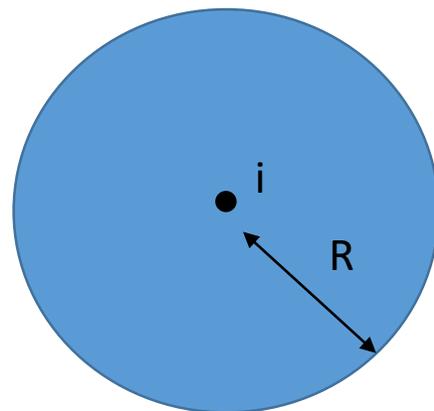


# Fontes de Campo Magnético

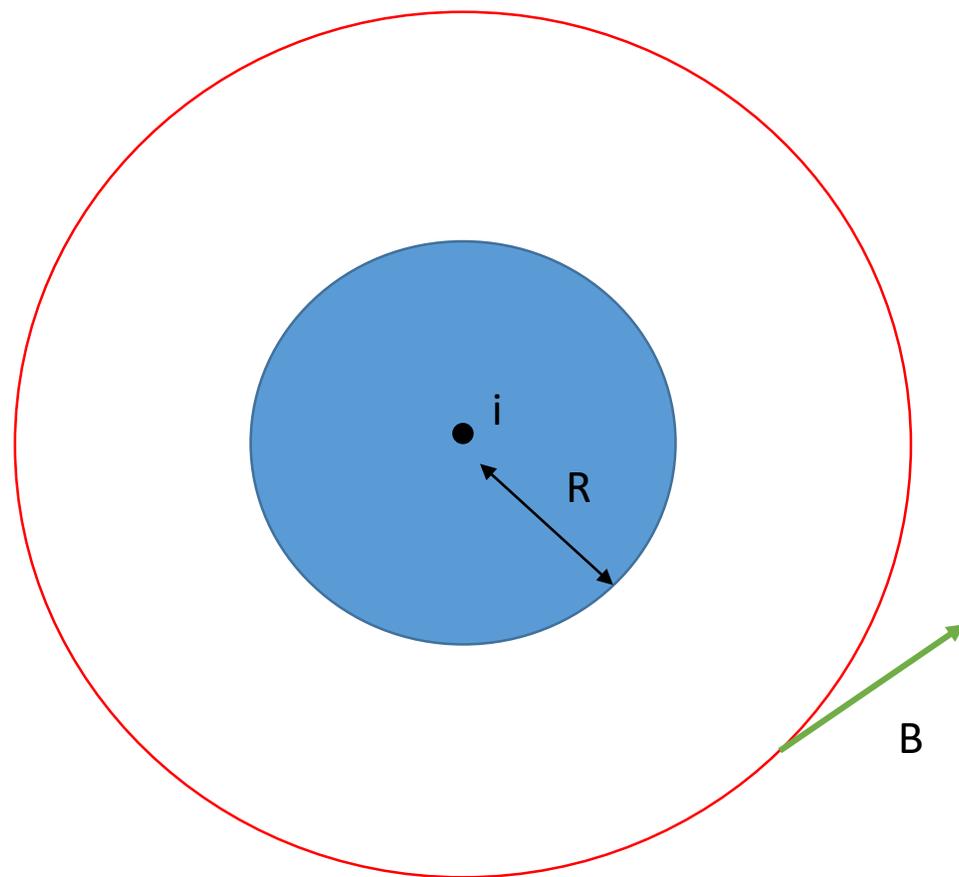
Parte II - Prof. Hilde Harb Buzzá

# Aplicando a Lei de Ampère

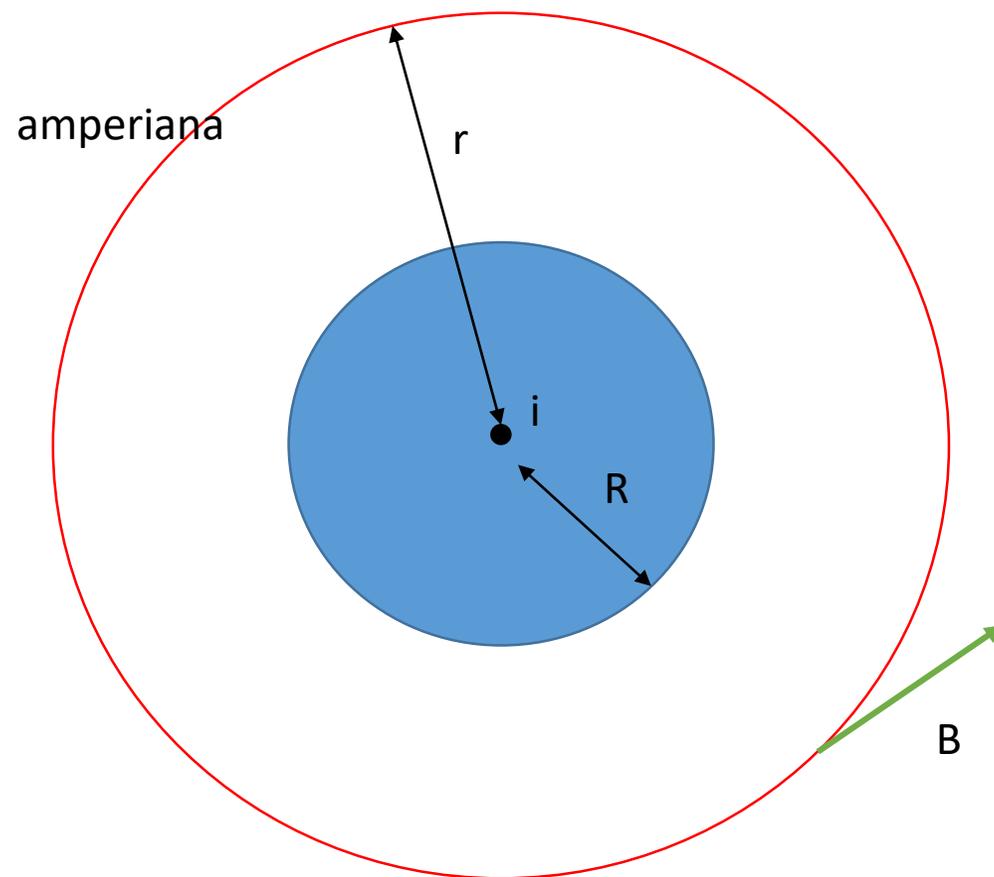
# Aplicando a Lei de Ampère



# Aplicando a Lei de Ampère

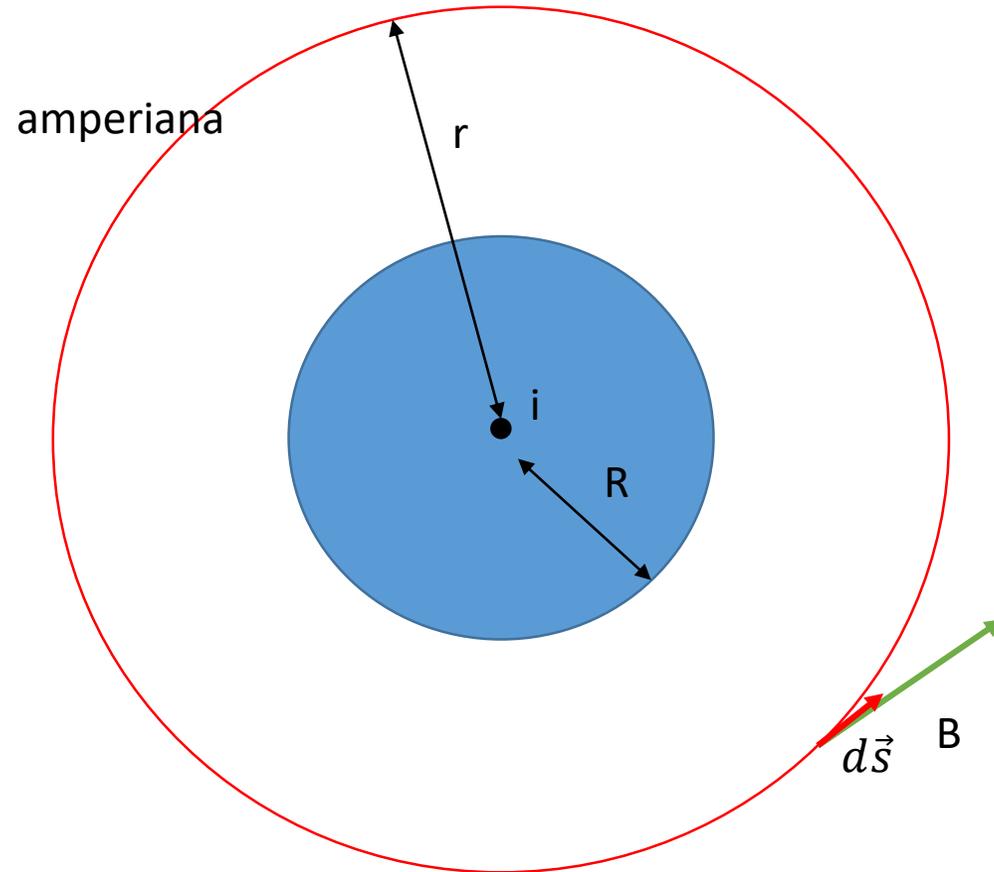


# Aplicando a Lei de Ampère



# Aplicando a Lei de Ampère

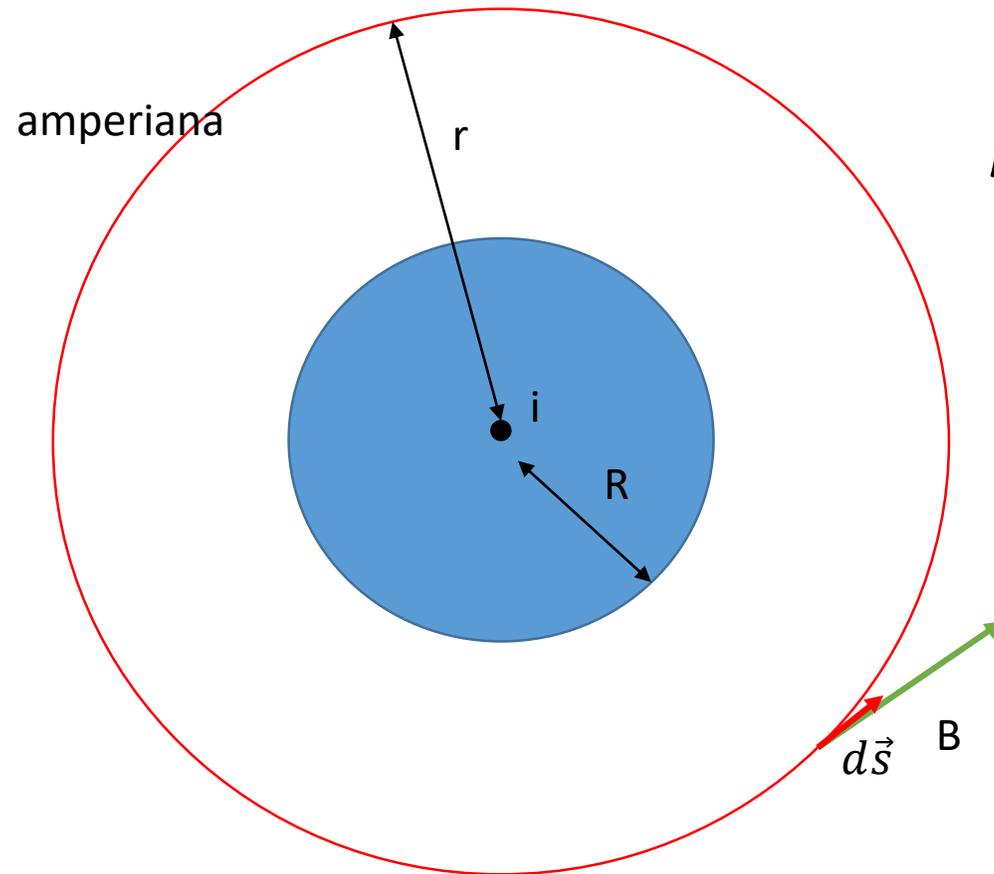
$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$



