



Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Elétrica
Materiais Elétricos - Teoria

Aula 03

Propriedades Gerais dos Materiais

Clóvis Antônio Petry, professor.

Florianópolis, setembro de 2006.

Bibliografia



Capítulos:

- 6;
- 7;
- 8;
- 9;
- 10;
- 11.

Nesta aula

Cronograma:

1. Propriedades gerais dos materiais;
2. Materiais magnéticos;
3. Materiais condutores;
4. Materiais semicondutores;
5. Materiais isolantes.

Revisão da aula anterior

Principais propriedades:

- Resistência mecânica;
- Elasticidade;
- Ductilidade;
- Fluência;
- Dureza;
- Tenacidade.



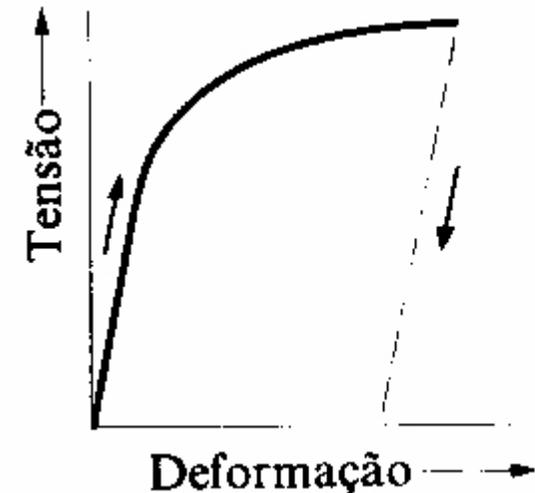
Relação elástica

Tensão:
Força por
unidade de área.



Deformação:

- Ação de modificar a forma (linear, superficial ou volumétrica);
- Elástica (desaparece com a cessação da causa);
- Plástica (permanece após cessada a causa).



Relação plástica

Revisão da aula anterior

Ductilidade:

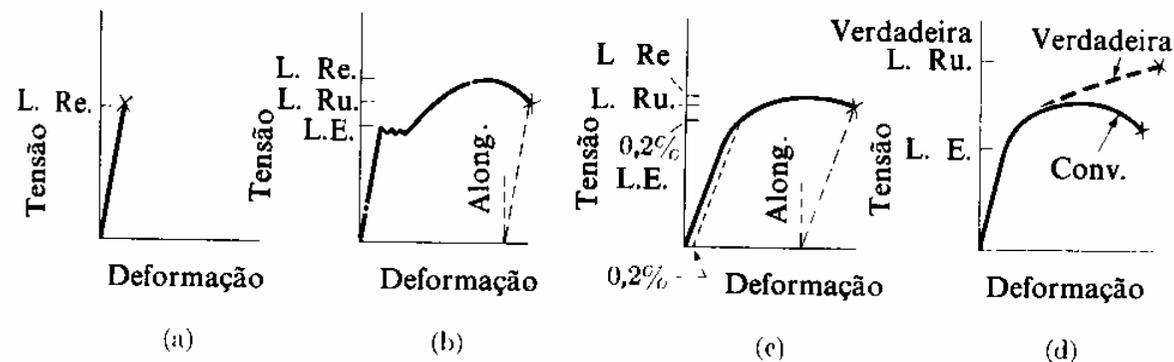
- Deformação plástica até o ponto de ruptura.

Estricção:

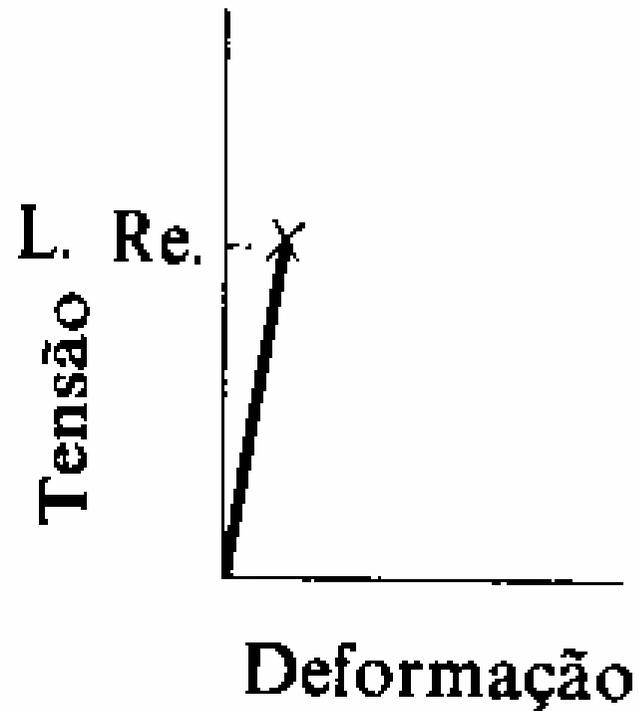
- Redução na área da seção reta do corpo, imediatamente antes da ruptura;
- É expresso em porcentagem:

Limites do material:

- Limite elástico (de escoamento) → LE;
- Limite de resistência → LRe;
- Limite de ruptura → LRu.



Revisão da aula anterior

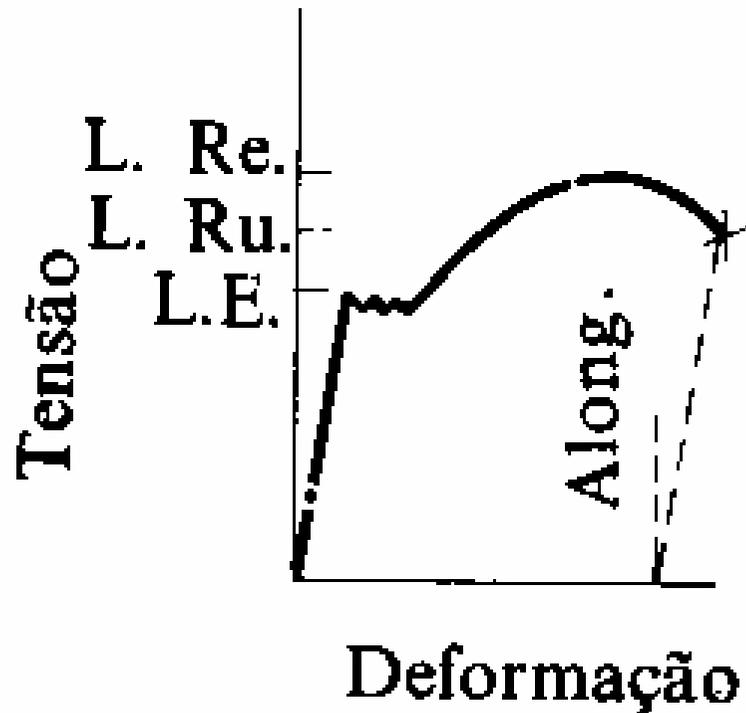


(a)

- Material não dúctil;
- Sem deformação plástica;
- Frágil;
- Ferro fundido.

