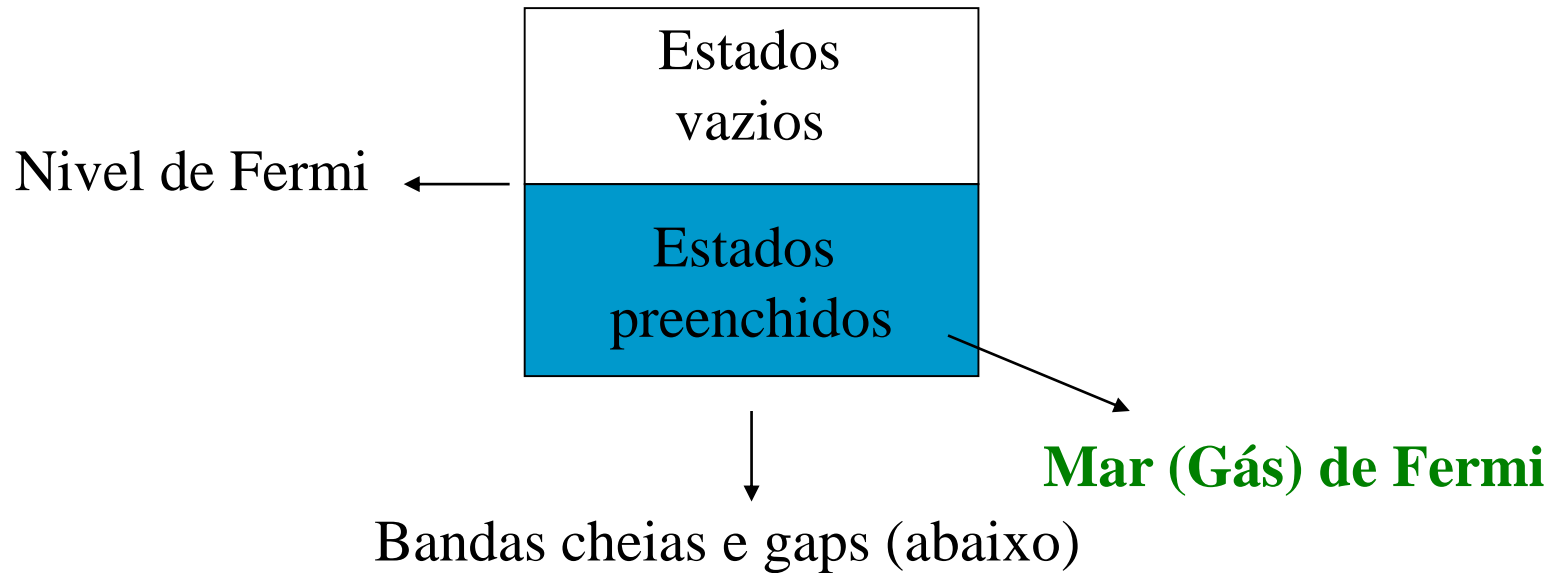


Propriedades Elétricas



Condutores

Condutores - 0 K



Condutividade Elétrica em CONDUTORES (Metais)

■ Metais: $\sigma = \sigma_n = n_n |e| \mu_n$

onde n_n é o número de elétrons livres por unidade de volume

Densidade de portadores n_n → Muito alta!