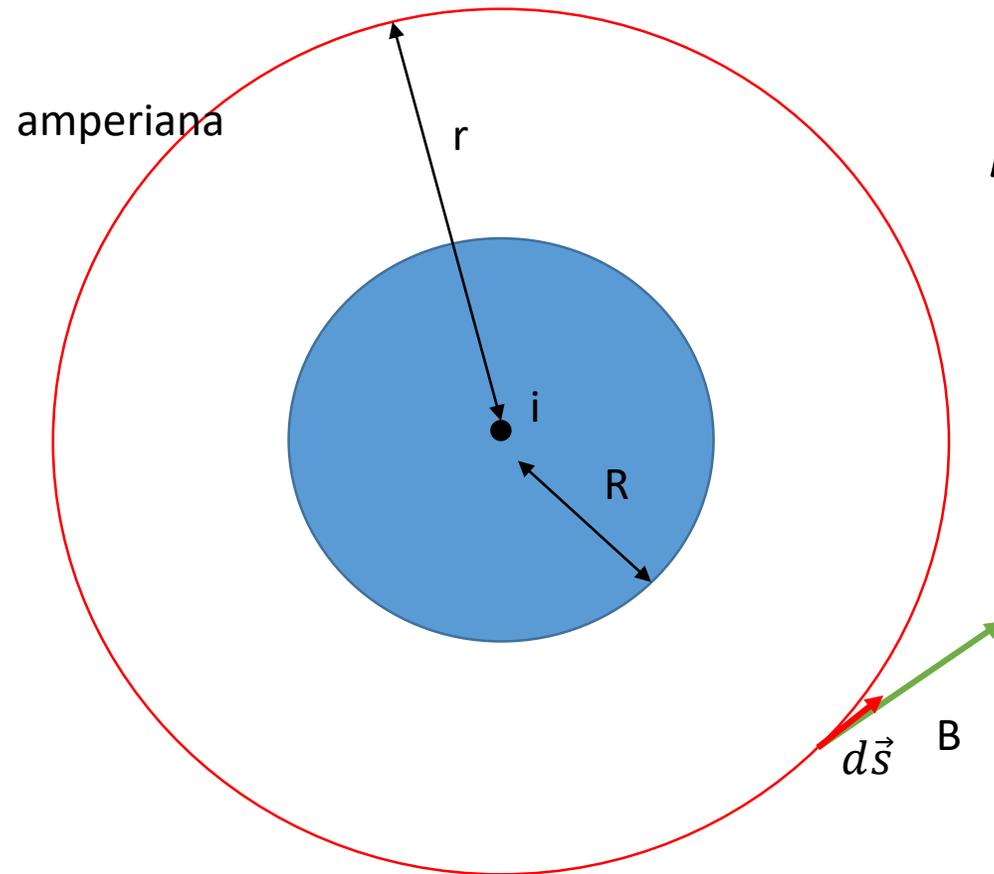
# Aplicando a Lei de Ampère

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B \cos\theta ds$$



# Aplicando a Lei de Ampère

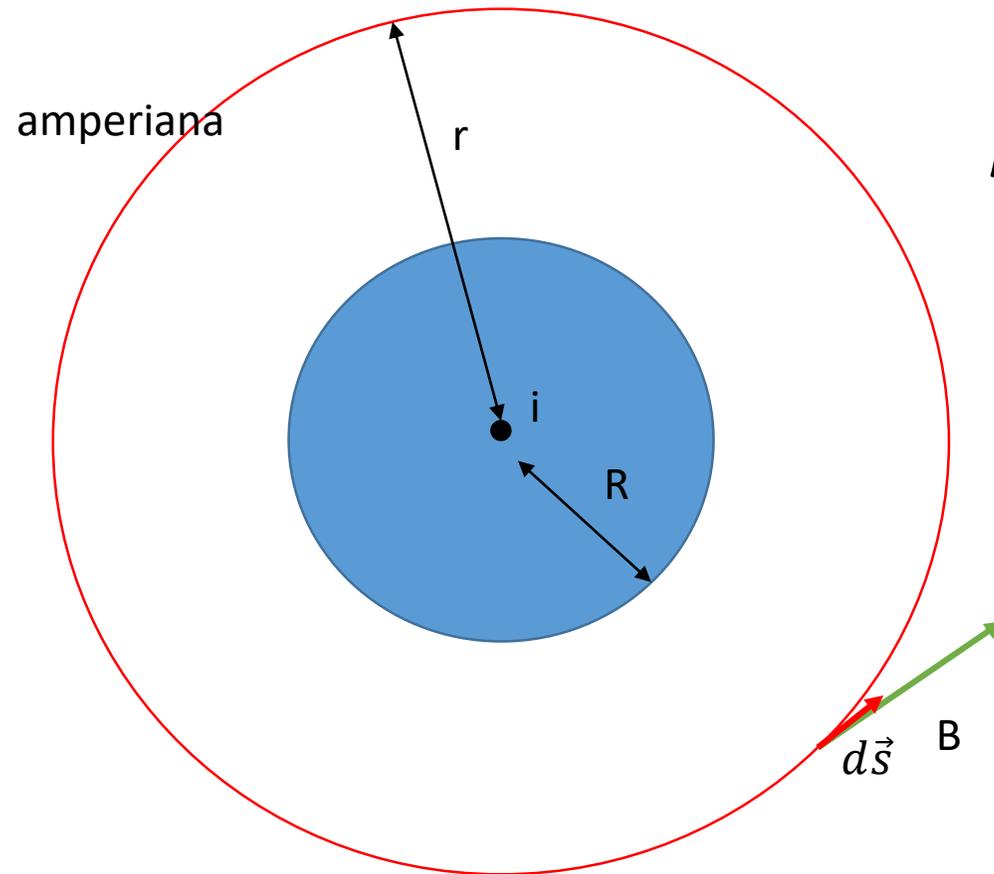


$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B \cos\theta ds$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B ds$$

# Aplicando a Lei de Ampère



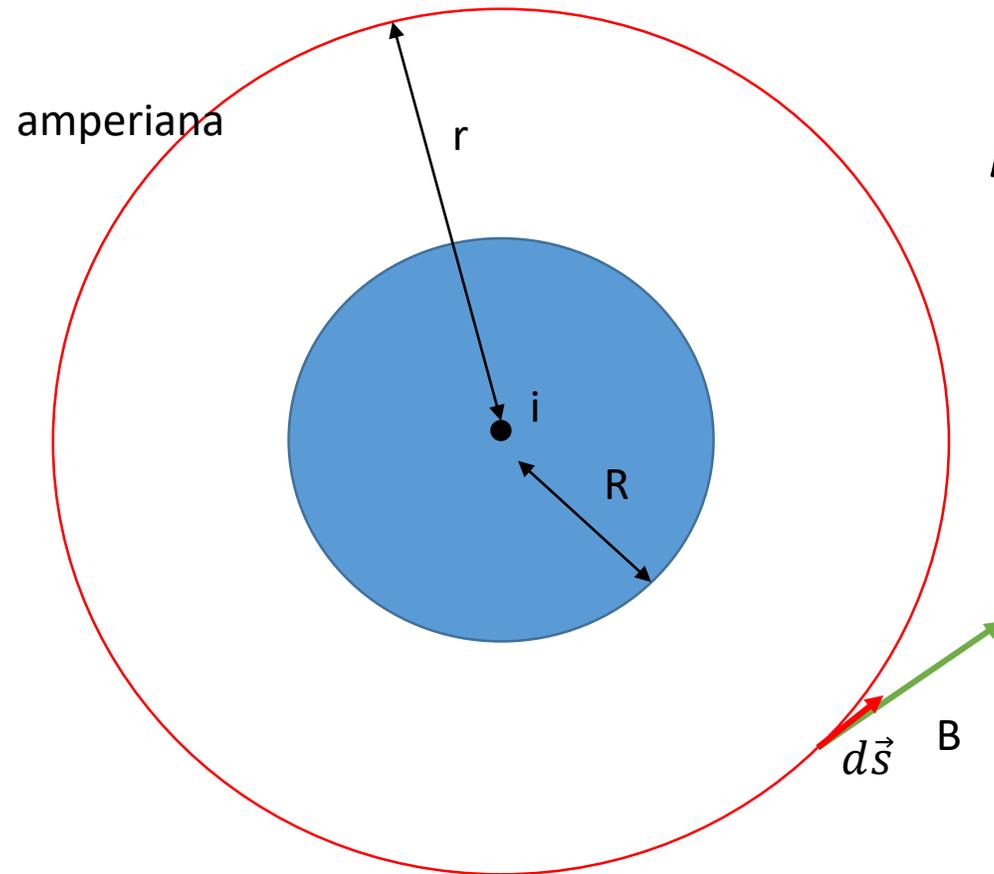
$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B \cos\theta ds$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B ds$$

$$\mu_0 i_{env} = B \oint ds$$

# Aplicando a Lei de Ampère



$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

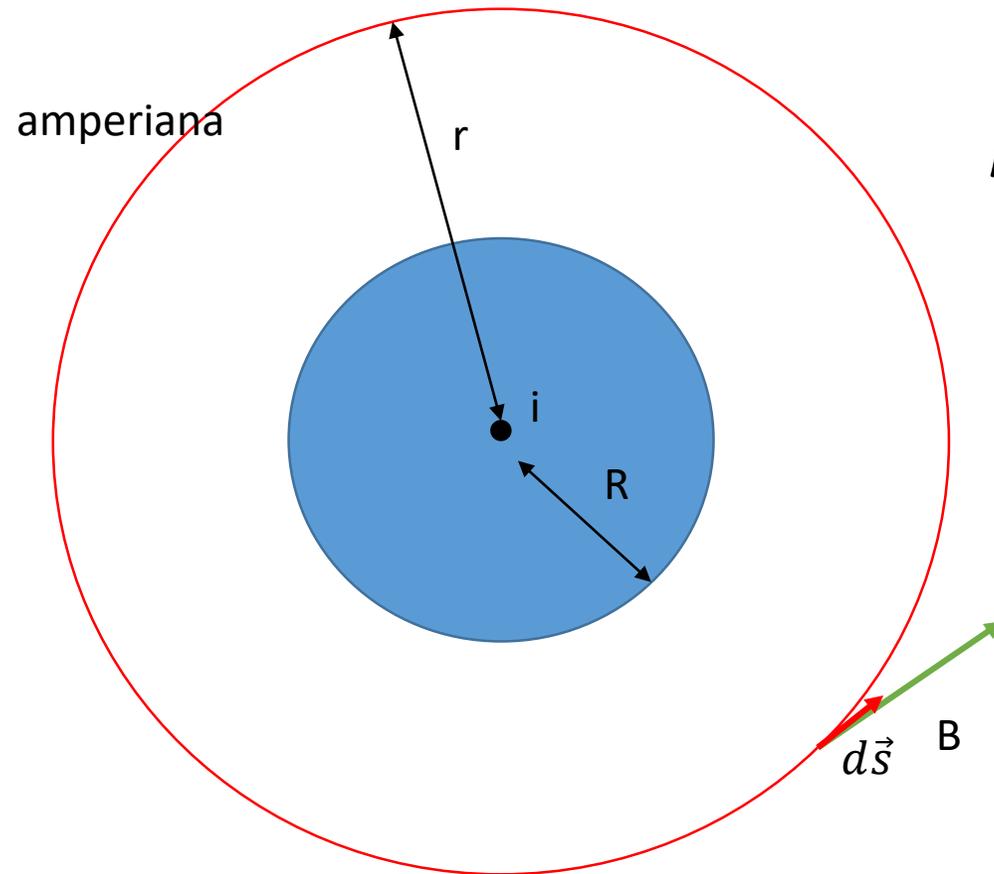
$$\mu_0 i_{env} = \oint B \cos\theta ds$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B ds$$

$$\mu_0 i_{env} = B \oint ds$$

$$\mu_0 i_{env} = B 2\pi r$$

# Aplicando a Lei de Ampère



$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B \cos\theta ds$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B ds$$

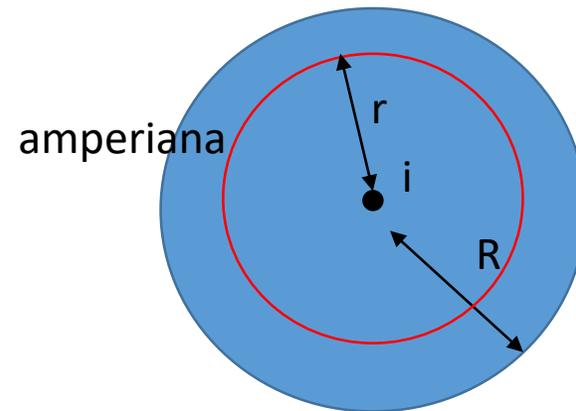
$$\mu_0 i_{env} = B \oint ds$$

$$\mu_0 i_{env} = B 2\pi r$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

# Aplicando a Lei de Ampère

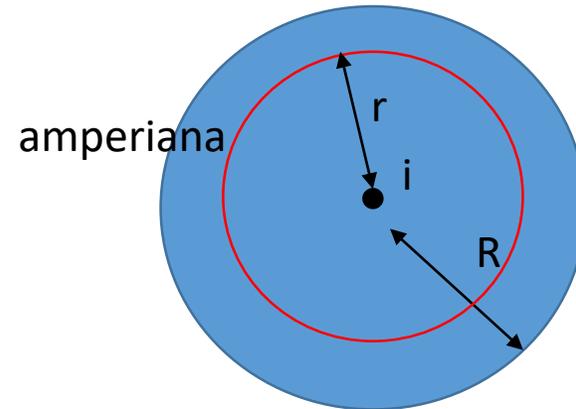
$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$



# Aplicando a Lei de Ampère

$i_{env} = ?$

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

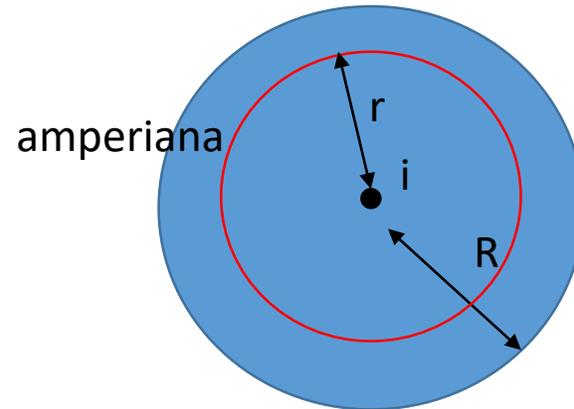


# Aplicando a Lei de Ampère

$$i_{env} = ?$$

Corrente homogênea:

$$i_{total} \rightarrow \pi R^2$$



$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

# Aplicando a Lei de Ampère

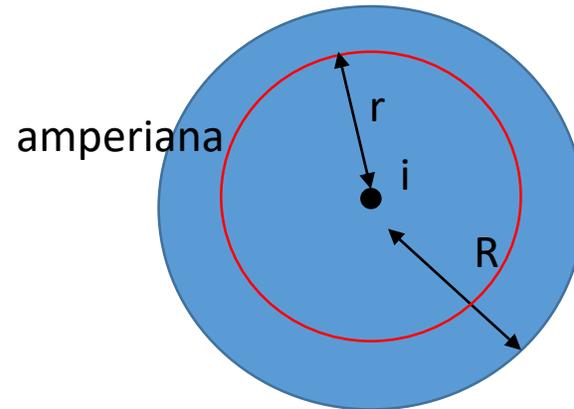
$$i_{env} = ?$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

Corrente homogênea:

$$i_{total} \rightarrow \pi R^2$$

$$i_{env} \rightarrow \pi r^2$$



# Aplicando a Lei de Ampère

$$i_{env} = ?$$

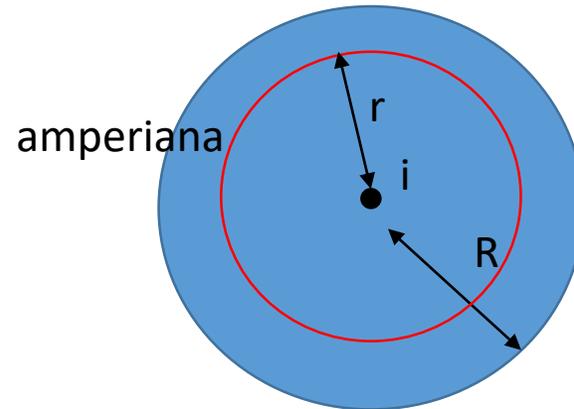
$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

