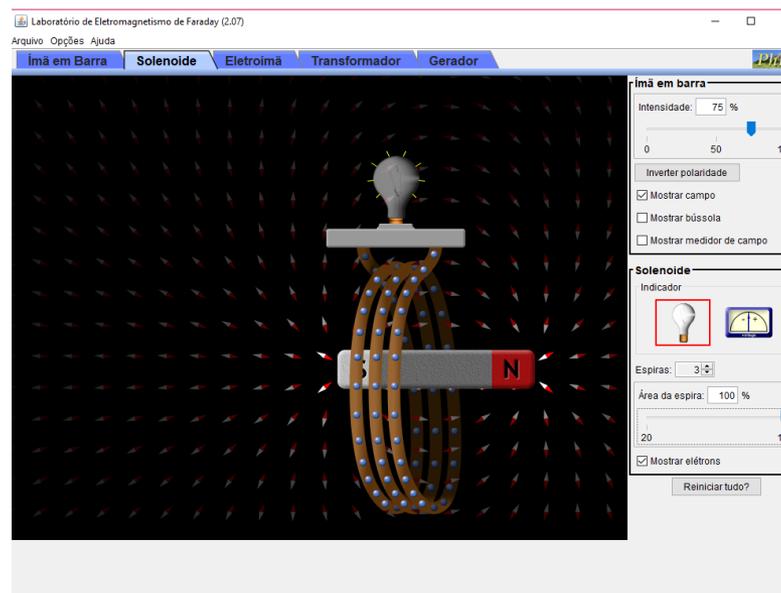


- ▶ E ainda, se a área dos circuitos fosse alterada, haveria geração de corrente enquanto houvesse a **variação da área**.



# Experiências de Faraday

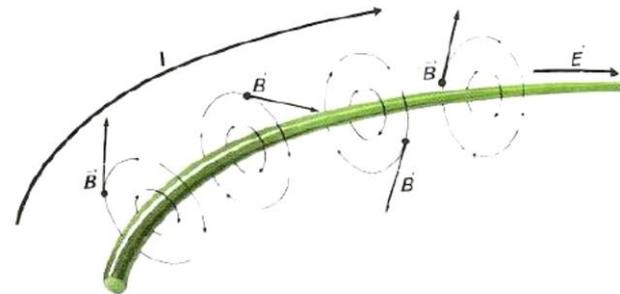
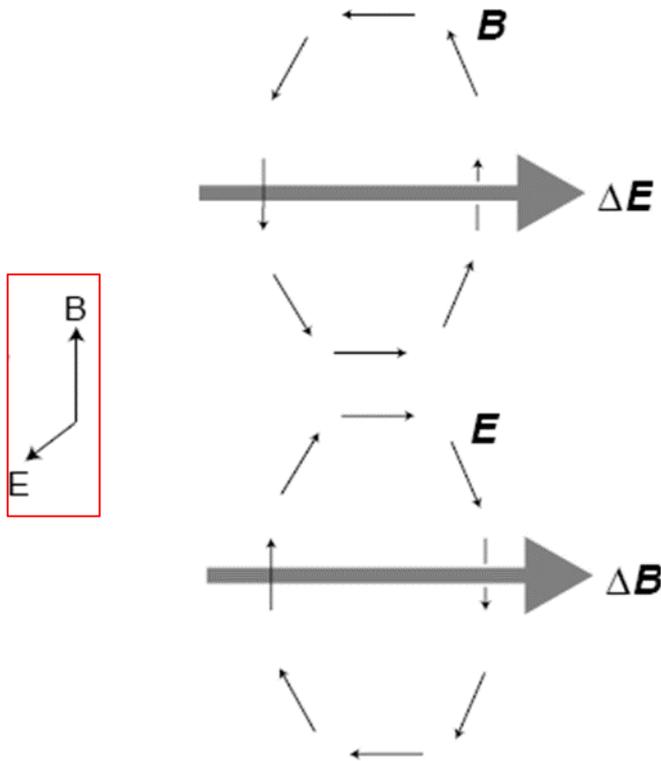
- ▶ A palavra chave era, portanto, **VARIAÇÃO!**



