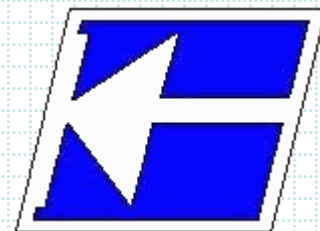


Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Eletrônica de Potência



Revisão de Eletromagnetismo

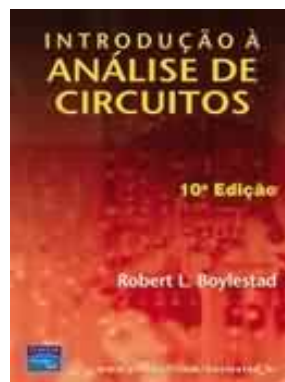
Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, novembro de 2012.

Introdução comparativa:

1. Conceitos iniciais;
2. Grandezas eletromagnéticas;
3. Perdas magnéticas;
4. Tipos de núcleos;
5. Lei de Lenz e Lei de Faraday;
6. Indutores e transformadores.

Cap. 11, 12 e 21.



**TEXAS
INSTRUMENTS**

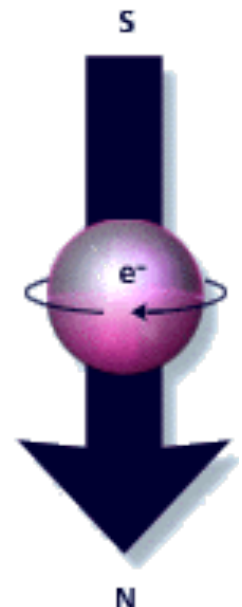
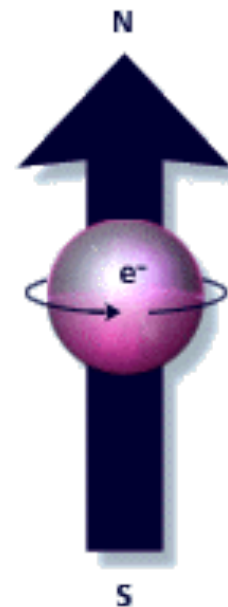
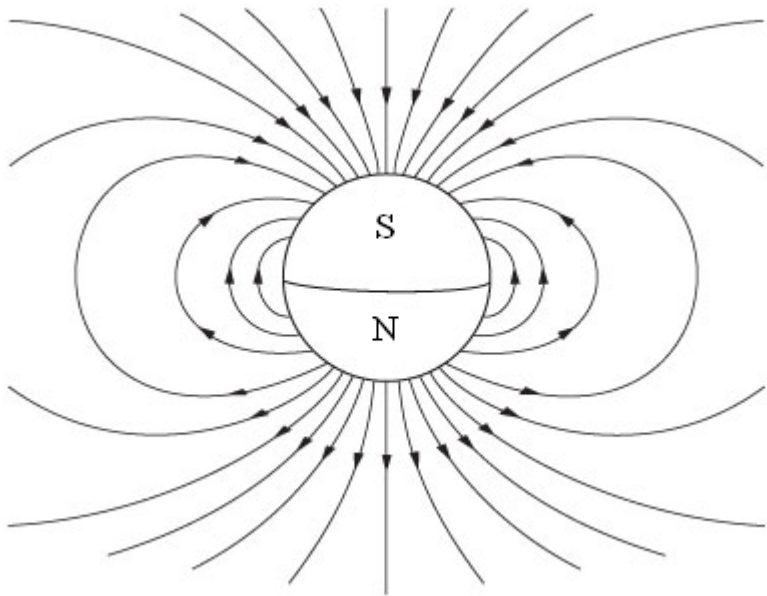
<http://www.ti.com>

2001 Magnetics Design Handbook - MAG100A

Duration	1 Day
Price	Free
Course Documents/ Reference Material	Ref. Design Sect. R5-1: Coupled Filter Inductors Yield Improved Performance Introduction and Basic Magnetics (Magnetics Design for Sw. Power Supplies) Magnetic Core Characteristics Windings Power Transformer Design Inductor and Flyback Transformer Design Ref. Design Sect. R1-1: Magnetic Core Properties Ref. Design Sect. R2-1: Eddy Current Losses in X-former Windings Ref. Design Sect. R3-1: Deriving the Equivalent Electrical Circuit Ref. Design Sect. R4-1: The Effect of Leakage Inductance on Performance Ref. Design Sect. R6-1: How to Design a Transformer with Fractional Turns Ref. Design Sect. R7-1: Winding Data All 2001 Magnetics Design Handbook Sections in a single compressed zip file

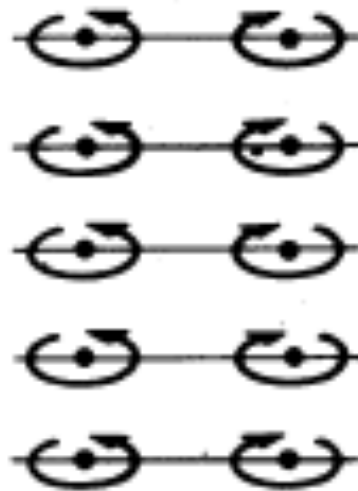
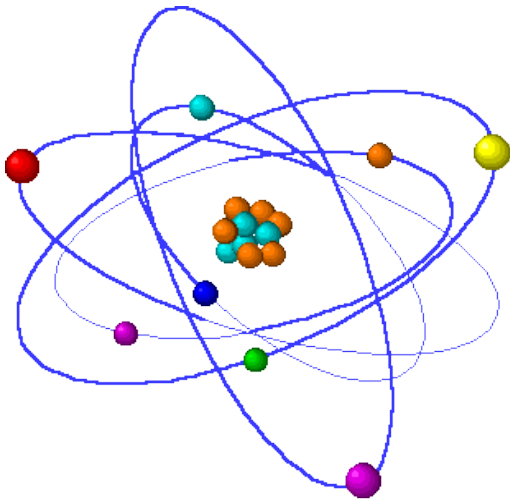
Dipolos magnéticos:

- Determinam o comportamento dos materiais num campo magnético;
- Tem origem no momentum angular dos elétrons nos íons ou átomos que formam a matéria.

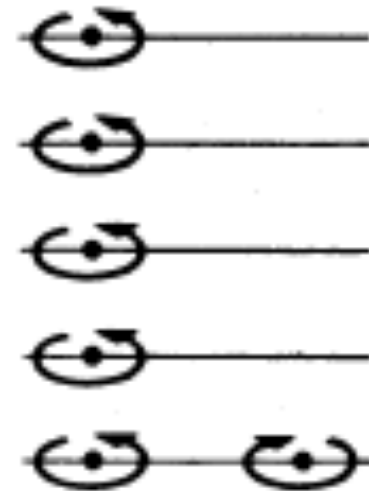


Magnetismo atômico:

- 2 elétrons ocupam o mesmo nível energético;
- Estes elétrons tem spins opostos;
- Subníveis internos não completos dão origem a um momento magnético não nulo.



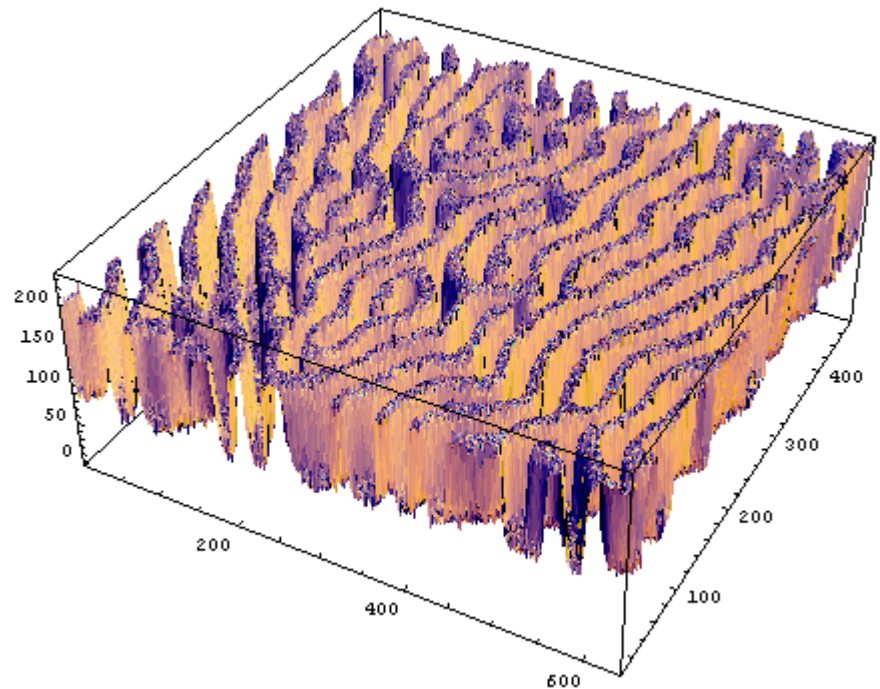
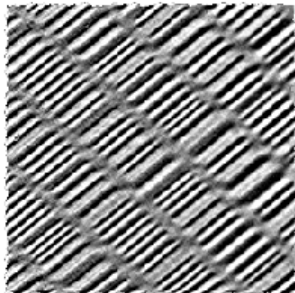
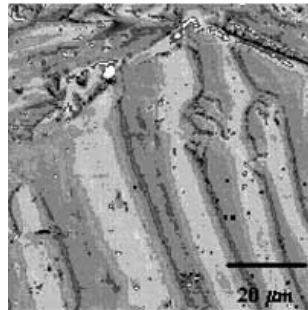
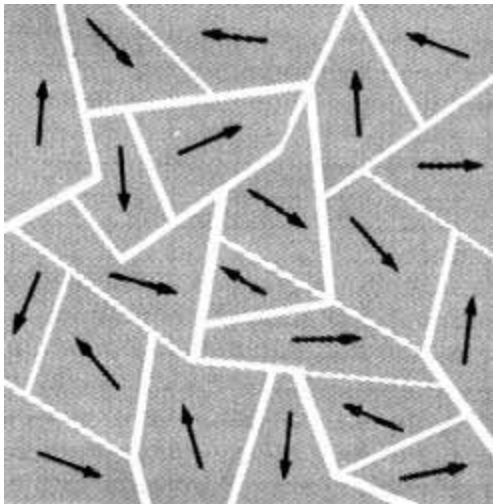
Momento - 0



Momento $\neq 0$

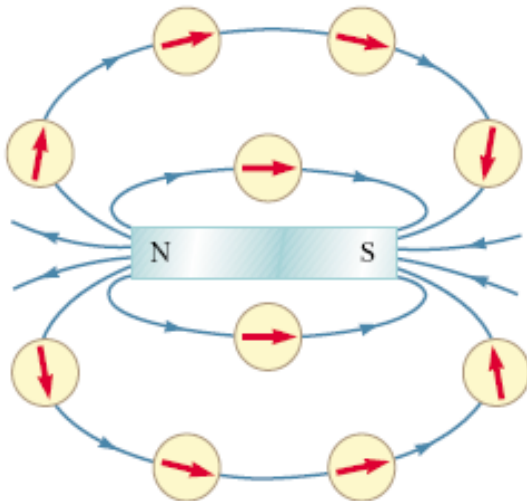
Domínios magnéticos:

- Espaços de alinhamento unidirecional dos momentos magnéticos;
- Geralmente tem dimensões menores que 0,05 mm;
- Tem contornos identificáveis, similar aos grãos.

