

Eletromagnetismo

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$$

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

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

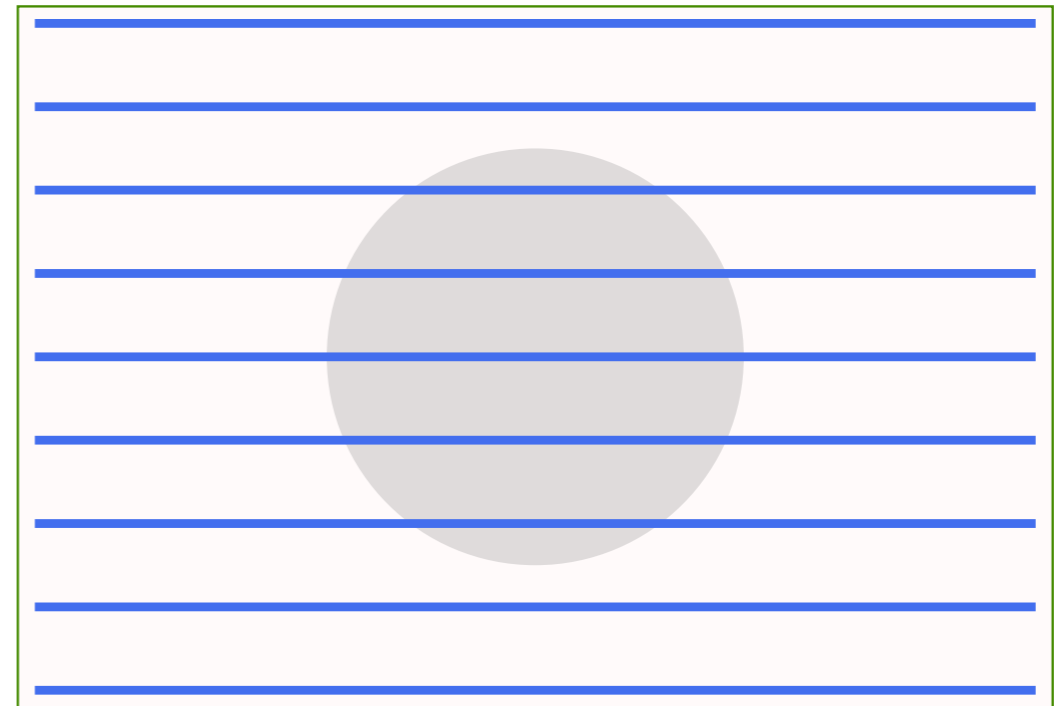
$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

12 de julho de 2021

Magnetismo em materiais

Magnetismo em materiais

- Paramagnéticos
 - Diamagnéticos
 - Ferromagnéticos
 - Antiferromagnéticos
- FREQUENTEMENTE
LINEARES



Magnetismo em materiais

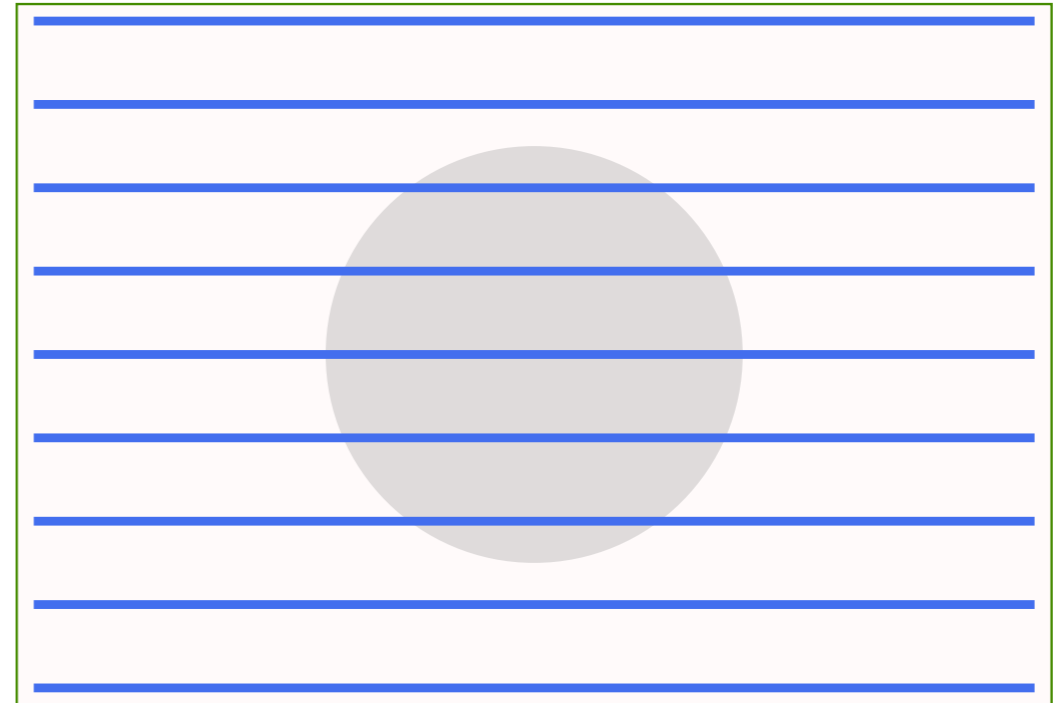
Meios lineares

- Paramagnéticos

- Diamagnéticos

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

↳ SUSCEPTIBILIDADE
MAGNÉTICA



Magnetismo em materiais

Meios lineares

• Paramagnéticos

• Diamagnéticos

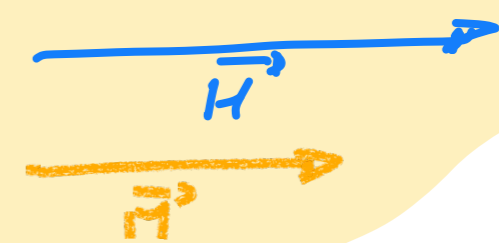
$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