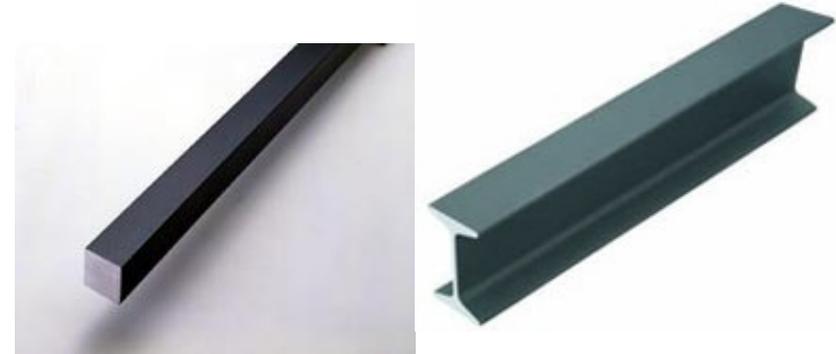


Revisão da aula anterior



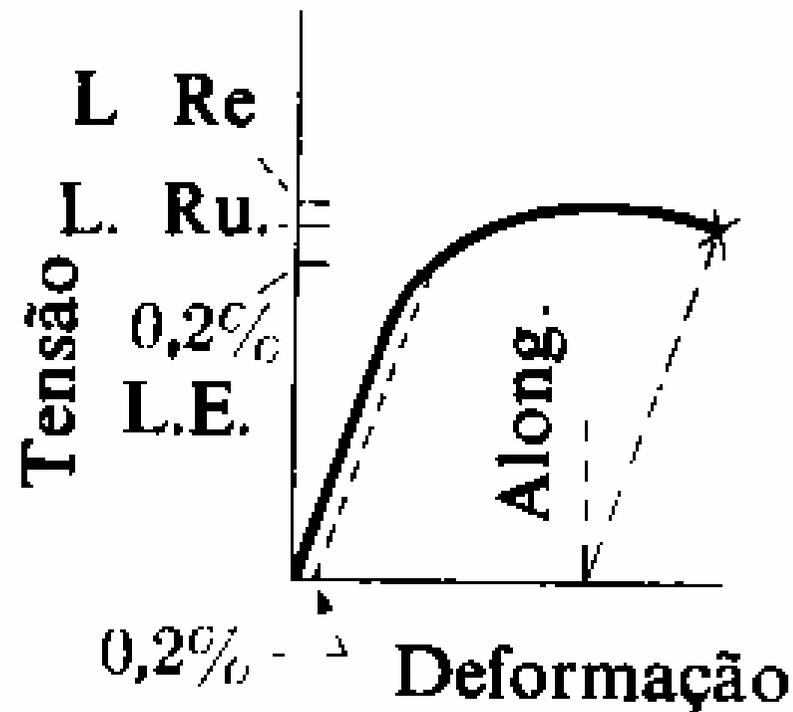
(b)

- Material dúctil;
- Possui LE;
- Aço de baixo carbono.



Empregadas principalmente em grades e portões, esquadrias, máquinas, implementos agrícolas e rodoviários e na indústria mecânica em geral

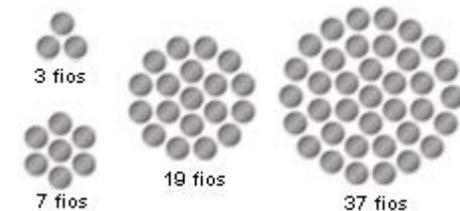
Revisão da aula anterior



- Material dúctil sem LE;
- Limite convencional de escoamento = tensão para provocar uma deformação de 0,2%;
- Alumínio.



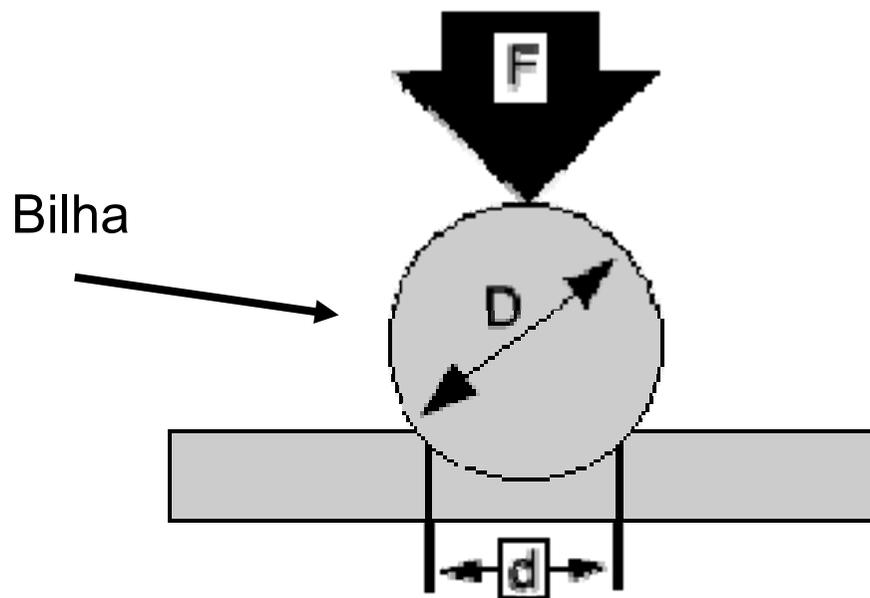
(c)



Revisão da aula anterior

Dureza:

- Definida pela resistência da superfície do material à penetração;
- BNH – Escala Brinell de dureza → índice de medida da dureza;
- Escala Rocwell.



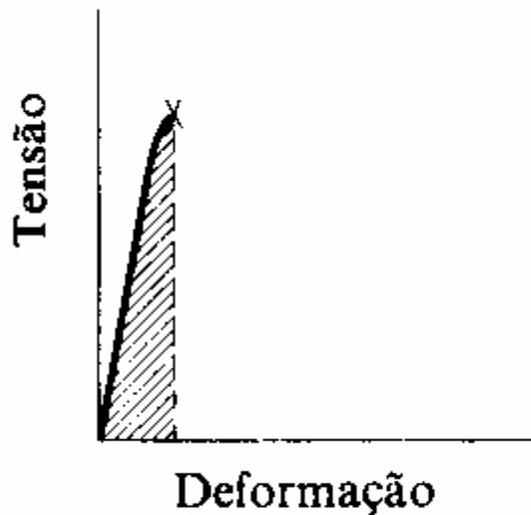
Durômetro



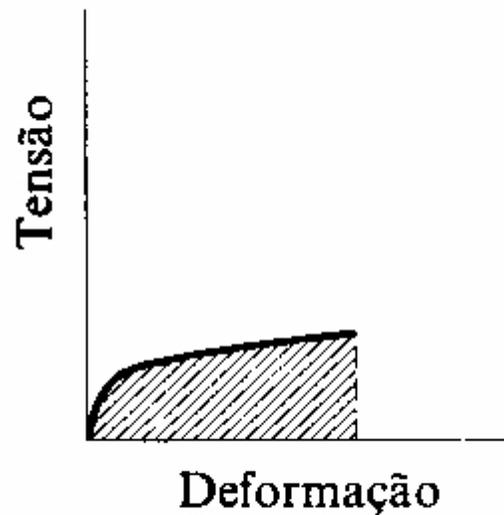
Revisão da aula anterior

Tenacidade:

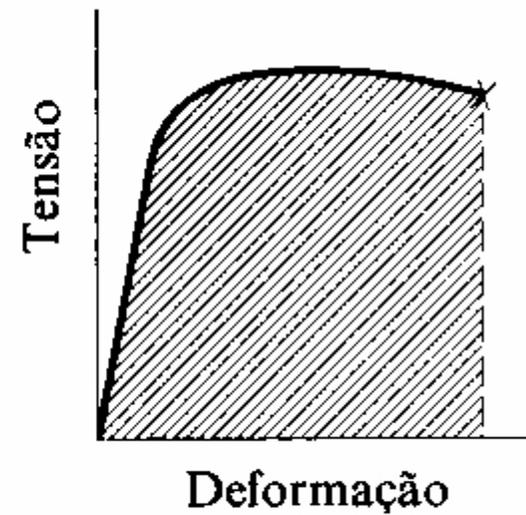
- Energia necessária para romper o material;
- Medida em kgf.cm;
- Resistência à tração = tensão necessária para romper o material.



(a)



(b)



(c)

Revisão da aula anterior

Calor:

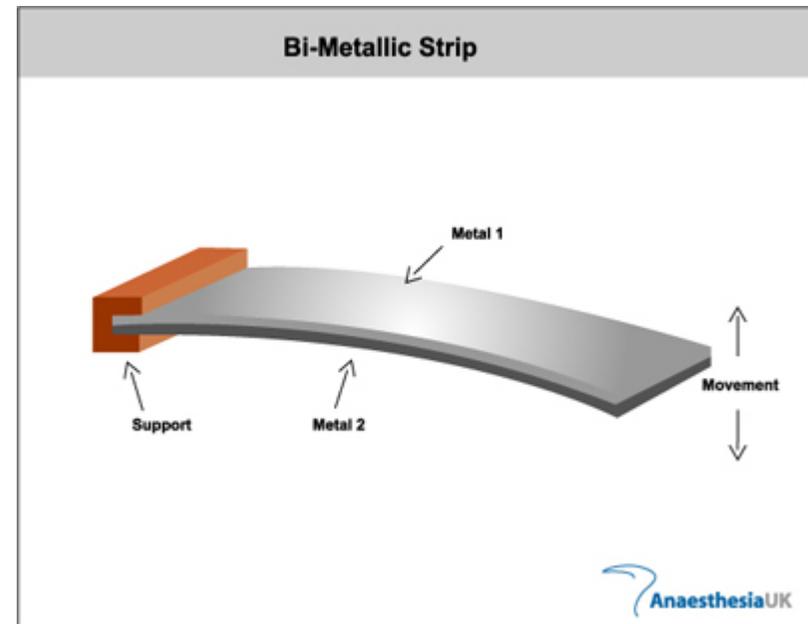
- Energia térmica;
- Expresso em calorias ou Btu.

