



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

Capítulo 01

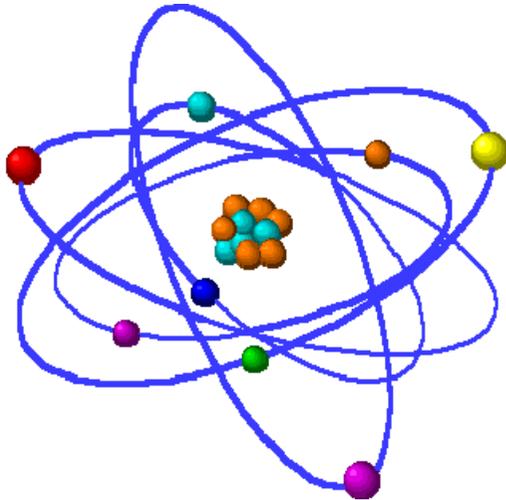
Propriedades Gerais dos Materiais

Resumo

Clóvis Antônio Petry, professor.

Florianópolis, outubro de 2006.

Estrutura do átomo e atrações interatômicas



Elétrons de valência:

- Propriedades químicas;
- Natureza das ligações;
- Características mecânicas;
- Resistência mecânica;
- Tamanho do átomo;
- Condutividade elétrica;
- Características ópticas.

Mecanismos para adquirir configuração estável:

- Receber elétrons;
- Perder elétrons;
- Compartilhar elétrons.

Tipos de ligações:

- Iônica;
- Covalente;
- Metálica.

Atrações interatômicas

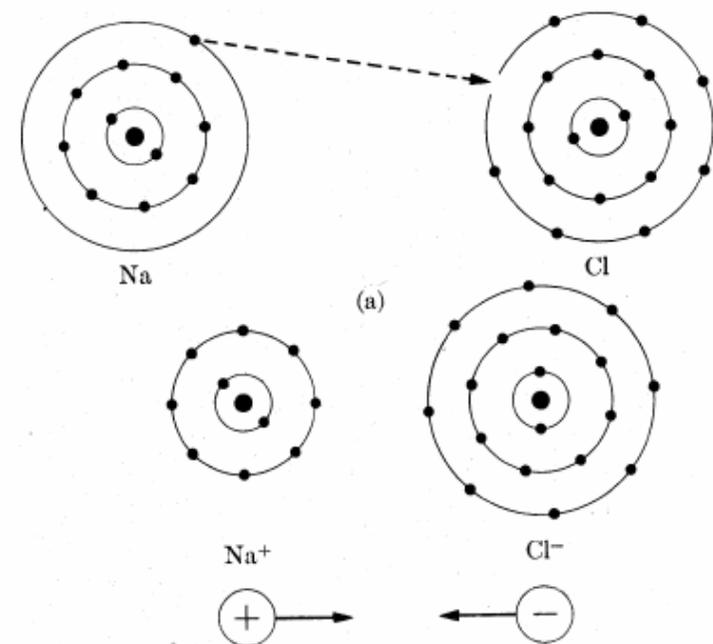
Ligação iônica:

- Íons positivos = cátions → átomos que possuem 1 ou 2 elétrons na camada de valência e perdem estes elétrons;

- Íons negativos = ânions → átomos que possuem 6 ou 7 elétrons na camada de valência e recebem elétrons;

- Ligação forte entre átomos;
- Uma carga positiva atrai todas as negativas e vice-versa.

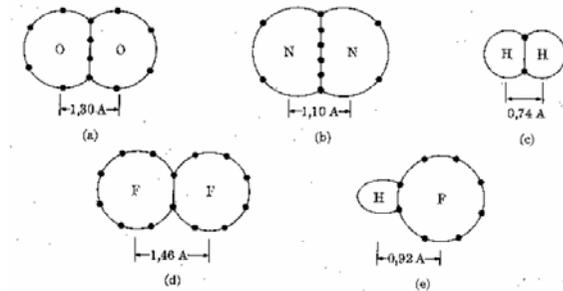
Sódio com cloro →



Atrações interatômicas

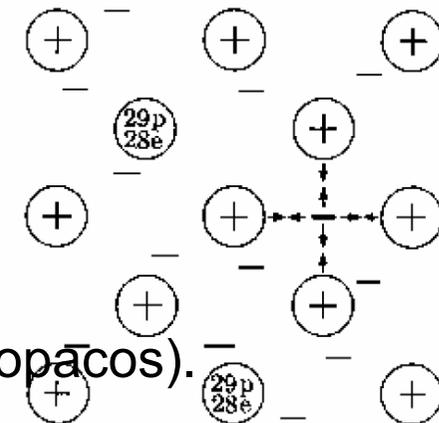
Ligação covalente:

- Ocorre o compartilhamento de elétrons;
- Ligação forte entre átomos.



Ligação metálica:

- Ocorre preferencialmente nos metais;
- Íons positivos (cátions) e elétrons livres;
- Ligação forte entre átomos;
- Elevada condutividade elétrica e térmica;
- Elétrons livres absorvem energia luminosa (opacos).



