

Eletromagnetismo

4300372

F.S. Navarra

navarra@if.usp.br

Guilherme Germano (monitor)

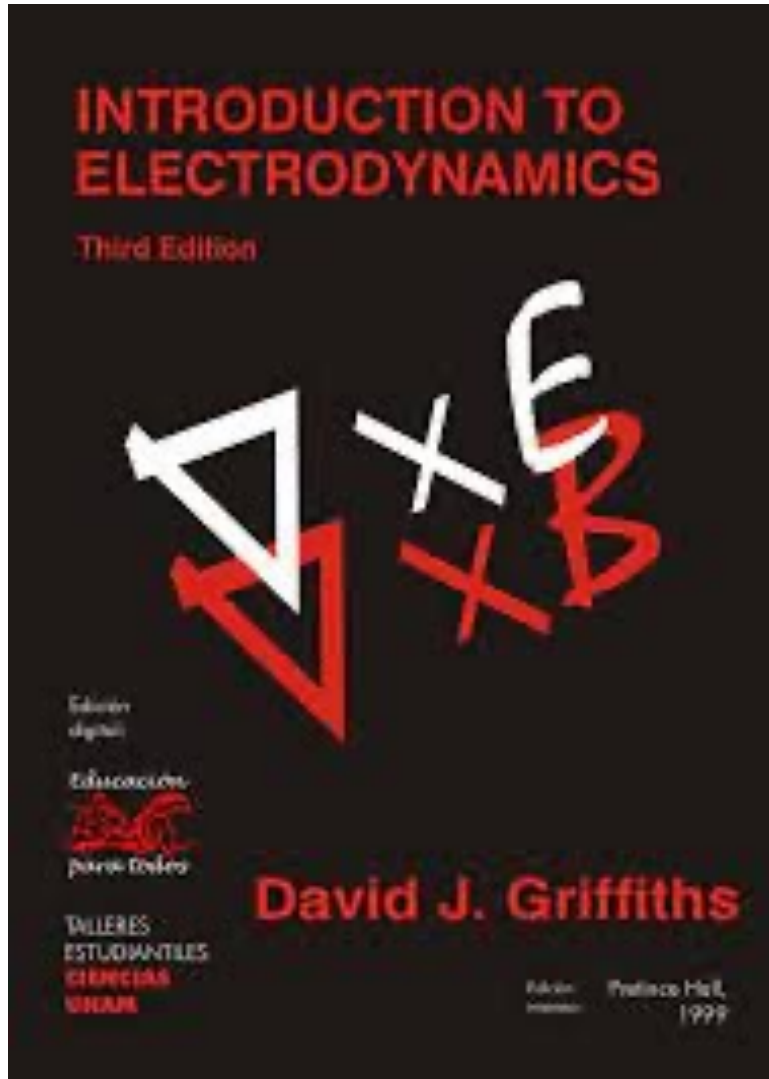
guilherme.germano@usp.br

edisciplinas.if.usp.br

Plano do Curso

16/08	13/09	11/10	08/11
19/08	16/09	14/10	11/11
23/08	20/09 P1	18/10	15/11
26/08	23/09	21/10 P2	18/11
30/08	27/09	25/10	22/11
02/09	30/09 ←	28/10	25/11
06/09	04/10	01/11	29/11 P3
09/09	07/10	04/11	02/12 ex
			06/12 Sub