Temperatura:

- Nível de atividade térmica;
- Expresso em:

Propriedades térmicas mais importantes:

- Calor específico;
- Resistência ao calor;
- Resistência ao frio;
- Condutividade térmica;
- Dilatação.



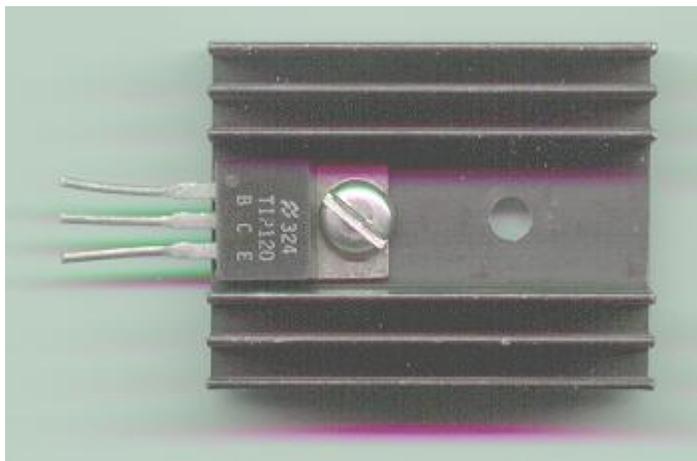
Revisão da aula anterior

Resistência ao calor:

- Capacidade dos materiais e peças suportarem, sem prejuízo de suas propriedades, a manutenção por períodos curtos ou longos de **altas** temperaturas.

Resistência ao frio:

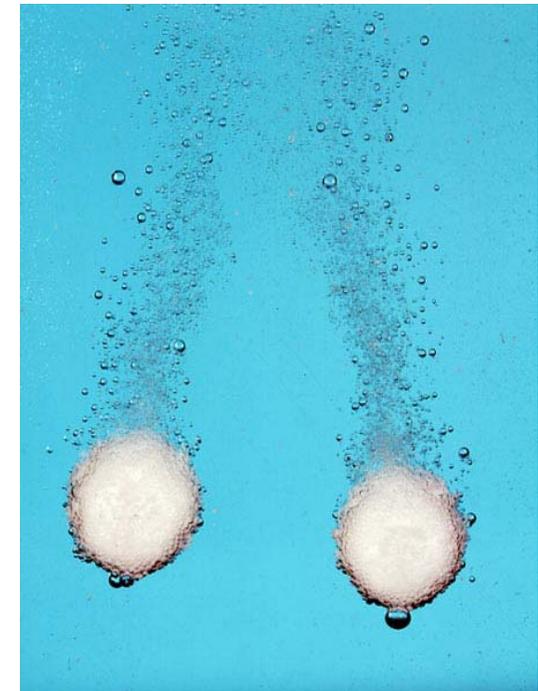
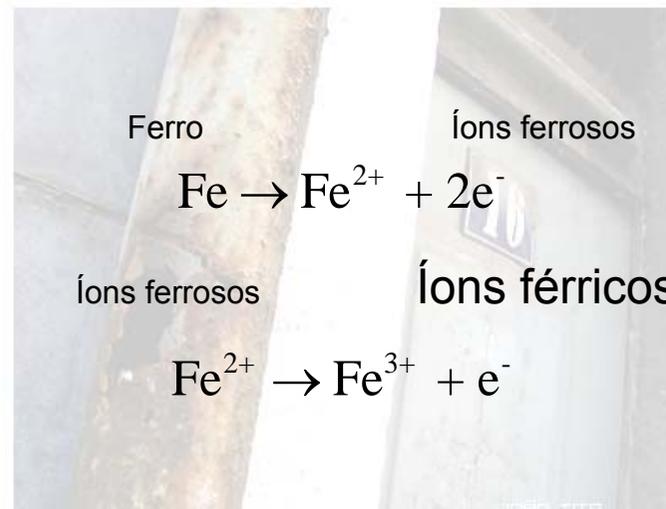
- Capacidade dos materiais e peças suportarem, sem prejuízo de suas propriedades, a manutenção por períodos curtos ou longos de **baixas** temperaturas.



Revisão da aula anterior

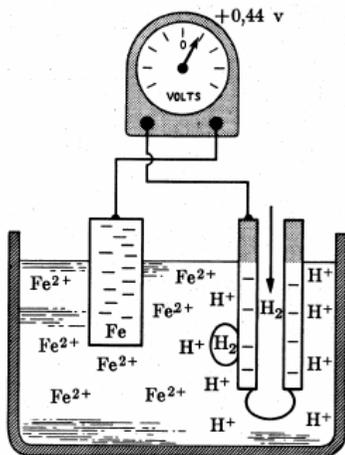
Corrosão:

- É a deterioração e a perda de um material devido a um ataque químico;
- Representa alterações como: desgaste, variações químicas ou modificações estruturais;
- Pode ser por:
 - dissolução;
 - oxidação eletroquímica.

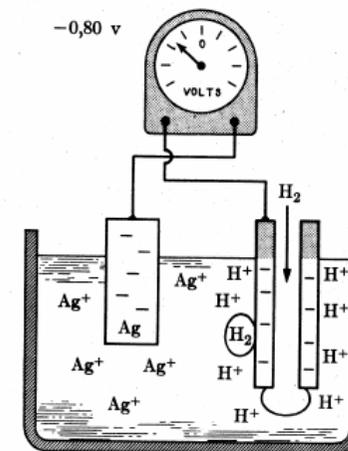


Revisão da aula anterior

Tabela de potenciais de eletrodo



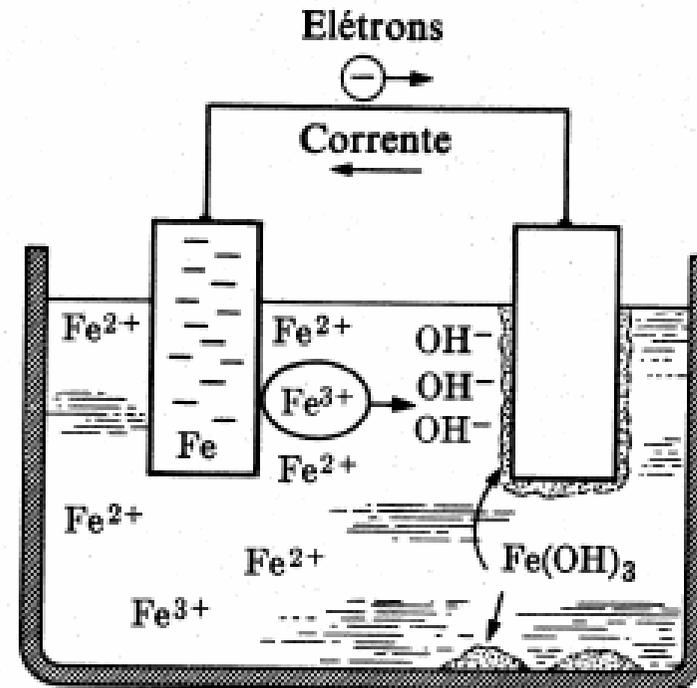
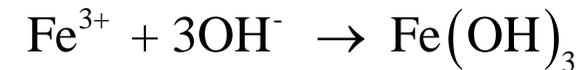
Íon metálico	Potencial*
Li ⁺ (básico)	+ 2,96 (anódico)
K ⁺	+ 2,92
Ca ²⁺	+ 2,90
Na ⁺	+ 2,71
Mg ²⁺	+ 2,40
Al ³⁺	+ 1,70
Zn ²⁺	+ 0,76
Cr ²⁺	+ 0,56
Fe ²⁺	+ 0,44
Ni ²⁺	+ 0,23
Sn ²⁺	+ 0,14
Pb ²⁺	+ 0,12
Fe ³⁺	+ 0,045
H ⁺	0,000 (referência)
Cu ²⁺	- 0,34
Cu ⁺	- 0,47
Ag ⁺	- 0,80
Pt ⁺⁺	- 0,86
Au ⁺ (nobre)	- 1,50 (catódico)



Revisão da aula anterior

Formação da ferrugem:

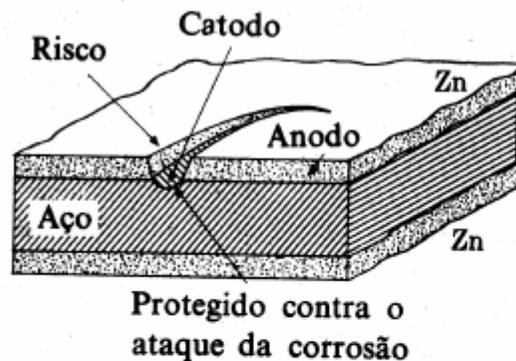
- A corrosão (perda de elétrons) ocorre no anodo, mas a formação da ferrugem ocorre no catodo.



