

Materiais Magnéticos

Macios (soft)

Fe-Ni, Fe-Co, ferritas

Principais materiais macios

Cristalinos a
base de Fe

Chapas de Fe-
Si de grão
orientado

Chapas finas
de Fe-Si

Altos teores
de Si em Fe-Si

Fe-Ni e Fe-Co

Ferritas
Macias

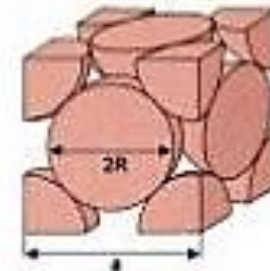
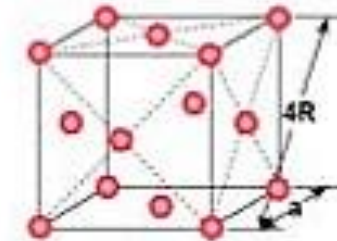
Materiais
Amorfos

Materiais
Nanocristalinos

Família do Fe-Ni

- ▶ Estrutura cfc.
- ▶ T_c próxima a T ambiente.
- ▶ Tem máxima M_s para $\sim 50\%$ de Ni
- ▶ Baixa resistividade >>> adição de Cr ou Mo.
- ▶ Fácil de conformar mecanicamente

Estrutura Cristalina Cúbica de Face Centrada (CFC)



$$a = \sqrt{2} \cdot 2R$$

a = parâmetro de rede
 R = raio atômico

- 4 átomos/c.u.
- N. C. = 12
- F.E. A. = 0.74
- Al, Cu, Au, Pb, Ni, Pt, Ag

Aplicações: Ligas com % Ni ~ 30 %

- ▶ M_s varia significativamente com a temperatura e é reversível.
- Medidores elétricos, medidores que têm bobina que se movem; tacógrafos; autôfalantes. → ligas de 28 – 30% Ni com $T_c \sim 60^\circ\text{C}$.
- Aparelhos como panela elétrica de fazer arroz necessitam de materiais com T_c de 150 – 200 °C → ligas de 38 – 40% Ni com 10% de Cr.

Aplicações: Ligas com % Ni ~ 50 %

- ▶ Tem saturação de 1,6 T e alta permeabilidade, além de melhor resistência à corrosão que o Fe-Si.
- ▶ **48% Ni: Tipo Anhyster; usados na forma maciça em relês e dispositivos de segurança.**
 - As vezes em folhas finas em circuitos bobinados e motores de tamanho pequeno.
 - A linearidade da magnetização com o campo assegura sinais sem distorção.
- ▶ **50% Ni: Laminação produz textura cúbica → $M_r/M_s \sim 0,98$ → toróides usados em amplificadores**
- ▶ **56% Ni: TT com campo aplicado → alta permeabilidade (magnetostricção isotrópica $\lambda_{111} = \lambda_{100} = 25 \times 10^{-6}$)**

Família do Fe-Co

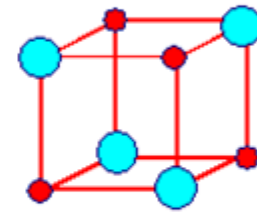
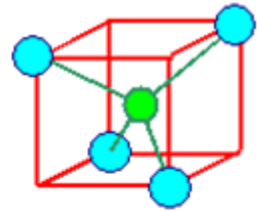
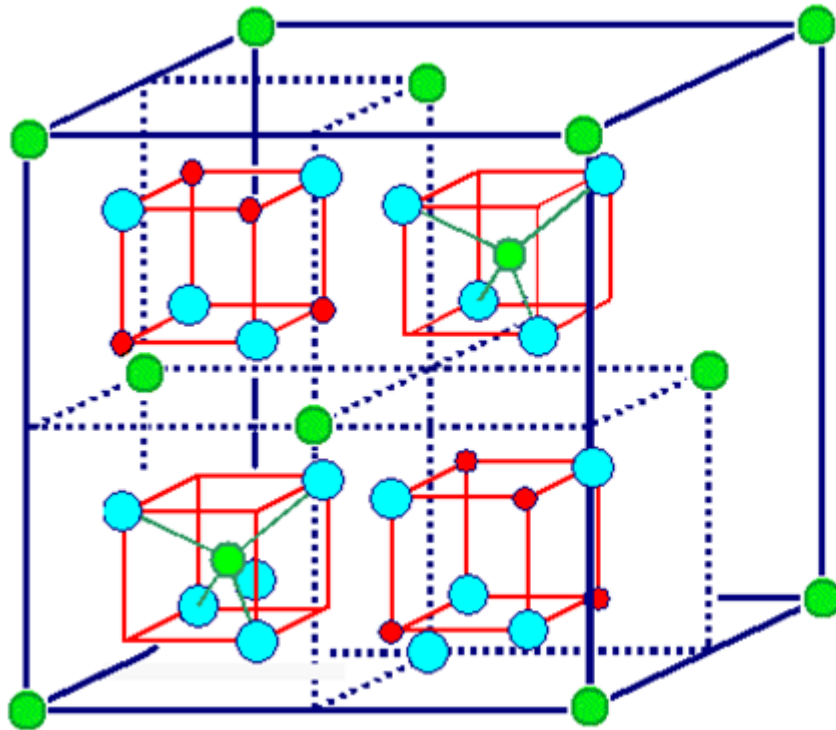
- ▶ Grandes virtudes → alto valor de M_s e T_c
- ▶ Transformação $\alpha \rightarrow \gamma$ em altas temperaturas $\sim 1100^\circ\text{C}$
- ▶ Fe-35%Co → maior valor de $\mu_0 M_s \rightarrow 2,45\text{T}$ entre todos os materiais;
- ▶ $T_c \sim 900^\circ\text{C}$