Bibliografia



Capítulo 2 : eletrostática

Capítulo 5 : magnetostática

Capítulo 7 : eletrodinâmica

Capítulo 8 : leis de conservação

Capítulo 9 : ondas eletromagnéticas

Capítulo 10 : campos e potenciais

Capítulo 11 : radiação

Aula 11

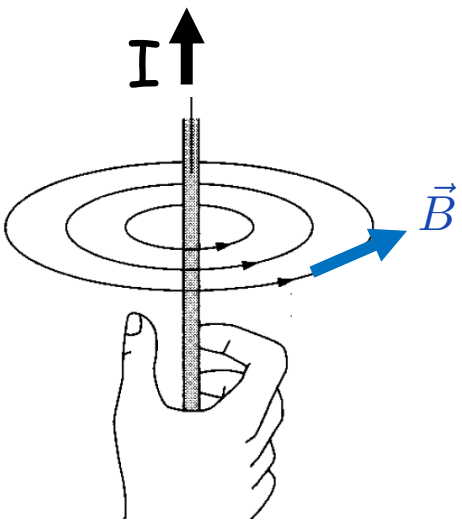
Eletrodinâmica

Campos elétricos e magnéticos variando no tempo

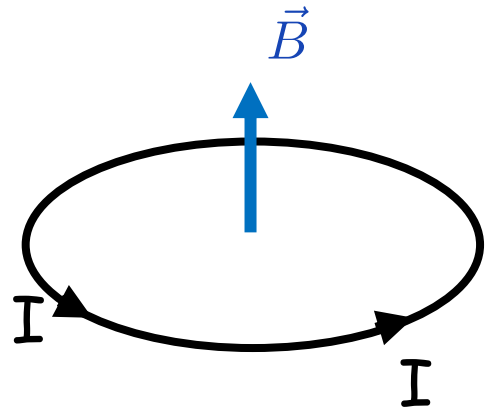
Indução: Lei de Faraday

Vamos lembrar dos seguintes fatos:

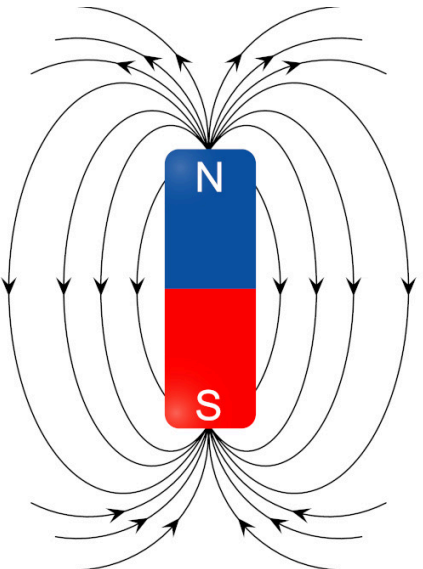
Corrente num fio retilíneo gera campo magnético



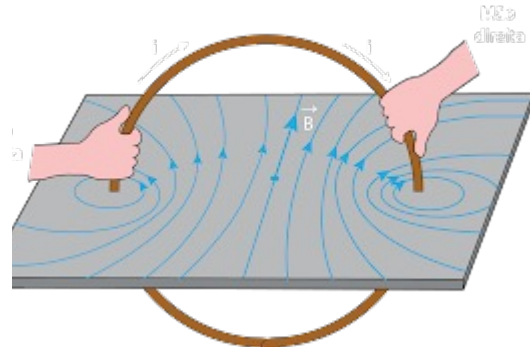
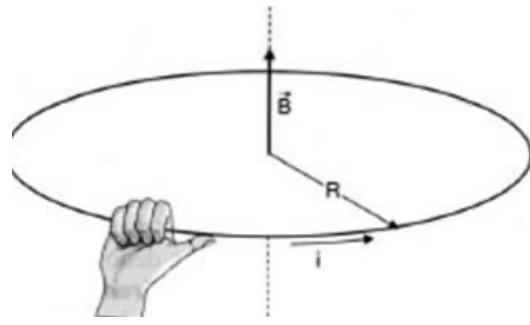
Corrente numa espira gera campo magnético



Ímã gera campo magnético

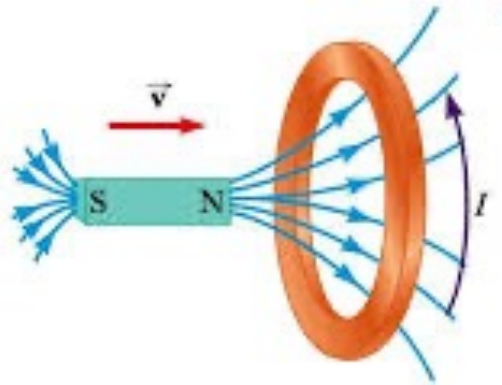


Regra da mão direita:
dedão no sentido da corrente;
dedinhos indicam o sentido do campo magnético