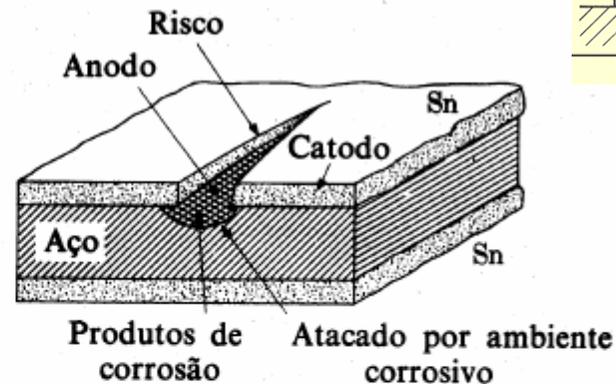
Revisão da aula anterior

Classificação das células galvânicas:

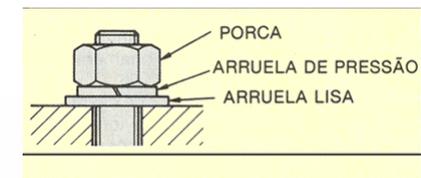
- Células de composição (formada a partir de metais diferentes);
- Células de tensão (deformação a frio – encruamento);
- Células de concentração (deficiência de oxigênio).



Aço Galvanizado. O zinco atua como anodo e o ferro como catodo. Portanto, o ferro está protegido, mesmo que a camada de zinco seja perfurada



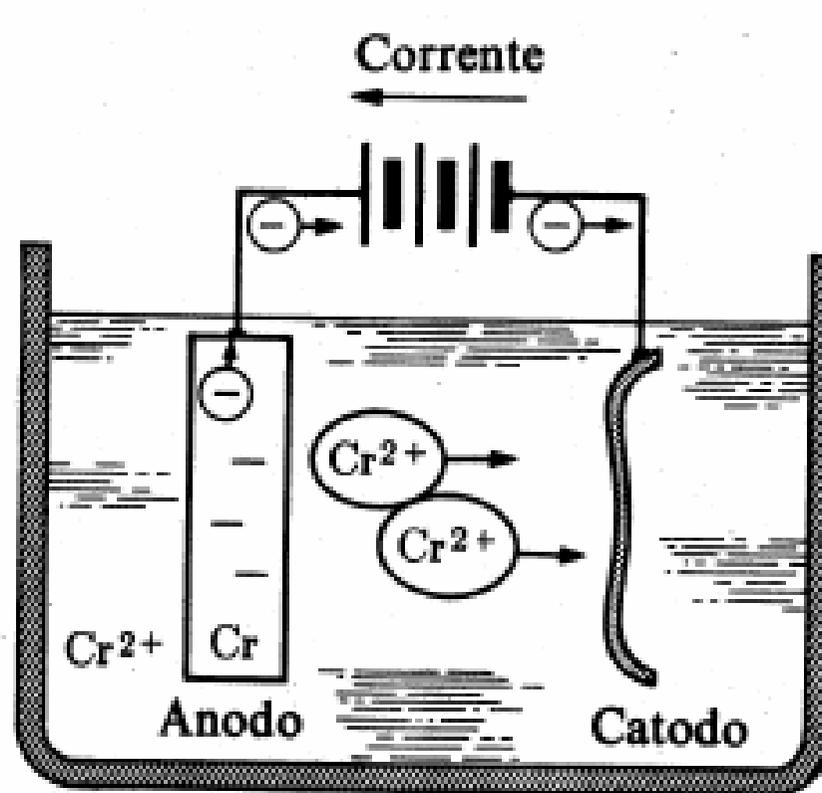
Aço Estanhado. O estanho protege o ferro, enquanto a camada for contínua. Quando a camada é perfurada o ferro do aço funciona como anodo e o estanho como catodo, o que acelera a corrosão



Revisão da aula anterior

Galvanoplastia:

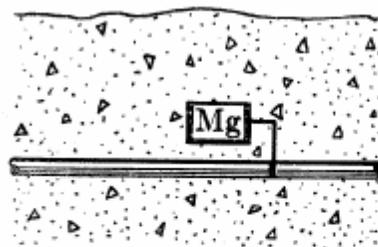
- Deposição de metal no catodo.



Revisão da aula anterior

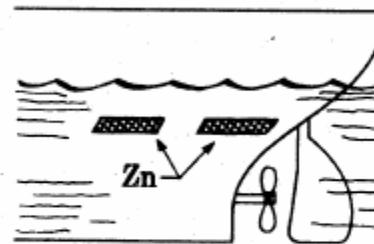
Prevenção da corrosão:

- Isolamento dos eletrólitos e eletrodos → camadas de proteção;
- Ausência de formação de pares galvânicos;
- Proteção galvânica.



Cano subterrâneo

(a)



Navio

(b)

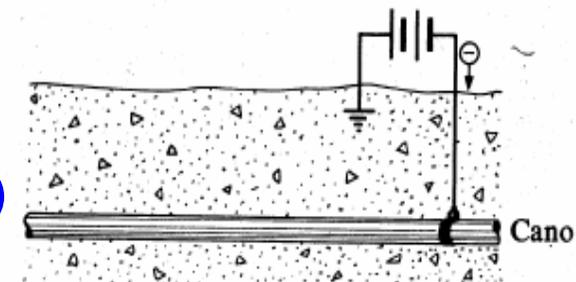


Tanque de água

(c)

Uso de eletrodos de sacrifício operando como anodos

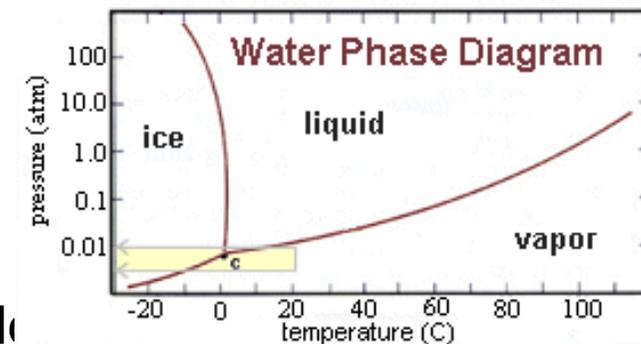
Aplicação de uma tensão externa (fonte de elétrons)



Propriedades x Microestruturas

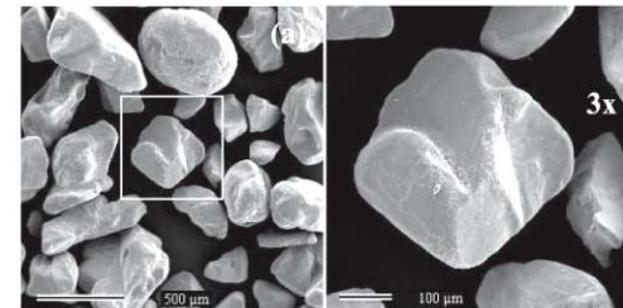
Fase:

- Parte estruturalmente homogênea de um sistema material;
- Cada fase possui seu próprio arranjo atômico;
- Fase cristalina, amorfa, líquida, sólida, etc.