Material	χ_m	Material	χ_m
Bi	-1.6×10^{-4}	O ₂	1.9×10^{-6}
Au	-3.4×10^{-5}	Na	8.5×10^{-6}
Ag	-2.4×10^{-5}	Al	2.1×10^{-6}
Cu	-9.7×10^{-6}	W	7.8×10^{-6}
H ₂ O	-9.0×10^{-6}	Pt	2.8×10^{-6}
CO ₂	-1.2×10^{-8}	O ₂ (-200 C)	3.9×10^{-6}
H ₂	-2.2×10^{-9}	Gd	4.8×10^{-6}

DIAMAGNÉTICOS
($\chi_m < 0$)



PARAMAGNÉTICOS
($\chi_m > 0$)



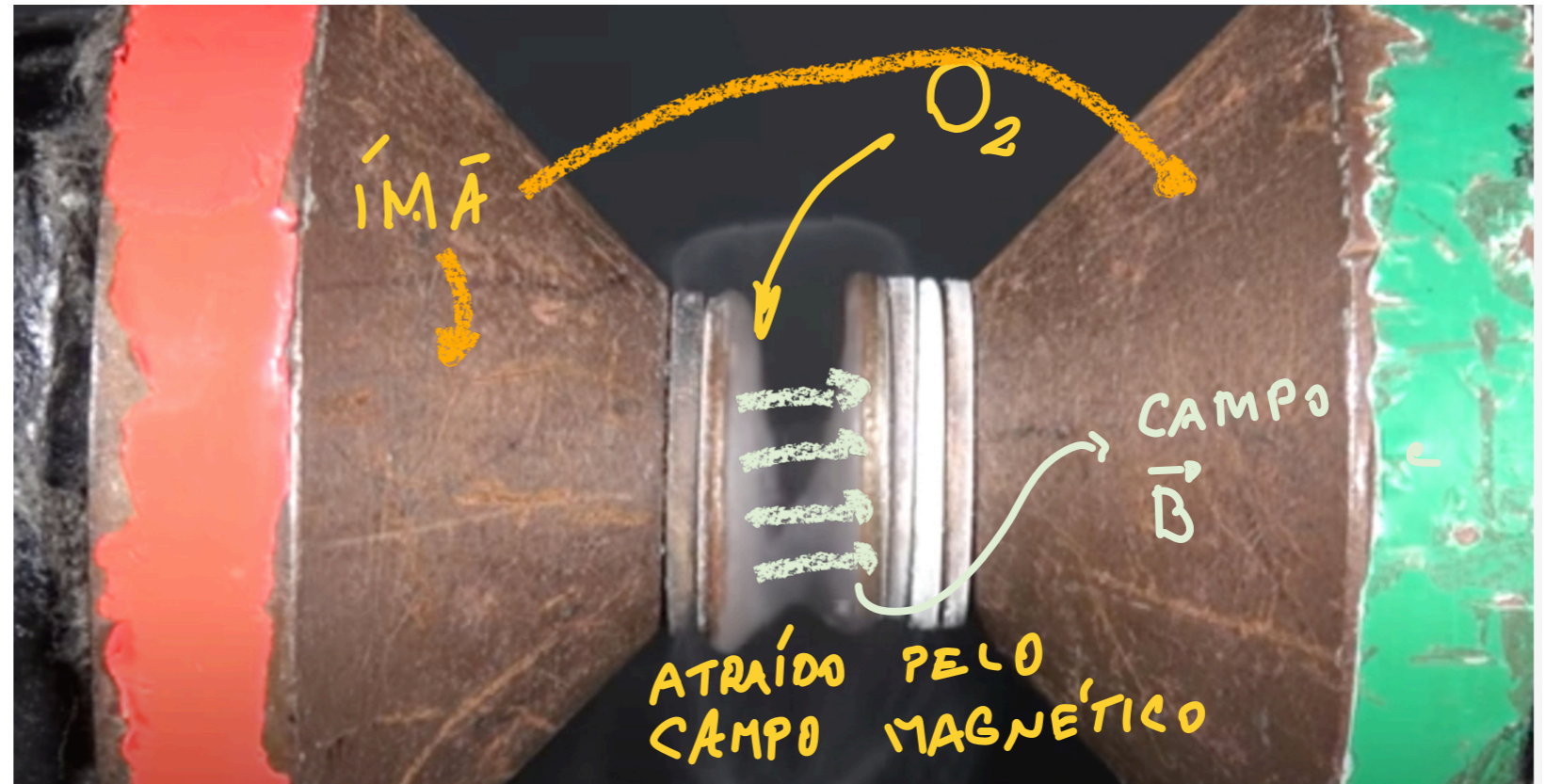
Magnetismo em materiais

Meios lineares

- Paramagnéticos

- Diamagnéticos

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$



<https://www.youtube.com/watch?v=Lt4P6ctf06Q>

Magnetismo em materiais

Meios lineares

• Paramagnéticos

• Diamagnéticos

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$$

Material	χ_m	Material	χ_m
Bi	-1.6×10^{-4}	O ₂	1.9×10^{-6}
Au	-3.4×10^{-5}	Na	8.5×10^{-6}
Ag	-2.4×10^{-5}	Al	2.1×10^{-6}
Cu	-9.7×10^{-6}	W	7.8×10^{-6}
H ₂ O	-9.0×10^{-6}	Pt	2.8×10^{-6}
CO ₂	-1.2×10^{-8}	O ₂ (-200 C)	3.9×10^{-6}
H ₂	-2.2×10^{-9}	Gd	4.8×10^{-6}

Magnetismo em materiais

Meios lineares

• Paramagnéticos

• Diamagnéticos

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$$

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H}$$

Material	χ_m	Material	χ_m
Bi	-1.6×10^{-4}	O ₂	1.9×10^{-6}
Au	-3.4×10^{-5}	Na	8.5×10^{-6}
Ag	-2.4×10^{-5}	Al	2.1×10^{-6}
Cu	-9.7×10^{-6}	W	7.8×10^{-6}
H ₂ O	-9.0×10^{-6}	Pt	2.8×10^{-6}
CO ₂	-1.2×10^{-8}	O ₂ (-200 C)	3.9×10^{-6}
H ₂	-2.2×10^{-9}	Gd	4.8×10^{-6}