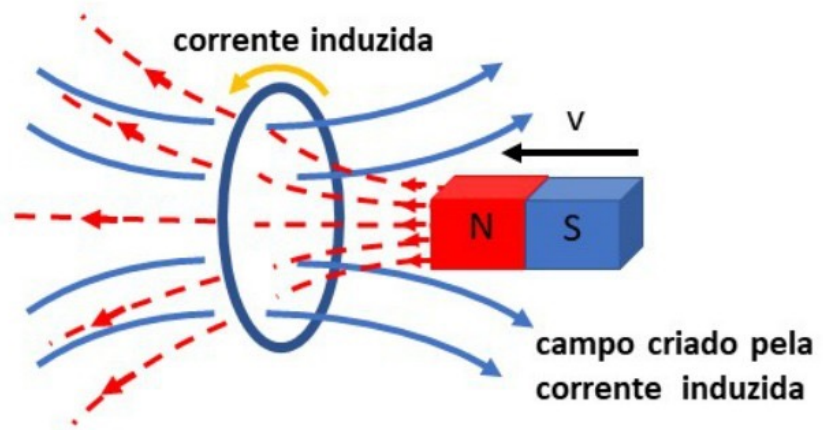
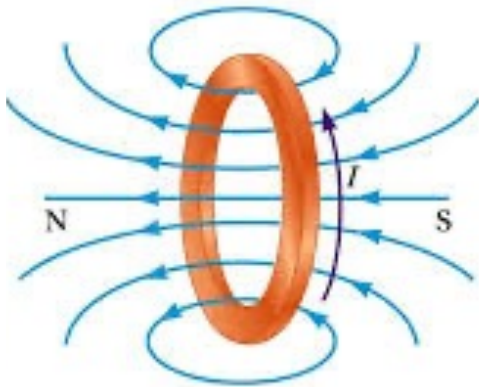


Experiência da espira e do ímã

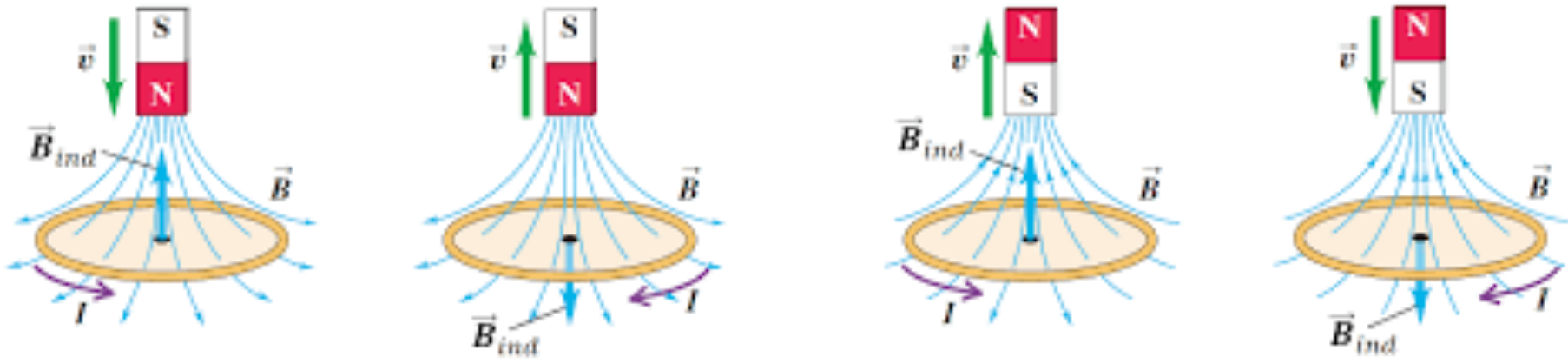
Aproximamos um ímã de uma espira e vemos que surge uma corrente nela



A corrente (induzida) na espira cria um campo magnético (induzido)