Grão:

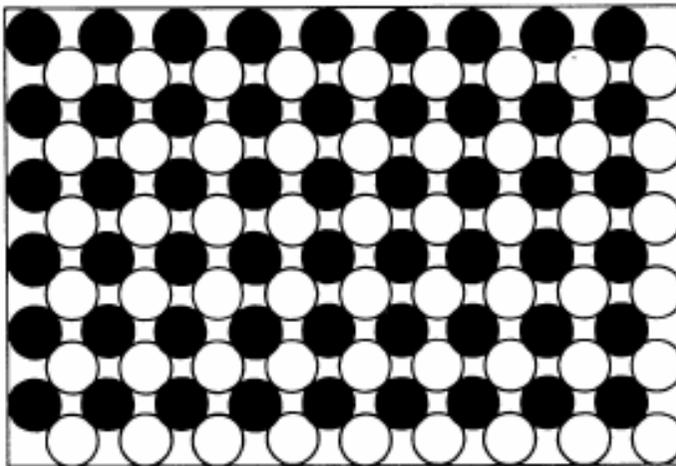
- Cristais individuais na estrutura do material;
- Possuem várias orientações;
- Caracterizam uma célula unitária com os átomos no interior organizados da mesma forma.



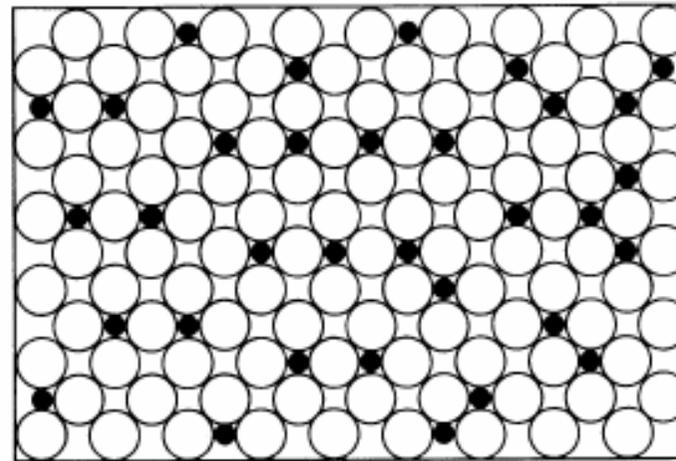
Propriedades x Microestruturas

Soluções sólidas:

- Substitucional (Latão = cobre + zinco);
- Intersticial (Carbono no ferro).



Substitucional



Intersticial

Propriedades x Microestruturas

Metais monofásicos podem ser ajustados por:

- Deformação plástica;
- Recristalização;
- Solução sólida;
- Composição do copolímero;
- Orientação cristalina ou molecular.

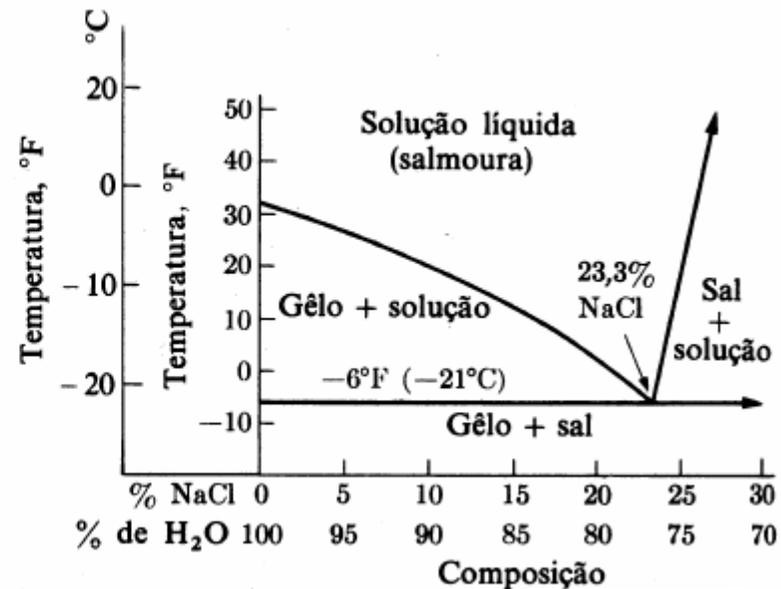
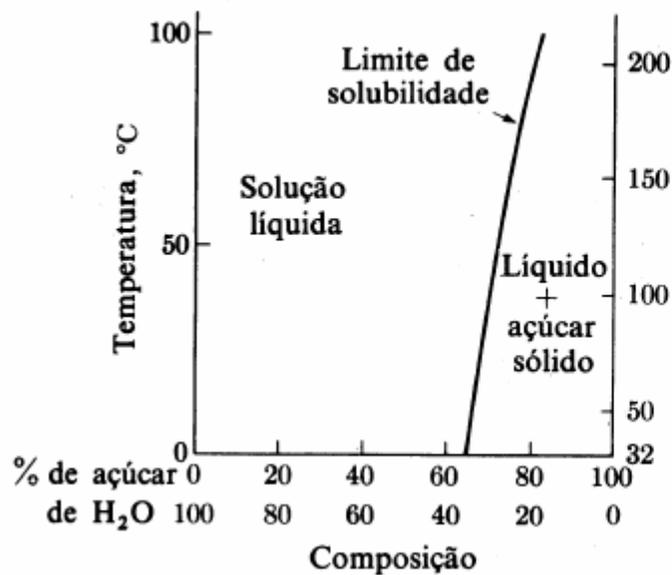
Materiais polifásicos, métodos acima e:

- Quantidades relativas de fase;
- Tamanho dos grãos;
- Forma e distribuição das fases.

Propriedades x Microestruturas

Diagramas de fase:

- Mostra a solubilidade em função da composição e da temperatura.



Açúcar na água

Sal (NaCl) na água



Propriedades x Microestruturas

- * a linha AEB é do líquido e a linha ACEDB é sólido;
- * a solução sólida α é metal (soluto) dissolvido no metal A (solvente);
- * a solução sólida β é metal A (soluto) dissolvido no metal B (solvente);
- * as linhas CF e DG denotam a máxima solubilidade de B em A e de A em B, respectivamente.