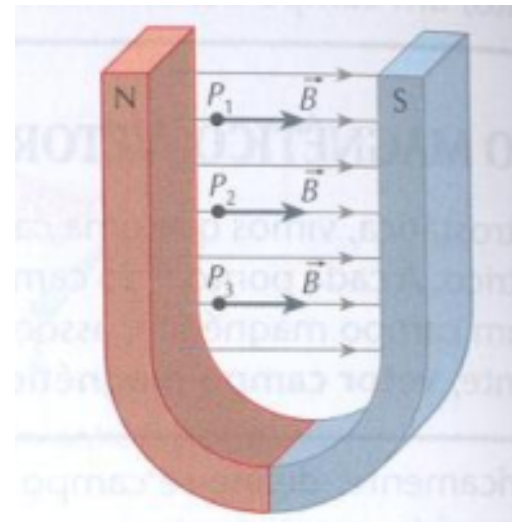


Linhas de campo magnético:

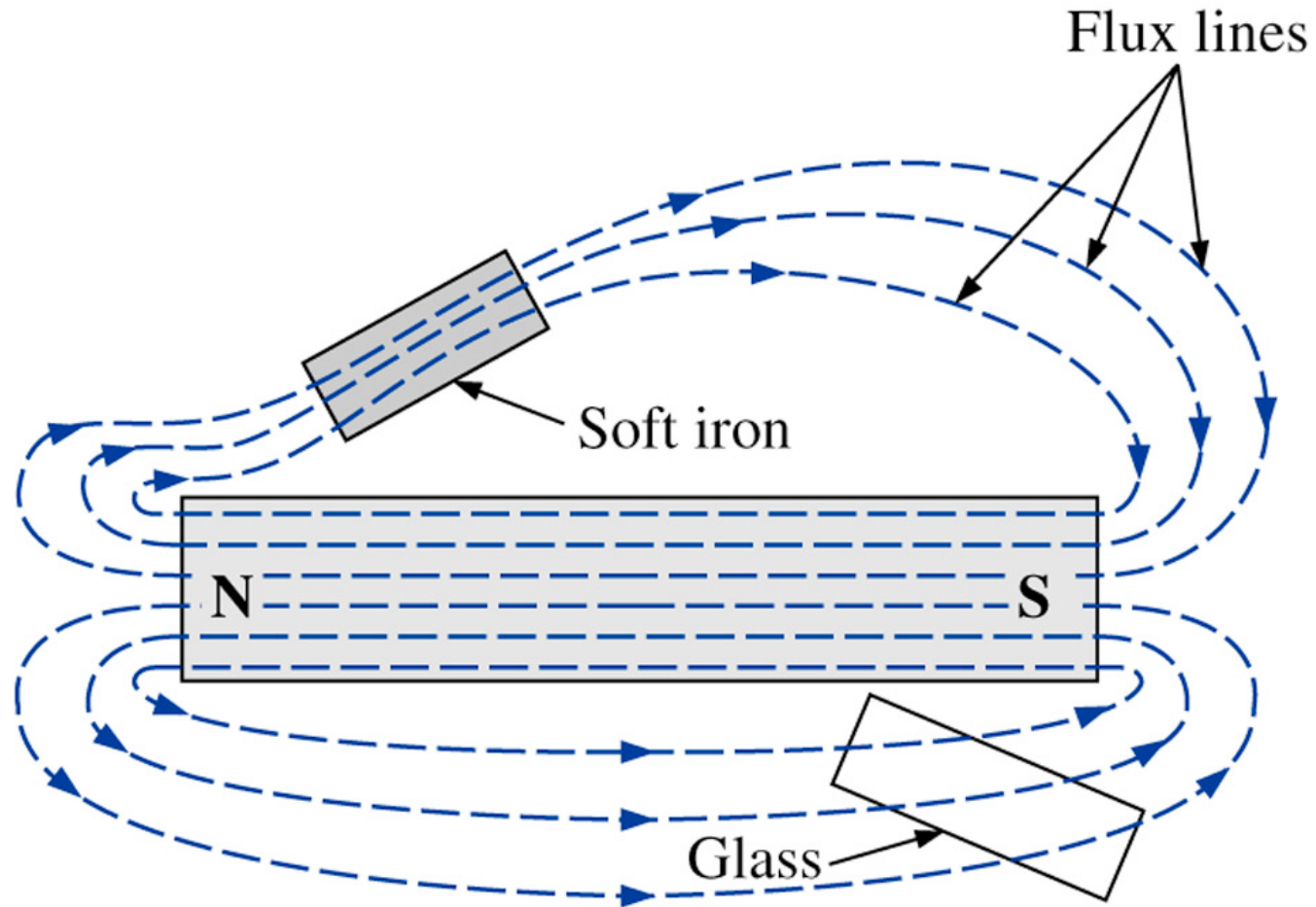
- São sempre linhas fechadas;
- Nunca se cruzam;
- Fora do imã, saem do norte e são orientadas para o sul;
- Dentro do imã tem orientação contrária;
- Saem e entram perpendicularmente à superfície do imã;
- Quanto maior a concentração das linhas, mais intenso é o campo.