Mobilidade dos elétrons → Baixa

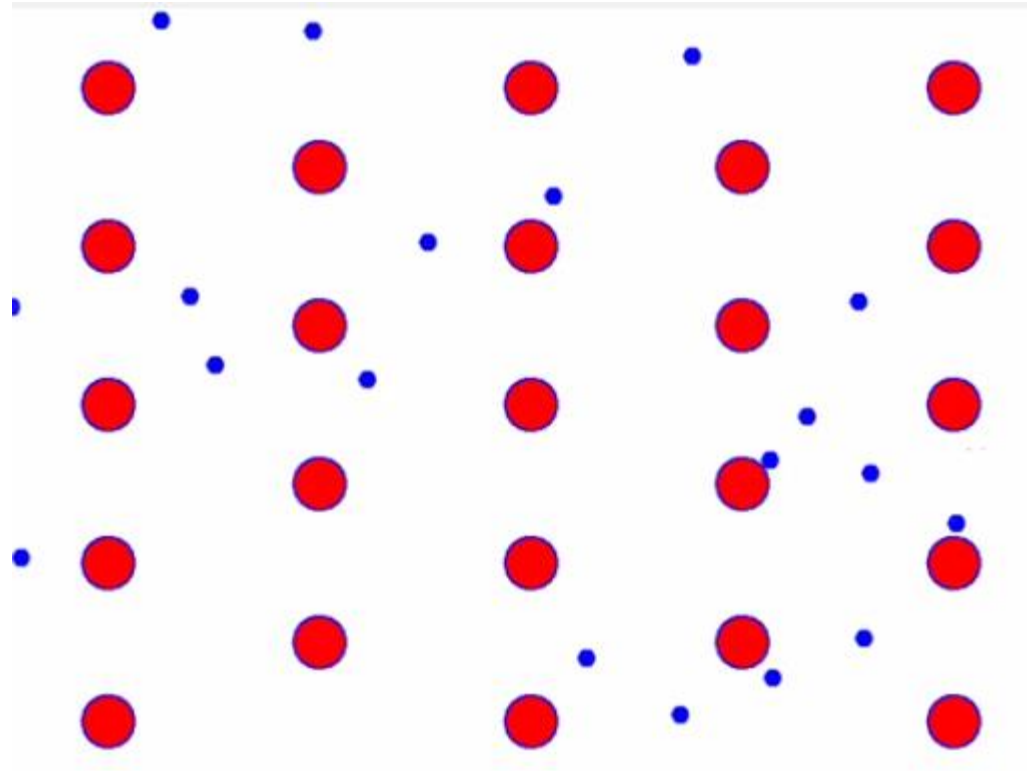
Espalhamento (choque) dos elétrons

↓ **Mobilidade dos elétrons** → **Condutividade elétrica** ↓

Fontes de espalhamento:

- defeitos da rede: impurezas, intersticiais, composição;
- vibrações térmicas (fônons);
- deformação plástica (discordâncias).

Movimento de elétrons



www.youtube.com/watch?v=dyX5I_io7bg

Resistividade Elétrica em Metais

$$\rho = 1/\sigma$$

Regra de Matthiessen :

$$\rho_{total} = \rho_i + \rho_d + \rho_T$$

Contribuições

ρ_T – *térmica (fônons)*

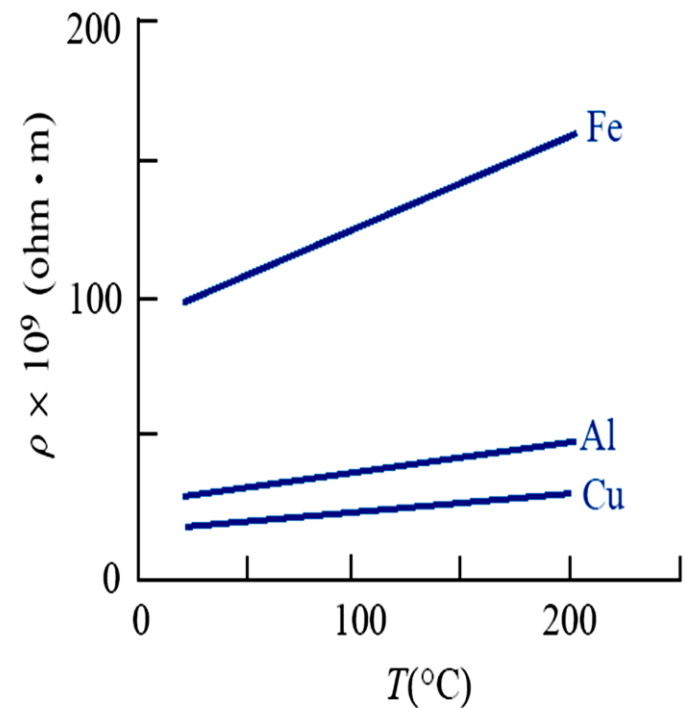
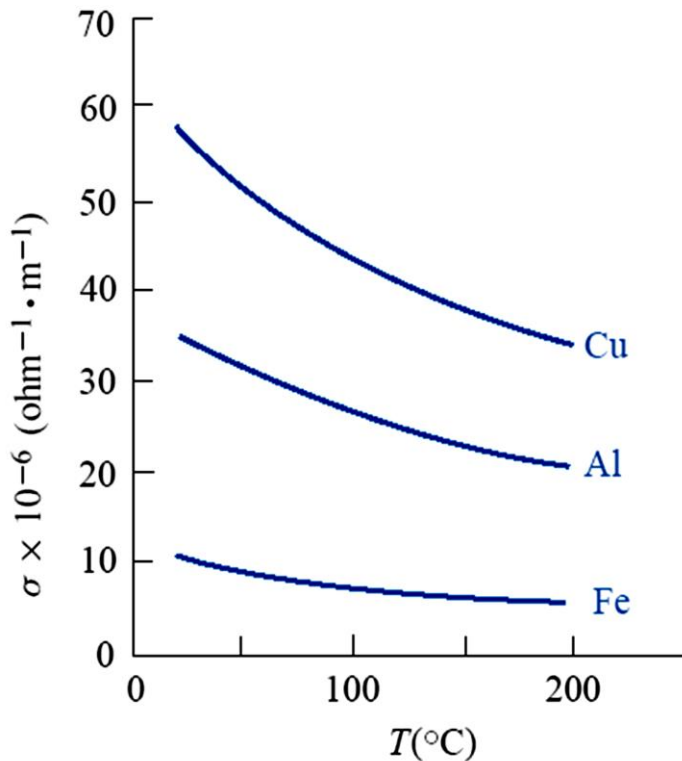
ρ_i – *impurezas (ligas e intersticiais)*