Magnetismo em materiais

Meios lineares

• Paramagnéticos

• Diamagnéticos

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

Material	χ_m	Material	χ_m
Bi	-1.6×10^{-4}	O ₂	1.9×10^{-6}
Au	-3.4×10^{-5}	Na	8.5×10^{-6}
Ag	-2.4×10^{-5}	Al	2.1×10^{-6}
Cu	-9.7×10^{-6}	W	7.8×10^{-6}
H ₂ O	-9.0×10^{-6}	Pt	2.8×10^{-6}
CO ₂	-1.2×10^{-8}	O ₂ (-200 C)	3.9×10^{-6}
H ₂	-2.2×10^{-9}	Gd	4.8×10^{-6}

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$$

PERMEABILIDADE MAGNÉTICA DO VÁCUO

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H}$$

PERMEABILIDADE MAGNÉTICA DO MEIO

$$\vec{B} = \mu\vec{H}$$

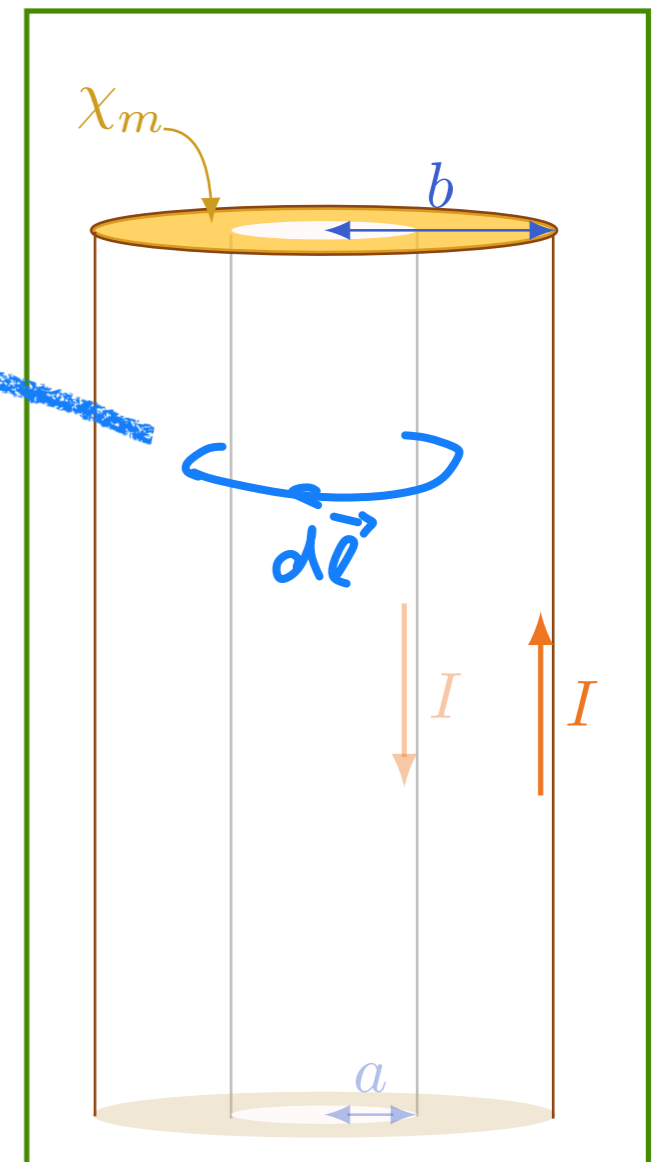
Pratique o que aprendeu

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\vec{B} = ? \quad (b > s > a)$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = I$$

CORRENTE LIVRE
QUE ATRAVESSA O
CIRCUITO



Pratique o que aprendeu

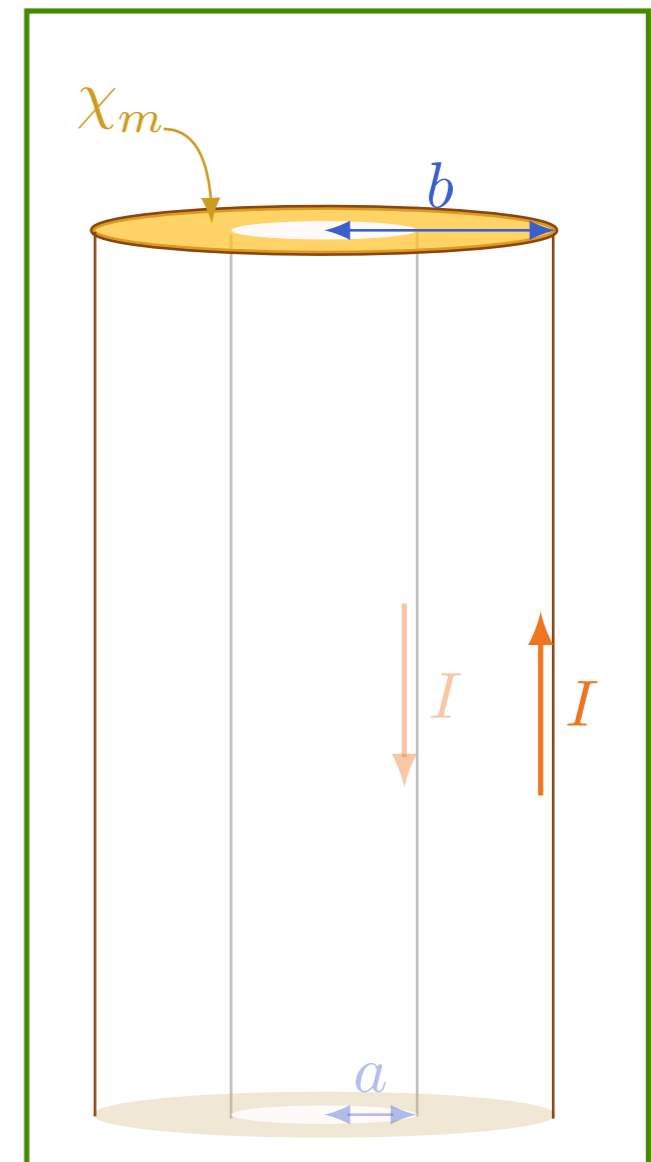
$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\vec{B} = ? \quad (b > s > a)$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = I$$