Vamos considerar todos os casos

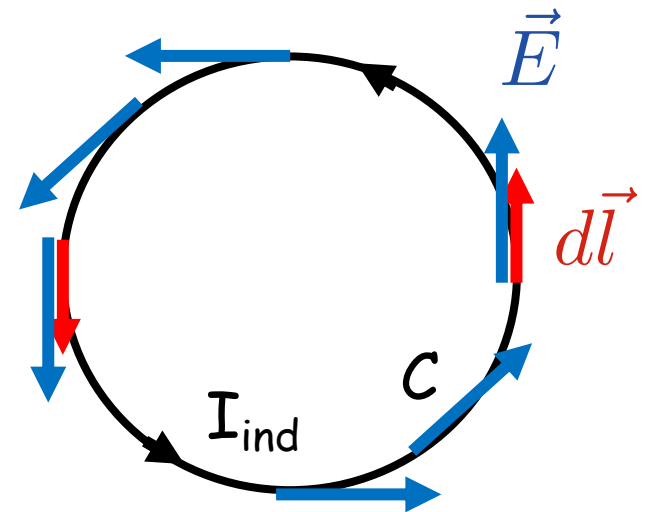


Regra: a corrente induzida cria um campo induzido que **anula a variação do fluxo** de campo magnético que atravessa a espira.

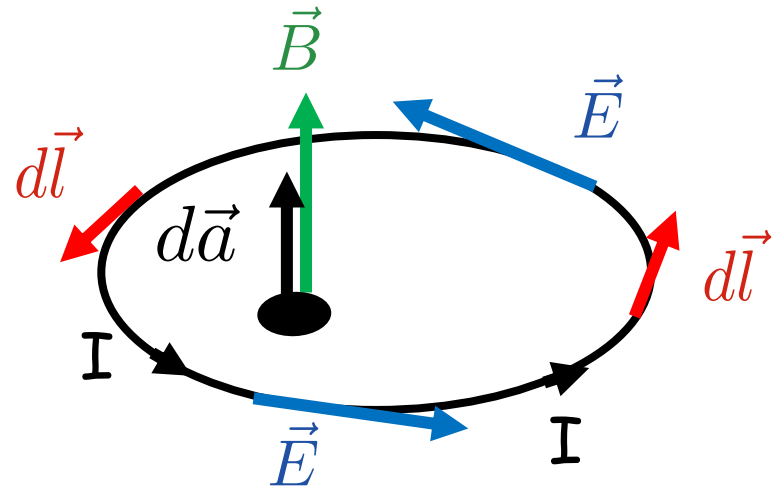
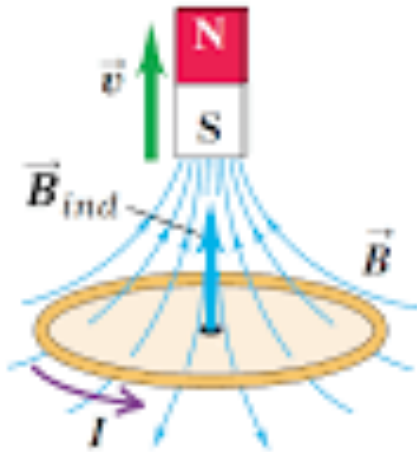
A corrente induzida é feita de cargas em movimento

As cargas se movem porque há um campo elétrico "rodante" !!!

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \neq 0 \qquad \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = \epsilon$$



$$\epsilon = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \text{força eletromotriz (fem) induzida}$$



Fluxo de campo magnético que atravessa a espira : $\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{a}$

Quando o ímã se move o fluxo varia no tempo : $\frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{a}$

Lei da Indução de Faraday : $\epsilon = - \frac{d\phi}{dt}$

A fem induzida surge para anular a variação do fluxo de B !

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{a}$$

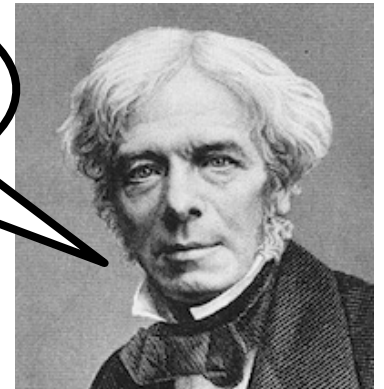
$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_S (\vec{\nabla} \times \vec{E}) \cdot d\vec{a} \quad \text{Teorema de Stokes}$$

$$\int_S (\vec{\nabla} \times \vec{E}) \cdot d\vec{a} = \int_S \left(-\frac{\partial}{\partial t} \vec{B}\right) \cdot d\vec{a}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Lei de Faraday na
forma diferencial

Gente,
não sei cálculo !