ρ_d – *deformação (discordâncias)*

Influência da Temperatura - ρ_T

$$\rho_T = \rho_0(1 + aT)$$

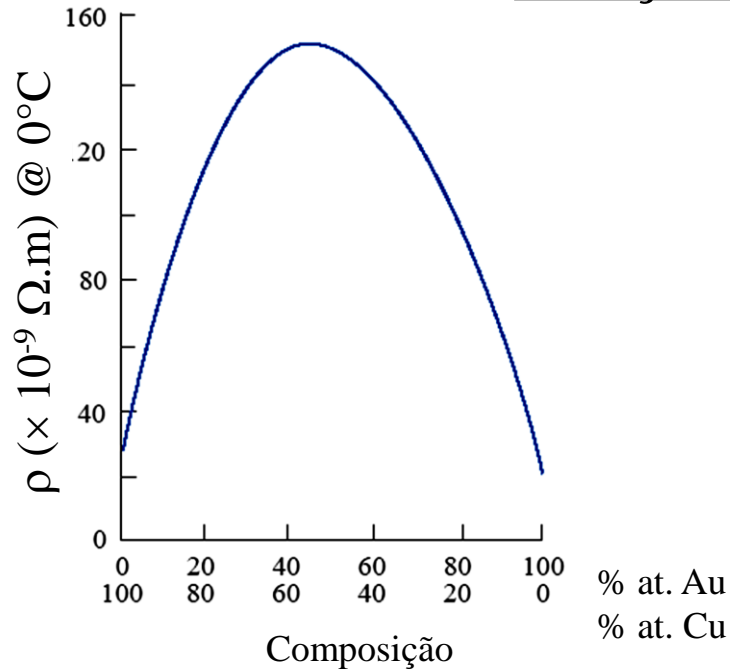
ρ_0 e a – constantes específicas de cada metal



Influência de Impurezas - ρ_i

$$\rho = \rho_i + \rho_0$$

Solução Sólida



C_i - concentração da impureza em sol. sólidas;
 A - constante

$$\rho_i = A.C_i.(1 - C_i)$$

Fases consideradas como impurezas

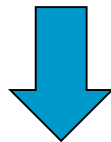
ρ 's e V 's - resistividades e frações volumétricas das fases α e β