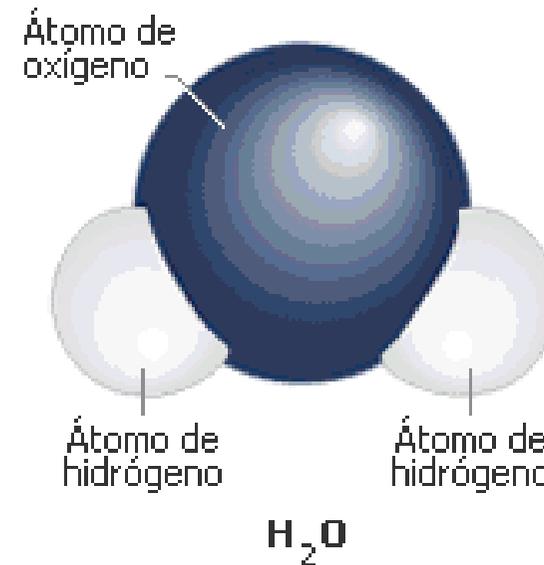
Estruturas moleculares

Molécula:

- Número limitado de átomos fortemente ligados entre si, mas, de forma que, as forças de atração entre uma molécula e as demais sejam relativamente fracas.

Características:

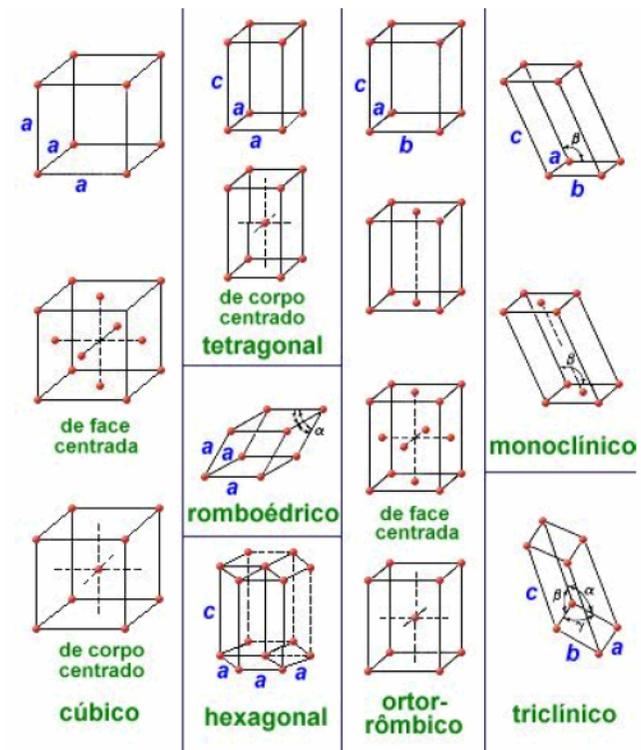
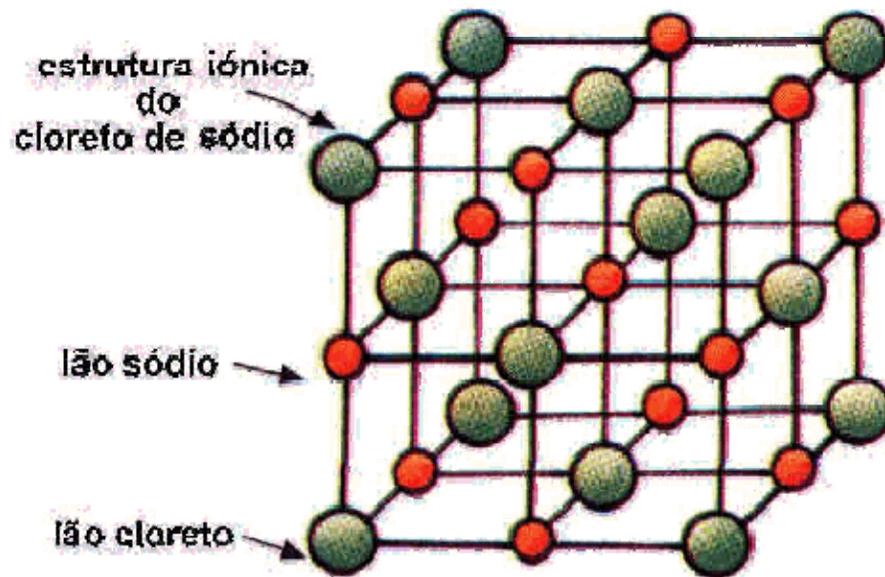
- Pontos de ebulição e de fusão baixos;
- Sólidos moleculares são moles (escorregamento);
- Idênticas na forma líquida ou na forma gasosa.