Michael Faraday
(1791 - 1867)

Pobre...só tinha a educação básica

Trabalhava como encadernador (lia os livros que encadernava)

Um dos cientistas mais influentes da história

Conceito de campo eletromagnético

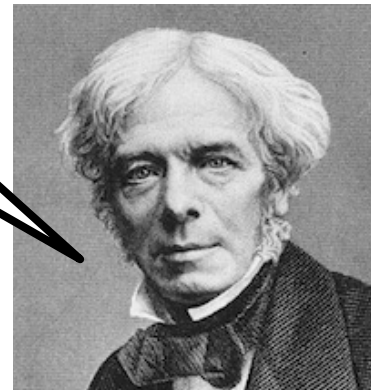
Tecnologia dos motores elétricos

Unidade de capacitância: farad

Descobriu o benzeno...

Professor de química na Royal Institution

Not for
the money



Michael Faraday

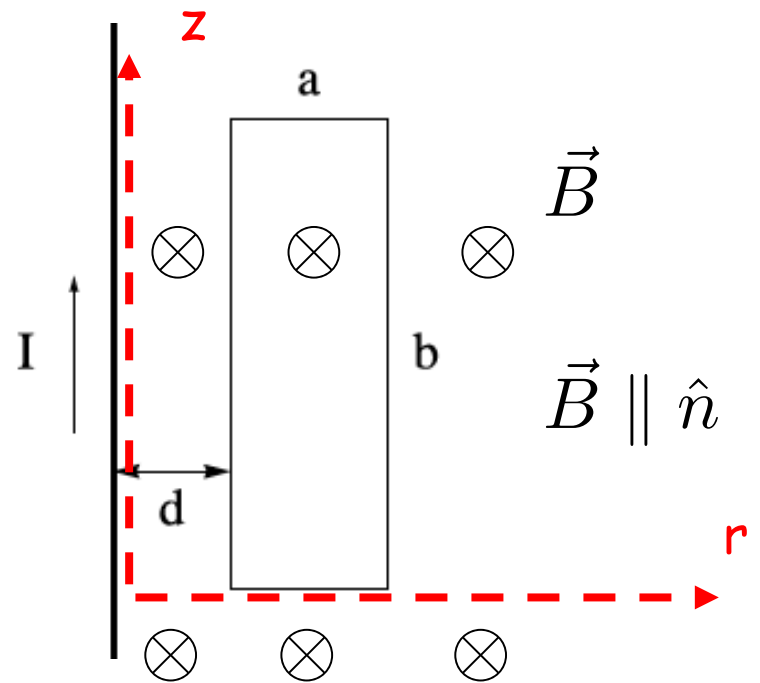
Calcule o fluxo através da espira

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot \hat{n} \, dA = \int B \, dA$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad dA = dr \, dz$$

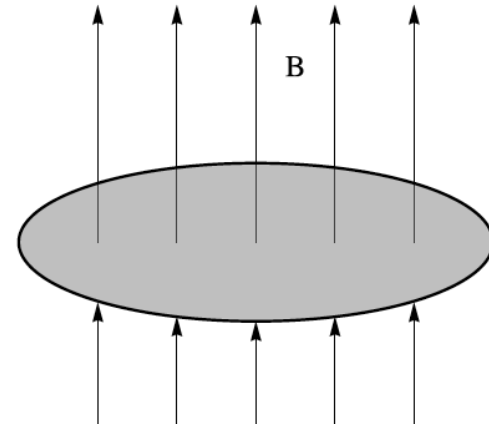
$$\Phi = \int_0^b dz \int_d^{d+a} dr \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \int_d^{a+d} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \log \left(\frac{a+d}{d} \right)$$

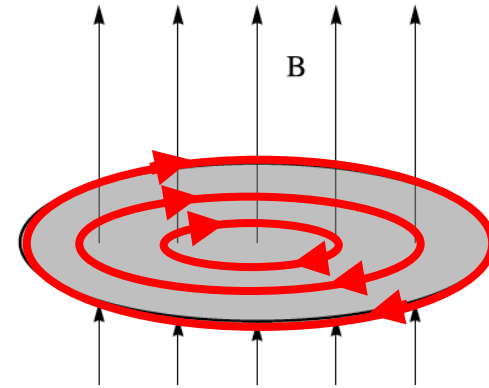


Vamos trocar a espira por um disco :