Influência de Deformação - ρ_d

Presença de discordâncias



Aumento em ρ_{total}

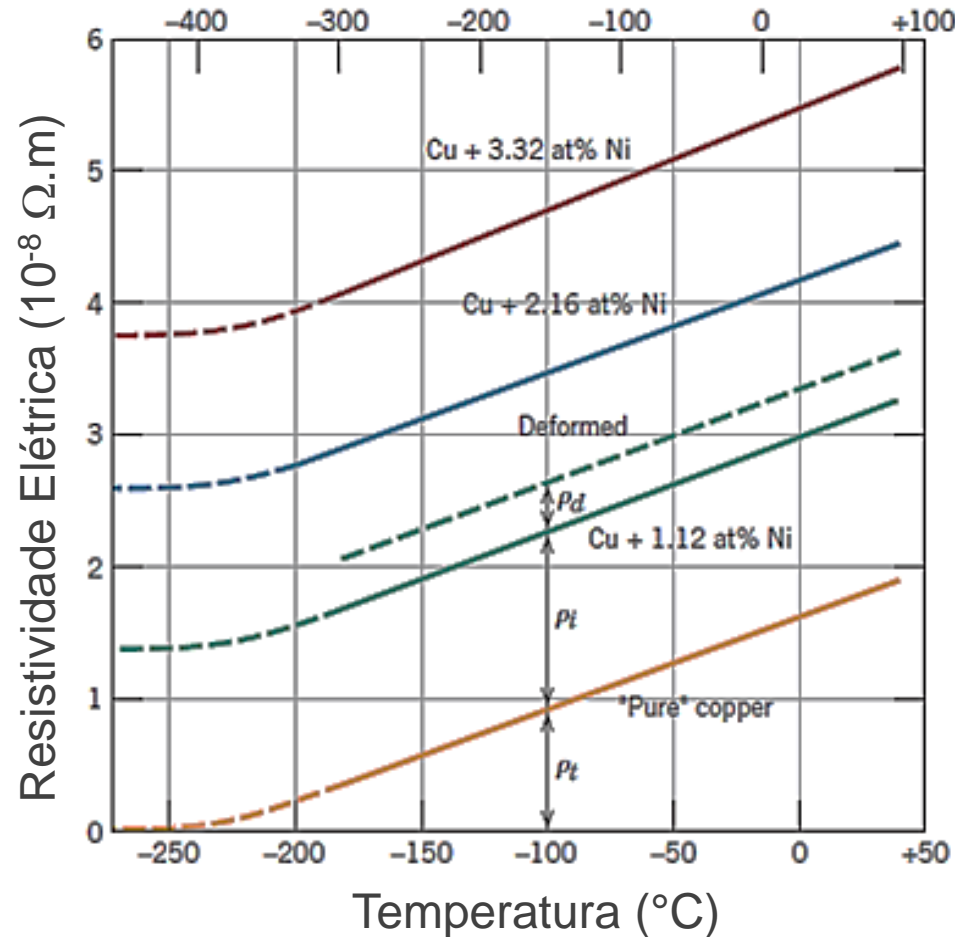


Independente da temperatura

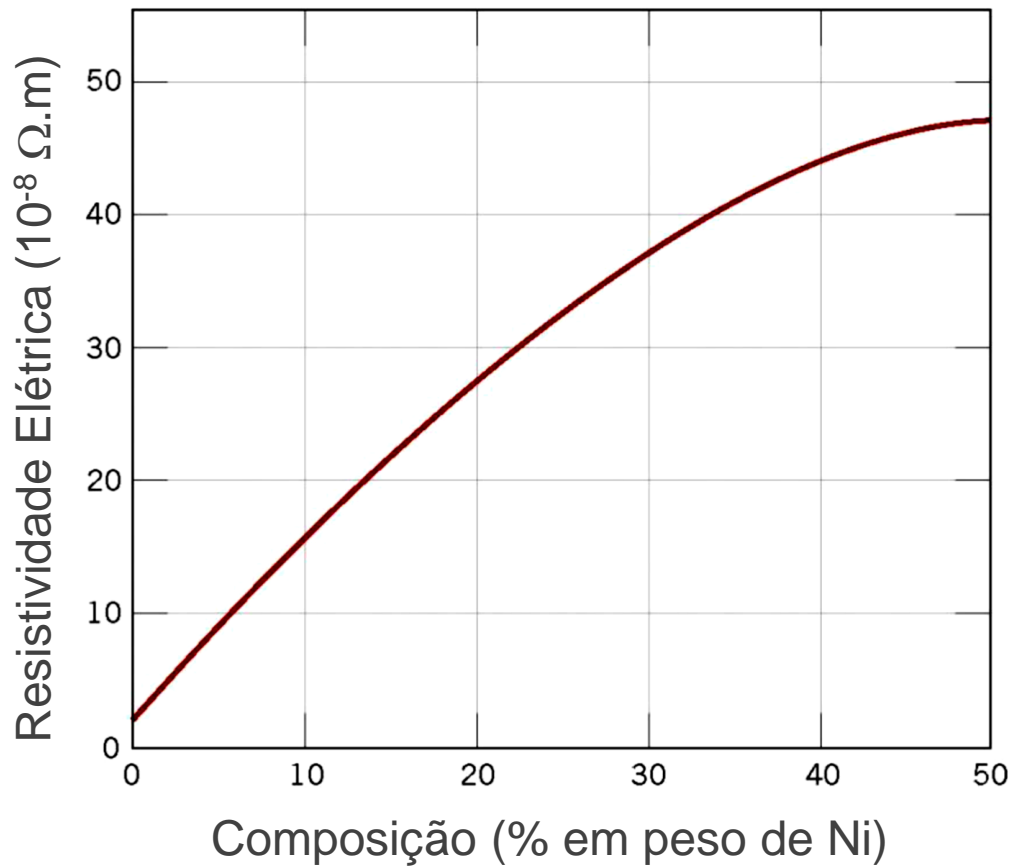
Resistividade elétrica em cobre; ligas de cobre (impureza) e o efeito da deformação

$$\rho_{total} = \rho_i + \rho_d + \rho_T$$

$$\rho_T = \rho_0(1 + aT)$$



Resistividade elétrica de liga cobre e níquel, em função da quantidade de Ni



$$\rho_i = A.C_i.(1 - C_i)$$

Problema 19.16 (callister)