Simulador\* [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/faraday](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday)

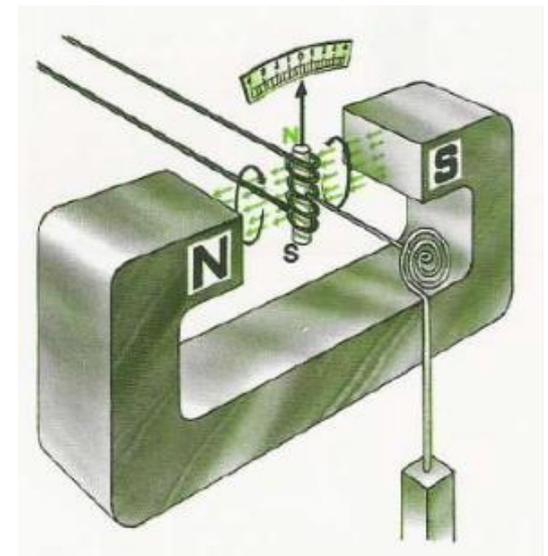
# Experiências de Faraday

- ▶ A corrente que aparece na bobina é chamada de corrente induzida, e o trabalho realizado por unidade de carga, chama-se *fem* induzida.



# Experiências de Faraday

- ▶ Lei de Faraday:
- ▶ “Uma *fem* é induzida na bobina quando o número de linhas de campo magnético que atravessam a bobina estiver variando”. (conforme Halliday)
- ▶ “O valor da tensão induzida em uma simples espira de fio é proporcional à razão de variação das linhas de força que passam através daquela espira” (conforme Kosow, 2005).



# Fluxo magnético

- ▶ O número de linhas magnéticas que atravessam uma superfície qualquer é denominada de FLUXO MAGNÉTICO, e é definido pela fórmula:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (\text{fluxo magnético através da área } A)$$

- ▶ \*mesma definição de fluxo de campo elétrico

# Fluxo magnético

- ▶ Num caso em que  $\mathbf{B}$  tenha o mesmo módulo em toda a área  $A$ , plana e perpendicular a  $\mathbf{B}$ :

$$\Phi_B = BA \quad (\vec{B} \perp \text{área } A, \vec{B} \text{ uniforme})$$

- ▶ A unidade do fluxo magnético é Tesla.metro quadrado.
  - ▶ Portanto,  $\text{T}\cdot\text{m}^2$
  - ▶ Recebeu o nome de Weber (Wb)

$$1 \text{ weber} = 1 \text{ Wb} = 1 \text{ T}\cdot\text{m}^2$$

# Lei de Faraday

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

O módulo da força eletromotriz  $\mathcal{E}$  induzida em uma espira condutora é igual à taxa de variação com o tempo do fluxo magnético  $\Phi_B$  que atravessa a espira.

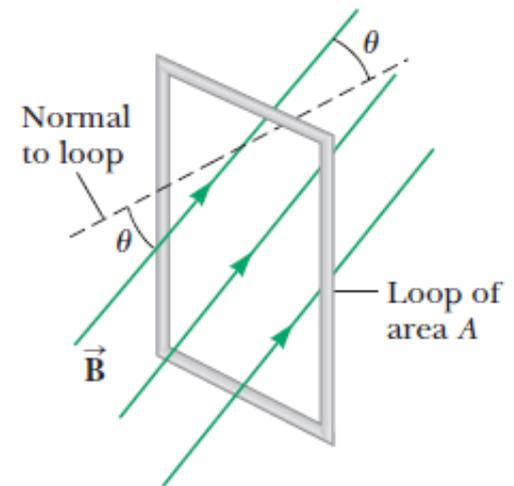
# Fluxo magnético

- ▶ Se variarmos o fluxo magnético através da bobina com  $N$  espiras, surge um *fem* induzida em cada espira, elas devem ser somadas.
- ▶ Para enrolamentos compactos:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{bobina de } N \text{ espiras})$$