Torque em motores é proporcional
ao quadrado da Magnetização

Ferritas – Estrutura Espinel Inversa – Fe_3O_4

32 Sítios octaédricos – 16 ocupados

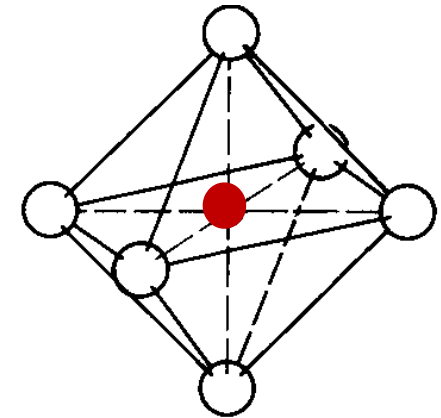
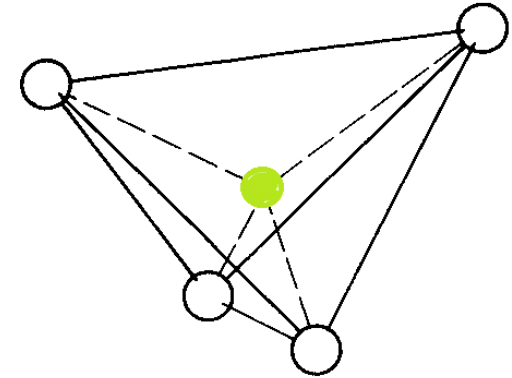
64 Sítios tetraédricos – 8 ocupados



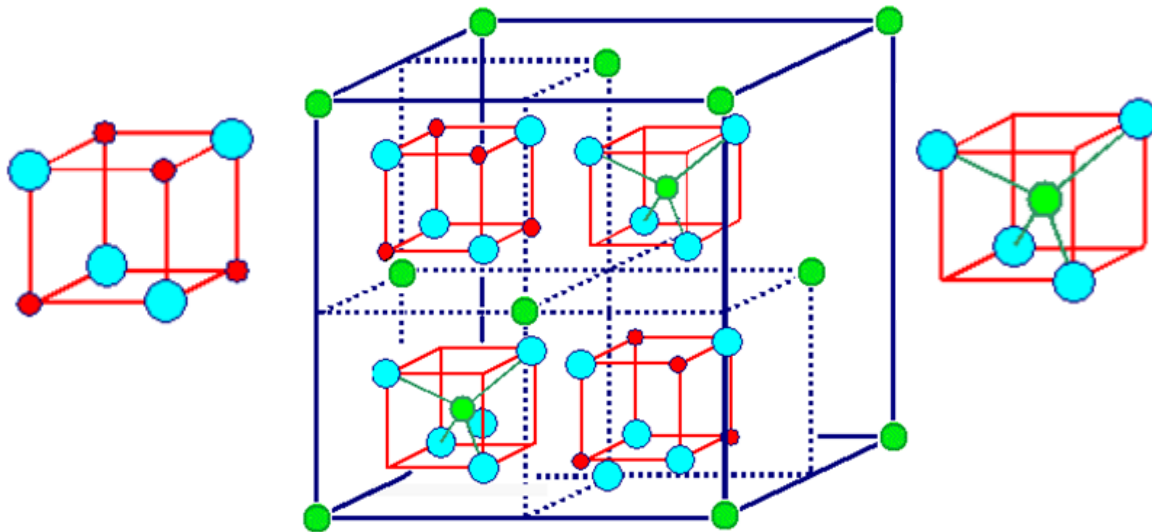
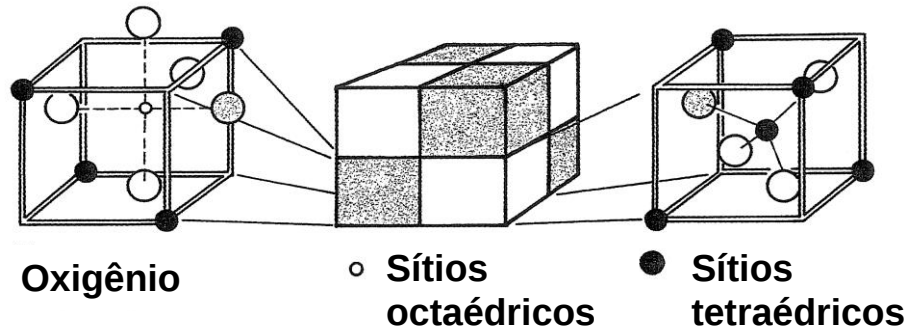
● Oxigênio