$\vec{H} \parallel d\vec{\ell} \Rightarrow \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = H dl$

$$H 2\pi s = I$$

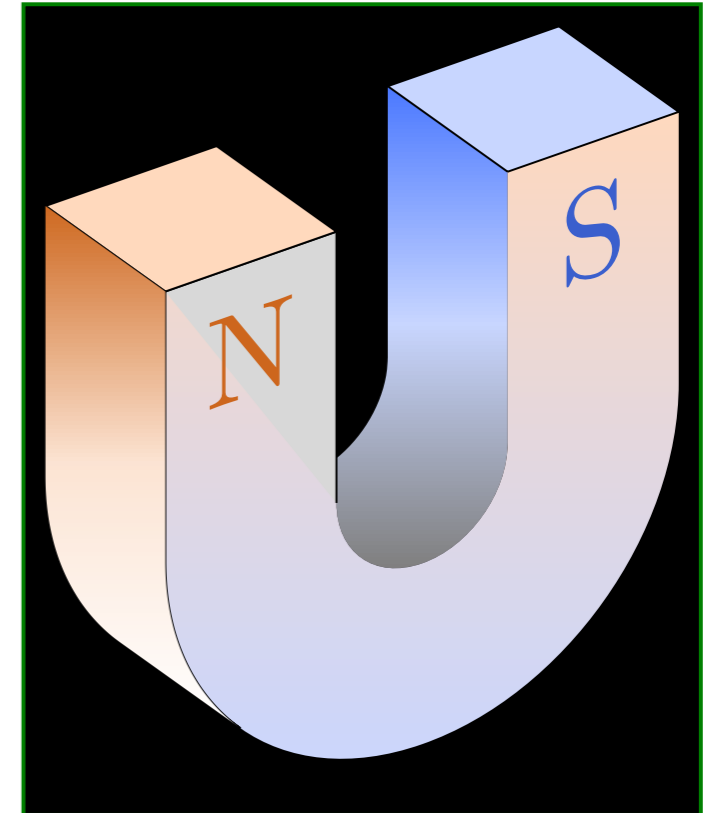


Magnetismo em materiais

Ferromagnetismo

• Fe, Co, Ni, Gd

TAMBÉM Dy. A TEMPERATURAS MUITO BAIXAS

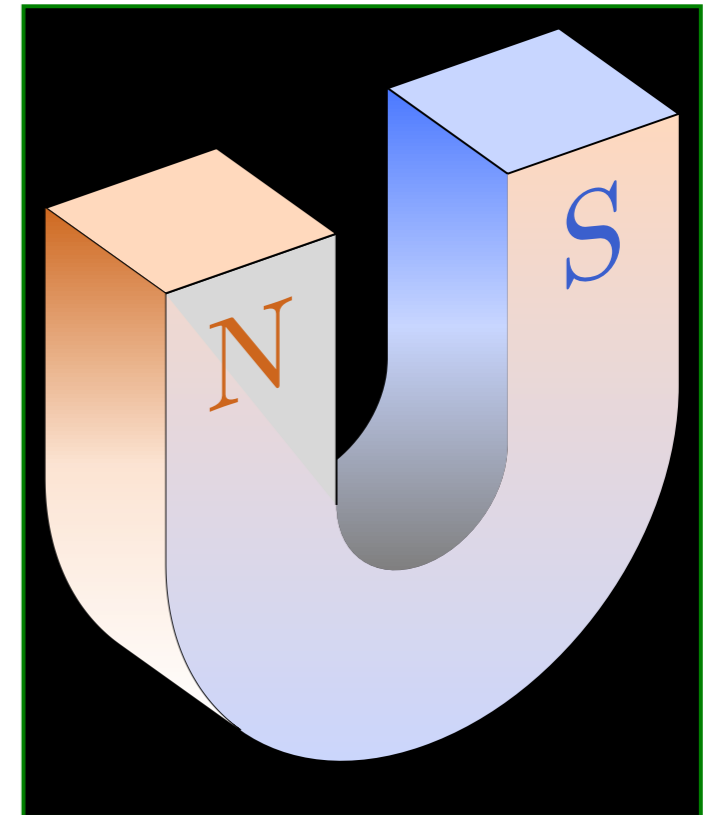


Magnetismo em materiais

Ferromagnetismo

• Fe, Co, Ni, Gd

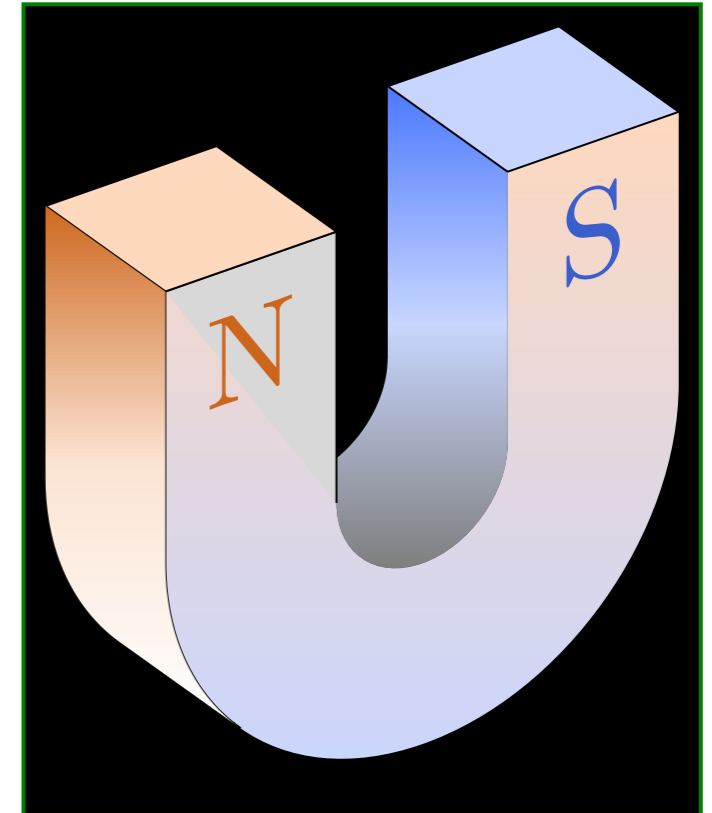
• Magnetização ^{MESMO} sem corrente