Corrente homogênea:

$$i_{total} \rightarrow \pi R^2$$

$$i_{env} \rightarrow \pi r^2$$

$$i_{env} = i \frac{r^2}{R^2}$$



# Aplicando a Lei de Ampère

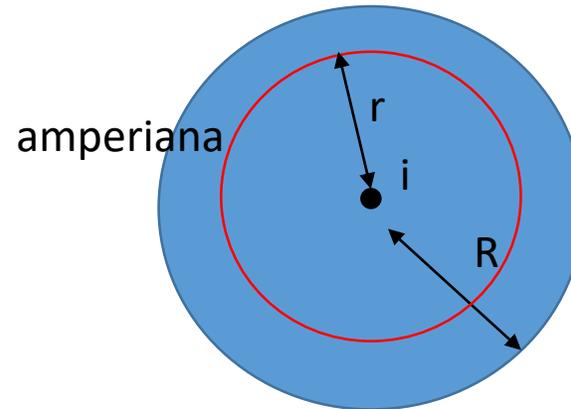
$$i_{env} = ?$$

Corrente homogênea:

$$i_{total} \rightarrow \pi R^2$$

$$i_{env} \rightarrow \pi r^2$$

$$i_{env} = i \frac{r^2}{R^2}$$



$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B ds \cos 0$$

# Aplicando a Lei de Ampère

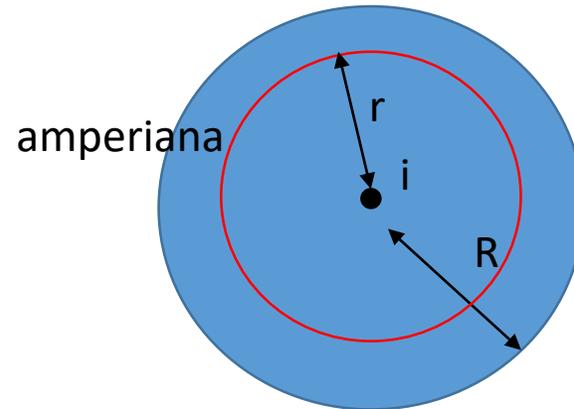
$$i_{env} = ?$$

Corrente homogênea:

$$i_{total} \rightarrow \pi R^2$$

$$i_{env} \rightarrow \pi r^2$$

$$i_{env} = i \frac{r^2}{R^2}$$



$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \int B ds \cos 0$$

$$\mu_0 i_{env} = B \oint ds$$

# Aplicando a Lei de Ampère

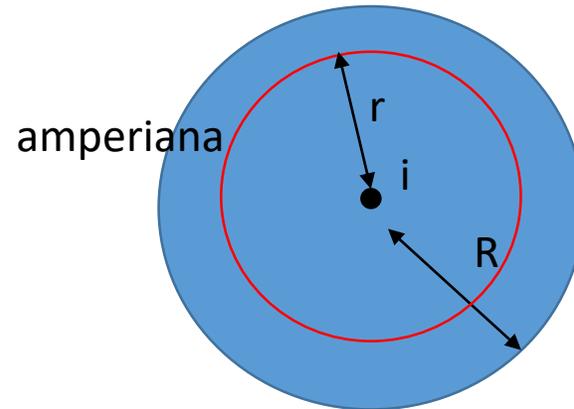
$$i_{env} = ?$$

Corrente homogênea:

$$i_{total} \rightarrow \pi R^2$$

$$i_{env} \rightarrow \pi r^2$$

$$i_{env} = i \frac{r^2}{R^2}$$



$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \int B ds \cos 0$$

$$\mu_0 i_{env} = B \int ds$$

$$\mu_0 i_{env} = B 2\pi r$$

# Aplicando a Lei de Ampère

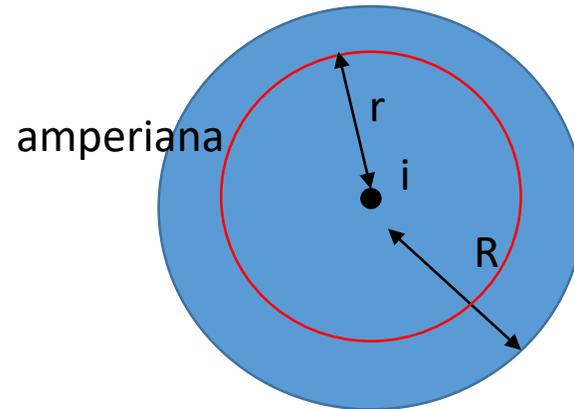
$$i_{env} = ?$$

Corrente homogênea:

$$i_{total} \rightarrow \pi R^2$$

$$i_{env} \rightarrow \pi r^2$$

$$i_{env} = i \frac{r^2}{R^2}$$



$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B ds \cos 0$$

$$\mu_0 i_{env} = B \oint ds$$

$$\mu_0 i_{env} = B 2\pi r$$

$$\mu_0 i \frac{r^2}{R^2} = B 2\pi r$$

# Aplicando a Lei de Ampère

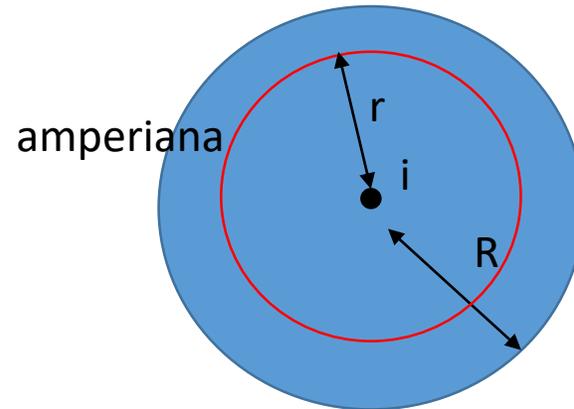
$$i_{env} = ?$$

Corrente homogênea:

$$i_{total} \rightarrow \pi R^2$$

$$i_{env} \rightarrow \pi r^2$$

$$i_{env} = i \frac{r^2}{R^2}$$



$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B ds \cos 0$$

$$\mu_0 i_{env} = B \oint ds$$

$$\mu_0 i_{env} = B 2\pi r$$

$$\mu_0 i \frac{r^2}{R^2} = B 2\pi r$$

$$\mu_0 i \frac{r}{R^2} = B 2\pi$$

# Aplicando a Lei de Ampère

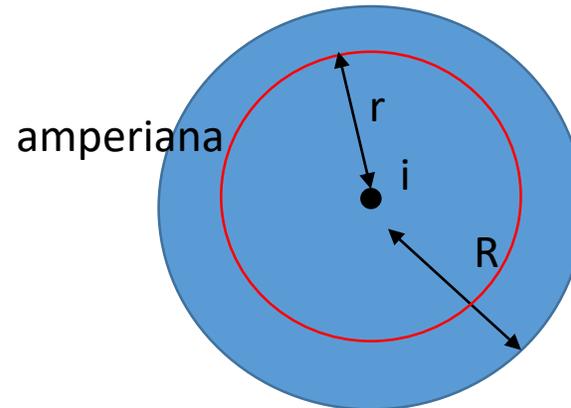
$$i_{env} = ?$$

Corrente homogênea:

$$i_{total} \rightarrow \pi R^2$$

$$i_{env} \rightarrow \pi r^2$$

$$i_{env} = i \frac{r^2}{R^2}$$



$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = \oint B ds \cos 0$$

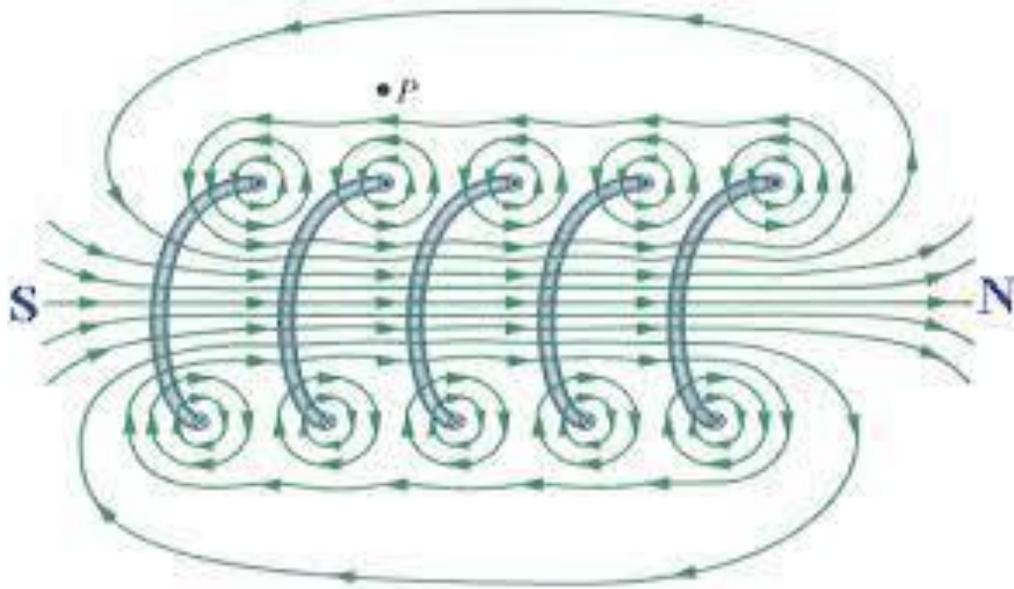
$$\mu_0 i_{env} = B \oint ds$$

$$\mu_0 i_{env} = B 2\pi r$$

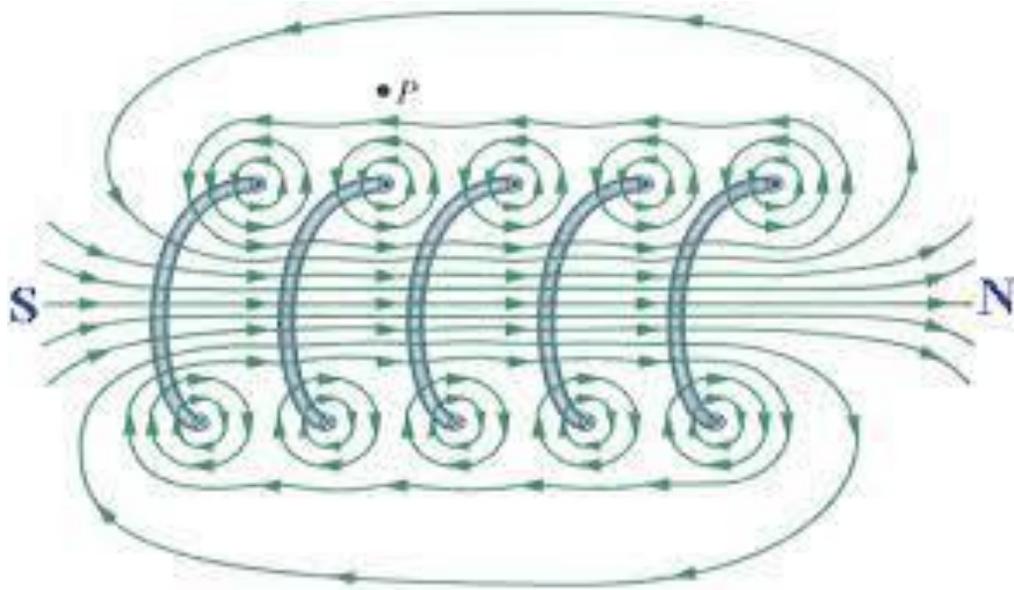
$$\mu_0 i \frac{r^2}{R^2} = B 2\pi r$$

$$\mu_0 i \frac{r}{R^2} = B 2\pi \rightarrow \mathbf{B} = \frac{\mu_0 i r}{2\pi R^2}$$