# Fluxo magnético

- ▶ Existem 3 formas de mudar o fluxo magnético que atravessa uma bobina:
  - ▶ Mudar o módulo de  $\mathbf{B}$ .
  - ▶ Mudar a área total da bobina ou a parte da área atravessada pelo campo magnético.
  - ▶ Mudar o ângulo entre a orientação do campo magnético e o plano da bobina.



$\Phi_B = \oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{A}}$  is the magnetic flux through the loop

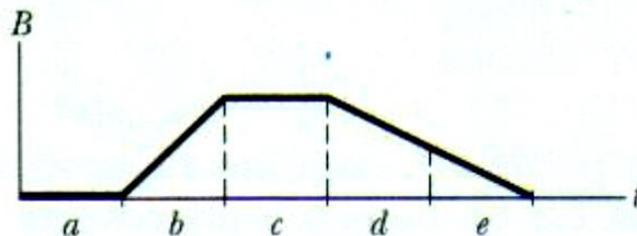
$$\Phi_B = BA \cos \theta$$

$$\mathcal{E} = -\frac{d}{dt}(BA \cos \theta)$$

# Fluxo magnético



**TESTE 1** O gráfico mostra o módulo  $B(t)$  de um campo magnético uniforme que atravessa uma bobina condutora, com o direção do campo perpendicular ao plano da bobina. Coloque as cinco regiões do gráfico na ordem do valor absoluto da força eletromotriz induzida da bobina, começando pelo maior.



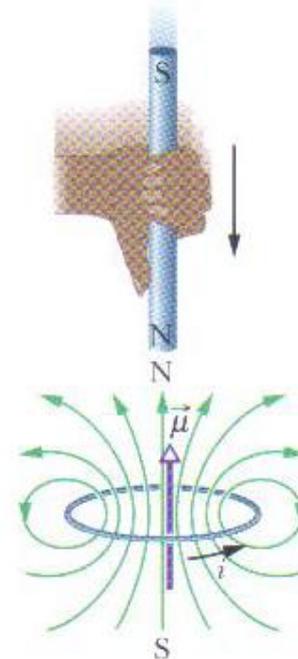
$$b > d \text{ e } e (=) > a \text{ e } c (= 0)$$

Exercício\*

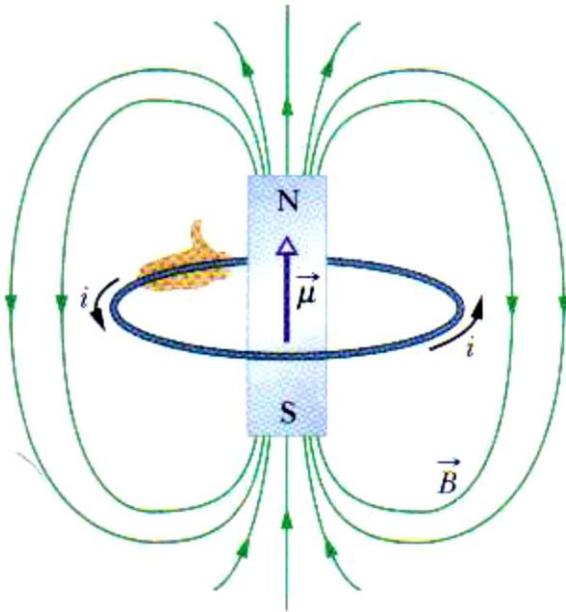
# Lei de Lenz

A corrente induzida em uma espira tem um sentido tal que o campo magnético produzido *pela corrente* se opõe ao campo magnético que induz a corrente.

- ▶ O momento dipolar magnético do campo magnético criado é oposto ao movimento do ímã.