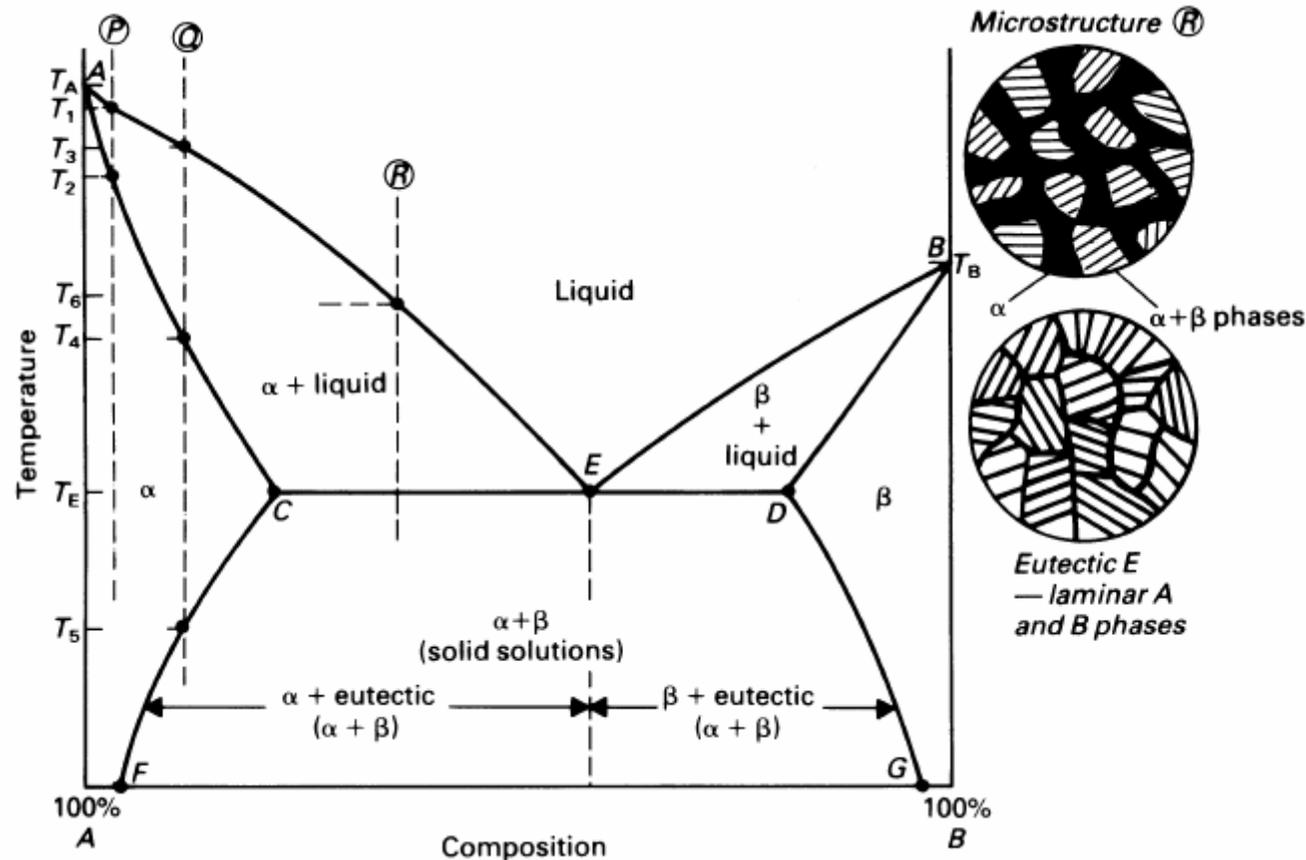


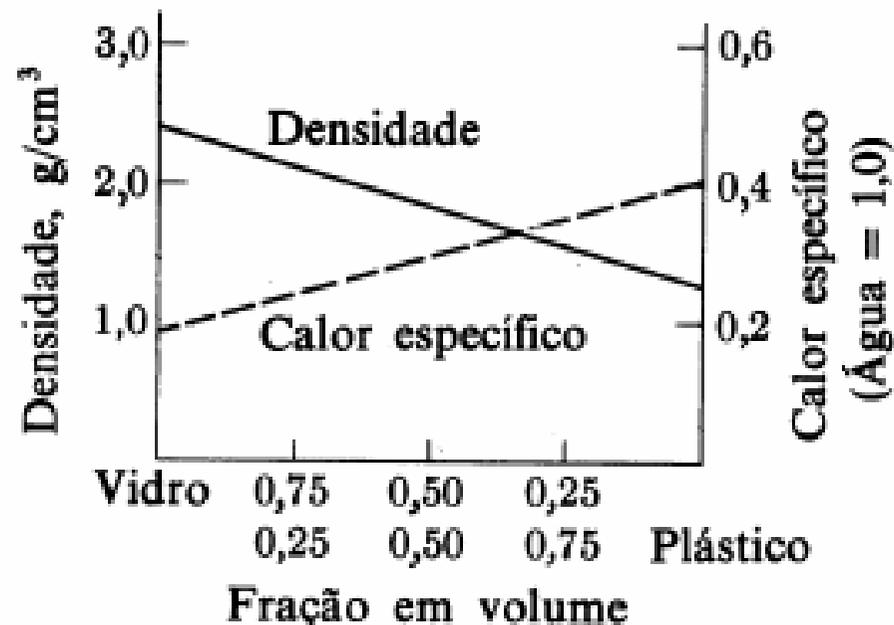
Diagrama de fases – solubilidade parcial

Propriedades x Microestruturas

Propriedades aditivas:

- Podem ser determinadas pela média ponderada;
- Densidade;
- Calor específico;
- Condutividade térmica;
- Condutividade elétrica.

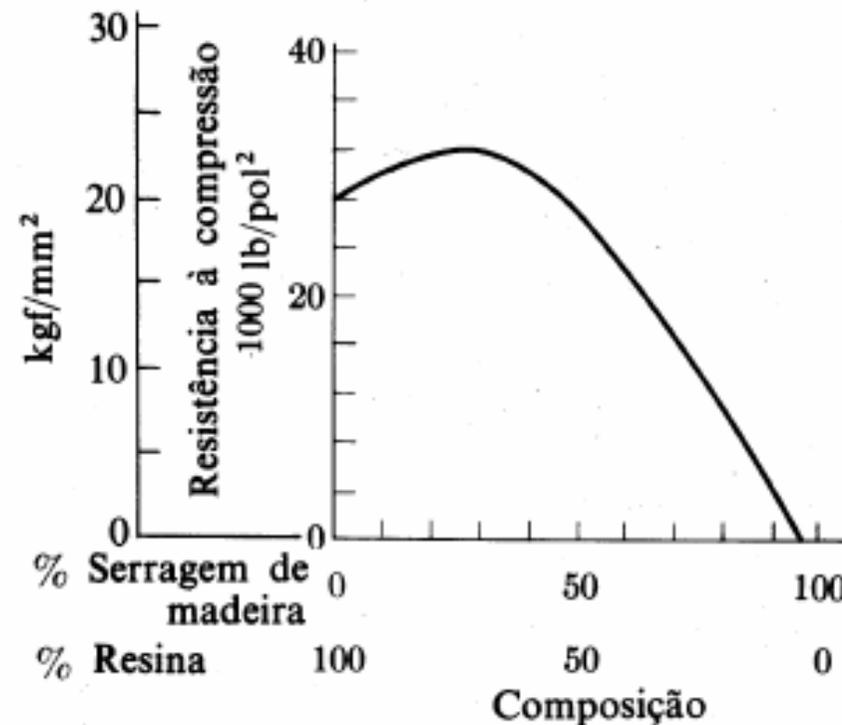
$$\rho_{material} = f_1 \cdot \rho_1 + f_2 \cdot \rho_2 + \dots + f_n \cdot \rho_n$$



Propriedades x Microestruturas

Propriedades interativas:

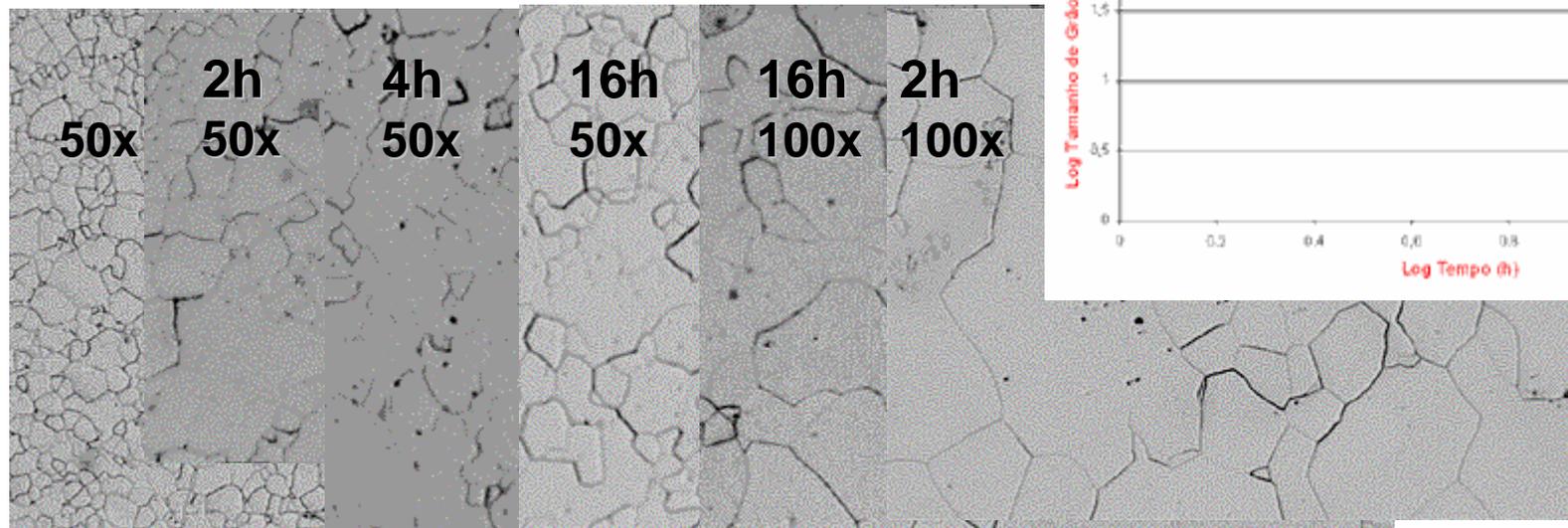
- Dependem da natureza da adjacente;
- Dureza;
- Resistência;
- Permite a alteração usando “reforçadores” (areia + argila).