- Usando a Figura da resistividade de ligas de Cu-Ni
- (a) Determine os valores de ρ_0 e a da eq. $\rho_T = \rho_0(1 + aT)$ Para o cobre puro. Admita que a temperatura em Celsius.
- (b) Determine o valor de A na eq. $\rho_i = A.C_i.(1 - C_i)$ para o níquel como uma impureza no cobre.
- (c) Usando os dados das partes (a) e (b) estime a resistividade elétrica para o cobre com 1,75% at de Ni a 100°C.

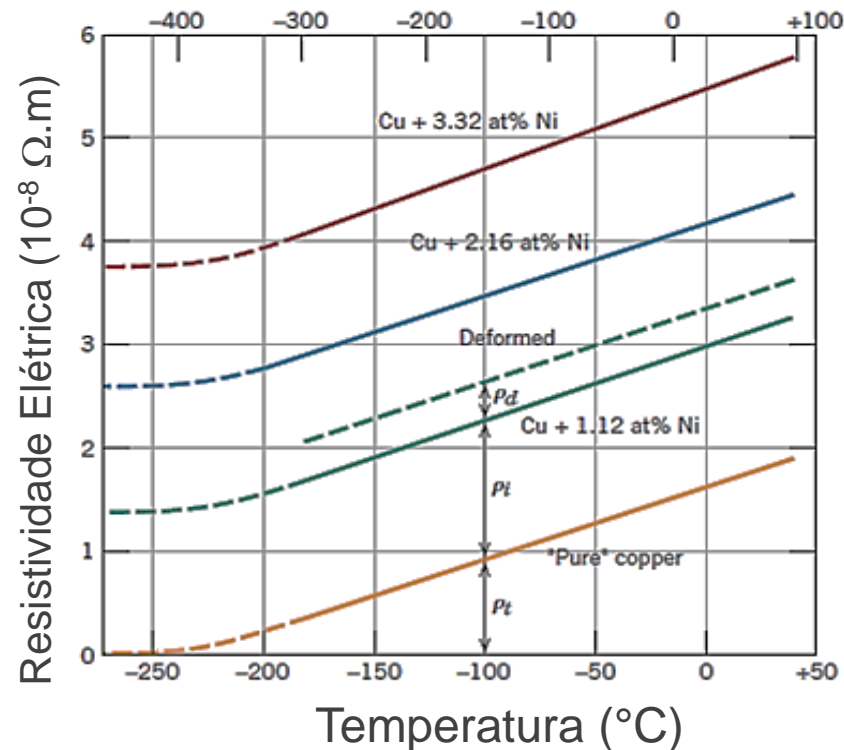


Tabela 19.1 (Callister) Condutividades Elétricas à Temperatura Ambiente para Nove Metais e Ligas Comuns

<i>Metal</i>	<i>Condutividade Elétrica</i> <i>$[(\Omega m)^{-1}]$</i>
Prata	6.8×10^7
Cobre	6.0×10^7
Ouro	4.3×10^7
Alumínio	3.8×10^7
Ferro	1.0×10^7
Latão (70 Cu – 30 Zn)	1.6×10^7
Platina	0.94×10^7
Aço comum	0.6×10^7
Aço Inoxidável	0.2×10^7

Resistividade e Coeficiente de Temperatura em 20 °C

$$\rho_t = \rho_0(1 + aT)$$

Material	Resistividade (ρ) ($10^{-8} \Omega m$)	Coefficiente de Temperatura por °C	Conductividade (σ) x ($10^7 (\Omega m)^{-1}$)
Ag	1,59	0,0061	6,29
Cu	1,68	0,0068	5,95
Al	2,65	0,00429	3,77
W	5,6	0,0045	1,79
Fe	9,71	0,00651	1,03
Pt	10,6	0,003927	0,943
Manganin	48,2	0,000002	0,207
Pb	22	,,,	0,45
Hg	98	0,0009	0,10
liga Ni,Fe,Cr	100	0,0004	0,10
Constantan	49	,,,	0,20