Magnetismo em materiais

Ferromagnetismo

- Fe, Co, Ni, Gd
- Magnetização sem corrente
- Temperatura de Curie
 - Fe = 1043 K
 - Co = 1400 K
 - Ni = 627 C
 - Gd = 292 C
- ACIMA DA TEMP. CURIE, MAGNETIZAÇÃO SE ANULA

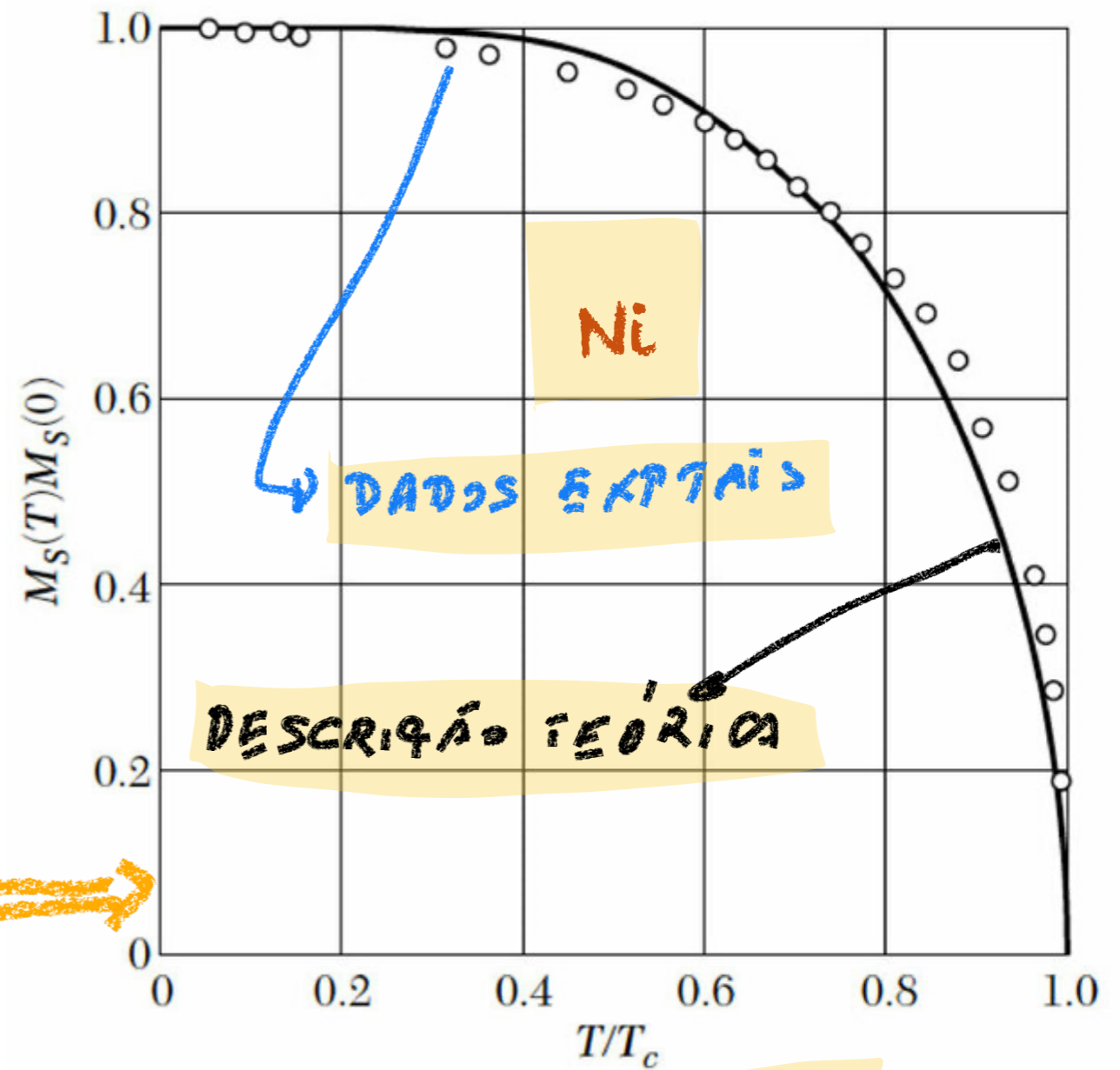


Magnetismo em materiais

Ferromagnetismo

- Fe, Co, Ni, Gd
- Magnetização sem corrente
- Temperatura de Curie
 - Fe = 1043 K
 - Co = 1400 K
 - Ni = 627 K
 - Gd = 292 K