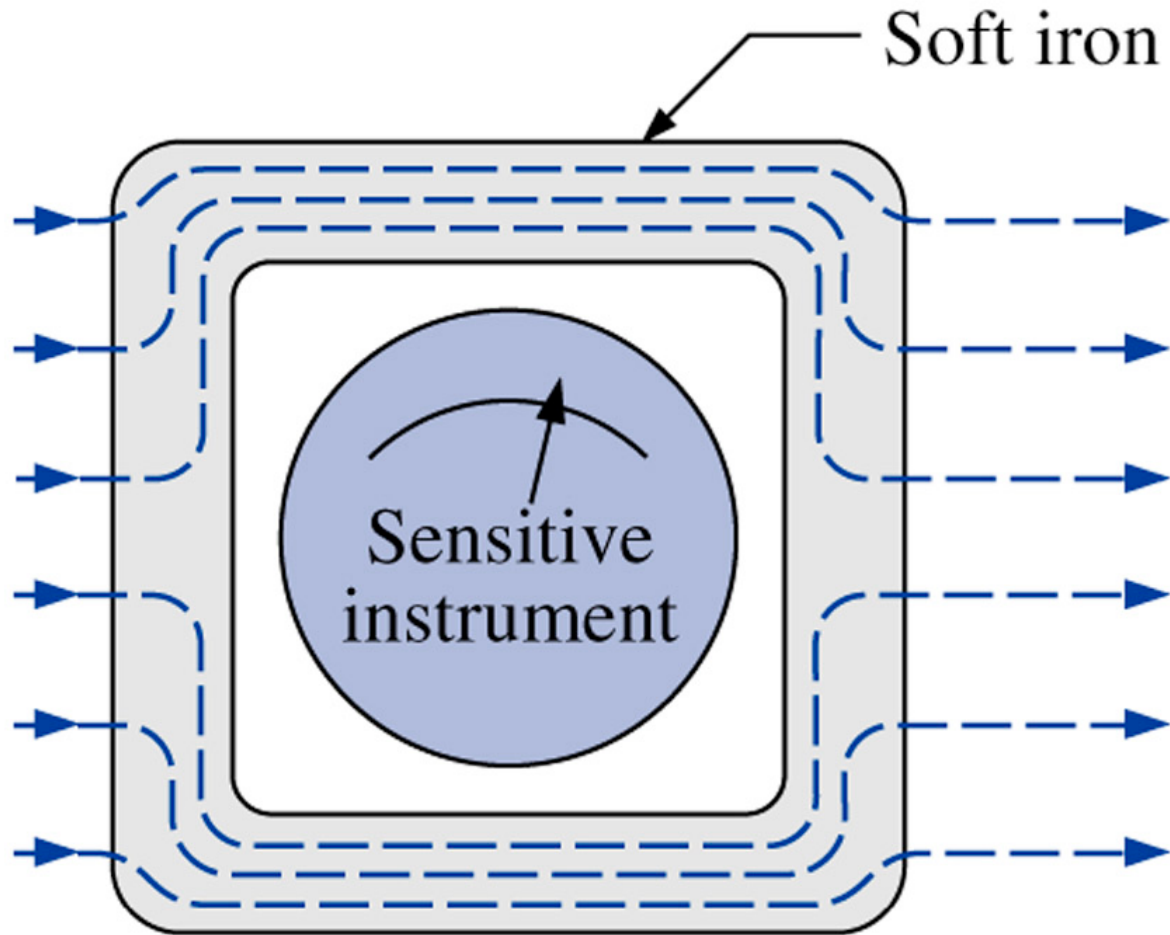
Campo não-uniforme



Campo uniforme

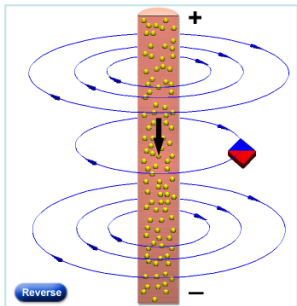
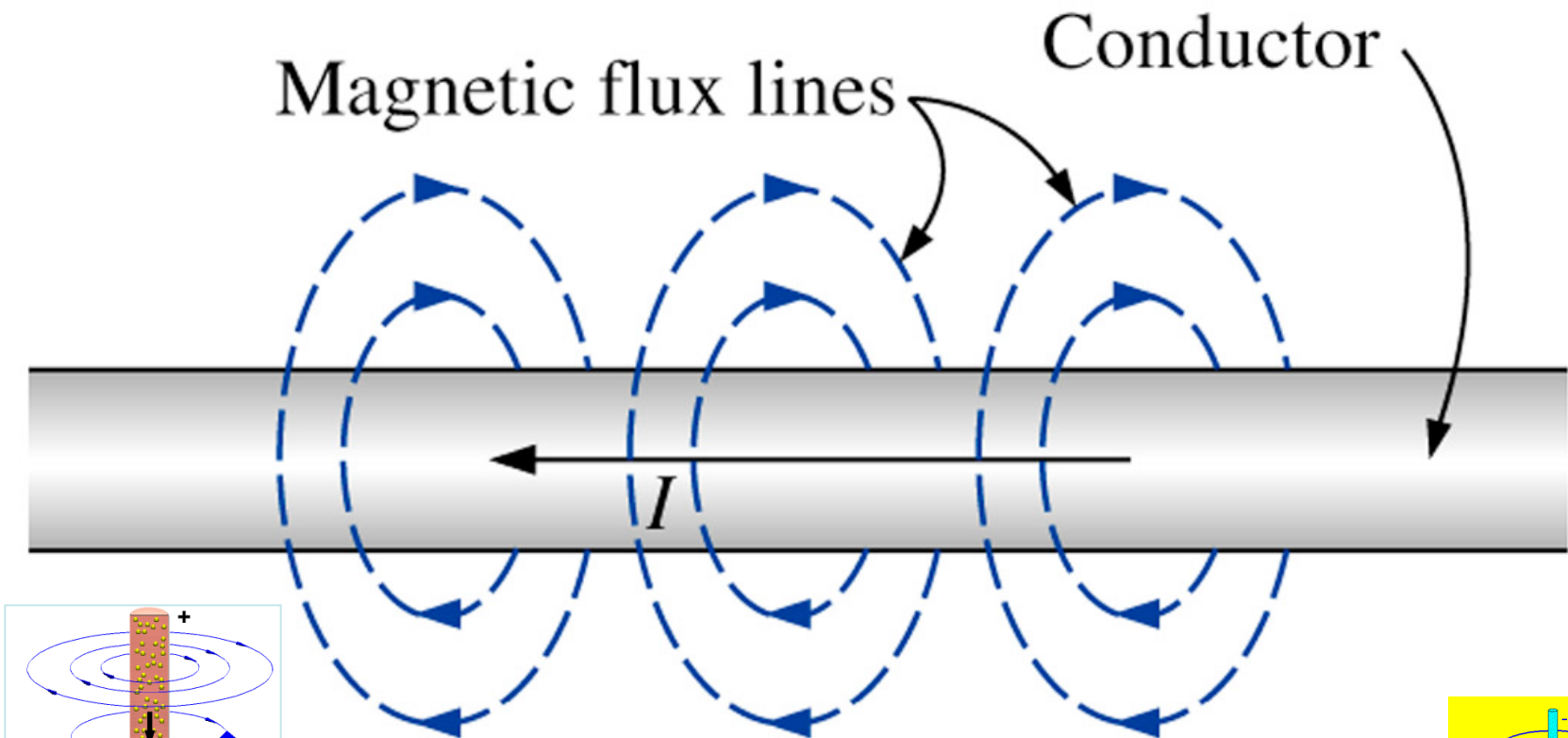


Efeito de material ferromagnético sobre as linhas de campo.

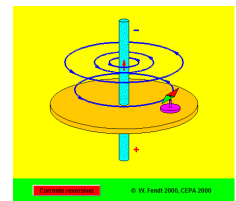


Efeito de material ferromagnético sobre as linhas de campo.

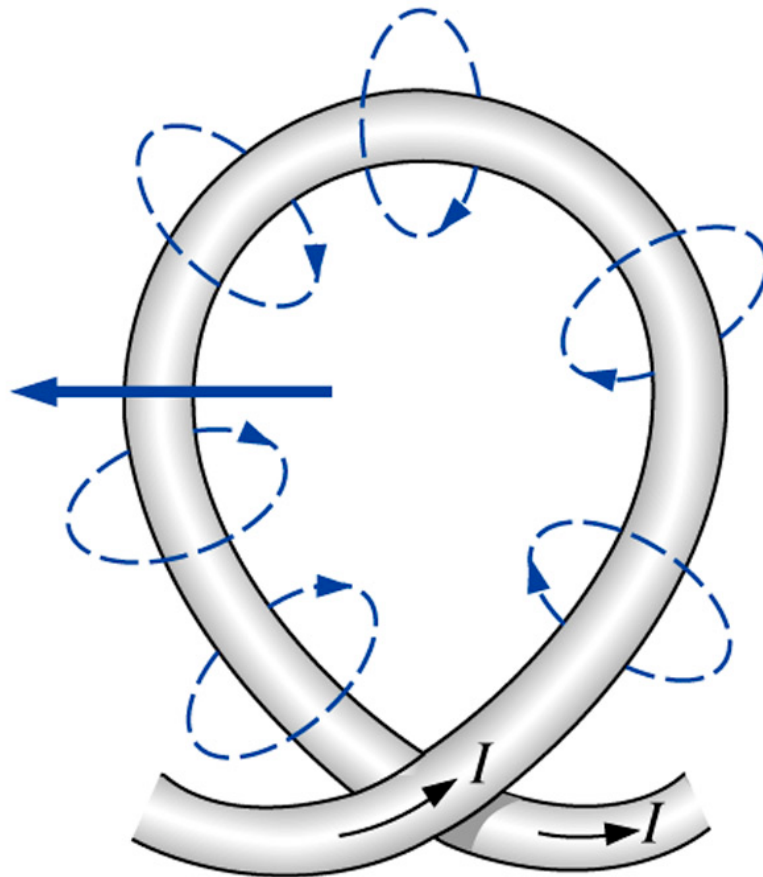
Linhas de campo em um condutor retilíneo percorrido por corrente:



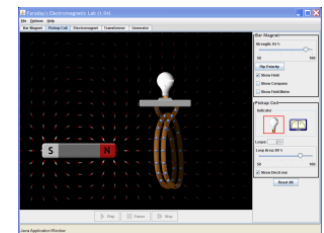
<http://www.walter-fendt.de/ph11br/>



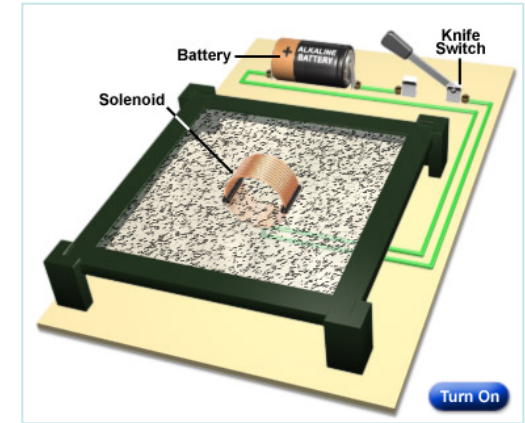
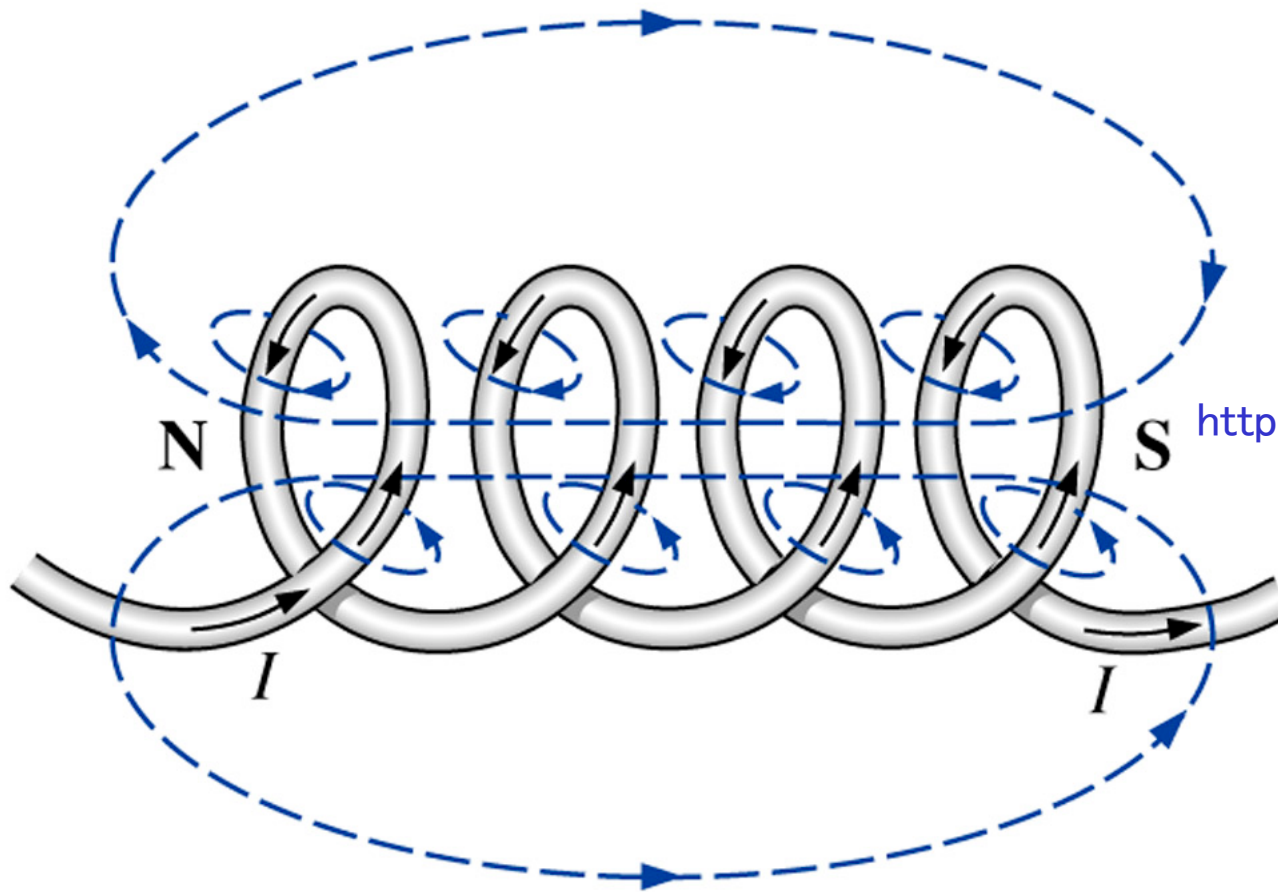
Linhas de campo em uma espira circular percorrida por corrente:



<http://phet.colorado.edu>



Linhas de campo em uma bobina percorrida por corrente:



<http://www.magnet.fsu.edu>

Densidade de fluxo magnético:

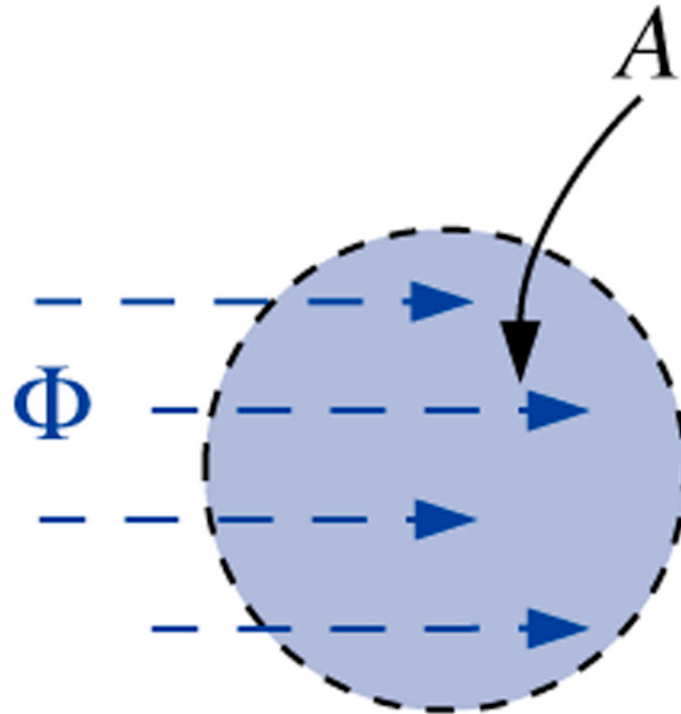
- Densidade de fluxo (B) é número de linhas de campo por unidade de área.
- Unidade é Tesla [T];
- Um Tesla é igual a 1 Weber por metro quadrado de área.

Fluxo magnético:

- Fluxo (ϕ) é o conjunto de todas as linhas de campo que atingem perpendicularmente uma área.
- Unidade é weber [Wb];
- Um Weber corresponde a 1×10^8 linhas de campo.

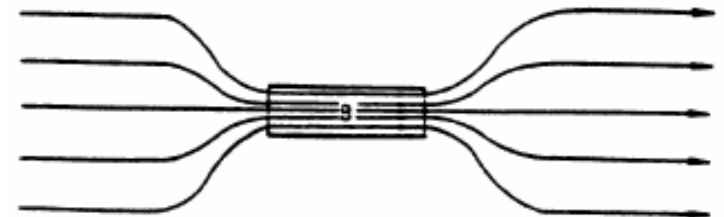
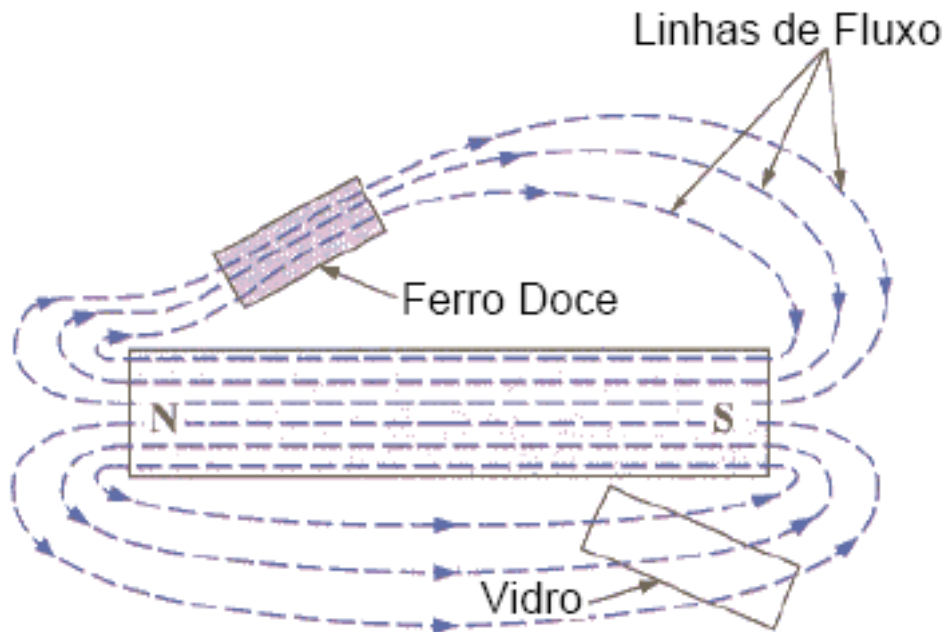
$$B = \frac{\Phi}{A}$$

- B = teslas (T)
- Φ = webers (Wb)
- A = metros quadrados (m²)



Permeabilidade magnética:

- Grau de magnetização de um material em resposta ao campo magnético;
- Facilidade de “conduzir” o fluxo magnético;
- Simbolizado pela letra μ .



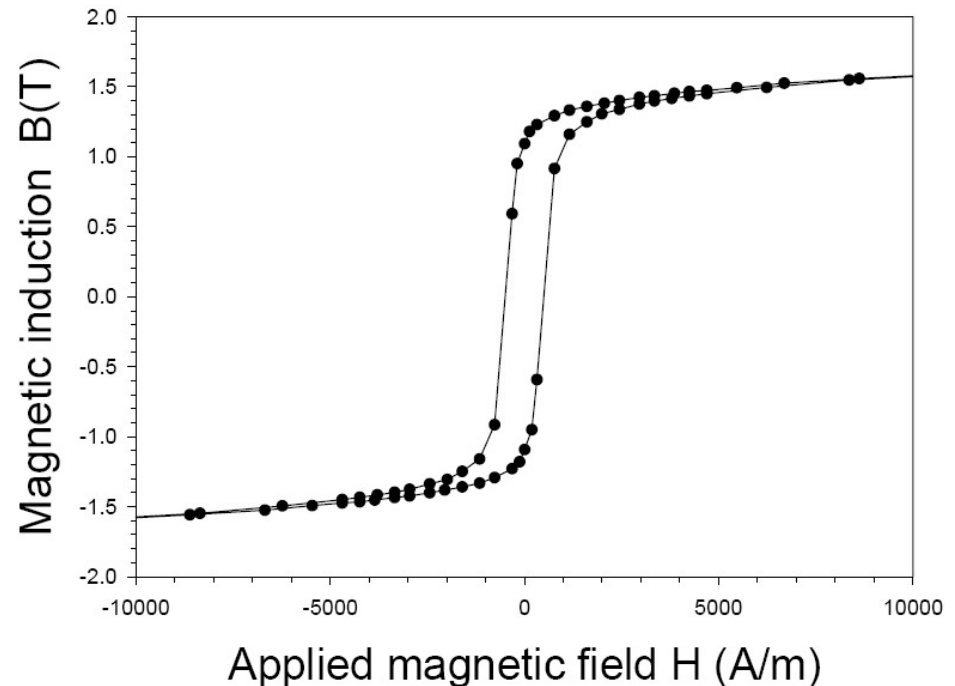
Permeabilidade magnética

$$\mu = \frac{B}{H} \longrightarrow \text{Permeabilidade absoluta}$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o} \longrightarrow \text{Permeabilidade relativa}$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Wb}{A/m}$$

Permeabilidade do vácuo



Permeabilidade Relativa, μ_R	Tipo de Material
$\gg 1$	Ferromagnéticos
$\cong 1$	Paramagnéticos
< 1	Diamagnéticos

Tipo de Material	Permeabilidade Relativa, μ_R
Ferro Comercial	9.000
Ferro Purificado	200.000
Ferro Silício	55.000
Permalloy	1×10^6
Supermalloy	1×10^7
Permendur	5.000
Ferrite	2.000

Relação entre os vetores densidade de campo magnético e campo magnético indutor:

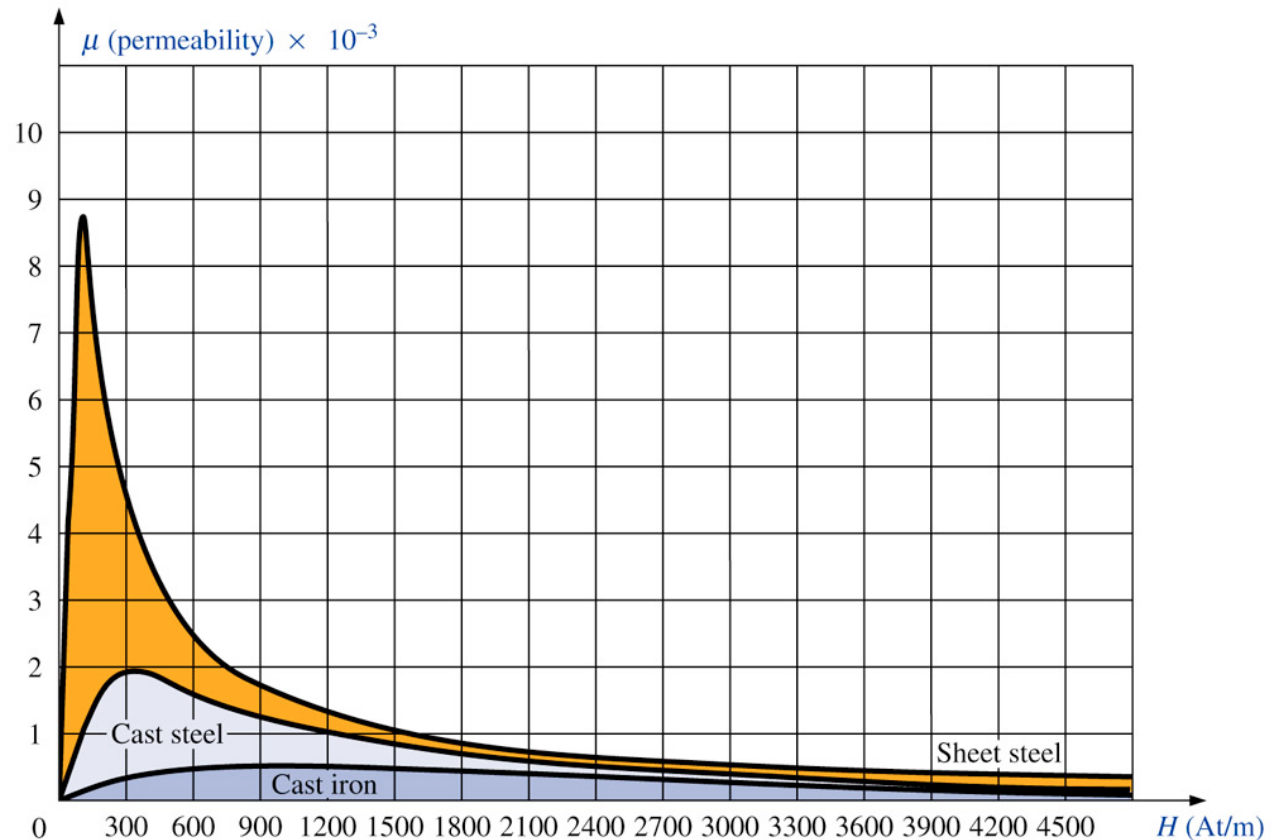
$$H = \frac{\mathfrak{J}}{l} \quad \longrightarrow \quad H = \frac{NI}{l}$$