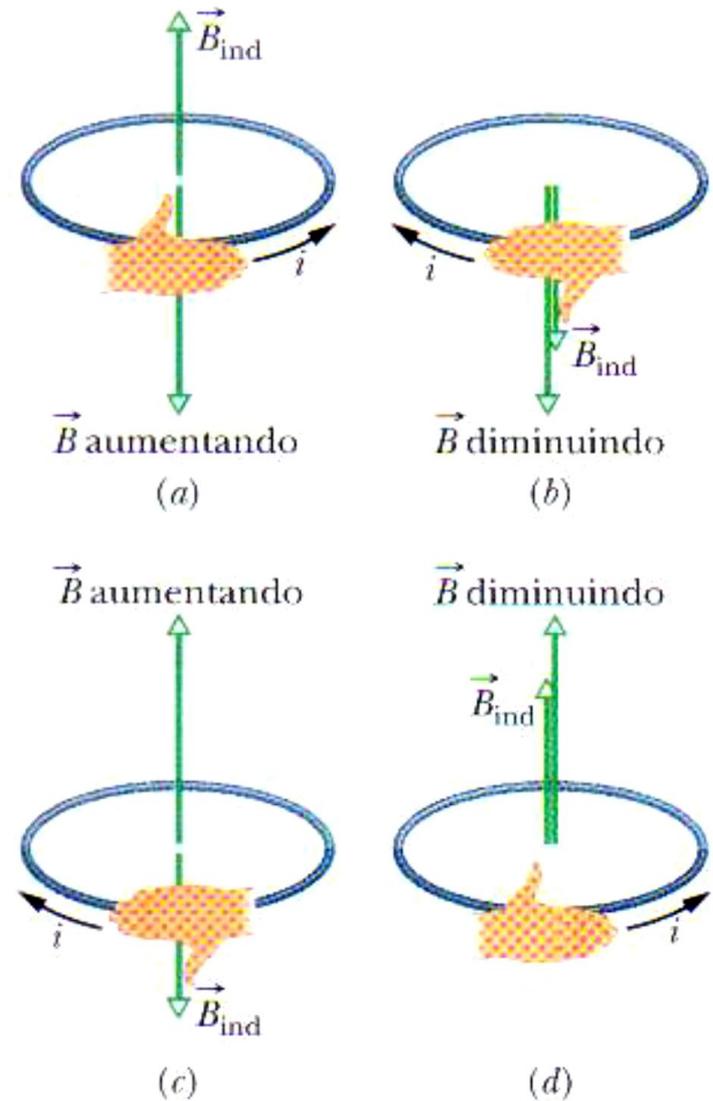
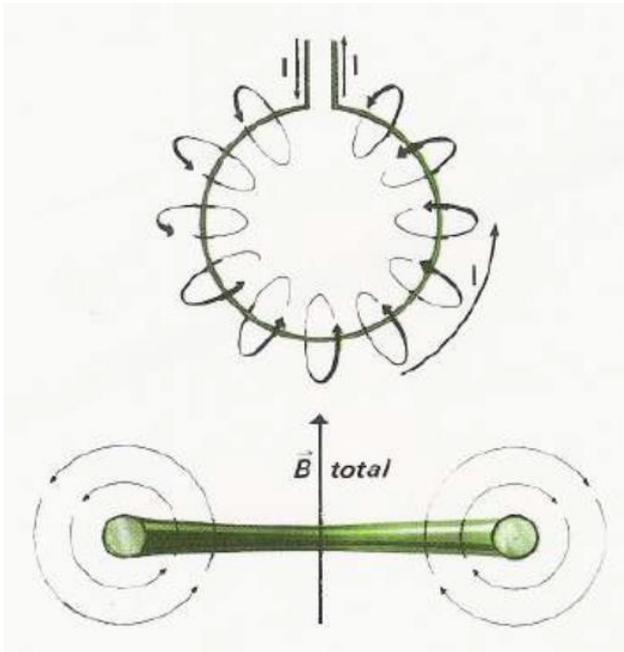
# Campo Magnético/dipolo magnético