Propriedades x Microestruturas

Tratamentos térmicos:

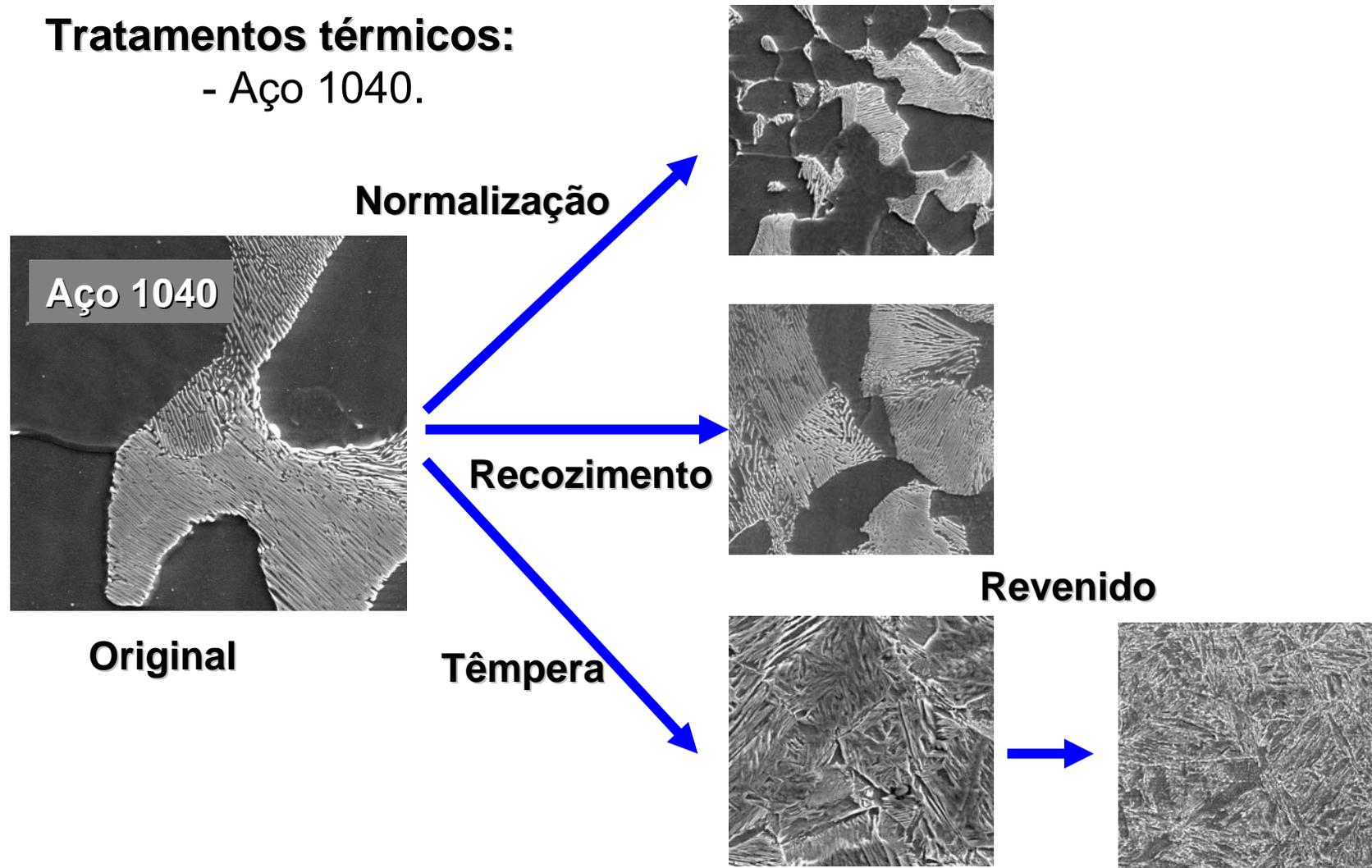
- Método mais comum de se alterar microestruturas;
- Tratamentos de recozimento;
- Tratamentos de precipitação (envelhecimento);
- Processos de transformação isotérmica;
- Tratamento de têmpera e revenido;
- Endurecibilidade;
- Processos de grafitização.



Propriedades x Microestruturas

Tratamentos térmicos:

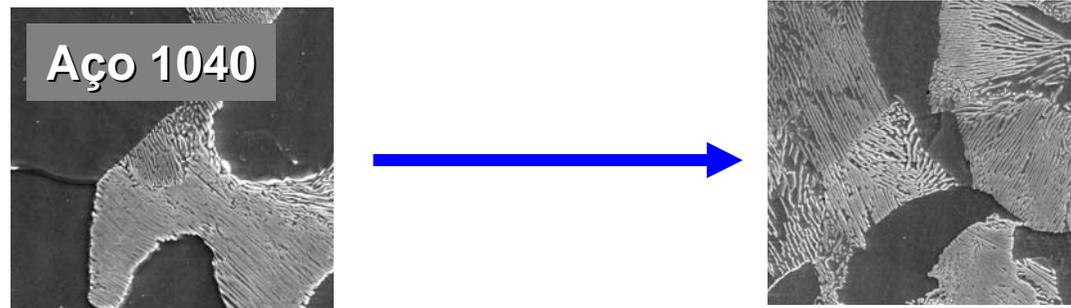
- Aço 1040.



Propriedades x Microestruturas

Recozimento:

- Exemplo: Metais trabalhados a frio;
- Finalidade: Remover o encruamento e aumentar a ductilidade;
- Procedimento: Aquecer acima da temperatura de recristalização.



Ductilidade:

- Deformação plástica até o ponto de ruptura.

Encruamento:

- Endurecimento pela deformação a frio.

Tabela 11-1 do livro texto (página 302).

Propriedades x Microestruturas

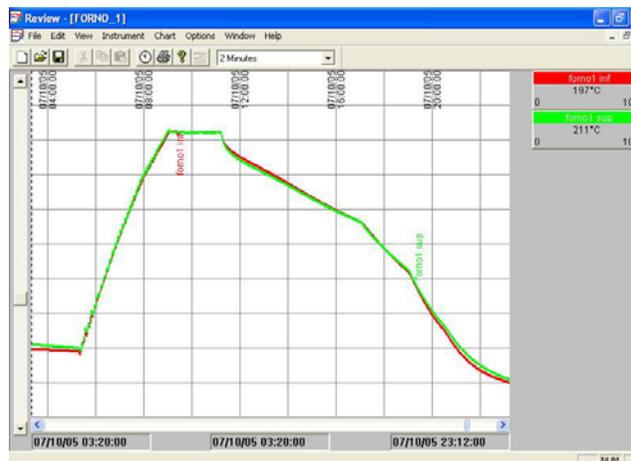
Recozimento:

- Exemplo: Vidro;
- Finalidade: Aliviar tensões residuais;
- Procedimento: Aquecer acima do ponto de recozimento.



Recozimento:

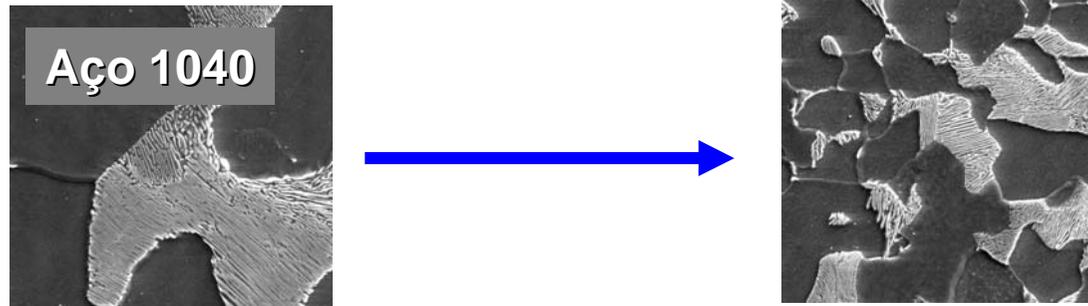
- Exemplo: Aço;
- Finalidade: Amolecer;
- Procedimento: Aquecer e resfriar lentamente (no forno).



Propriedades x Microestruturas

Normalização:

- Exemplo: Aço;
- Finalidade: Homogenização e alívio das tensões;
- Procedimento: Aquecer e resfriar ao ar.



Recozimento subcrítico:

- Exemplo: Aço de baixo carbono;
- Finalidade: Remover encruamento e aumentar a ductilidade;
- Procedimento: Aquecer por um período curto.