- H = força magnetizante (A/m)
- $\mathfrak{J}$ = força magnetomotriz (A/Wb)
- l = comprimento (m)

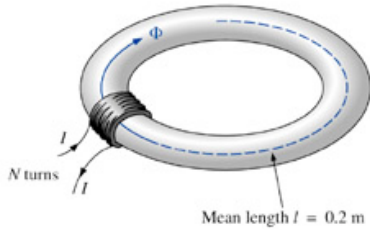
Relação densidade de fluxo e força magnetizante:

$$B = \mu H$$

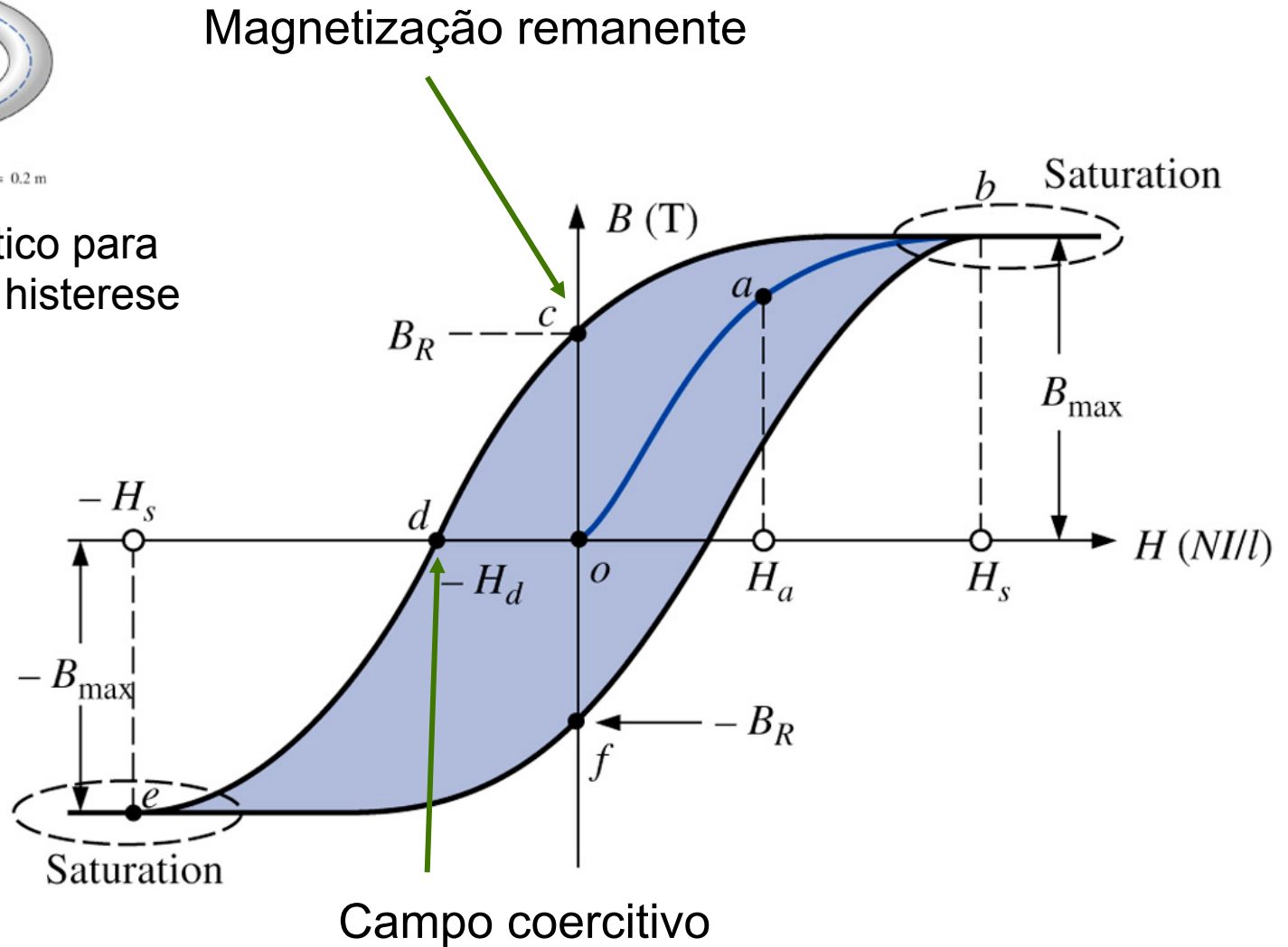
Variação de μ com
a força magnetizante



Histerese



Circuito magnético para
obter a curva de histerese



Correntes parasitas:

- Induzidas no núcleo, devido ao mesmo ser, normalmente, de material ferromagnético.

Perdas por histerese:

- Trabalho realizado pelo campo (H) para obter o fluxo (B);

- Expressa a dificuldade que o campo (H) terá para orientar os domínios de um material ferromagnético.

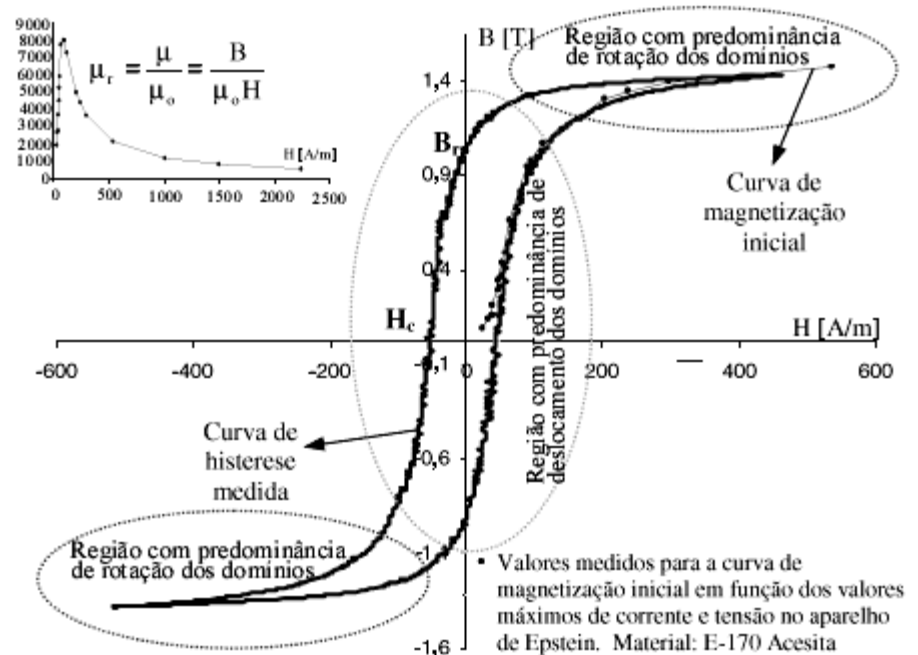


Figura 1: Curva representativa da histerese medida à 1Hz.

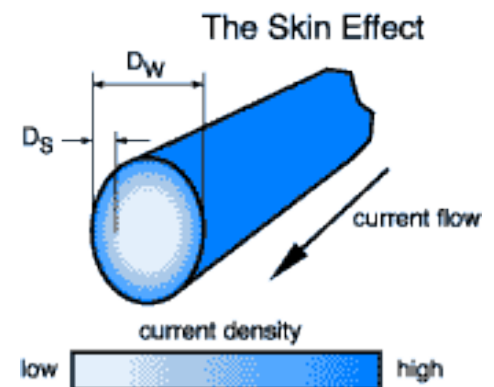
Efeito de proximidade:

- Relaciona um aumento na resistência em função dos campos magnéticos produzidos pelos demais condutores colocados nas adjacências.

Efeito pelicular (efeito skin):

- Restringe a secção do condutor para frequências elevadas.
- Em altas frequências, a tensão oposta induzida se concentra no centro do condutor, resultando em uma corrente maior próxima à superfície do condutor e uma rápida redução próxima do centro.

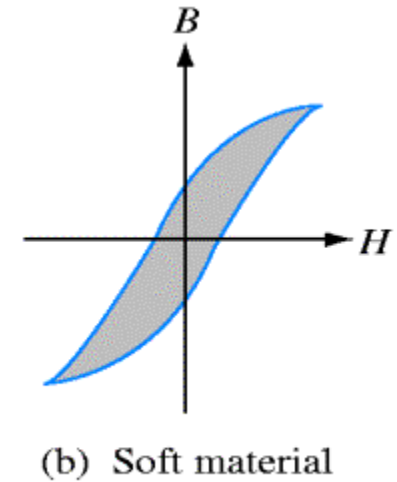
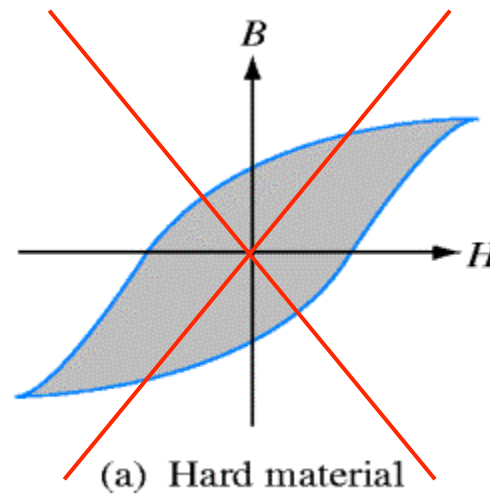
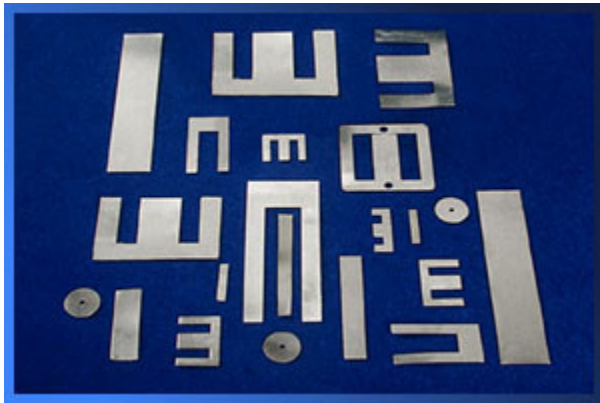
Profundidade de penetração $\longrightarrow \Delta = \frac{7,5}{\sqrt{f_s}} [cm]$



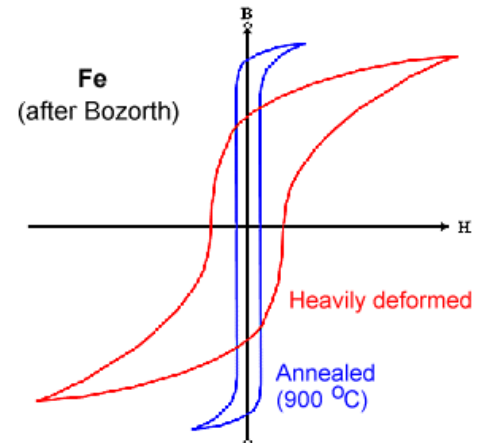
Materiais magnéticos moles

Característica geral:

- Não apresentam magnetismo remanente.