$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\vec{\mu}}{z^3} \quad (\text{bobina percorrida por corrente})$$

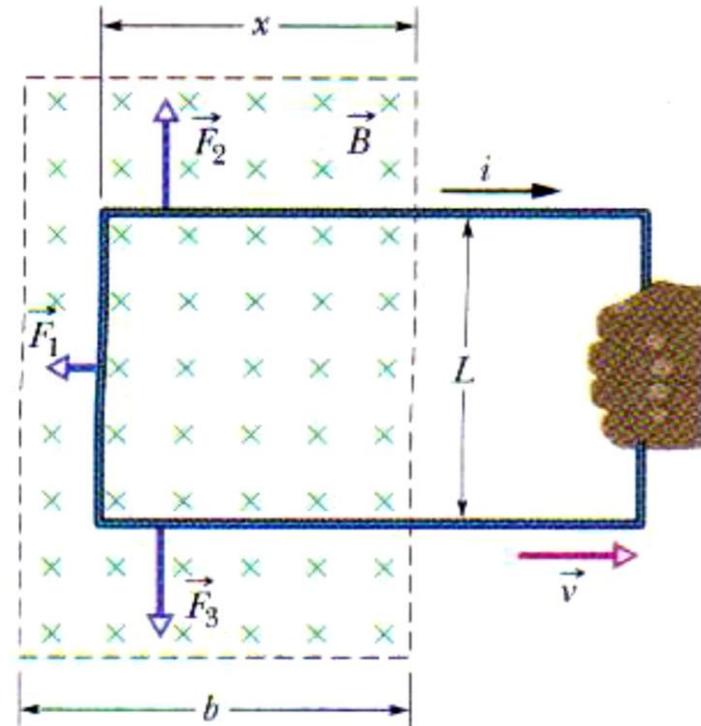
# Lei de Lenz

- ▶ O campo magnético total numa bobina:



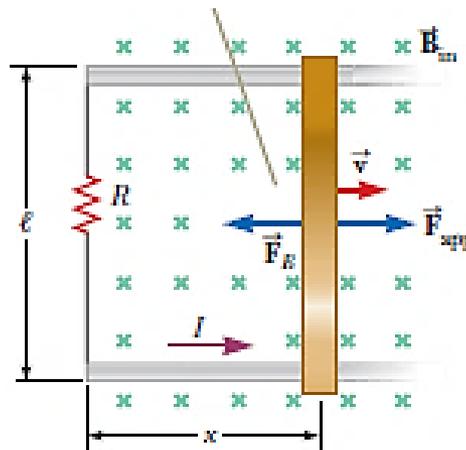
# Lei de Lenz

- ▶ De acordo com a lei de Lenz, quando ímã é aproximado ou afastado da espira uma força magnética oferece resistência ao movimento, e portanto, é preciso realizar trabalho positivo.
- ▶ Ao mesmo tempo uma energia térmica é produzida na espira, por causa da resistência elétrica do material à corrente induzida na espira pelo movimento.
- ▶ Quanto mais rápido é o movimento do ímã, mais rapidamente a força aplicada realiza trabalho, e também maior a transformação em energia térmica. Ou seja, maior a POTÊNCIA associada a essa transferência de energia.