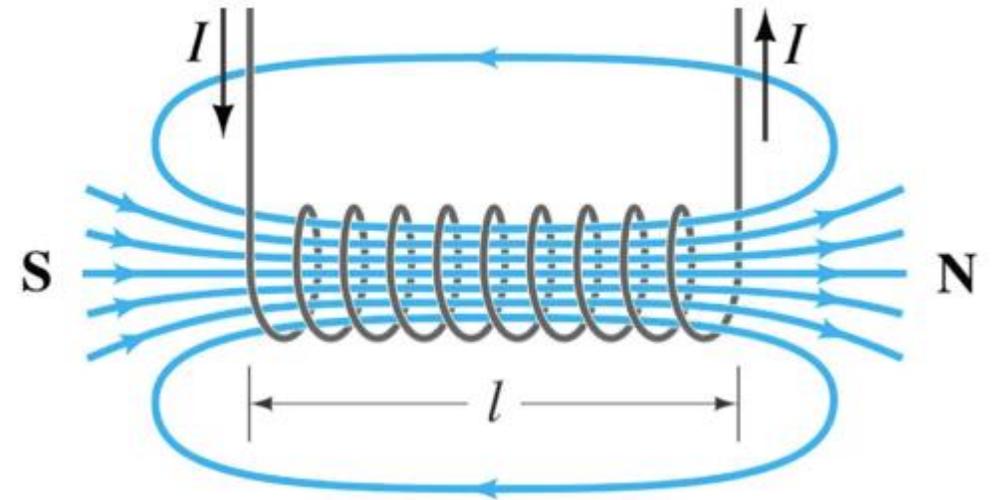
# Solenoides e Toroides



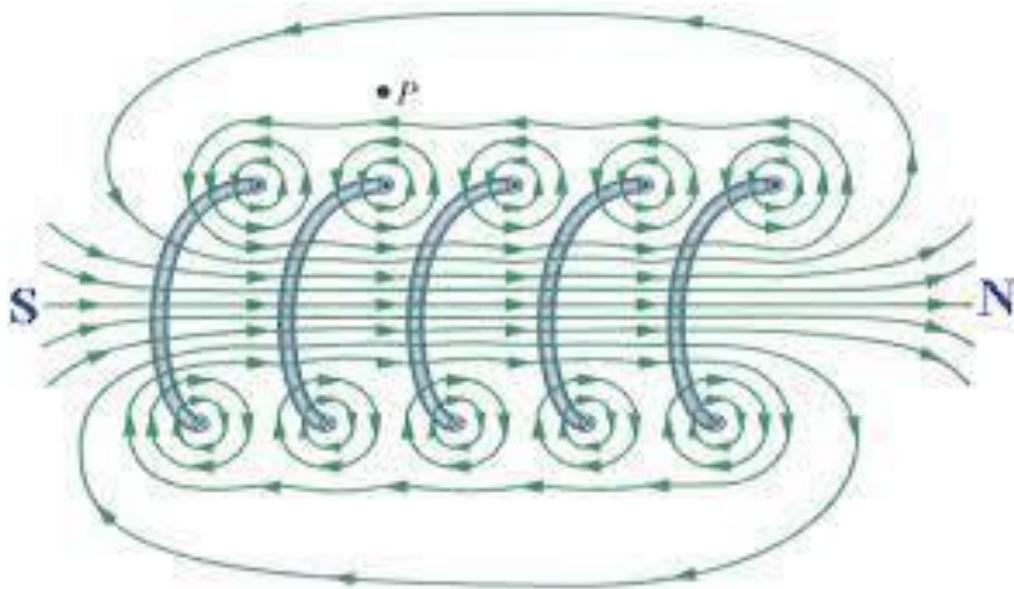
# Solenoides e Toroides



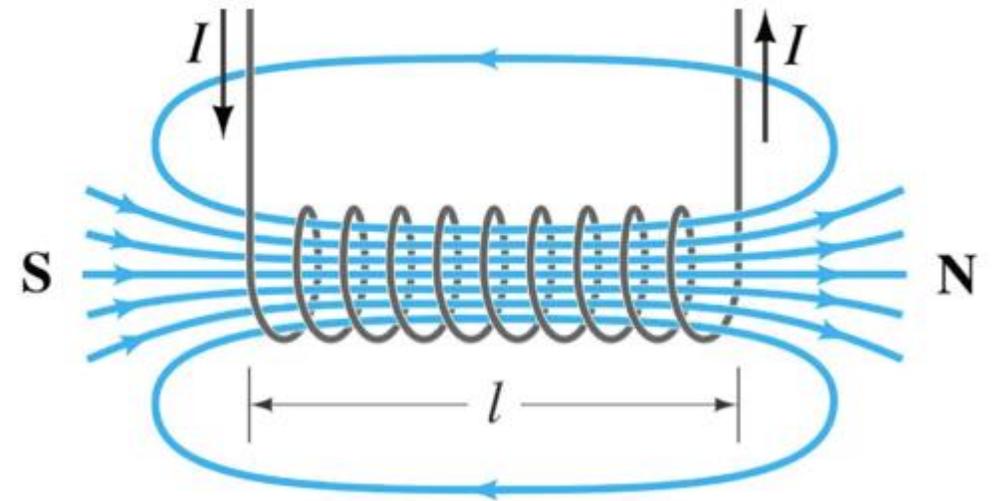
Solenoid ideal



# Solenoides e Toroides



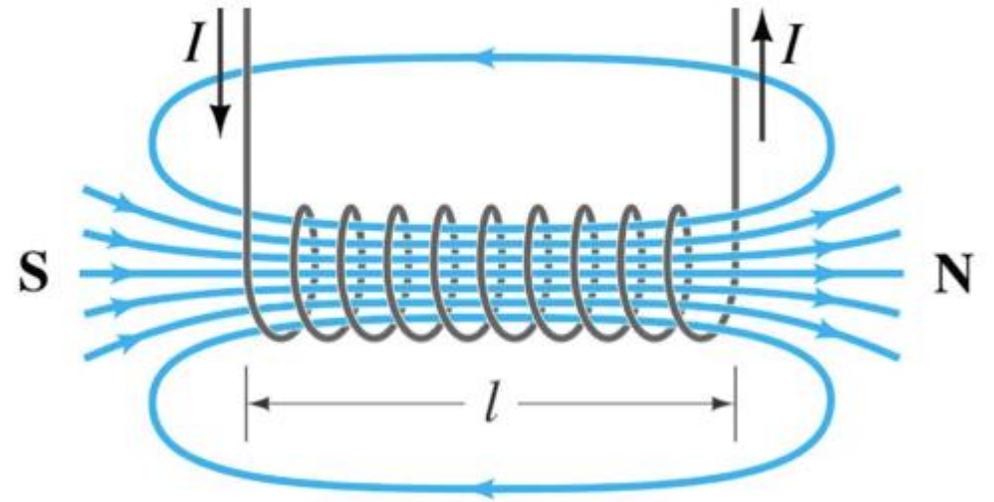
Solenóide ideal



Campo, no interior, é constante

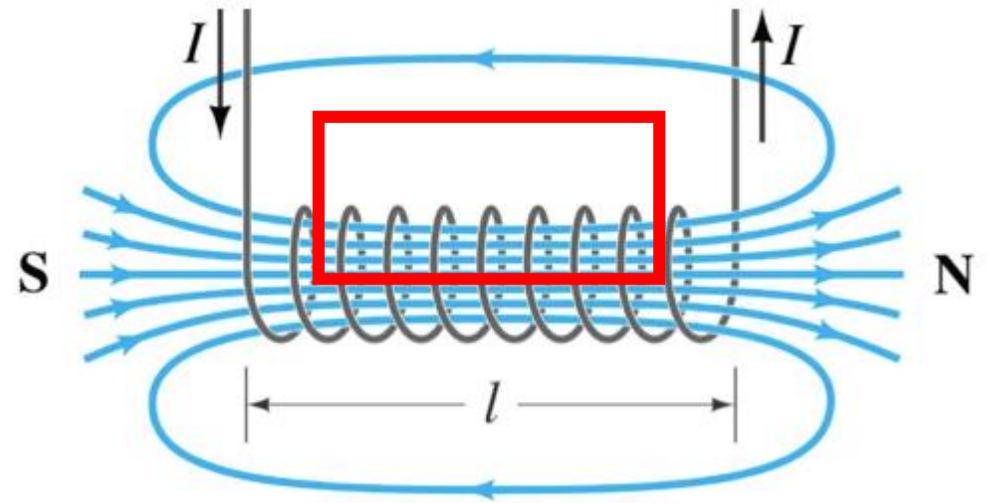
# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$



# Solenoides e Toroides

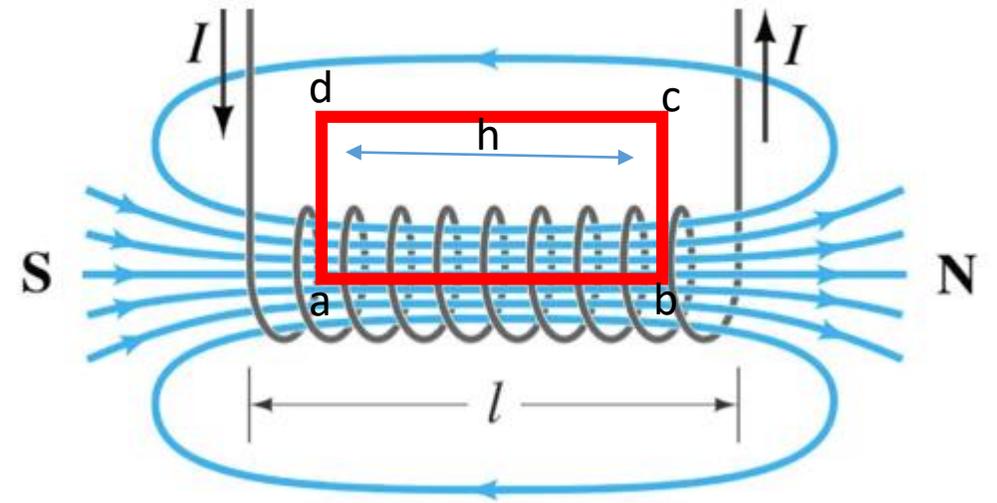
$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$



# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

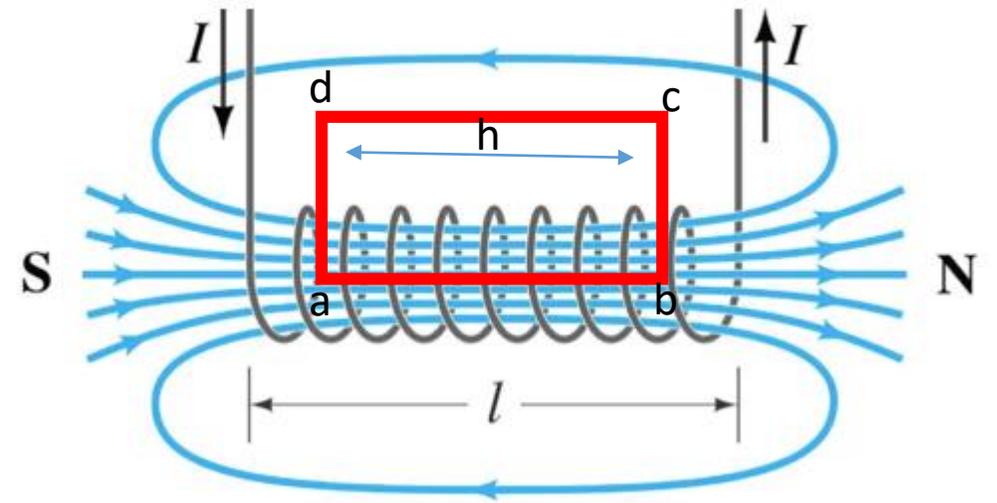


# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh +$$

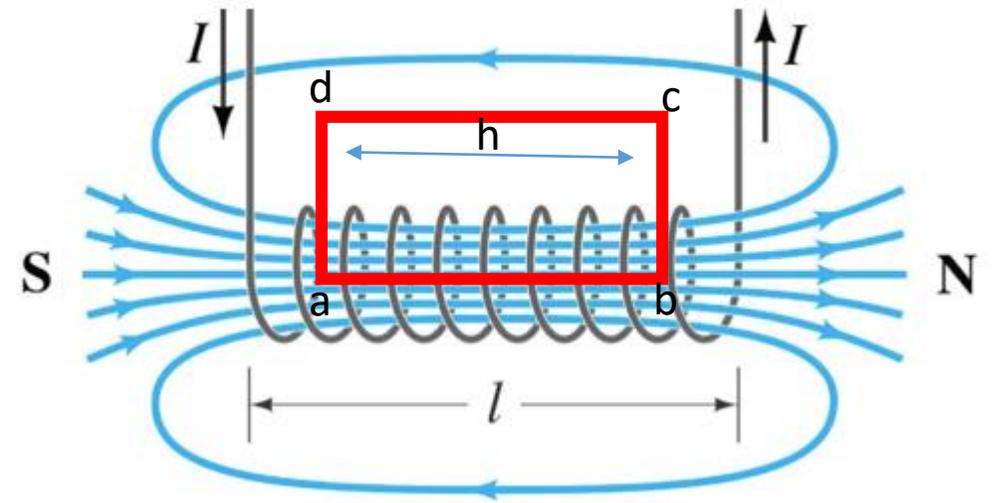


# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh + 0 +$$

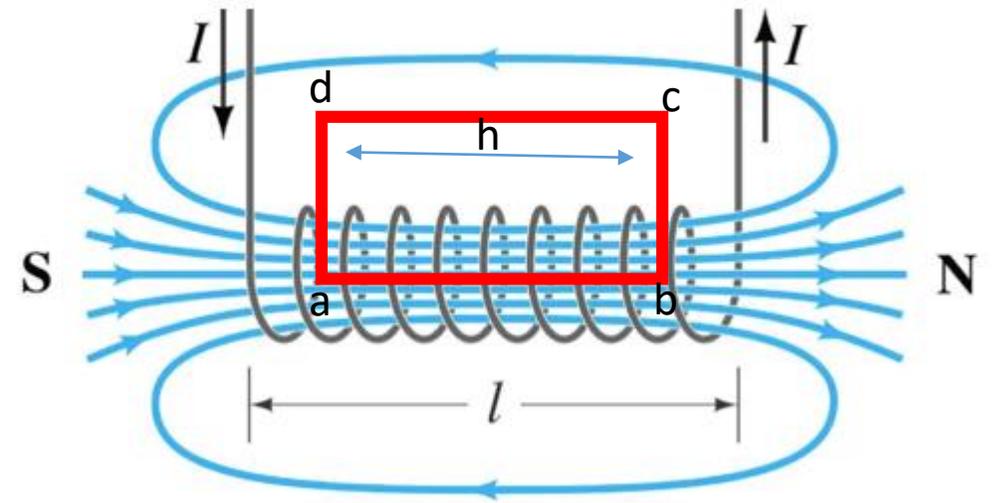


# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh + 0 + 0 +$$

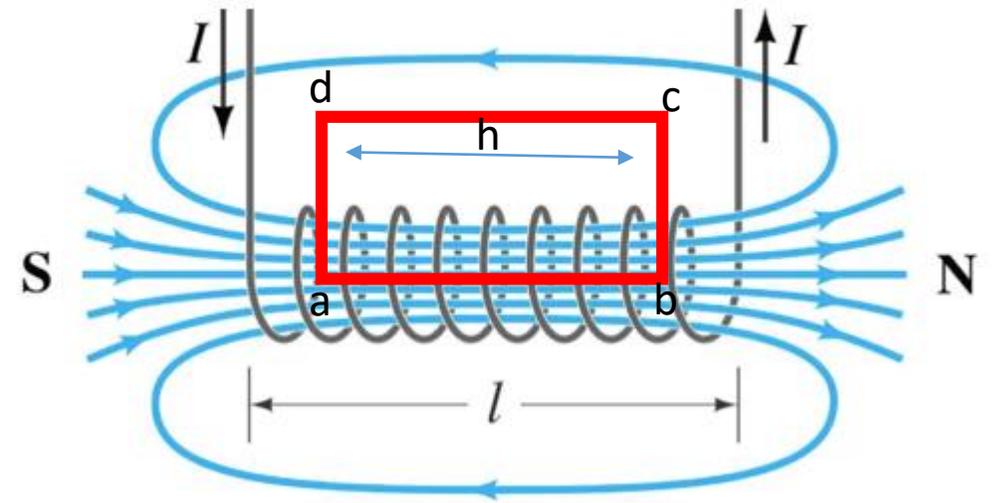


# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh + 0 + 0 + 0$$



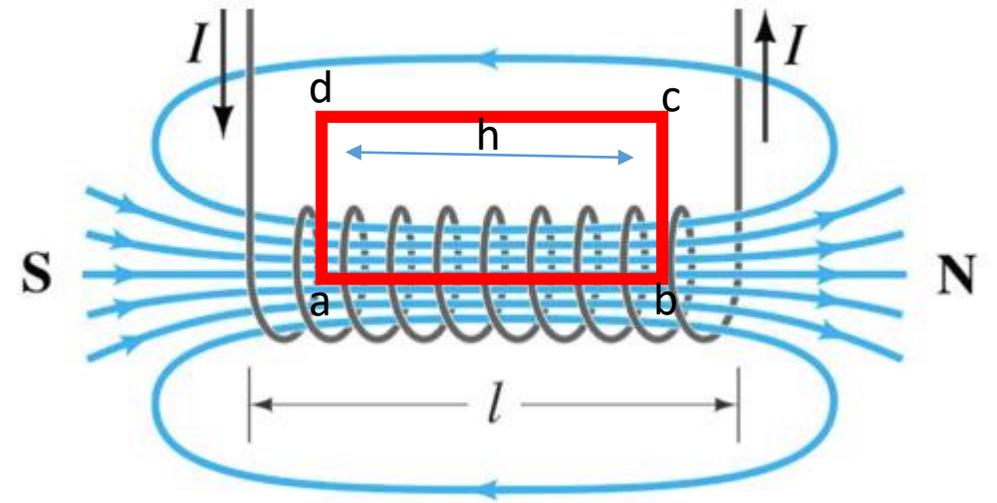
# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh + 0 + 0 + 0$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh$$