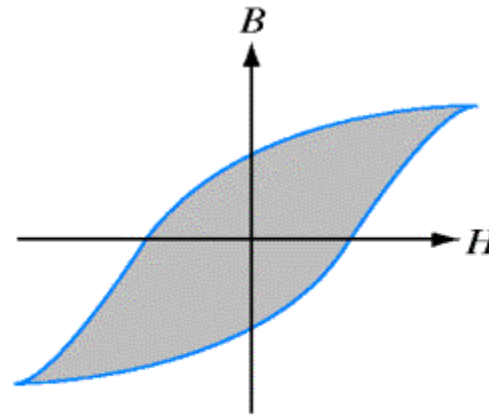


Recozimento →

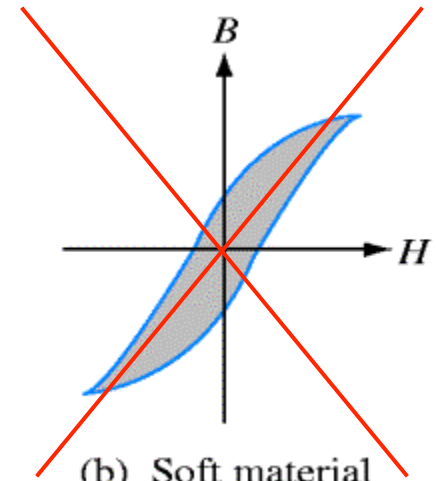


Característica geral:

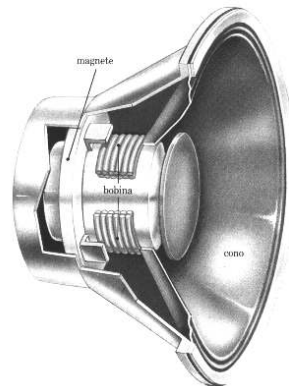
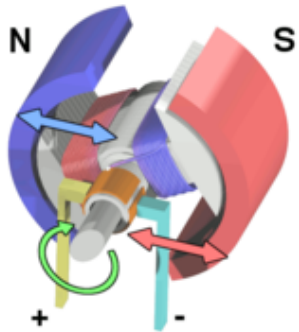
- Apresentam elevado magnetismo remanente.



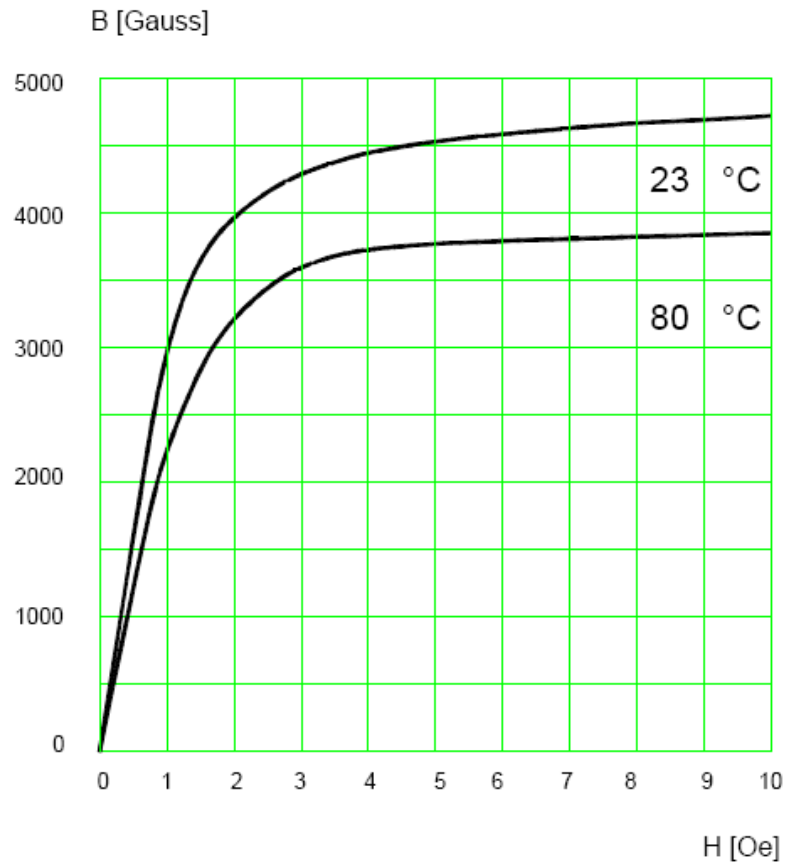
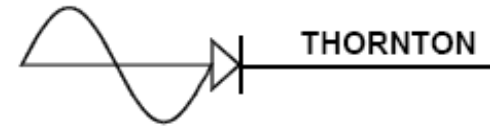
(a) Hard material



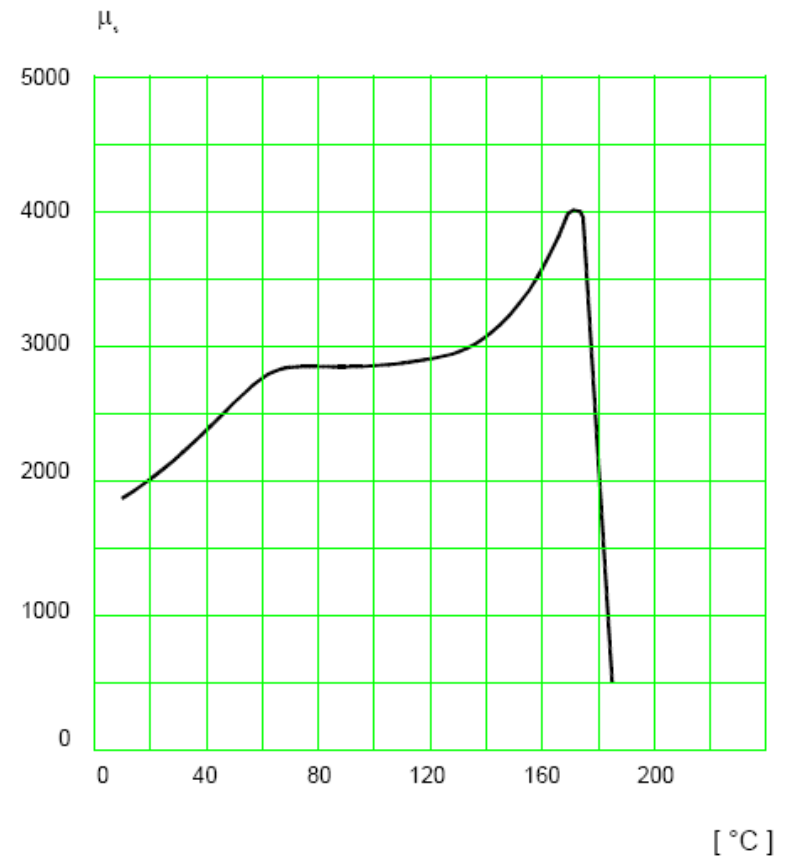
(b) Soft material



Permeabilidade versus temperatura



Típico B x H



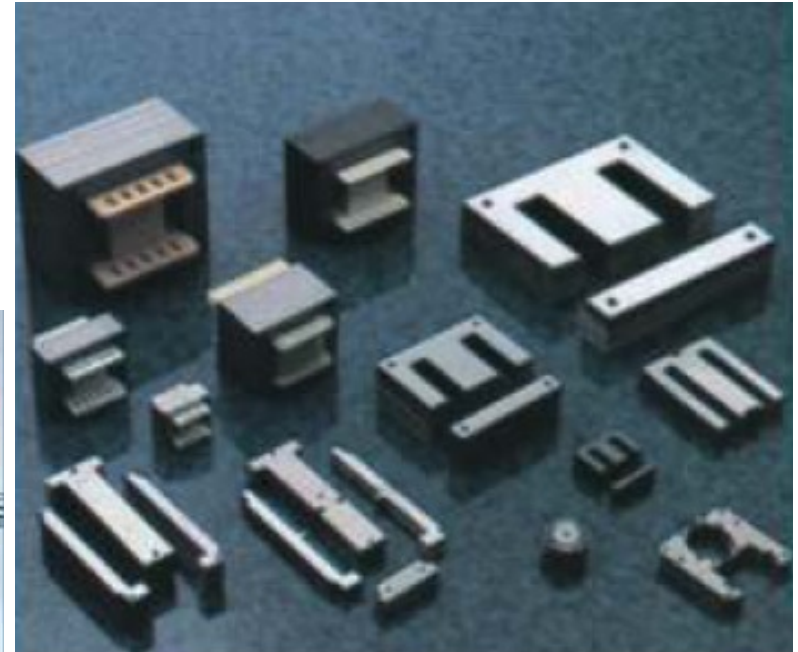
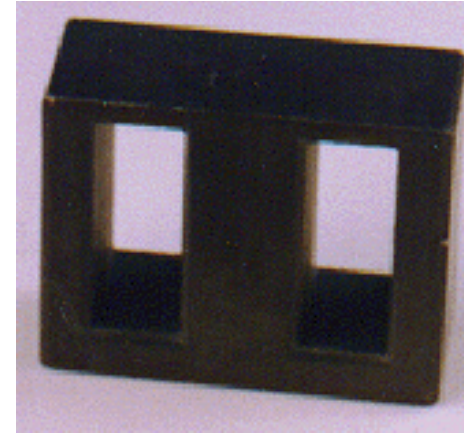
μ_r x Temperatura

Perdas magnéticas:

- Por correntes de Foucault;
- Perda por histerese.