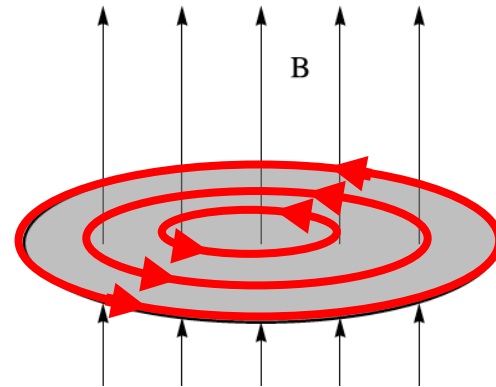
Quando o campo B é constante a corrente induzida é zero !



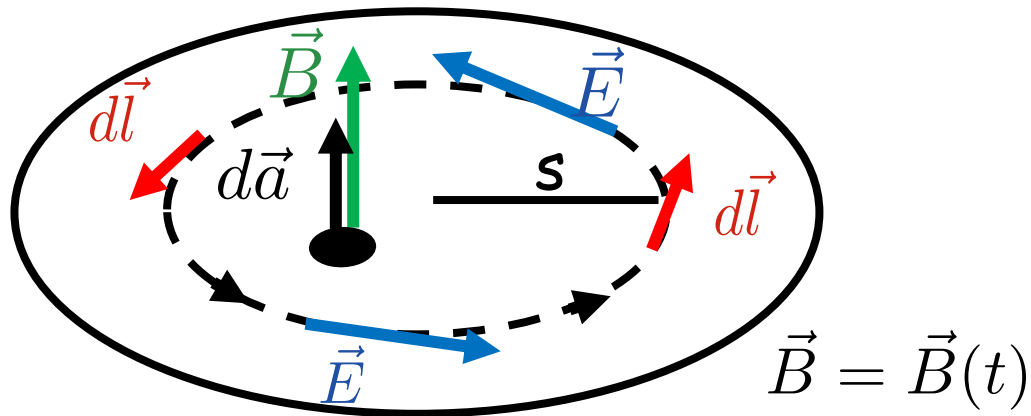
Quando $\frac{d\vec{B}}{dt} > 0$



Quando $\frac{d\vec{B}}{dt} < 0$



Agora o cálculo quantitativo :

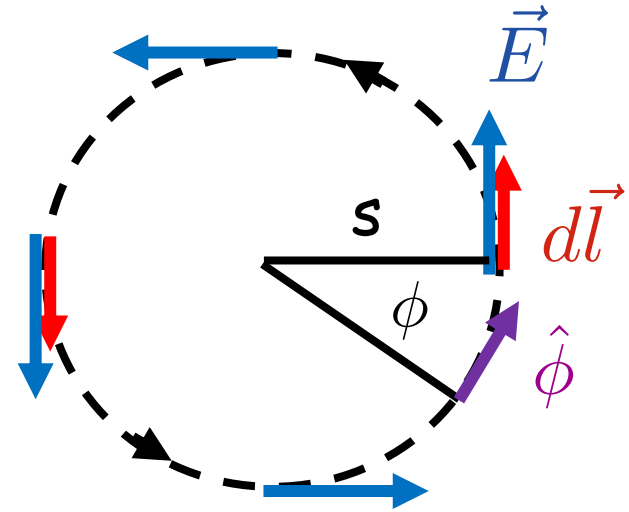


$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{a} = \pi s^2 B(t)$$

$$-\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{a} = -\pi s^2 \frac{dB(t)}{dt}$$