# Solenoides e Toroides

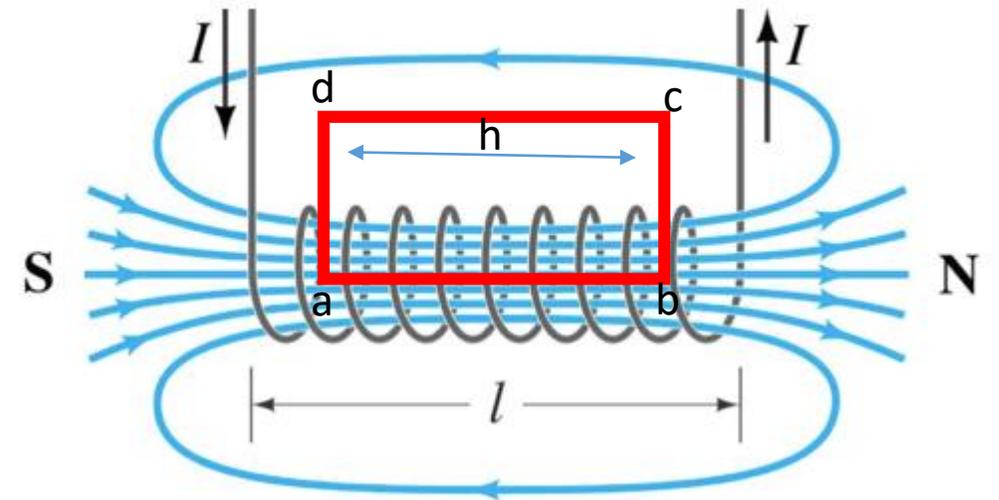
$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh + 0 + 0 + 0$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh$$

$$\mu_0 i_{env} = Bh$$



# Solenoides e Toroides

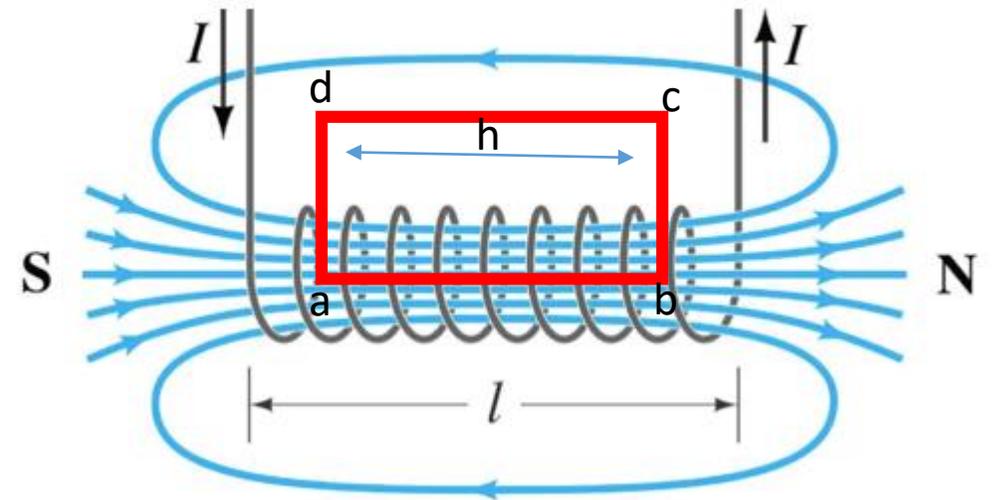
$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh + 0 + 0 + 0$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh$$

$$\mu_0 i_{env} = Bh \rightarrow \mu_0 [i(nh)] = Bh$$



# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

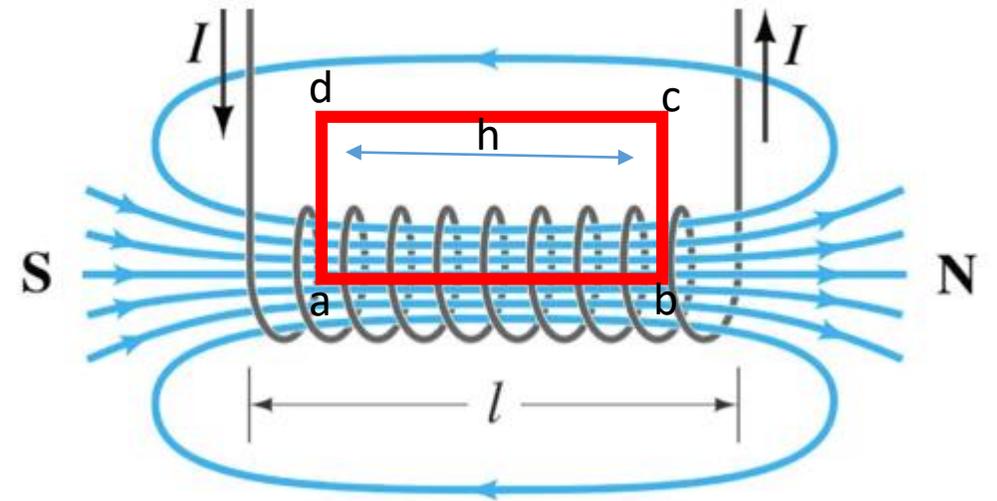
$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh + 0 + 0 + 0$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh$$

$$\mu_0 i_{env} = Bh \rightarrow \mu_0 [i(nh)] = Bh$$

↓  
Número de espiras/comprimento



# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

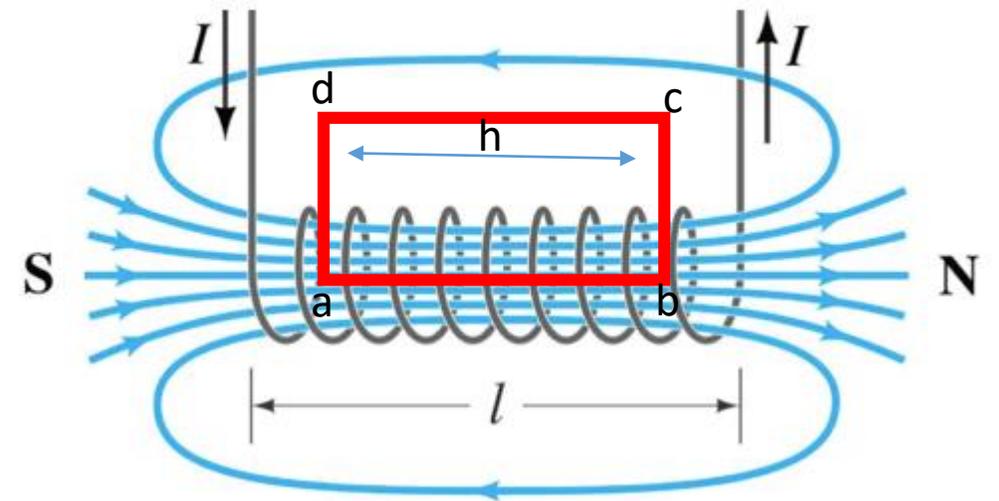
$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh + 0 + 0 + 0$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh$$

$$\mu_0 i_{env} = Bh \rightarrow \mu_0 [i(nh)] = Bh$$

↓  
Número de espiras/comprimento



# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

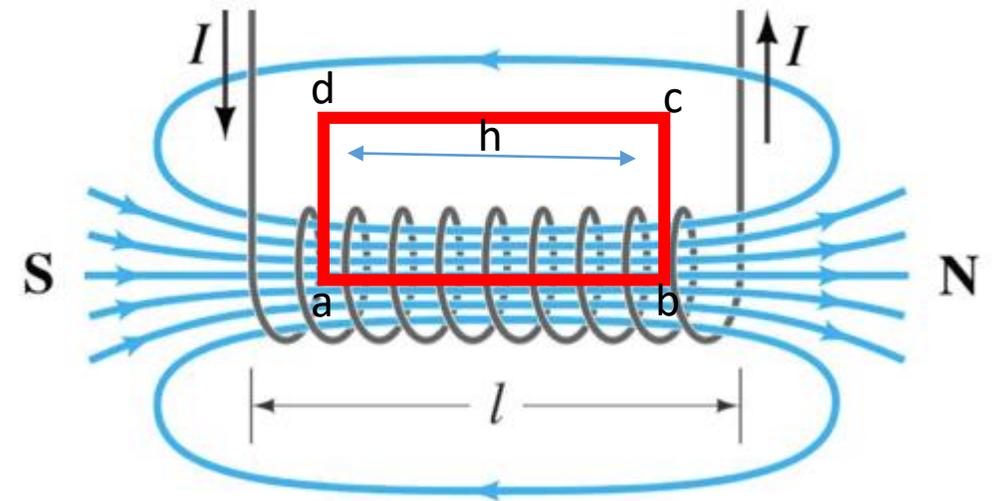
$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_a^b \vec{B} d\vec{s} + \int_b^c \vec{B} d\vec{s} + \int_c^d \vec{B} d\vec{s} + \int_d^a \vec{B} d\vec{s}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh + 0 + 0 + 0$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = Bh$$

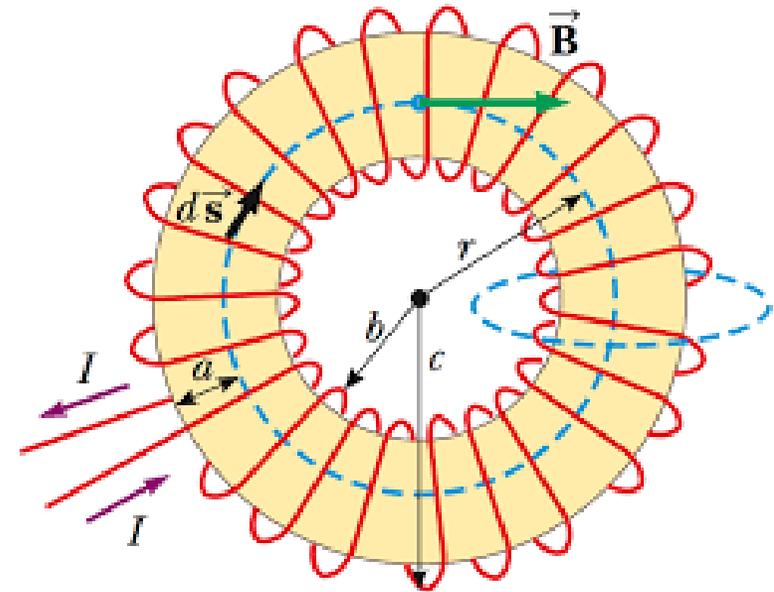
$$\mu_0 i_{env} = Bh \rightarrow \mu_0 [i(nh)] = Bh \rightarrow B = \mu_0 in$$

Número de espiras/comprimento



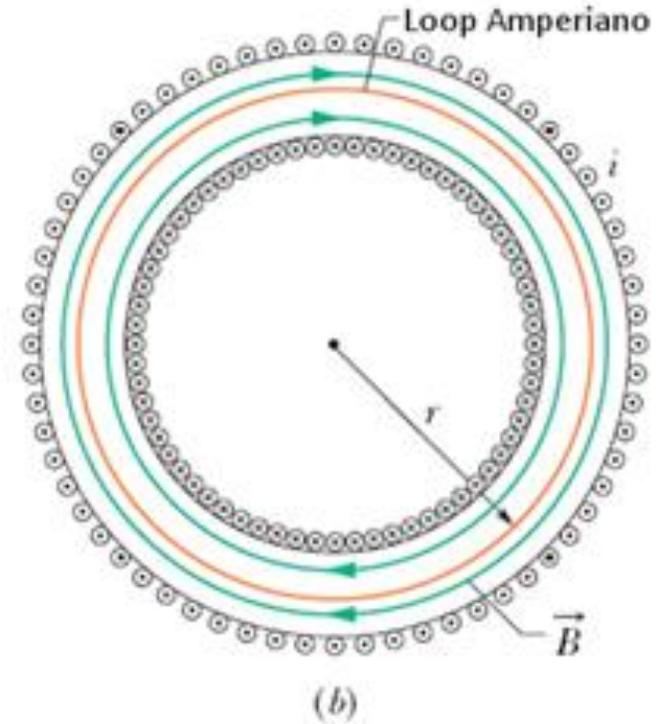
# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$



# Solenoides e Toroides

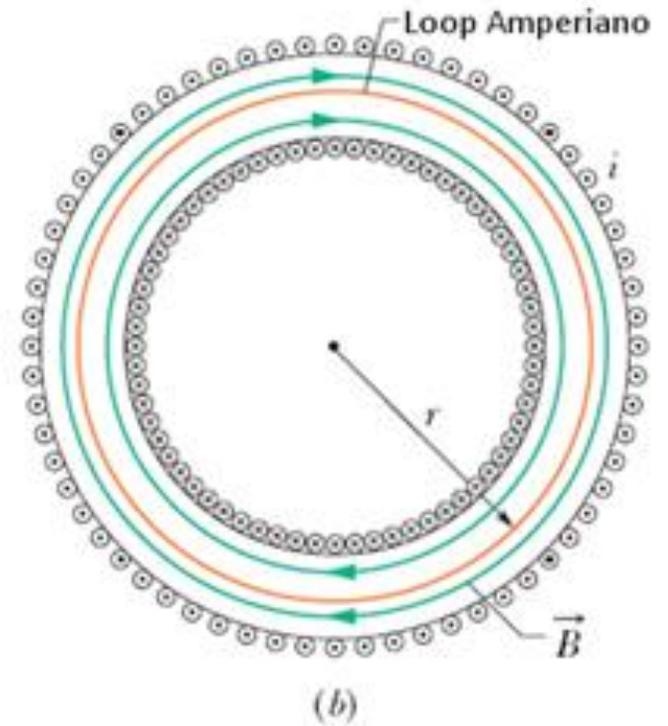
$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$



# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = B(2\pi r)$$



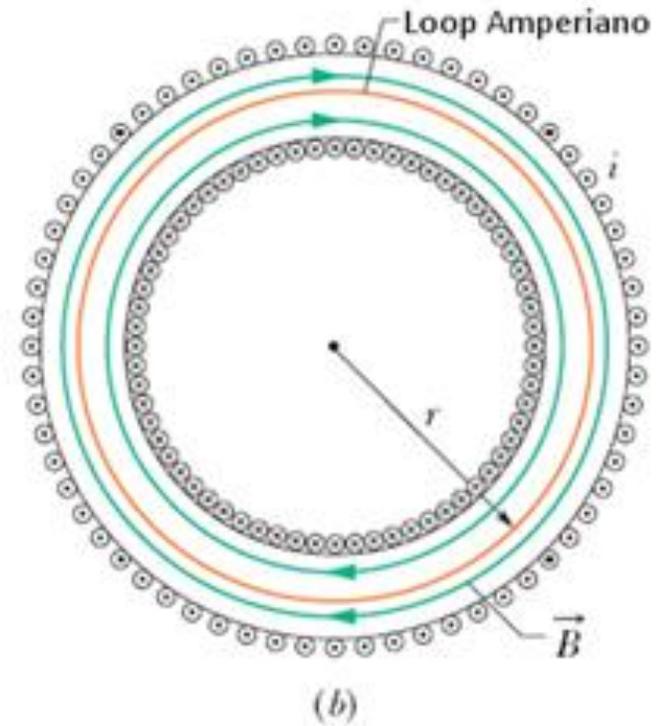
# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = B(2\pi r)$$

$$\mu_0 iN = B(2\pi r)$$

$N \rightarrow$  número de espiras



# Solenoides e Toroides

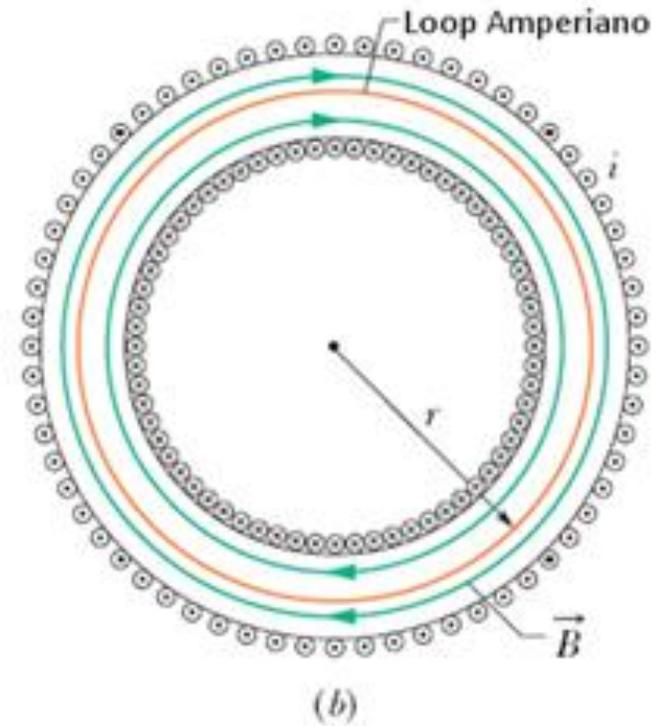
$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