EXEMPLO



$T_c = 627 \text{ K}$

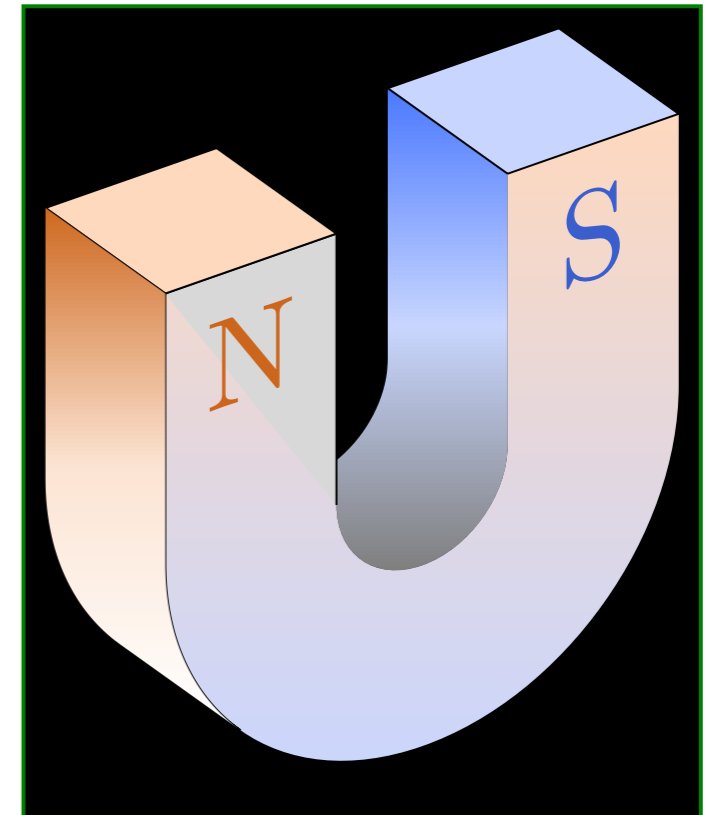
Magnetismo em materiais

Ferromagnetismo

- Fe, Co, Ni, Gd
- Magnetização sem corrente
- Temperatura de Curie
- Domínios

↑
RESPOSTA

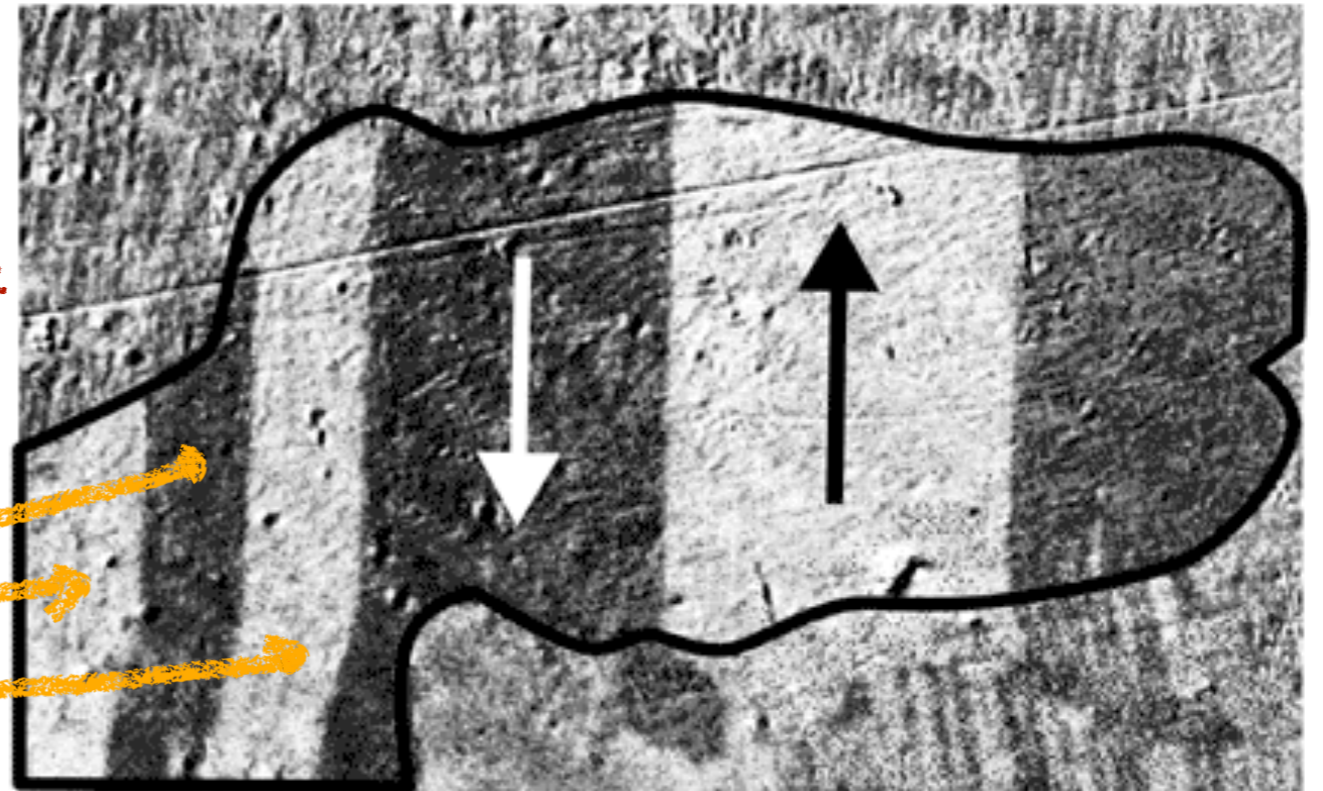
POR QUE PREGOS
FERROS DE FERRO
NÃO SÃO ÍMAS?