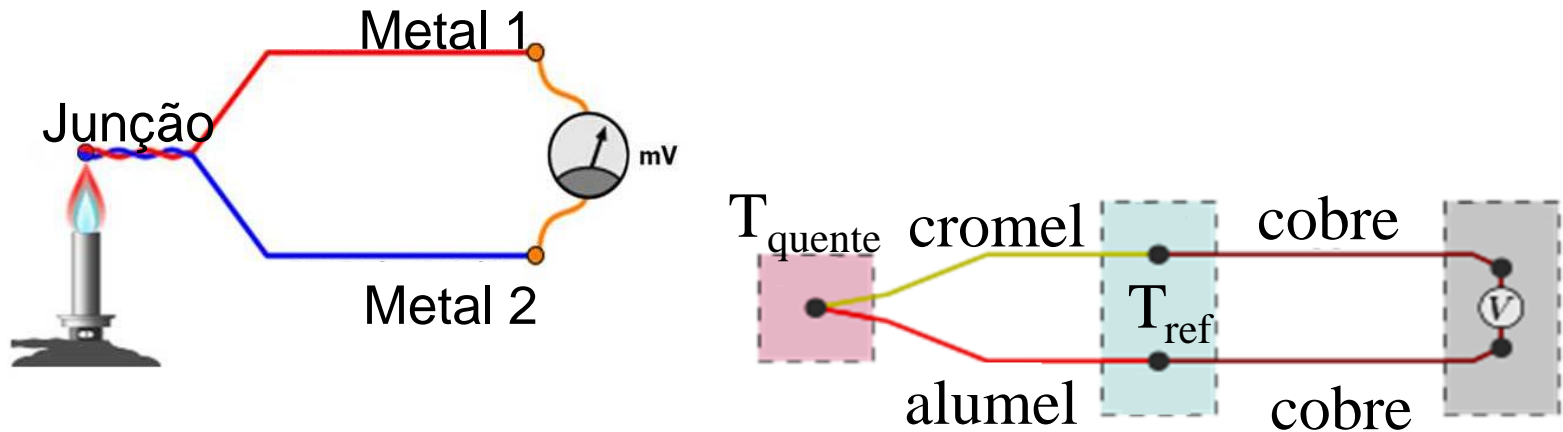
Aplicações



Termopares

Efeito Hall – sensor Hall

Termopares - Funcionamento



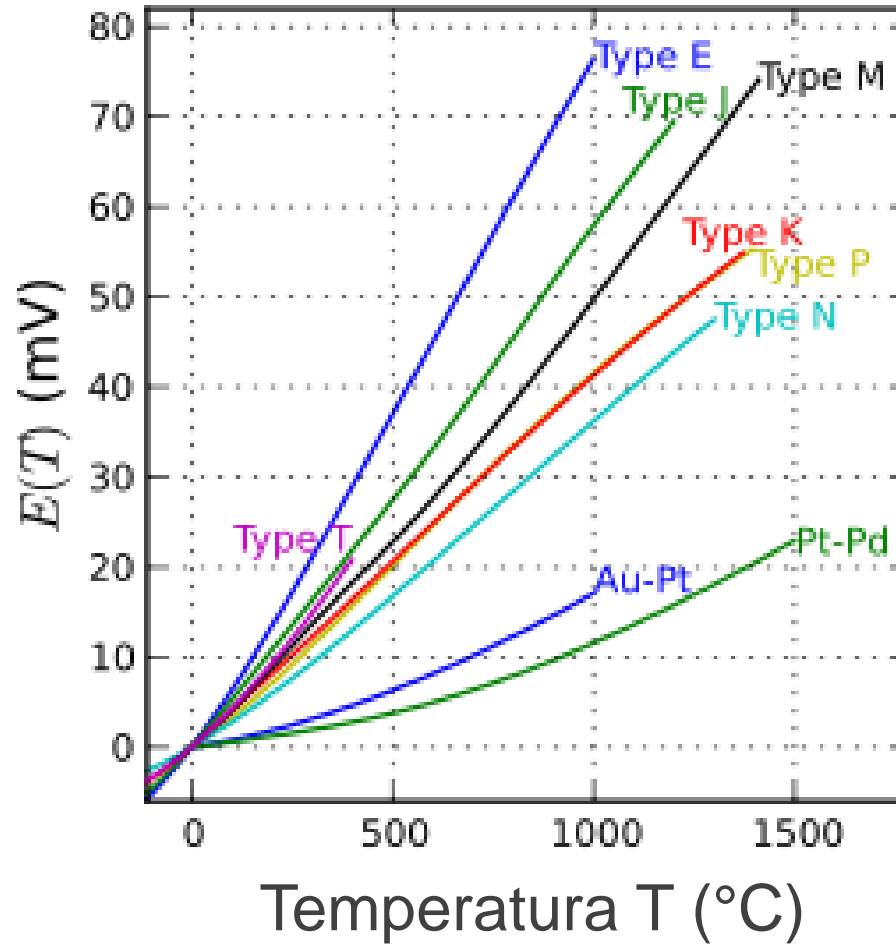
Efeito Seebeck; Efeito termoelétrico

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT$$

$$S = \frac{\Delta E}{\Delta T}$$

S é o coeficiente termodinâmico de Seebeck;
o valor da força eletromotriz ΔE depende da natureza dos materiais

Termopares - Tipos



Termopares

T/C TYPE	CONDUCTOR		T/C JUNCTION CONTINUOUS TEMPERATURE RANGE °C							CABLE CODE
	+	-		INTERNATIONAL IEC 584-3:1989 BS 4937 Pt30:1993	(FORMER) UNITED KINGDOM BS 1843:1952	FRANCE NFE-18001	GERMANY DIN43714	JAPAN JIS C 1610-1981	USA ANSI MC 96.1	
B	PT-30Rh	PT-6Rh	+100 to +1600							BX
E	Ni-Cr	Cu-Ni Constantan	0 to +800							EX
J	Fe	Cu-Ni Constantan	+20 to +700							JX
K	Ni-Cr	Ni-Al	0 to +1100							KX