$$\mu_0 i_{env} = B(2\pi r)$$

$$\mu_0 iN = B(2\pi r)$$

$N \rightarrow$  número de espiras

$$B = \frac{\mu_0 iN}{2\pi r}$$



# Solenoides e Toroides

$$\mu_0 i_{env} = \oint \vec{B} d\vec{s}$$

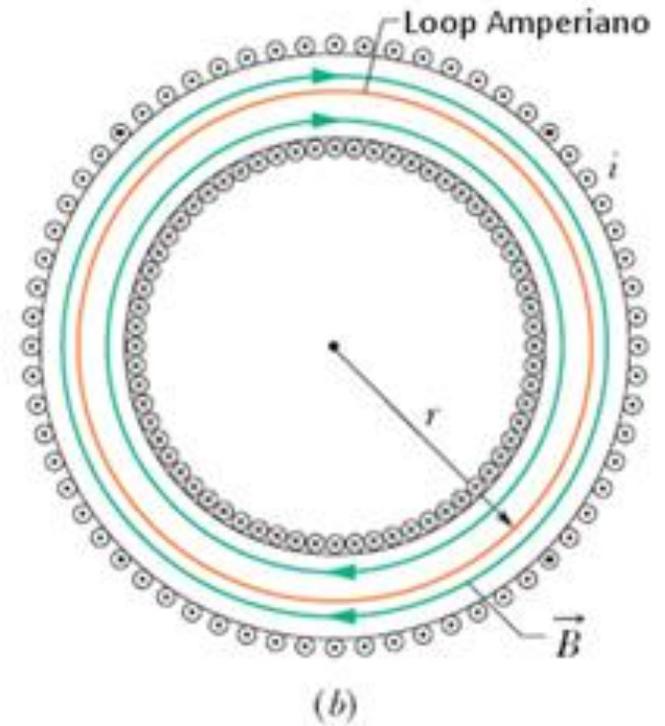
$$\mu_0 i_{env} = B(2\pi r)$$

$$\mu_0 iN = B(2\pi r)$$

$N \rightarrow$  número de espiras

$$B = \frac{\mu_0 iN}{2\pi r}$$

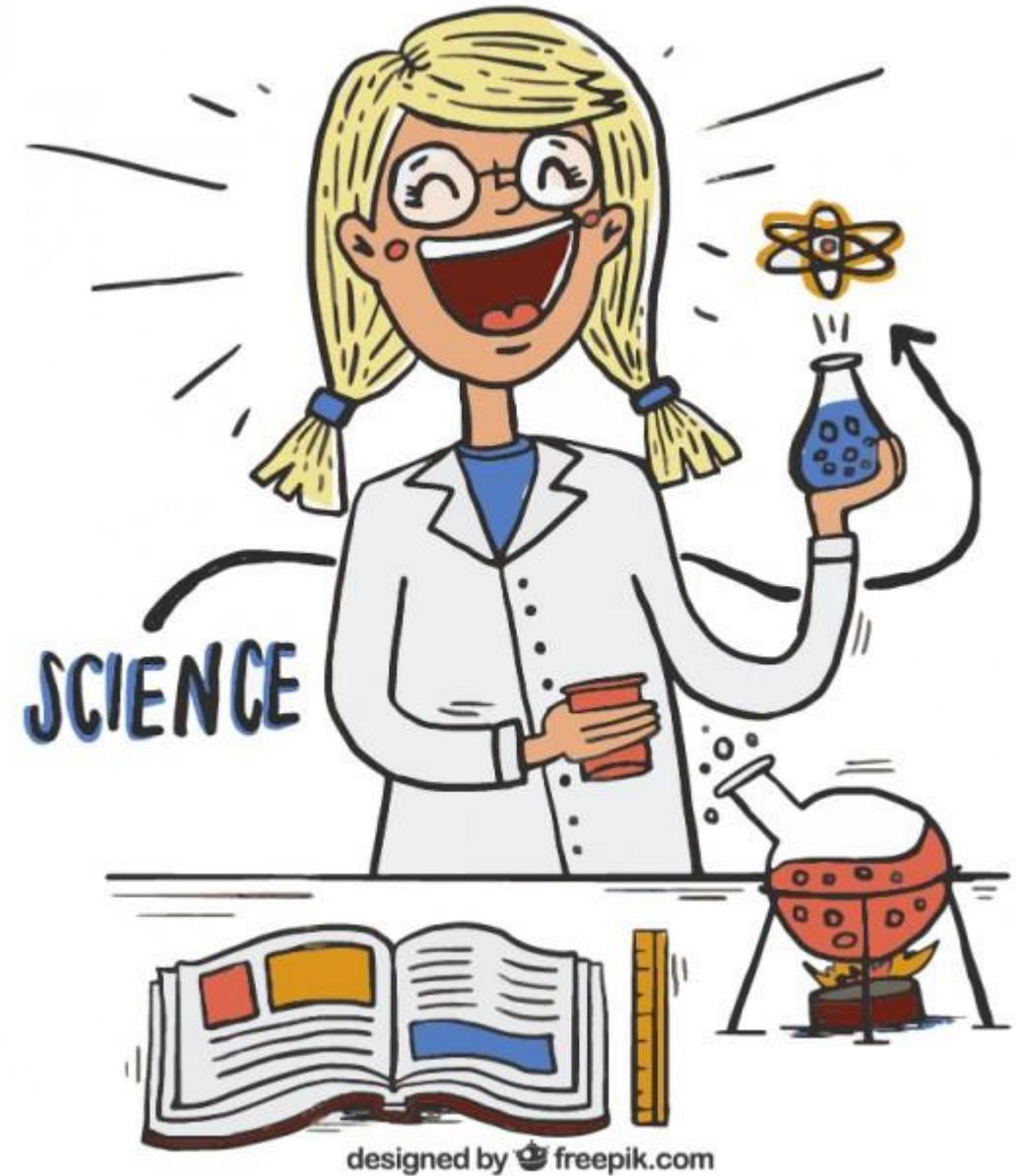
B varia com  $1/r$



# Indução e Indutância

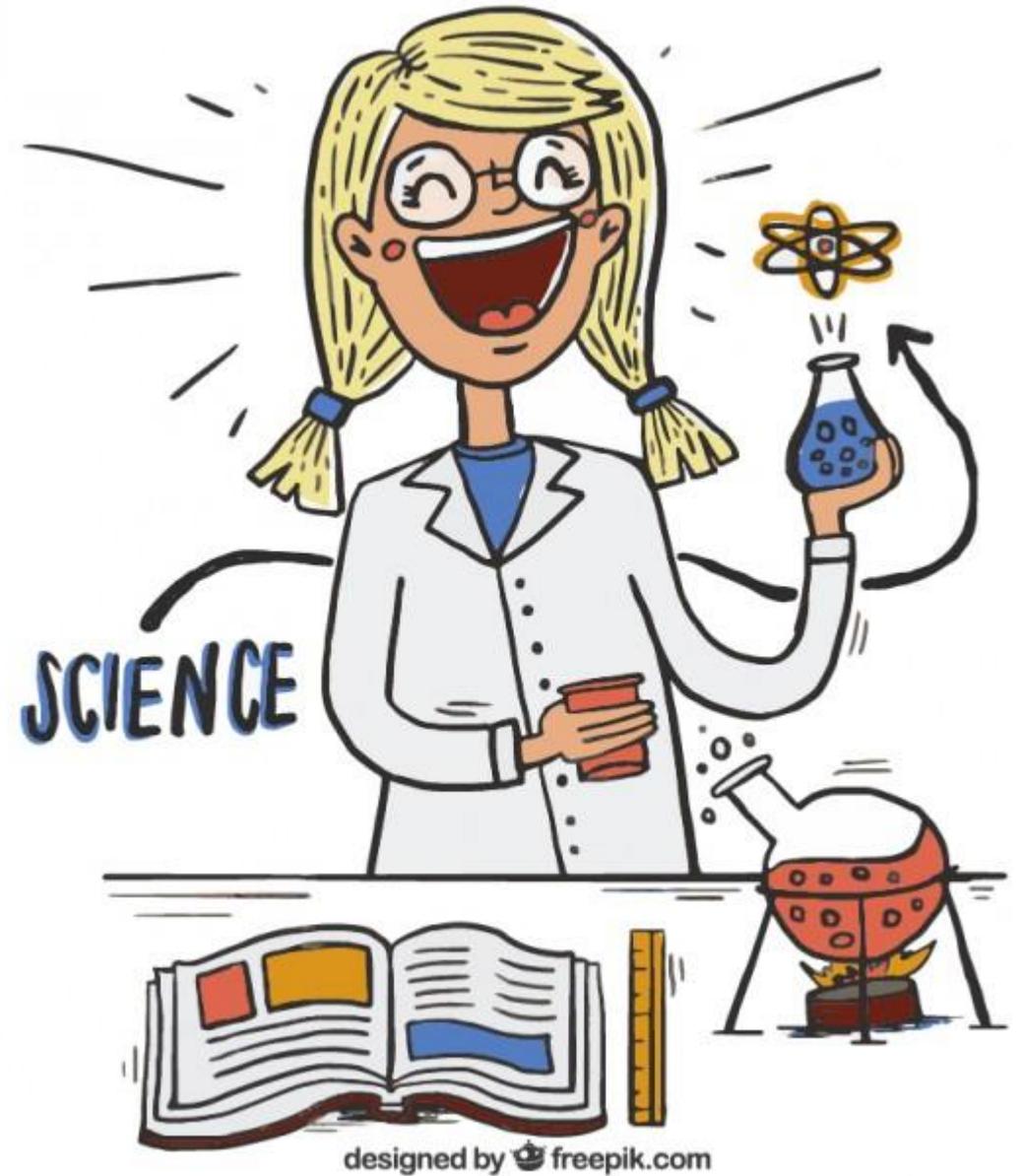
Prof. Hilde Harb Buzzá

Corrente elétrica → Campo magnético



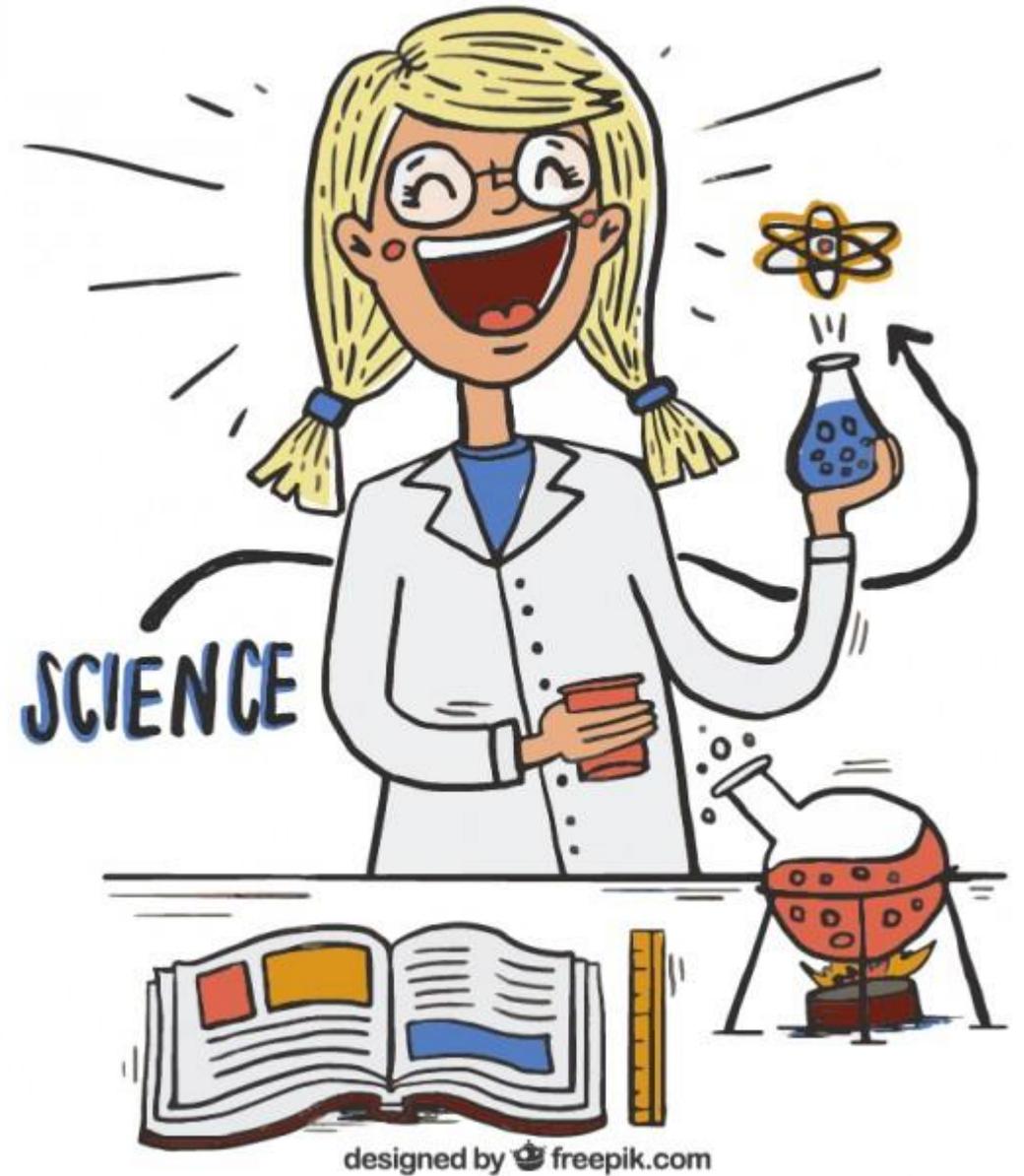
Corrente elétrica → Campo magnético

Campo magnético → Campo elétrico → corrente elétrica

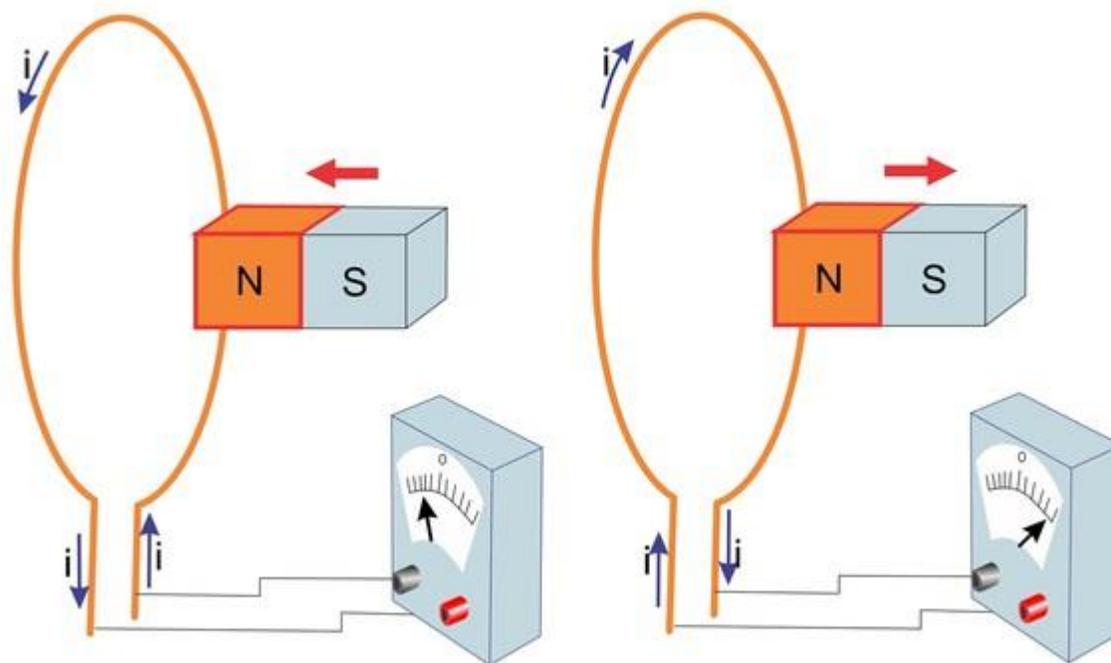


Corrente elétrica → Campo magnético

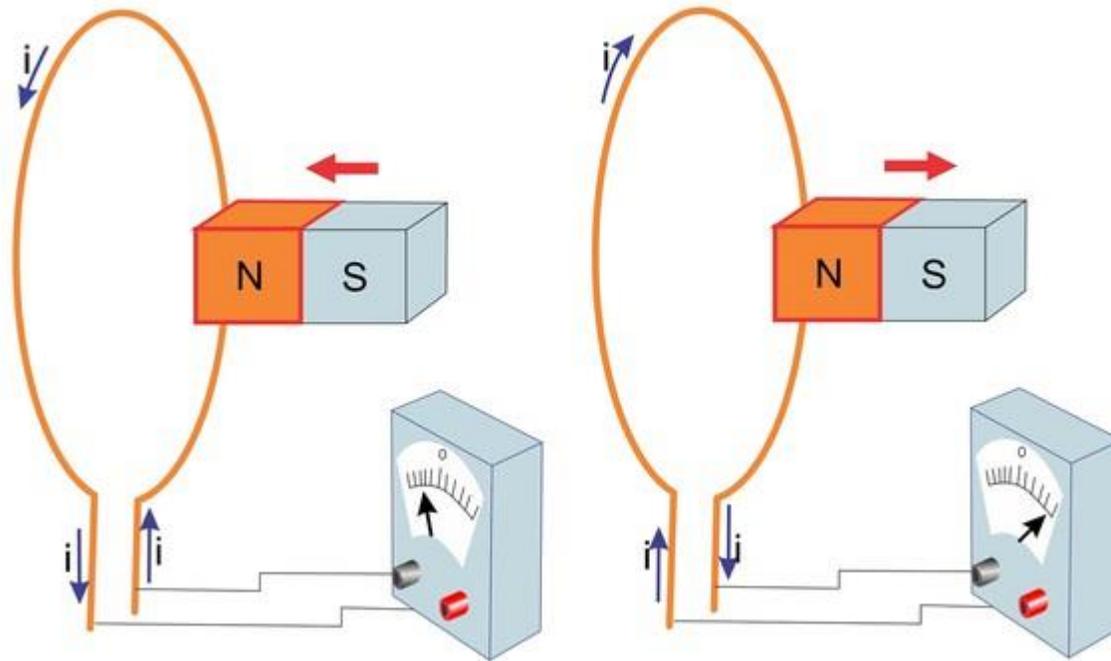
Campo magnético → Campo elétrico → corrente elétrica



# Lei da Indução de Faraday



# Lei da Indução de Faraday



- 1) Se existe movimento do ímã, existe corrente.
- 2) Quanto mais rápido, mais corrente
- 3) Dependendo se aproximamos o polo norte ou sul, a corrente muda o sentido.

# Lei da Indução de Faraday

Variação da quantidade de campo magnético → força eletromotriz e corrente

# Lei da Indução de Faraday

Variação da quantidade de campo magnético → força eletromotriz e corrente

*Uma força eletromotriz é induzida na espira quando variamos o número de linhas de campo magnético que atravessam a espira.*

# Lei da Indução de Faraday

Varição da quantidade de campo magnético → força eletromotriz e corrente

*Uma força eletromotriz é induzida na espira quando **variemos o número de linhas de campo magnético** que atravessam a espira.*

# Lei da Indução de Faraday

Varição da quantidade de campo magnético → força eletromotriz e corrente

*Uma força eletromotriz é induzida na espira quando **variemos o número de linhas de campo magnético** que atravessam a espira.*

**Importa a taxa de variação e não a quantidade de campo!**

# Fluxo Magnético

# Fluxo Magnético

Relembrando...

Fluxo elétrico:  $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

# Fluxo Magnético

Relembrando...

Fluxo elétrico:  $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

# Fluxo Magnético

Relembrando...

Fluxo elétrico:  $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

Fluxo magnético:

*Qtde de campo que atravessa A*

# Fluxo Magnético

Relembrando...

Fluxo elétrico:  $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

Fluxo magnético:  $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

# Fluxo Magnético

Relembrando...

Fluxo elétrico:  $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

Fluxo magnético:  $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

$$\Phi_B = \int B \cdot dA \cdot \cos\theta$$