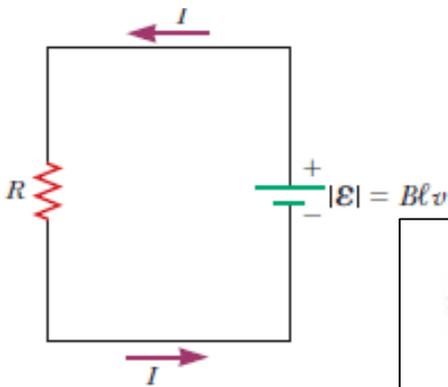


$$P = F_{\text{app}}v$$

**Quick Quiz 31.2** In Active Figure 31.8a, a given applied force of magnitude  $F_{\text{app}}$  results in a constant speed  $v$  and a power input  $P$ . Imagine that the force is increased so that the constant speed of the bar is doubled to  $2v$ . Under these conditions, what are the new force and the new power input? (a)  $2F$  and  $2P$  (b)  $4F$  and  $2P$  (c)  $2F$  and  $4P$  (d)  $4F$  and  $4P$



# Indução e Transferência de Energia



$$\Phi_B = BA = BLx$$

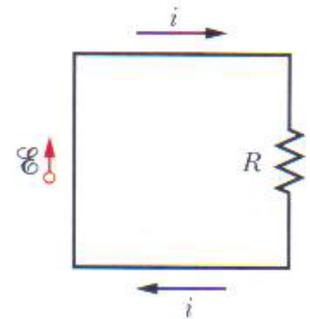
$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{d}{dt} BLx = BL \frac{dx}{dt} = BLv$$

$$P = Fv = \frac{B^2 L^2 v^2}{R} \quad (\text{taxa de execução do trabalho})$$

$$P = i^2 R$$

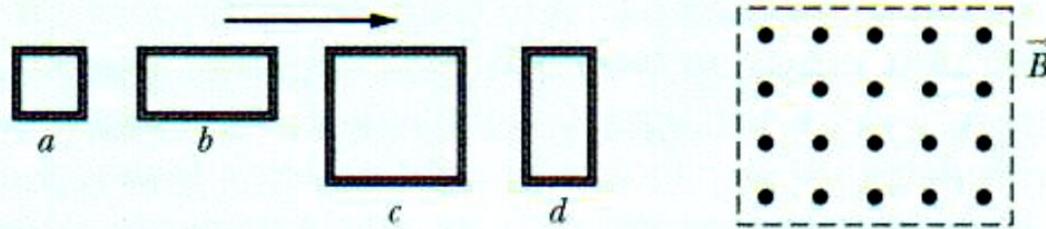
$$i = \mathcal{E}/R$$

$$P = \left( \frac{BLv}{R} \right)^2 R = \frac{B^2 L^2 v^2}{R} \quad (\text{taxa de geração de energia térmica})$$





**TESTE 3** A figura mostra quatro espiras de fio cujos lados têm comprimento  $L$  ou  $2L$ . As quatro espiras se movem com a mesma velocidade constante em uma região onde existe um campo magnético uniforme  $\vec{B}$  (dirigido para fora do papel). Coloque as quatro espiras na ordem do valor absoluto da força eletromotriz induzida, começando pelo maior.



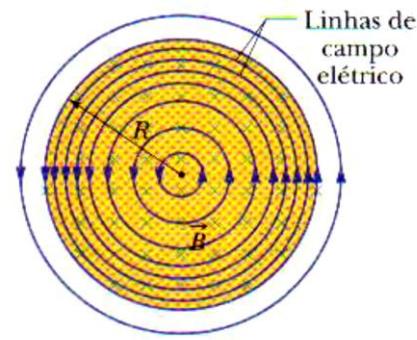
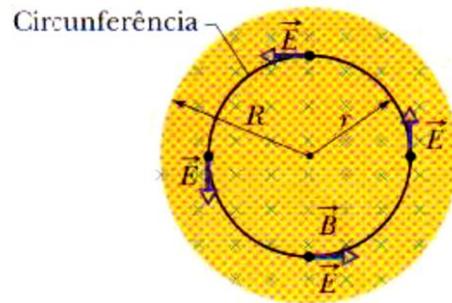
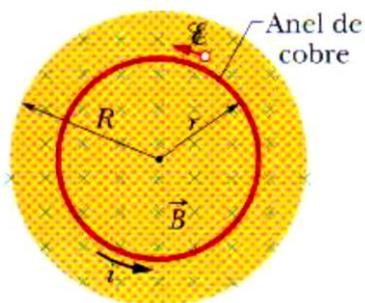
$$\mathcal{E} = -B\ell v$$