N	Ni-Cr-Si Nicrosil	Ni-Si-Mg Nisil	0 to +1100							NX NC
R	PT-13Rh	Pt	0 to +1600							RCA
S	PT-10Rh	Pt	0 to +1550							SCA
T	Cu	Cu-Ni Constantan	-185 to +300							TX

Limitações de uso:

- Temperatura, ponto de fusão, oxidação



Efeito Hall Condutores

O que é?

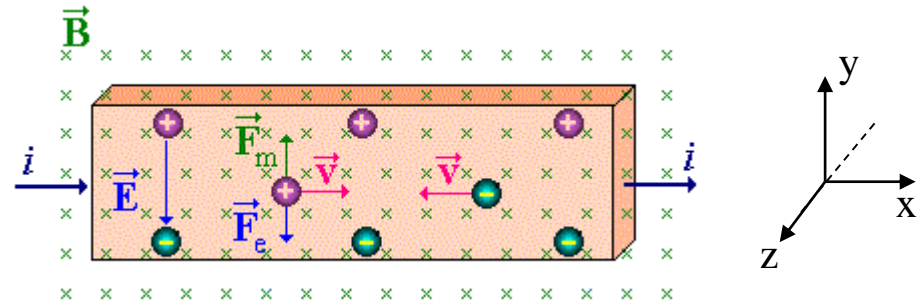
Corrente (i)
+
Campo
Magnético (B)



F_m



$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

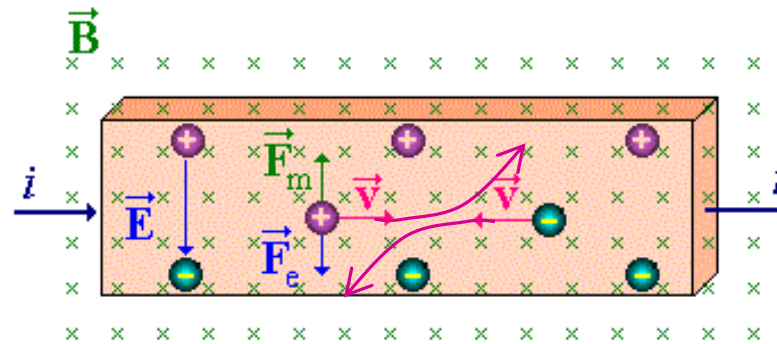


A separação das cargas na lateral produzirá um campo elétrico (uma força entre elas F_e) e conseqüentemente uma voltagem mensurável entre os dois lados do condutor (reação ao campo magnético).

Esta voltagem mensurável é chamada de Efeito Hall, descoberta por Edwin H. Hall em 1879.

Balanço de Forças

A força magnética sobre as cargas provoca a separação destas estabelecendo uma corrente perpendicular a direção de propagação da corrente inicial.