● B – Sítios Octaédricos

● A – Sítios Tetrahédricos



Ferritas – Estrutura Espinel



32 Sítios octaédricos – 16 ocupados – 8 Fe^{+3} e 8 Fe^{+2}

64 Sítios tetraédricos – 8 ocupados – 8 Fe^{+3}

	coordenação octaédrica	coordenação tetraédrica	Momento magnético líquido
Fe^{+3}	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	Cancelamento completo
Fe^{+2}	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑	—	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑

Íons dos sítios tetraédricos e octaédricos têm spin contrários

- MFe_2O_4 , onde M são íons que substituem os íons divalentes de Fe^{+2}

Ferrite	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Calculated μ_H	5	4	3	2	1	0
Measured μ_H	4.6	4.1	3.7	2.3	1.3	0

Ion	Electron Config- uration
Cr^{2+}	$3d^4$
Mn^{2+}	$3d^5$
Fe^{3+}	$3d^5$
Fe^{2+}	$3d^6$
Co^{2+}	$3d^7$
Ni^{2+}	$3d^8$
Cu^{2+}	$3d^9$
Zn^{+2}	$3d^{10}$

► **Virtudes:**

- Alta resistividade (isolante)
- Adequado para altas frequências
- Alta resistência à corrosão

Correntes
parasitas

► **Desvantagens**

- Baixo valor de M_s
- Valor de T_c relativamente baixo
- Propriedades mecânicas inferiores

Ferritas – M = Ni-Zn e Mn-Zn competindo com Fe-Si

- ▶ **Magnetização de Saturação:** 0,35 T para NiZn e 0,60 T para Mn-Zn.
- ▶ **Temperatura de Curie:** 100 a 600°C para NiZn ; 130 a 250°C para Mn-Zn.
- ▶ **Magnetostricção:** a base de Zn → 10 ppm para NiZn e 1 ppm para Mn-Zn
- ▶ **Resistividade:** 1 a $10^{10} \Omega$.
- ▶ **Permeabilidade:** é constante até uma frequência máxima;
 - 8000 MHz para Ni-Zn
 - 4000 MHz para Mn-Zn

Ferritas Mn-Zn: Eletrônica de potência

► Transportadores de fluxo

- Indutores de baixa $f \sim 20$ kHz
- Indutores de média f (100 a 2 MHz): barras de antenas para transmissão de faixas de λ médios e longos.

λ = comprimentos de ondas
 f = frequência

► Transformadores

- Banda larga → **400 Hz até 2 MHz** (maiores permeabilidades)
- Baixa potência e pulsados

◦ Conversores DC

► Alta M_s e baixa perda:

- transformadores de alta potência : 700 Hz a 100 kHz.

Ferritas Ni-Zn: baixa potência

- ✓ Transformadores; antenas transmissoras para comprimentos de onda médios e longos
 - ✓ Banda larga → até 300 MHz
 - ✓ $\mu_i > 1000$ e 1 – 300 MHz
 - ✓ $500 > \mu_i > 1000$ e 5 – 300 MHz; transformadores de banda larga; transformadores de potência
 - ✓ $160 > \mu_i > 490$ e 500 kHz – 5 MHz
 - ✓ $70 > \mu_i > 150$ e 2 – 20 MHz
- ✓ Indutores de alta frequência
 - ✓ $35 > \mu_i > 65$ e 10 – 40 MHz
 - ✓ $12 > \mu_i > 30$ e 20 – 60 MHz
 - ✓ $\mu_i < 10$ e $f > 30$ MHz
 - ✓ ↑ Ni → ↓ μ_i ; também chamadas de Ferroxcube.

Ferritas Ni-Zn

toróides



<http://people.zeelandnet.nl/wgeeraert/ferrietUK.htm>