Perdas dependem de:

- Metalurgia do material;
- Porcentagem de silício;
- Frequência;
- Espessura do material;
- Indução magnética máxima.

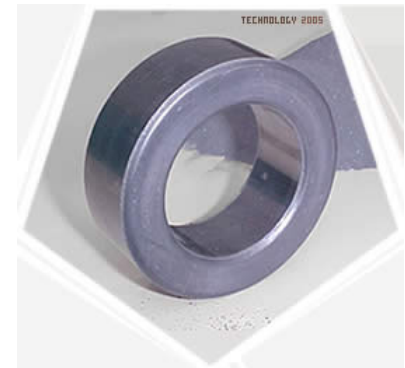


Núcleos:

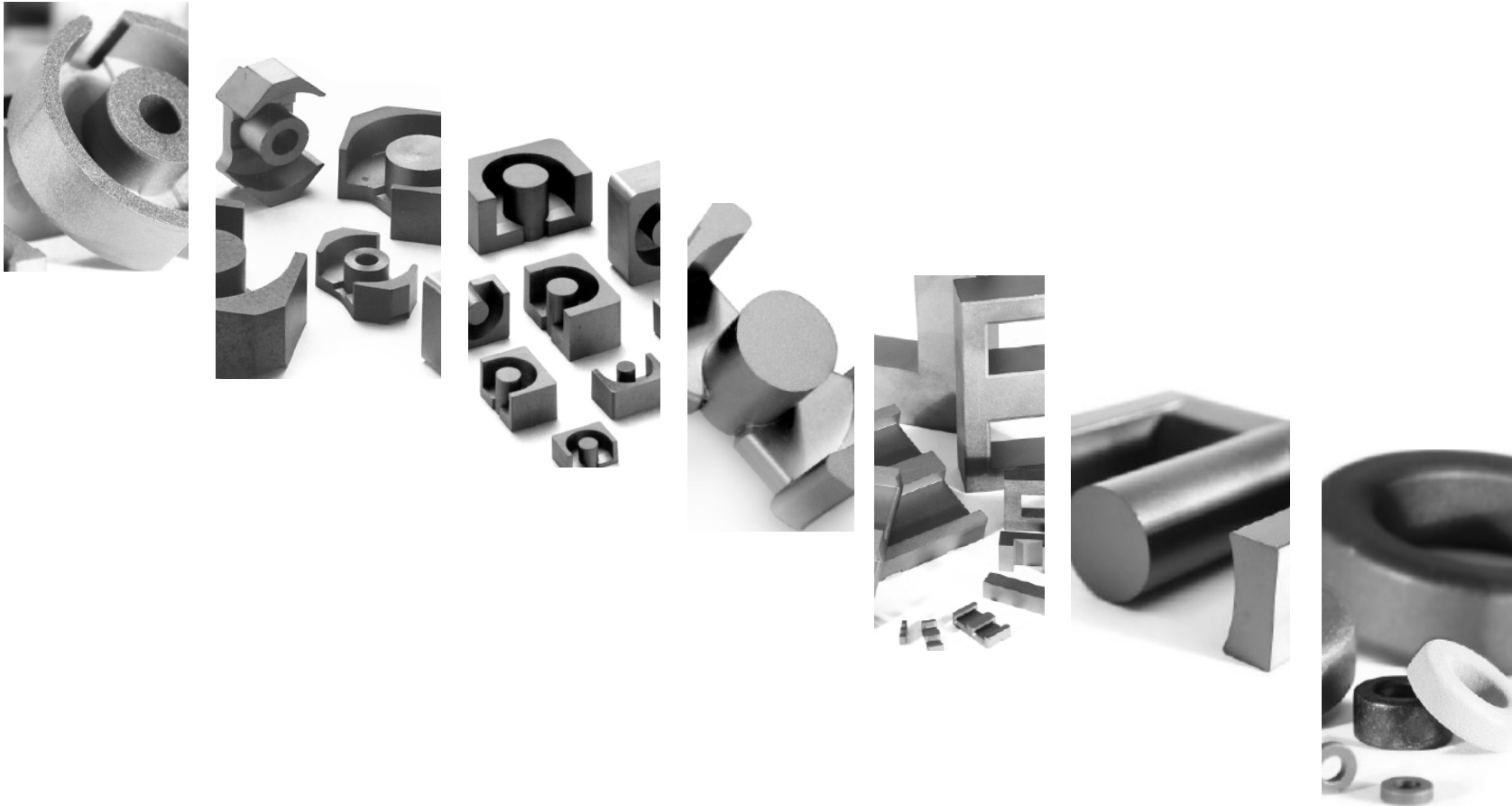
- Laminados
 - Ferro – silício de grão não orientado;
 - Ferro – silício de grão orientado.
- Compactados
 - Ferrites;
 - Pós metálicos.



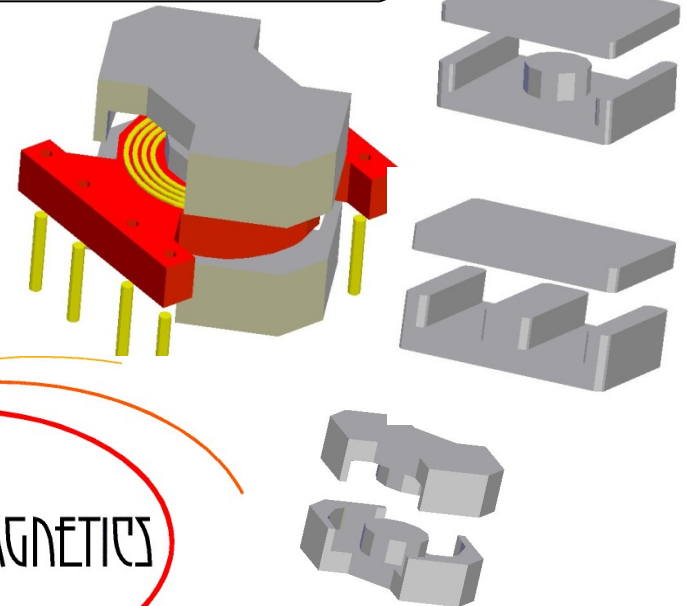
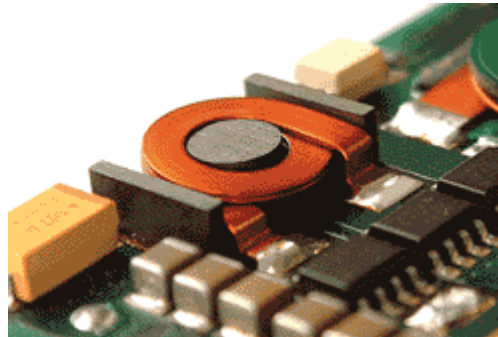
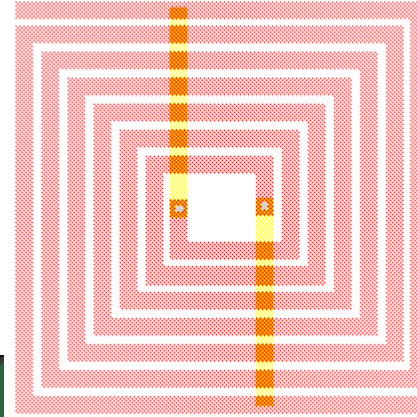
Núcleos magnéticos compactos



Núcleos magnéticos compactos

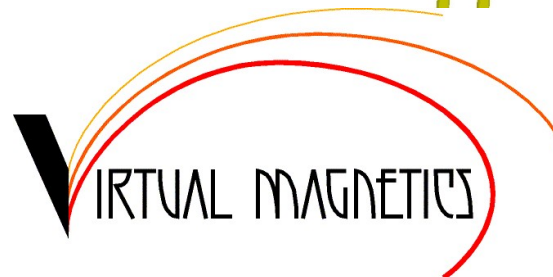


Núcleos magnéticos compactos

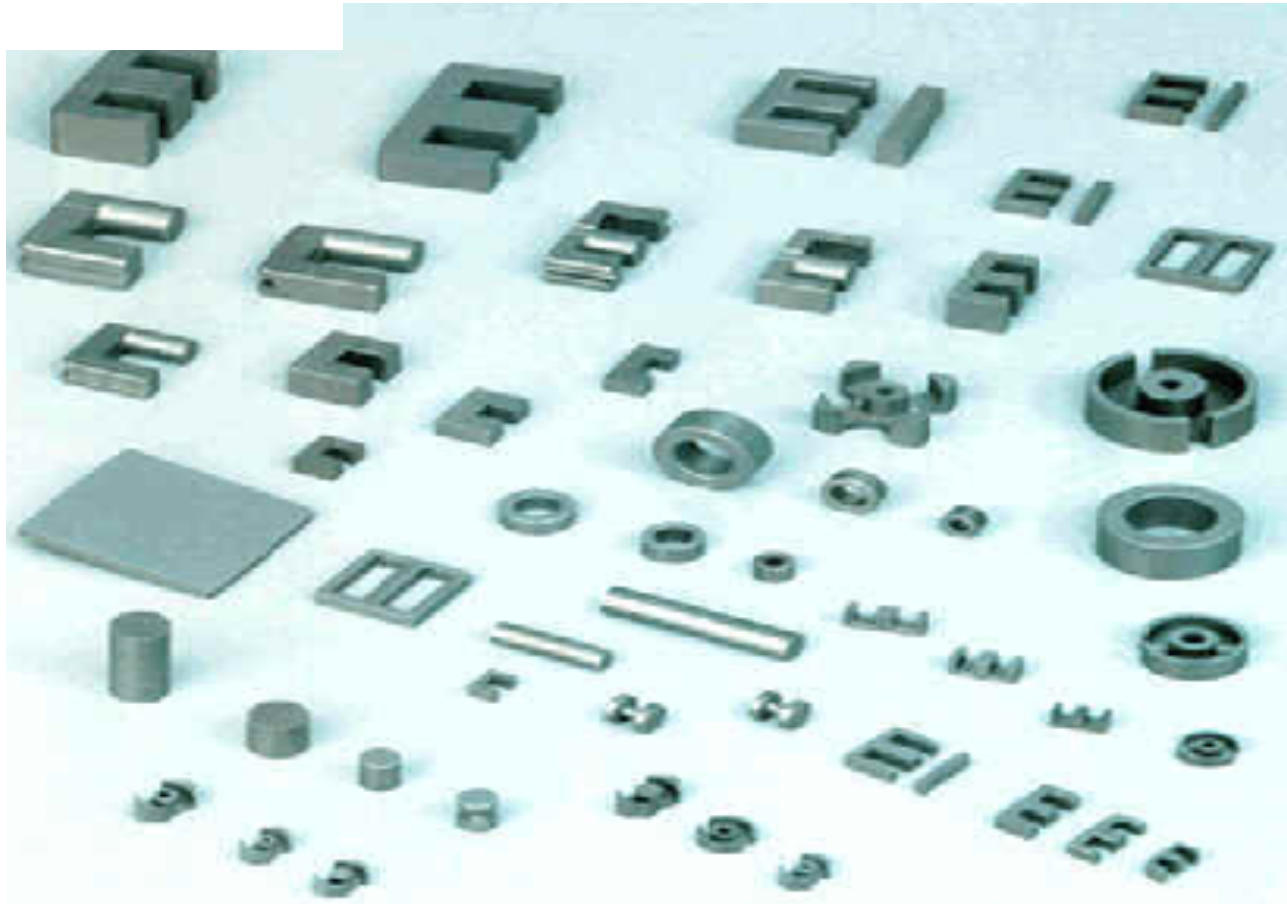
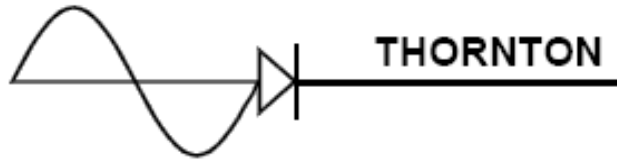