Esta corrente cessará quando o balanço de cargas, positivas e negativas crie uma força elétrica que anule a força magnética sobre as cargas.

$$\vec{F}_e = \vec{F}_m \quad \text{ou} \quad q\vec{E} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



Efeito Hall - video

www.youtube.com/watch?v=bHo6_jltfc8

Voltagem (tensão) Hall - V_H

$$F_e = qE \quad F_m = qvB$$

Seja:

c = espessura do condutor

A = a área da seção transversal do condutor

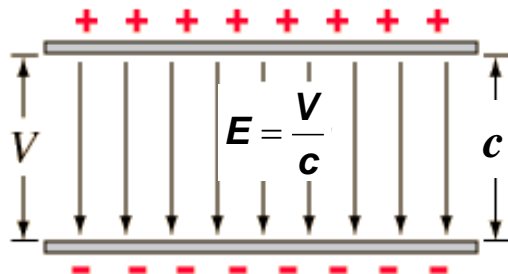
n = densidade de portadores (no./vol.)

$$F_e = F_m$$

$$q \frac{V}{c} = qvB$$

$$\frac{nqV}{c} = nqvB$$

$$\frac{nqV}{c} = \frac{I}{A} B$$



$$V = V_H = \frac{IBc}{nqA}$$

O que se pode determinar medindo a tensão Hall?

$$V_H = \frac{IBc}{nqA} = \frac{IB}{nqL}$$

Em metais a condução é feita por elétrons:

$$n = \frac{IB}{V_H |e| L}$$

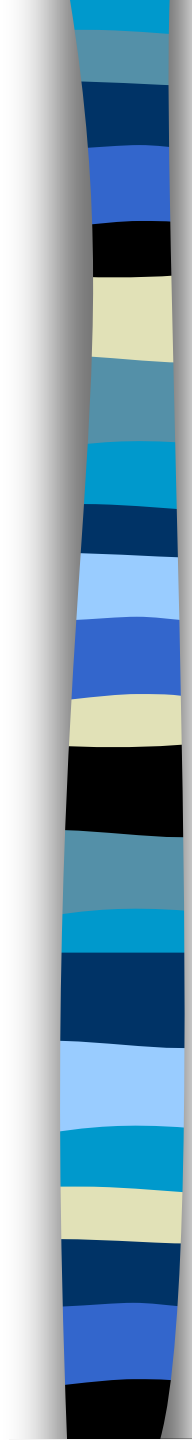
$$\mu_e = \frac{\sigma}{n|e|}$$

Medindo-se V_H e σ pode-se obter n e μ_e , ou seja, a densidade de portadores e a mobilidade destes.



Sensor Hall

$$B = \frac{nV_H |e|L}{I}$$



Ciência e Engenharia de Materiais. Uma Introdução Callister, 5^a. edição

- Capítulo 19
- Problemas: 19.1 a 19.20
- Em especial: 19.13, 19.14, 19.16, 19.18

Exercícios sobre efeito Hall

- 1) O campo elétrico que impele a corrente é E , o campo elétrico devido ao efeito Hall é E_H , o campo de indução é B . O número de portadores de carga por unidade de volume é n , a resistividade do material é ρ . Fazer um esquema dos campos e demonstrar que $E_H/E = B/ne\rho$.
- 2) Considere a deposição de uma camada de $1 \mu\text{m}$ de espessura de ouro sobre um substrato isolante que é candidato a um sensor Hall. Se a corrente através da película é mantida constante em 100 mA , qual seria o campo magnético necessário aplicado por tensão de Hall (em micro-volt)?

Exercícios sobre efeito Hall

- 3) Em um experimento do efeito Hall, uma corrente de $3,2\text{ A}$ é aplicada a um condutor ao longo de seu comprimento que tem $1,2\text{ cm}$ de largura, 4 cm de comprimento e $9,5\text{ }\mu\text{m}$ de espessura. A voltagem Hall produzida é de $40\text{ }\mu\text{V}$ para um campo aplicado de $1,4\text{ T}$ que esta perpendicular a este fino condutor. A partir destes dados encontre:
 - a) A velocidade de arraste dos portadores de carga
 - b) A densidade de portadores de carga
 - c) Mostre em um diagrama a polaridade da voltagem Hall com uma dada corrente aplicada e campo magnético, assumindo que a os portadores têm cargas negativas (elétrons).

Exercícios sobre efeito Hall - continuação

- 4) Uma fita de metal de 6,5 cm de comprimento, 0,88 cm de largura e 0,76 mm de espessura se move com velocidade constante v em um campo magnético aplicado perpendicular à fita com intensidade de 1,2 mT, como mostrado na Figura a seguir. A diferença de potencial de $3,9 \mu\text{V}$ é medida entre os pontos x e y através da fita. Calcule a velocidade v .