Magnetismo em materiais

Ferromagnetismo

- Fe, Co, Ni, Gd
- Magnetização sem corrente
- Temperatura de Curie
- Domínios



<http://mriquestions.com/what-is-ferromagnetism.html>

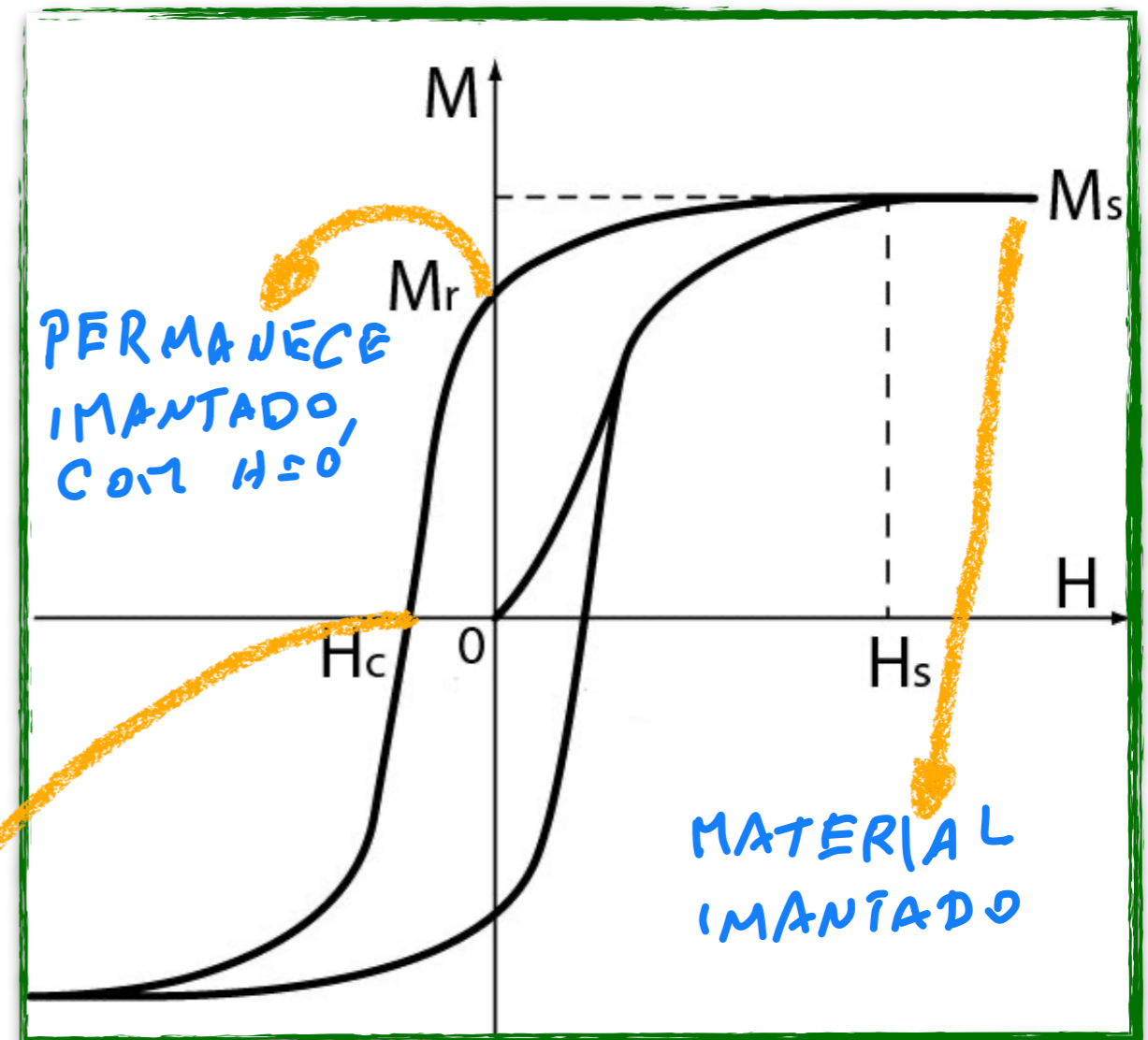
- CADA DOMÍNIO É MAGNETIZADO, ABAIXO DA TEMPERATURA DE CURIE
- SOMA DAS MAGNETIZAÇÕES NOS DOMÍNIOS DÁ ZERO
- CAMPO MAGNÉTICO EXTERNO ORIENTA MAGNETIZAÇÕES DOS DOMÍNIOS

⇒ IMANTA

Magnetismo em materiais

Ferromagnetismo

- Fe, Co, Ni, Gd
- Magnetização sem corrente
- Temperatura de Curie
- Domínios



CAMPO
NECESSÁRIO
PARA
DESMAGNETIZAR

CICLO DE HISTERESE

(MATERIAL SE LEMBRA DO
CAMPO \vec{H} A QUE FOI
SUBMETIDO)