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

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{a}$$

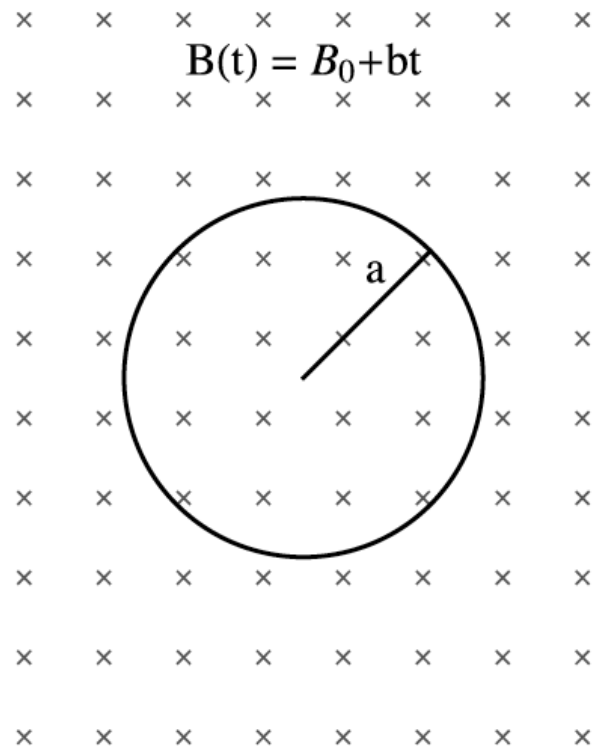


$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 2\pi s E$$

$$2\pi s E = -\pi s^2 \frac{dB}{dt}$$

$$\vec{E} = -\frac{s}{2} \frac{dB}{dt} \hat{\phi}$$

Uma espira circular de raio a se encontra em uma região onde há um campo magnético uniforme perpendicular à ela. O campo varia no tempo linearmente como $B(t) = B_0 + bt$, onde B_0 e b são constantes positivas.



Calcule o fluxo magnético através da espira quando $t = 0$

$$\Phi_B(t) = BA = (B_0 + bt)\pi a^2$$

$$\Phi_B(0) = B_0\pi a^2$$

Calcule a fem induzida no circuito.

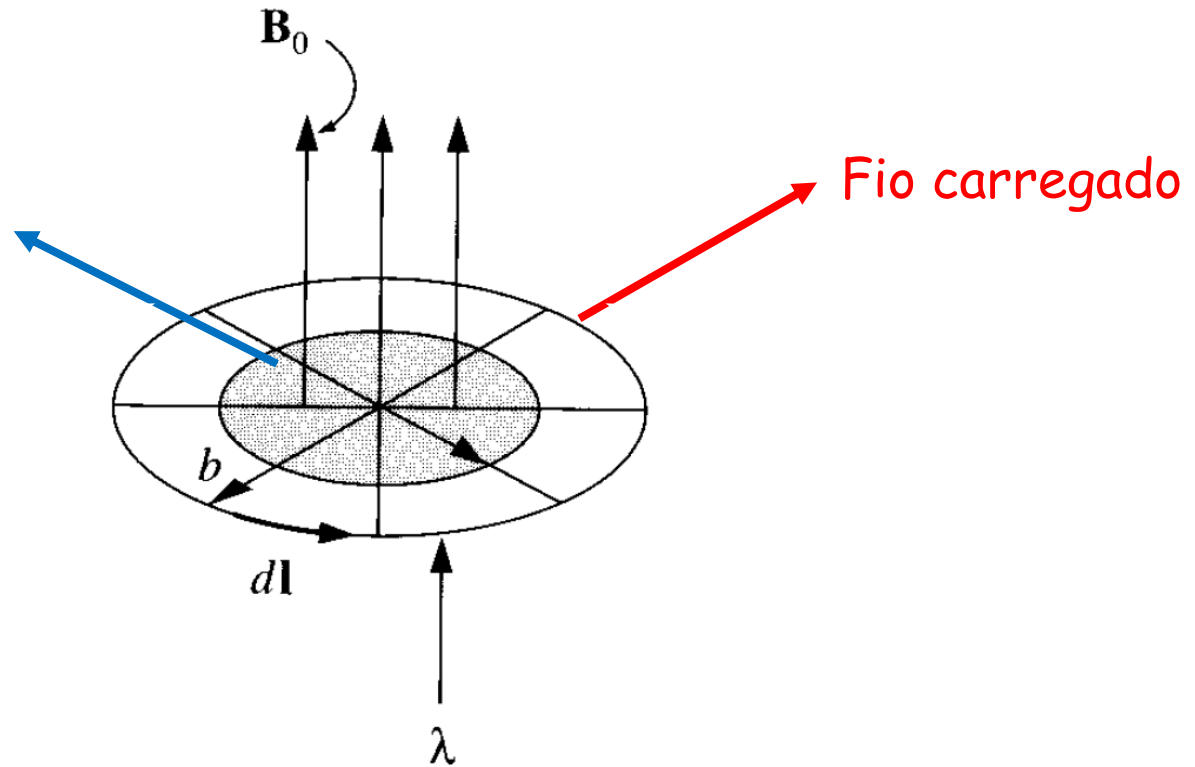
$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -b\pi a^2$$