# Fluxo Magnético

Relembrando...

Fluxo elétrico:  $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

Fluxo magnético:  $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

*B constante e perpendicular ao plano*

$$\Phi_B = \int B \cdot dA \cdot \cos\theta \rightarrow$$

# Fluxo Magnético

Relembrando...

Fluxo elétrico:  $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

Fluxo magnético:  $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$

*B constante e perpendicular ao plano* *Qtde de campo que atravessa A*

$$\Phi_B = \int B \cdot dA \cdot \cos\theta \rightarrow \Phi_B = B \int dA \cdot \cos 0 = B \int dA$$

# Fluxo Magnético

Relembrando...

Fluxo elétrico:  $\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

*Qtde de campo que atravessa A*

Fluxo magnético:  $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$

*B constante e perpendicular ao plano* *Qtde de campo que atravessa A*

$$\Phi_B = \int B \cdot dA \cdot \cos\theta \rightarrow \Phi_B = B \int dA \cdot \cos 0 = B \int dA \rightarrow \Phi_B = BA$$

# Lei de Faraday

$$\Phi_B = \int B \cdot dA \cdot \cos\theta$$

# Lei de Faraday

$$\Phi_B = \int B \cdot dA \cdot \cos\theta$$

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}\Phi_B$$

# Lei de Faraday

$$\Phi_B = \int B \cdot dA \cdot \cos\theta$$

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}\Phi_B$$

Em uma bobina de N espiras:

$$\varepsilon = -N \frac{d}{dt}\Phi_B$$

# Lei de Faraday

$$\Phi_B = \int B \cdot dA \cdot \cos\theta$$

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}\Phi_B$$

Em uma bobina de N espiras:

$$\varepsilon = -N \frac{d}{dt}\Phi_B$$

Para mudar o fluxo:

- 1) Mudamos B
- 2) Mudamos a área A
- 3) Mudamos o ângulo

# Lei de Lenz

# 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.*

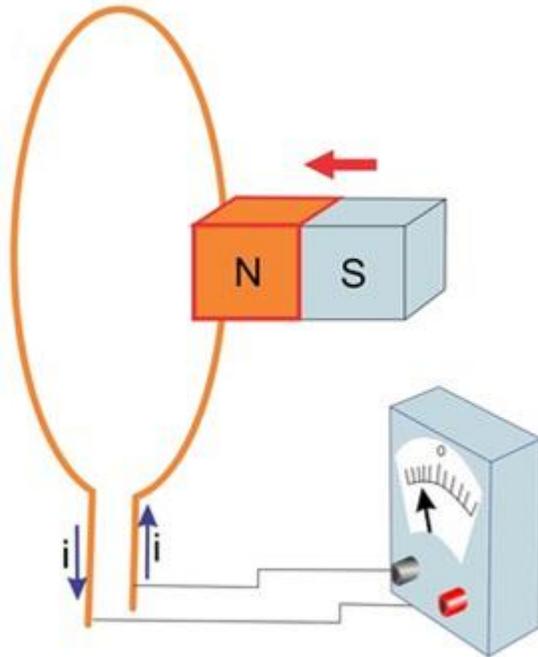
# Lei de Lenz

*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.*

**OPOSIÇÃO!**

# Lei de Lenz

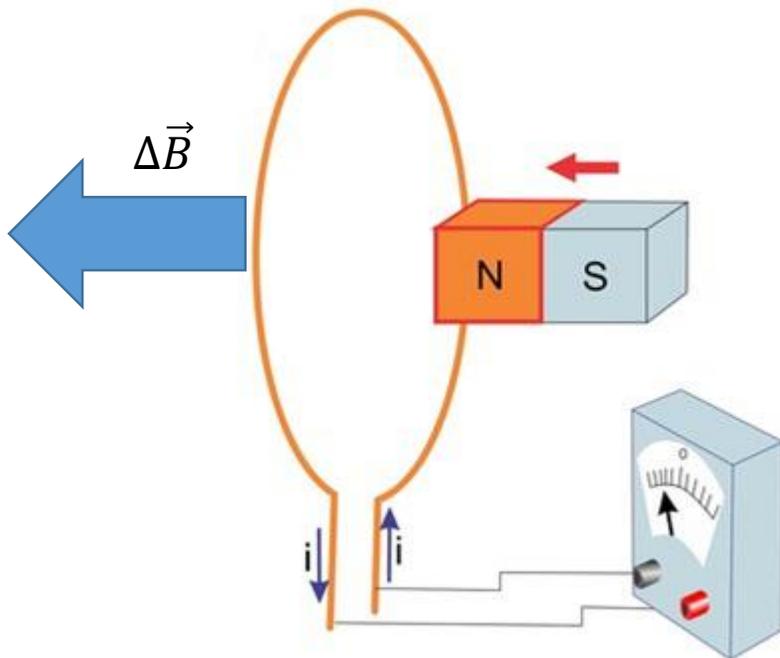
*A corrente induzida em uma espira tem um sentido tal que o campo magnético produzido pela corrente se opõe ao campo magnético que induz a corrente.*



**OPOSIÇÃO!**

# Lei de Lenz

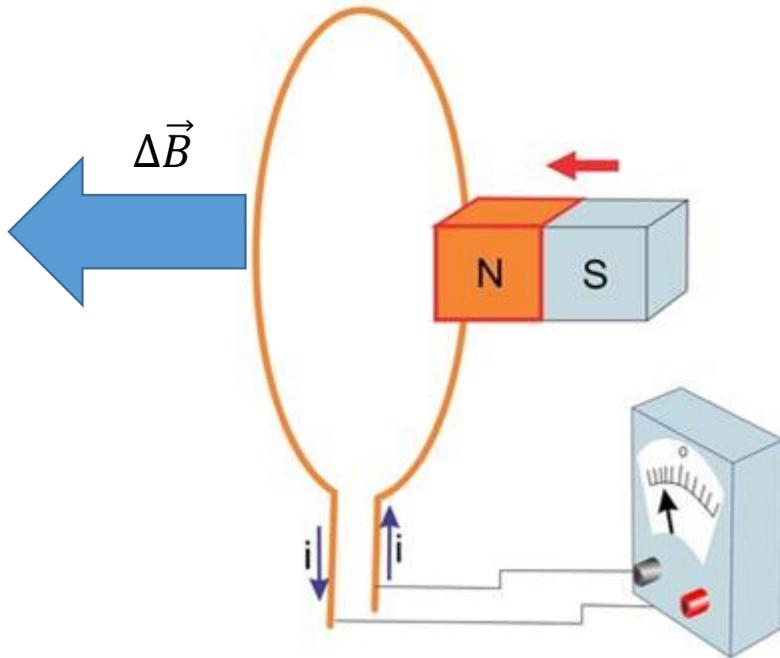
*A corrente induzida em uma espira tem um sentido tal que o campo magnético produzido pela corrente se opõe ao campo magnético que induz a corrente.*



**OPOSIÇÃO!**

# 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.*

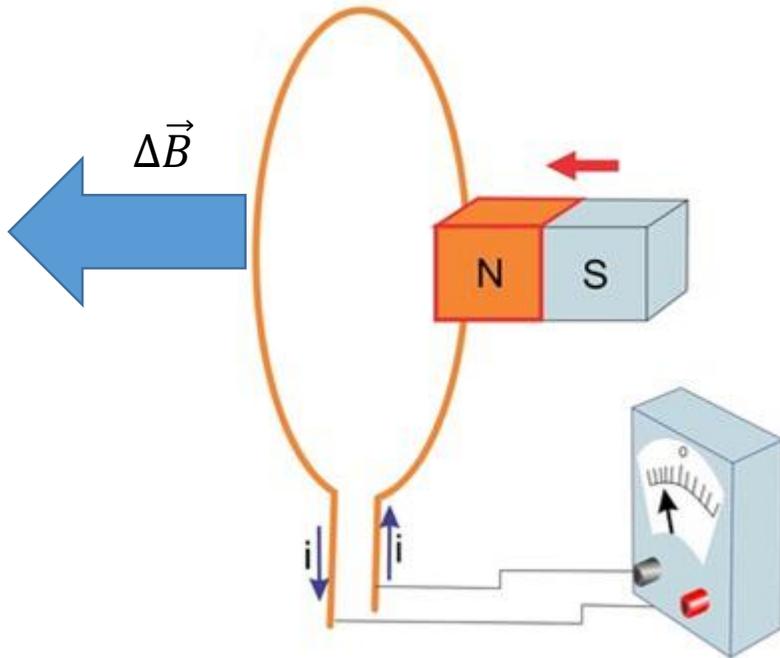


**OPOSIÇÃO!**

Eu quero criar um campo B que faça OPOSIÇÃO ao campo!

# 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.*

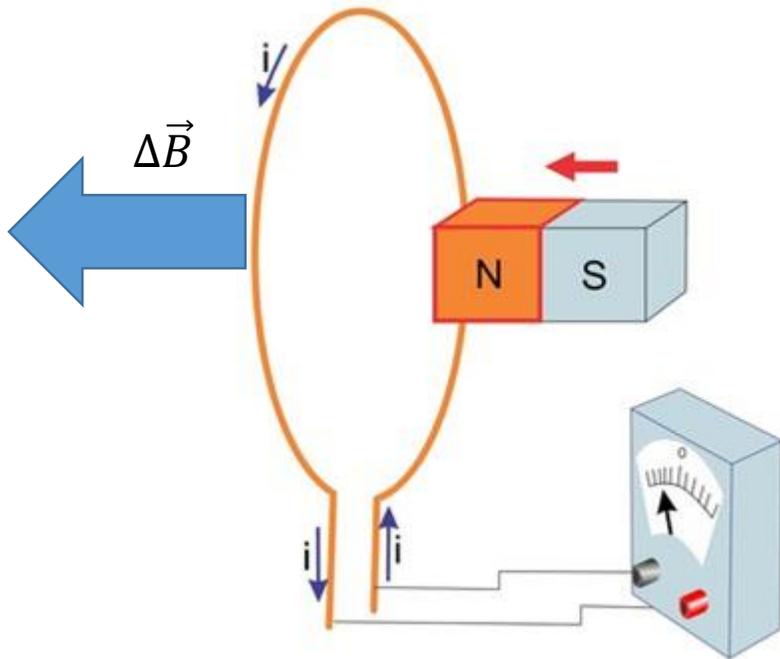


**OPOSIÇÃO!**

Eu quero criar um campo B que faça OPOSIÇÃO ao campo!