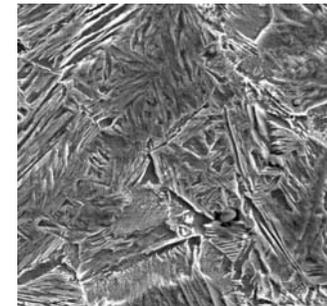
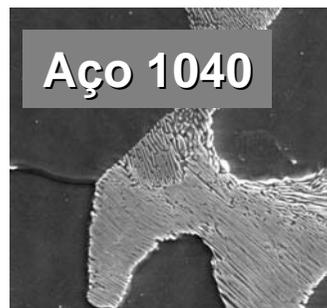
Propriedades x Microestruturas

Coalescimento:

- Exemplo: Aço de alto carbono;
- Finalidade: Amolecer e aumentar a tenacidade;
- Procedimento: Aquecer por um tempo longo.

Têmpera:

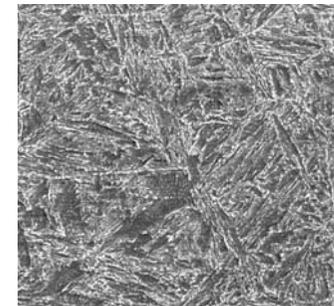
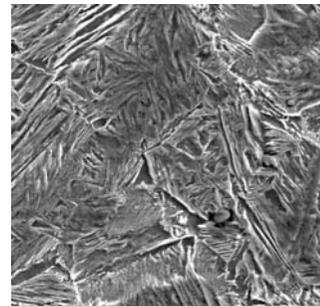
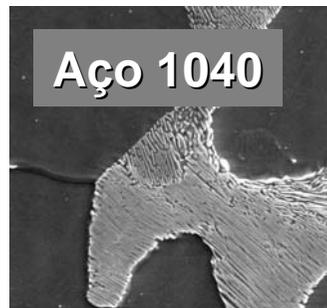
- Exemplo: Aço;
- Finalidade: Endurecer;
- Procedimento: Resfriar bruscamente (é seguido do revenido).



Propriedades x Microestruturas

Revenido:

- Exemplo: Aço temperado;
- Finalidade: Aumentar a tenacidade;
- Procedimento: Temperar. Aquecer em temperatura alta por curto período de tempo ou em temperatura baixa.



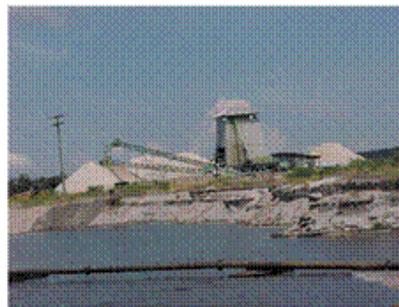
Propriedades x Microestruturas

Têmpera:

- Exemplo: Vidro;
- Finalidade: Aumentar a resistência;
- Procedimento: Aquecer acima do ponto de deformação.



Areia



Transporte



Derretimento



Beneficiamento



Fusão



Têmpera

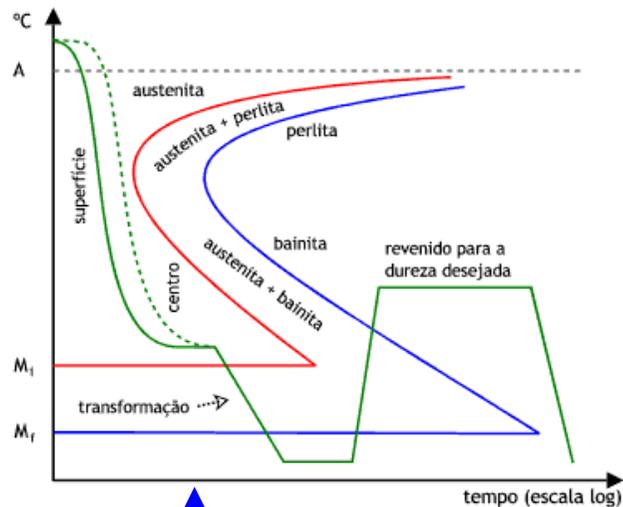


Aplicação

Propriedades x Microestruturas

Austêmpera:

- Exemplo: Aço;
- Finalidade: Endurecer sem formação de martensita frágil;
- Procedimento: Temperar...



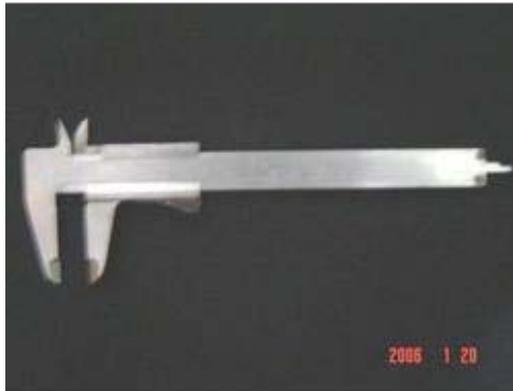
Martêmpera (têmpera interrompida):

- Exemplo: Aço;
- Finalidade: Endurecer sem formação trincas de têmpera;
- Procedimento: Temperar...

Propriedades x Microestruturas

Solubilização:

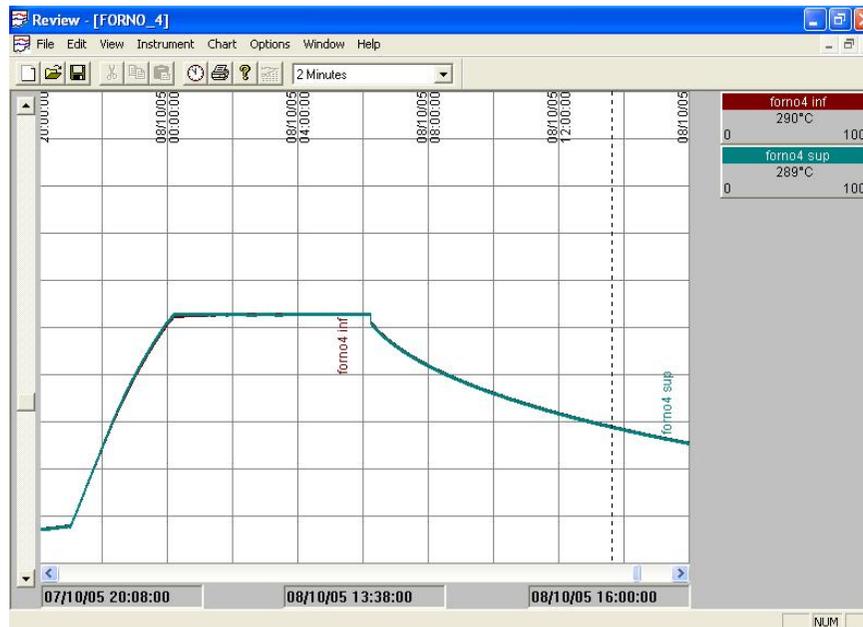
- Exemplo: Aço inoxidável;
- Finalidade: Produzir uma liga monofásica;
- Procedimento: Aquecer acima da curva de solubilidade e resfriar rapidamente.



Propriedades x Microestruturas

Envelhecimento artificial (endurecimento por precipitação):

- Exemplo: Ligas de alumínio;
- Finalidade: Endurecer;
- Procedimento: Solubilizar



Propriedades x Microestruturas

Maleabilização:

- Exemplo: Ferro fundido maleável;
- Finalidade: Aumentar a ductilidade de uma peça fundida;
- Procedimento: Formar ferro fundido branco e reaquecer.

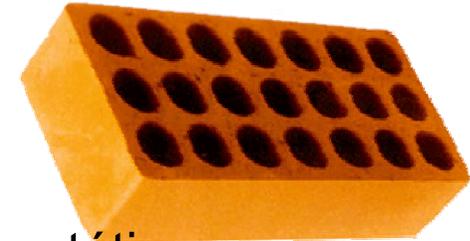


Virabrequim

Propriedades x Microestruturas

Queima (sinterização por formação de fase vítrea):

- Exemplo: Tijolos;
- Finalidade: Aglomeração;
- Procedimento: Aquecer acima da temperatura eutética.



Sinterização sólida:

- Exemplo: Metais pulverizados;
- Finalidade: Aglomeração;
- Procedimento: Aquecer abaixo da temperatura de fusão.

Sinterização: Processo em que duas ou mais partículas sólidas se aglutinam pelo efeito do aquecimento a uma temperatura inferior à de fusão, mas suficientemente alta para possibilitar a difusão dos átomos das duas redes cristalinas.



Próxima aula

Cronograma:

1. Propriedades gerais dos materiais;
2. **Materiais magnéticos;**
3. Materiais condutores;
4. Materiais semicondutores;
5. Materiais isolantes.