$$R.: c e d (=) > a e b (=)$$

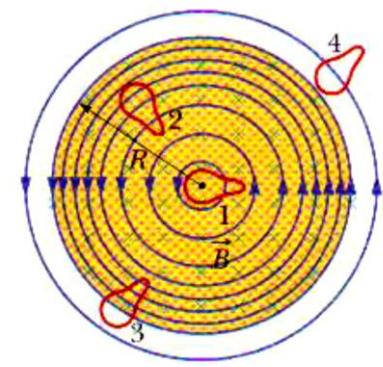
# Campos elétricos induzidos

Um campo magnético variável produz um campo elétrico.

Enquanto o campo magnético está *aumentando*, o campo elétrico representado pelas linhas de campo circulares da Fig. 30-16c continua a existir. Se o campo magnético se torna *constante*, o campo elétrico desaparece e com ele as linhas de campo. Se o campo magnético começa a *diminuir* (a uma taxa constante), as linhas de campo voltam a ser circunferências concêntricas como na Fig. 30-16c, mas com o sentido oposto. Tudo isso é consequência da afirmação de que “um campo magnético variável produz um campo elétrico”.



(c)



(d)

# Reformulação da Lei de Faraday

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{lei de Faraday})$$

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} = (q_0 E)(2\pi r)$$

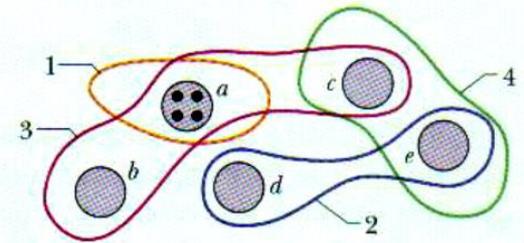
$$W = \mathcal{E} q_0,$$

$$\mathcal{E} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}.$$

# Potencial Elétrico (visão em magnetismo)

➔ O potencial elétrico tem significado apenas para campos elétricos produzidos por cargas estáticas; o conceito não se aplica aos campos elétricos produzidos por indução.

✓ **TESTE 4** A figura mostra cinco regiões, identificadas por letras, nas quais um campo magnético uniforme entra ou sai do papel com o sentido indicado apenas no caso da região *a*. O módulo do campo está aumentando à mesma taxa nas cinco regiões, que possuem áreas iguais. A figura mostra também quatro trajetórias numeradas, ao longo das quais  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$  tem os módulos indicados a seguir em termos de uma constante “mag”. Determine se o campo magnético está orientado para dentro ou para fora do papel nas regiões *b*, *c*, *d* e *e*.



Trajectoria	1	2	3	4
$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$	mag	2(mag)	3(mag)	0

R.:  
*b* saindo  
*c* saindo  
*d* entrando  
*e* entrando

# Referências Bibliográficas

- ▶ HALLIDAY, Resnick. Física 3. 4ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 1996.
- ▶ HALLIDAY, Resnick. Física 3. 8ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2009.
- ▶ DIAS, V. S. Michael Faraday: Subsídios para metodologia de trabalho experimental. Dissertação de mestrado. USP, Instituto de Física. São Paulo, 2004.
- ▶ SERWAY, R.A.& JEWETT, J.W. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. 8ª edição. Ed Brooks/Cole Cengage, 2010.
- ▶ TIPLER, Paul. Física Volume 2. 5ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2006.
- ▶ CROWELL, Benjamin. Electricity and Magnetism. California, USA. Ed. Light and Matter, 2002.
- ▶ ULABY, Fawwaz T. Eletromagnetismo para engenheiros. Porto Alegre/RS. Editora Bookman, 2007. (original da Universidade de Michigan).