# 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.*

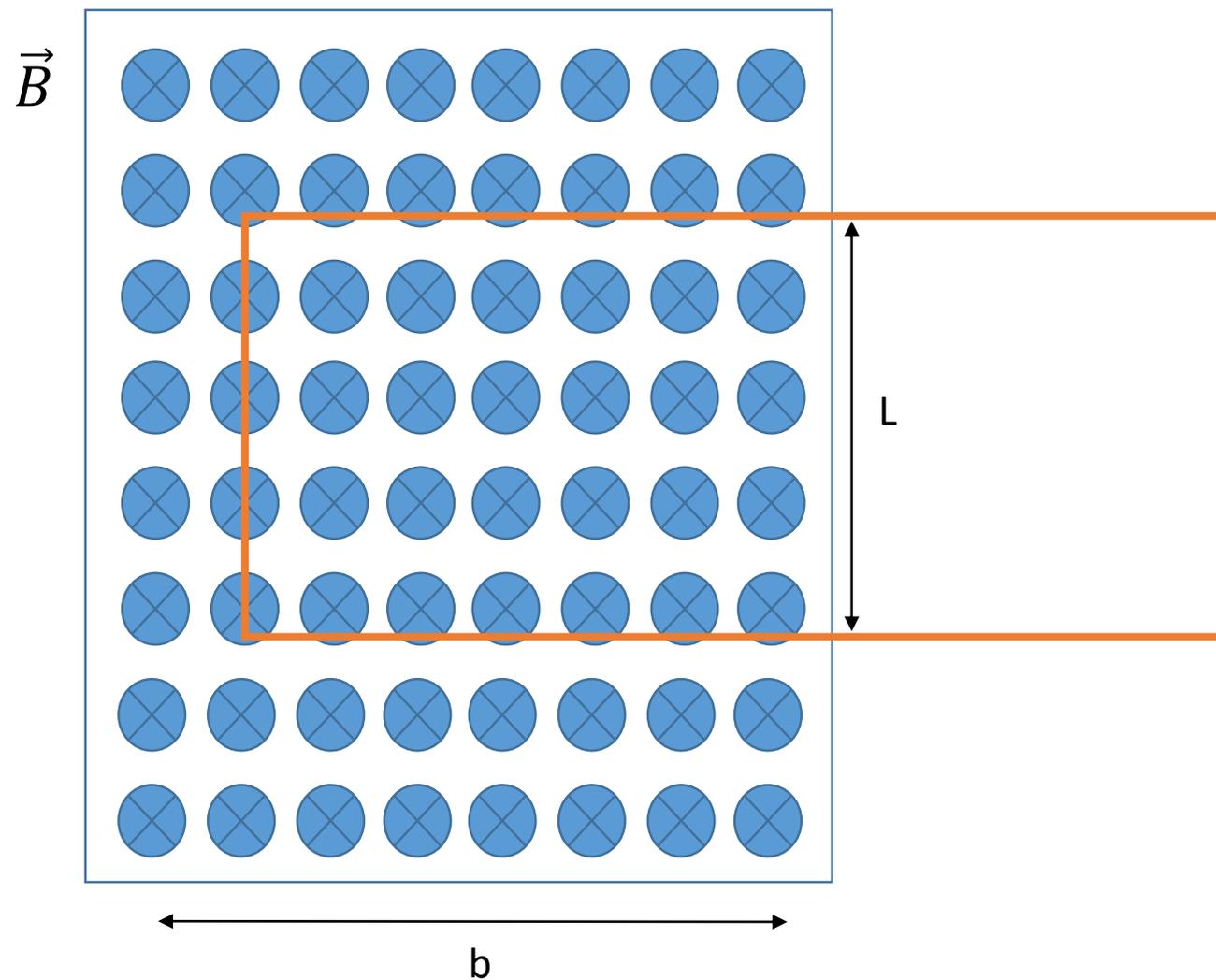


**OPOSIÇÃO!**

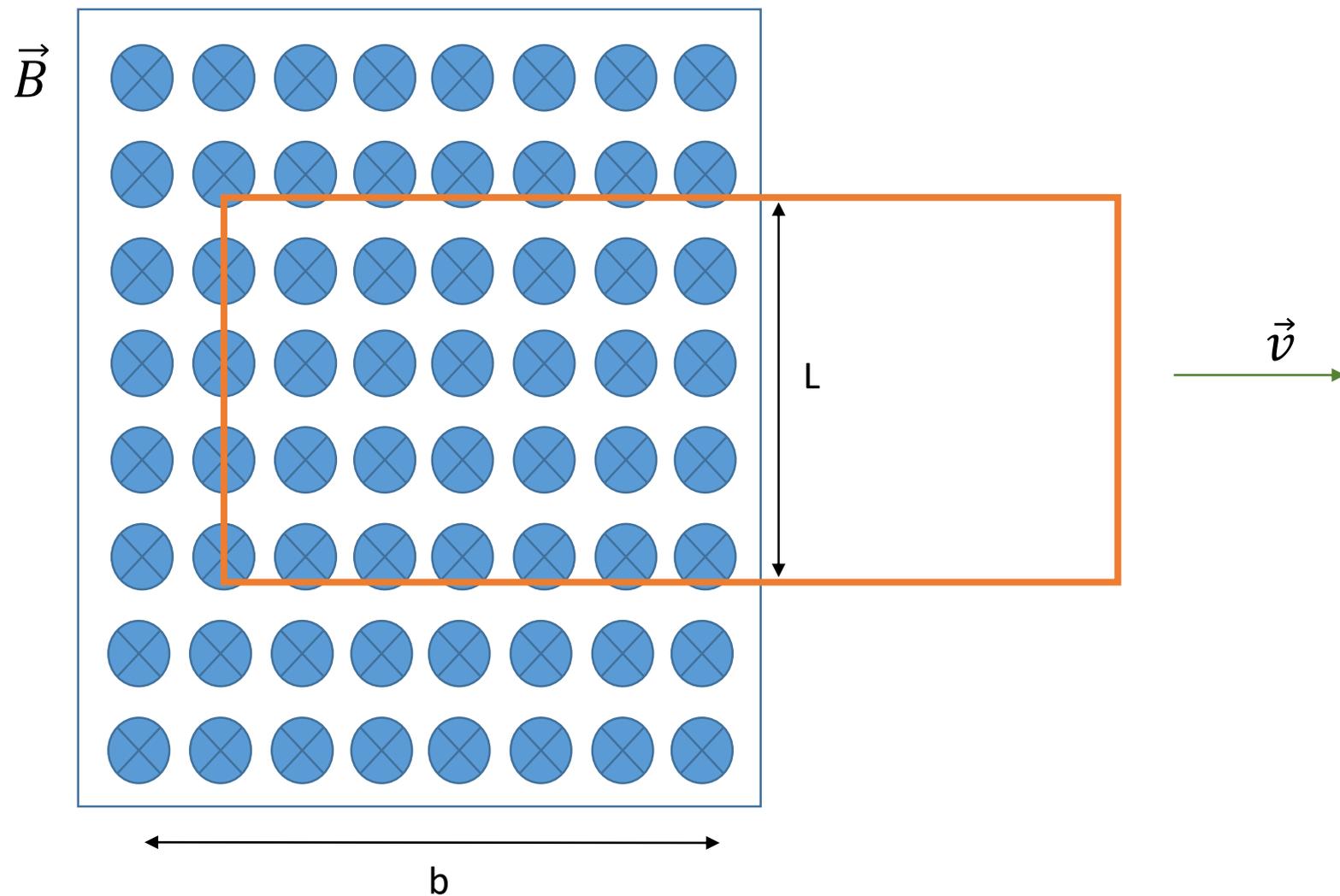
Eu quero criar um campo B que faça OPOSIÇÃO ao campo!

# Indução e transferência de Energia

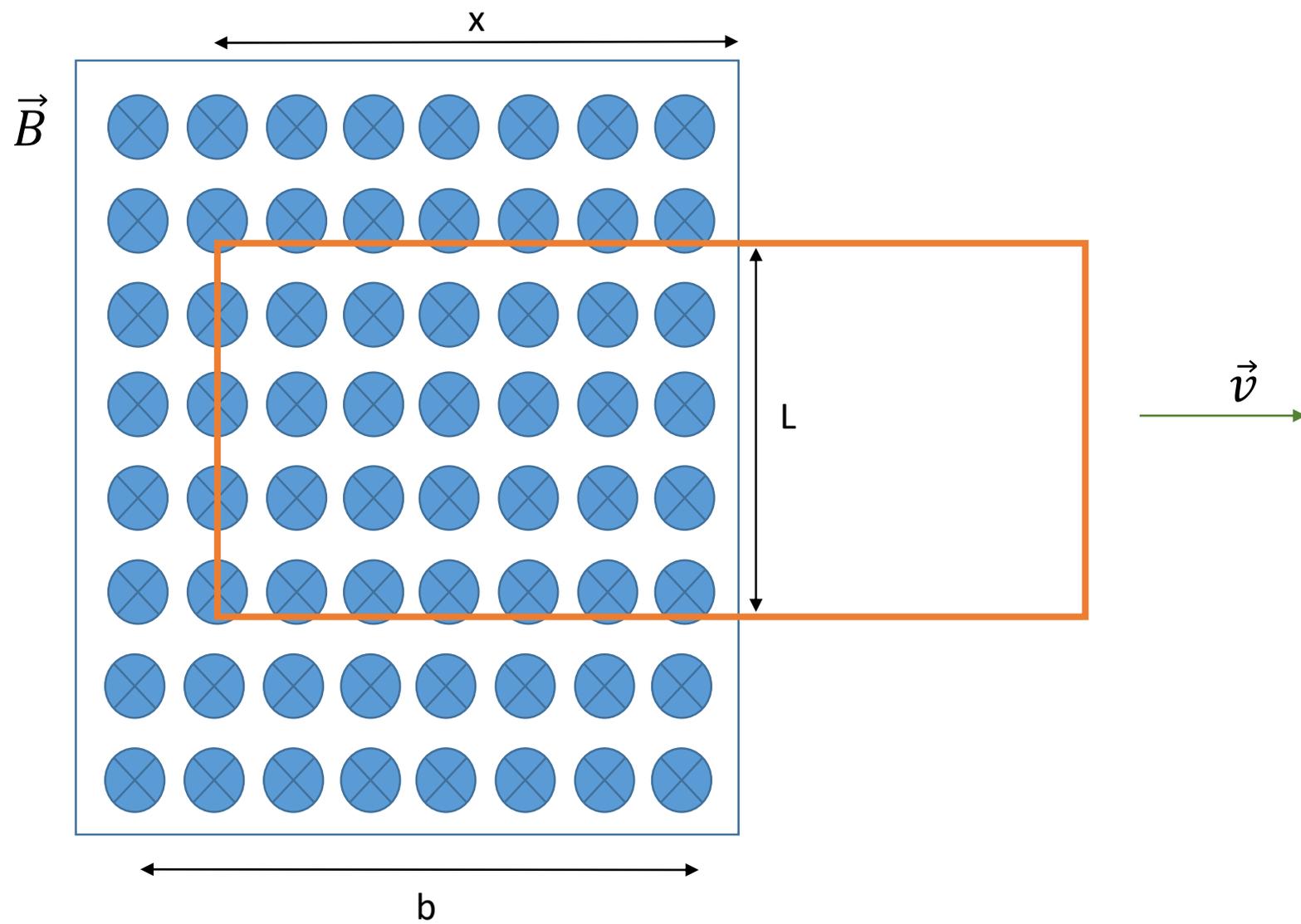
# Indução e transferência de Energia



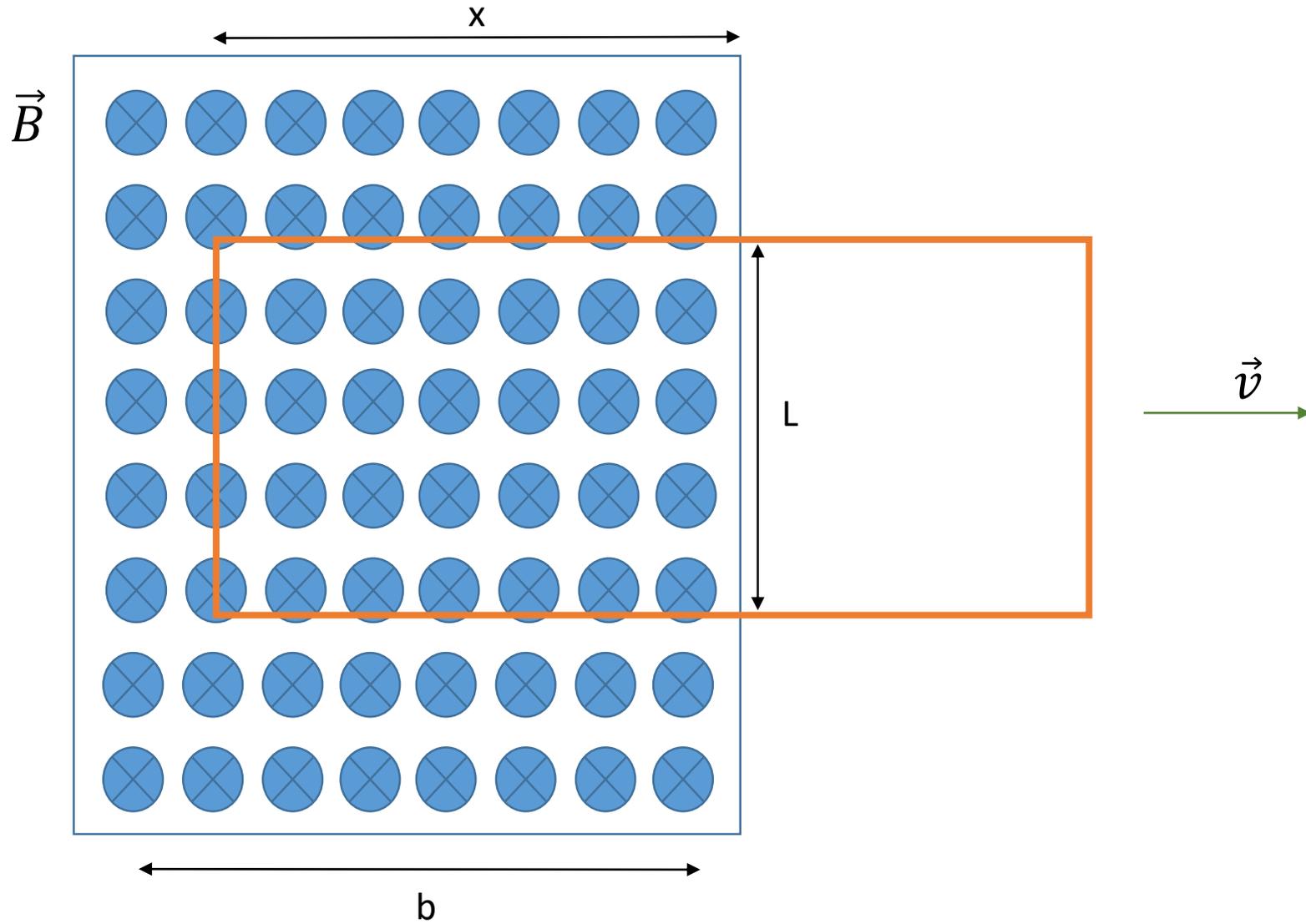
# Indução e transferência de Energia



# Indução e transferência de Energia



# Indução e transferência de Energia



Lousa!