Qual a direção da corrente induzida na espira?

O sentido da corrente será o **anti-horário** com o intuito de criar um campo induzido para cima, cuja variação de fluxo se opõe à do fluxo original.

Exemplo 7.8 (Griffiths)

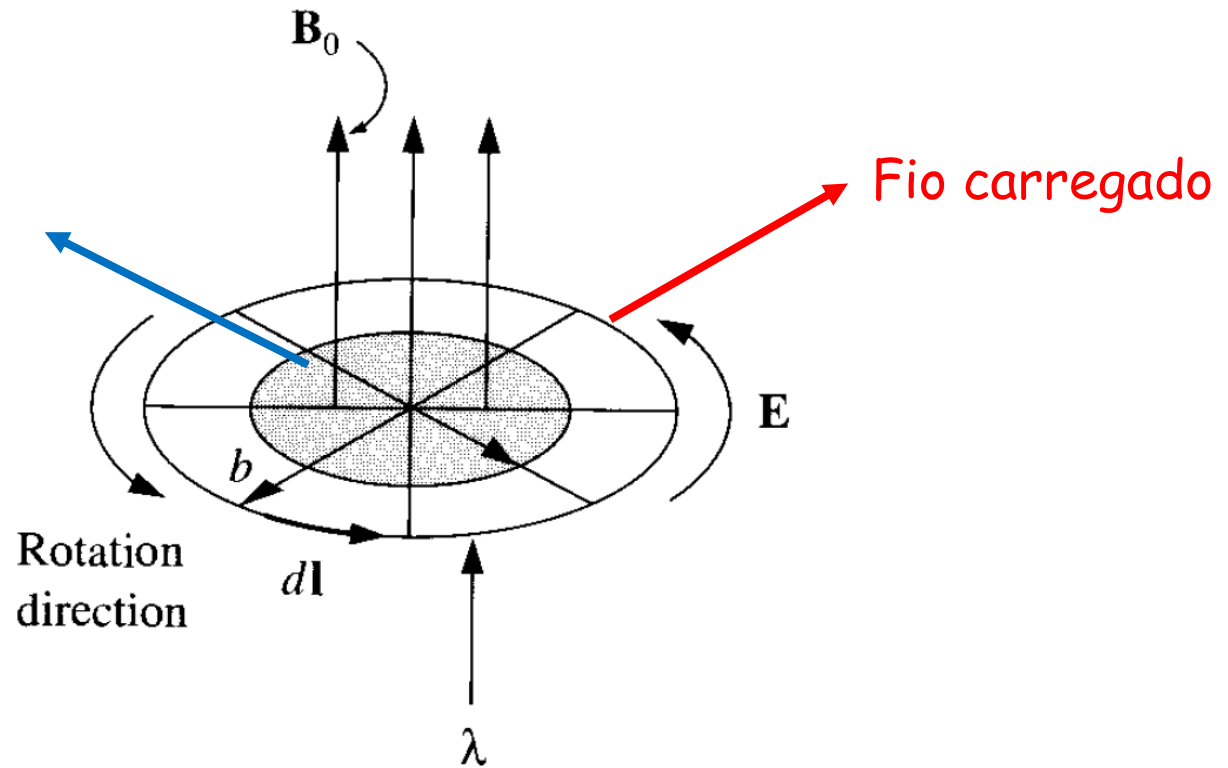
"Chafariz" de campo B



O que acontece quando desligamos o campo ?

Exemplo 7.8 (Griffiths)

"Chafariz" de campo B



O que acontece quando desligamos o campo ?

Fim