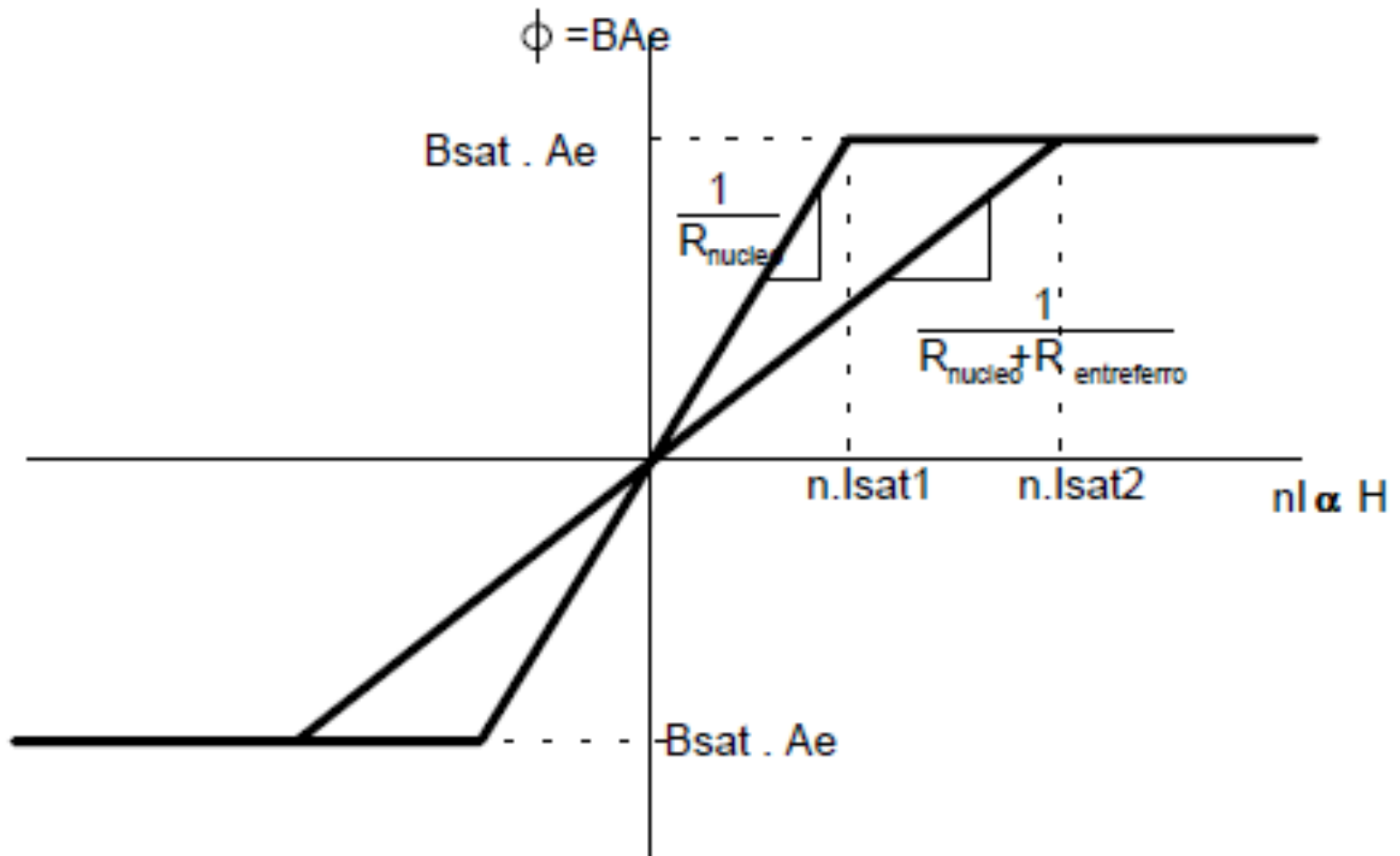
Núcleos planares

<http://virtual-magnetics.de>

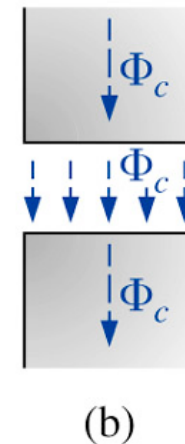
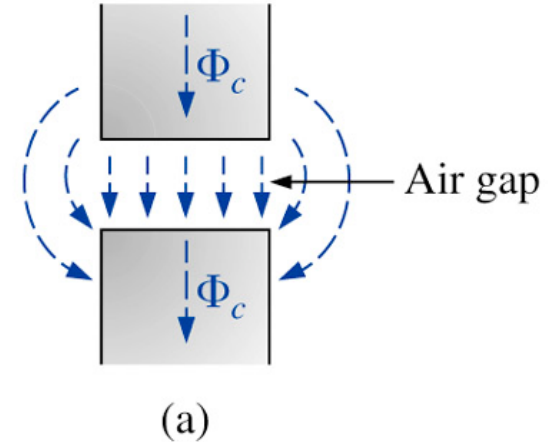
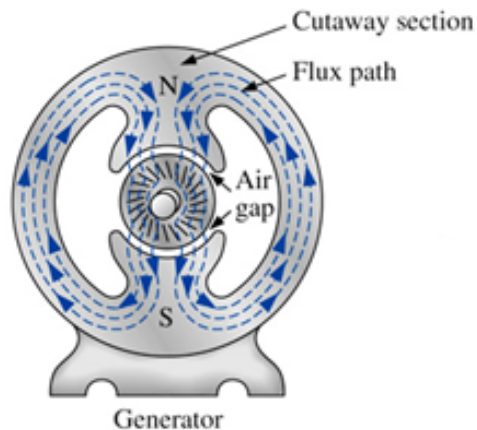
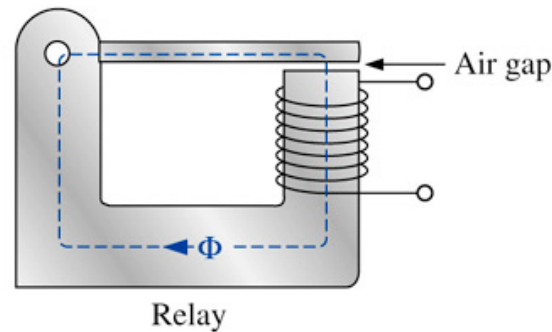
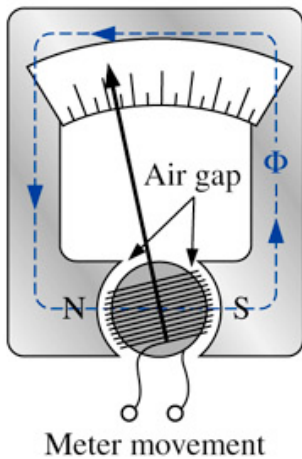


Núcleos magnéticos compactos

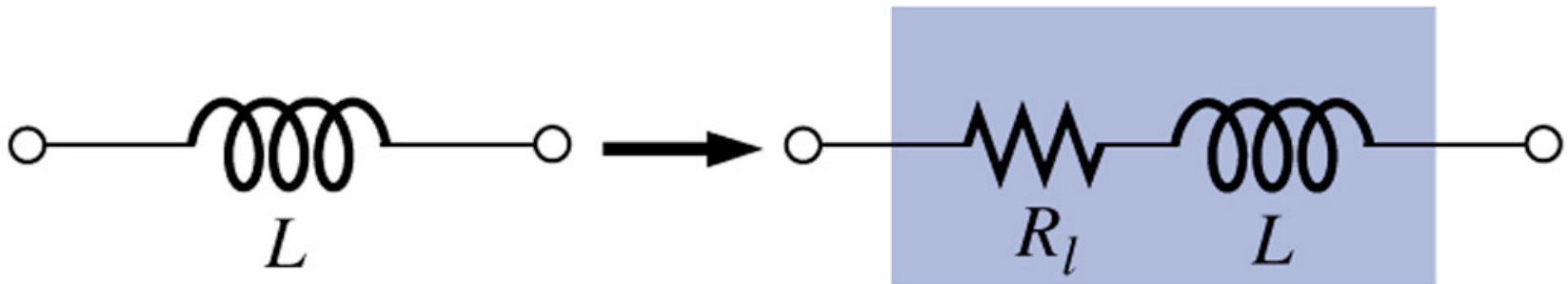




Espaço sem núcleo nos circuitos magnéticos:



Circuito equivalente de um indutor



Circuito equivalente prático de um indutor

Capítulo 9: Choppers DC:

1. Projeto de indutores e atividade experimental.