Eletromagnetismo

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$$

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

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

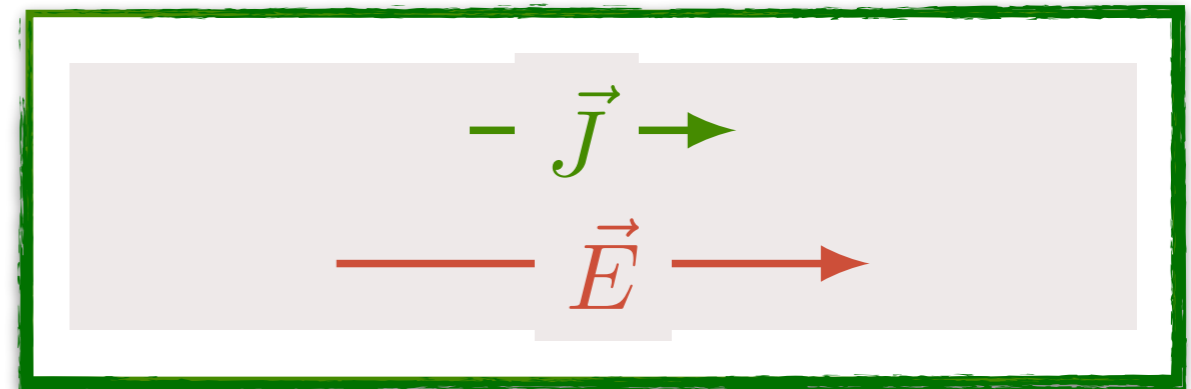
12 de julho de 2021
Eletrodinâmica

Corrente elétrica

• Condutividade elétrica

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

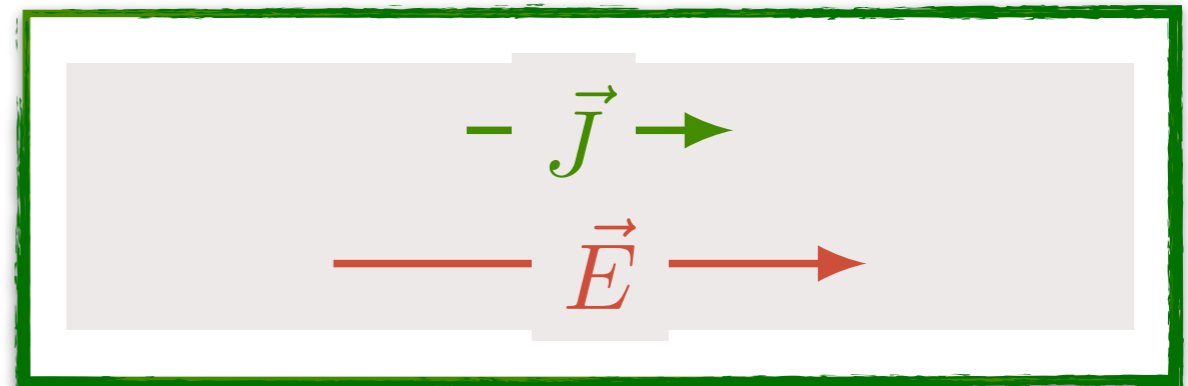
↳ CONDUTIVIDADE



Corrente elétrica

• Condutividade elétrica

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$



$\sigma = \frac{1}{\rho}$

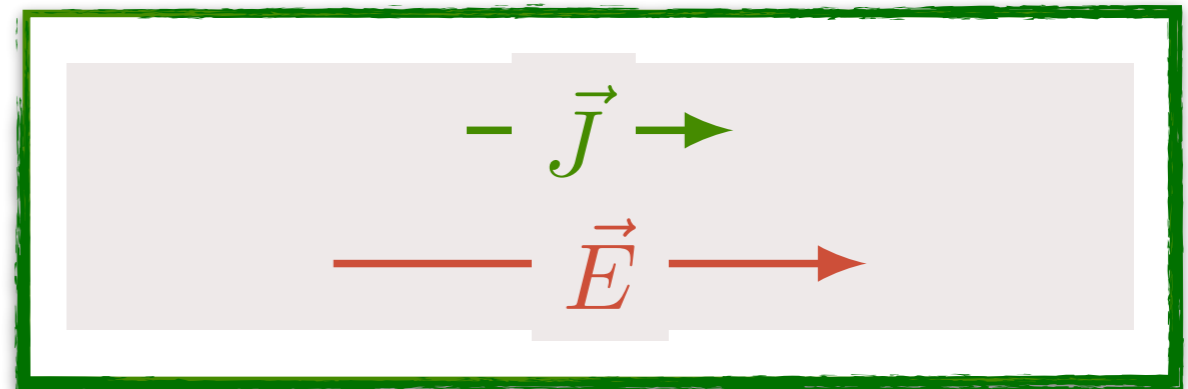
Material	Resistividade ($\Omega \text{ m}$)	Material	Resistividade ($\Omega \text{ m}$)
Ag	1.6×10^{-8}	Salmoura	4.4×10^{-2}
Cu	1.7×10^{-8}	Ge	4.6×10^{-1}
Au	2.2×10^{-8}	Diamante	2.7
Al	2.7×10^{-8}	Si	2.5×10^3
Fe	9.6×10^{-8}	H ₂ O	2.5×10^5
Hg	9.6×10^{-7}	Madeira	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^{11}$
Mn	1.4×10^{-6}	Vidro	$1 \times 10^{10} - 1 \times 10^{14}$

Corrente elétrica

• Condutividade elétrica

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = \sigma \vec{\nabla} \cdot E$$



Corrente elétrica

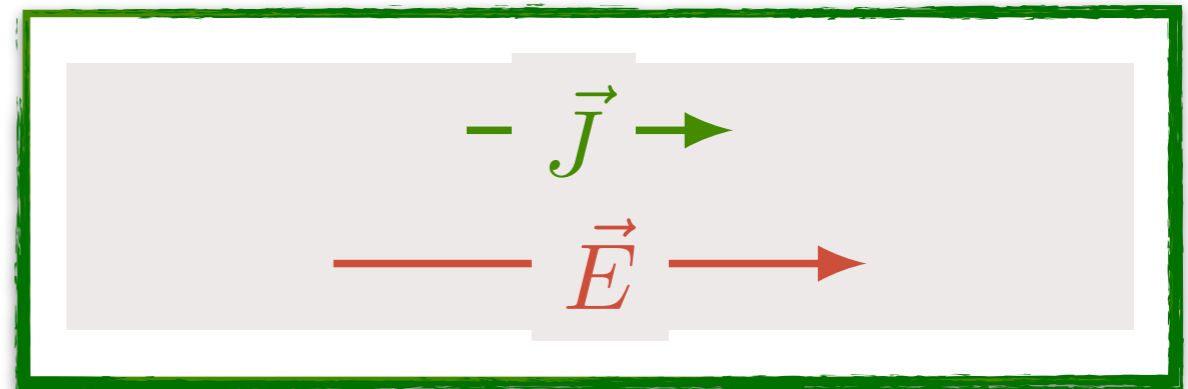
• Condutividade elétrica

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = \sigma \vec{\nabla} \cdot \vec{E} \quad (\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad \text{SE NÃO HOUVER CARGAS})$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \quad \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \right)$$

← EQUAÇÕES DA CONTINUIDADE



Corrente elétrica

• Condutividade elétrica

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = \sigma \vec{\nabla} \cdot \vec{E}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