Estruturas cristalinas

Materiais cristalinos:

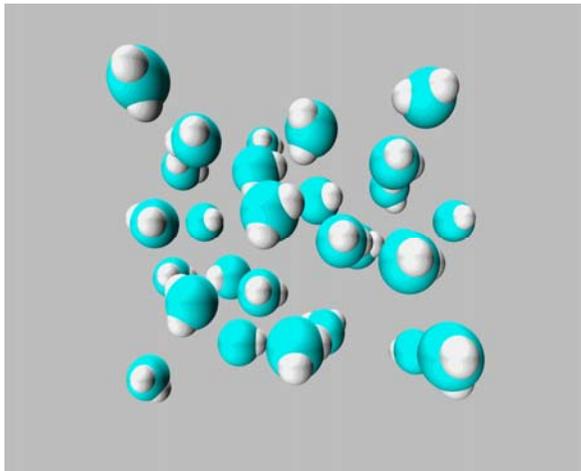
- São aqueles nos quais os átomos se repetem num arranjo em largas distâncias atômicas.



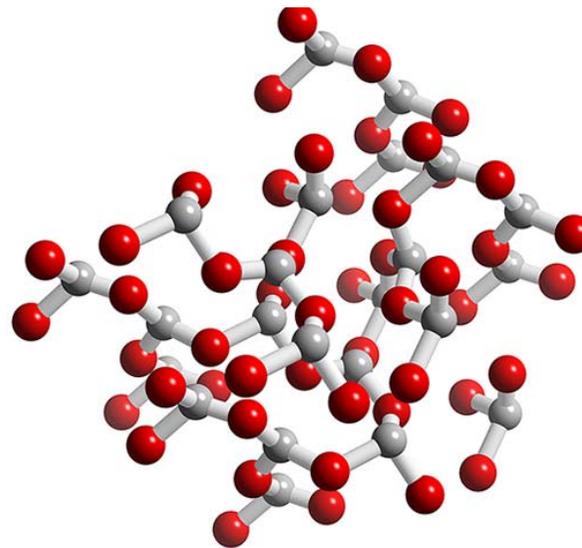
Estruturas não cristalinas (amorfas)

Materiais não cristalinos (amorfos):

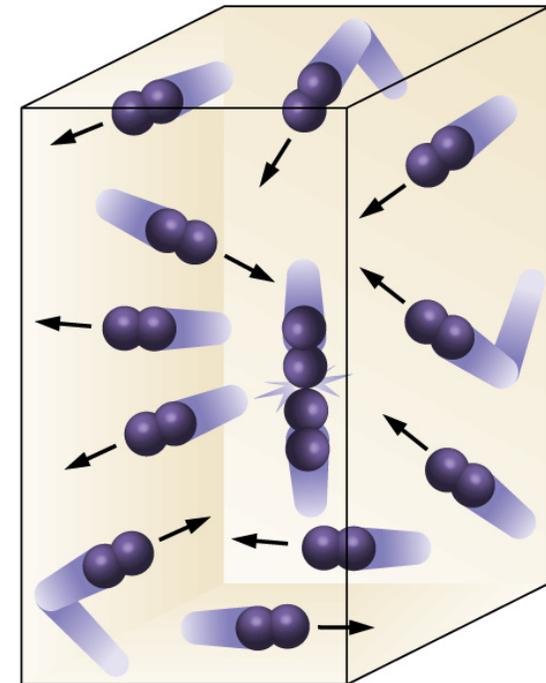
- São aqueles nos quais os átomos **não** se repetem num arranjo em largas distâncias atômicas.



H₂O (água)



B₂O₃ (vidro)



Gases

Propriedades elétricas

Resistência:

- Resistência elétrica de um elemento passivo de circuito que é percorrido por uma corrente invariável de 1 ampère, quando uma tensão elétrica constante de 1 volt é aplicada aos seus terminais. (O ohm é também unidade de impedância e de reatância em elementos de circuito percorridos por corrente alternada.)

- Expressa em ohm = Ω

Resistividade:

- Resistividade de um material homogêneo e isotrópico, do qual um cubo com 1 metro de aresta apresenta uma resistência elétrica de 1 ohm entre faces opostas;

- Expressa em

$$\text{Resistência} = (\text{resistividade}) \left(\frac{\text{comprimento}}{\text{área}} \right)$$

$$\text{Resistência} = (\Omega \cdot \text{cm}) \left(\frac{\text{cm}}{\text{cm}^2} \right)$$

Propriedades elétricas

Condutância:

- Condutância de um elemento passivo de circuito cuja resistência elétrica é de 1 ohm. (O siemens é também unidade de admitância e de susceptância em elementos de circuito percorridos por corrente alternada.)

- Expressa em

$$\text{siemens} = S$$

Condutividade:

- Condutividade de um material homogêneo e isotrópico cuja resistividade é de 1 ohm-metro;

- Expressa em

$$\text{siemens/m} = S/m$$

$$\text{mho/cm}$$

$$\text{mho} = \text{ohm}^{-1}$$

Propriedades elétricas

Rigidez dielétrica:

- A resistividade pode ser definida pelo grau de oposição que o material oferece à passagem de corrente elétrica, enquanto rigidez dielétrica é a propriedade do material se opor à descarga elétrica através de sua estrutura. A diferença entre resistividade e rigidez dielétrica é que na primeira o material permanece intacto, pois há apenas uma simples passagem de uma corrente elétrica, enquanto na segunda há uma descarga elétrica que prejudica a integridade estrutural da peça.



Constante dielétrica:

- É uma propriedade dos materiais isolantes;
- Usada para determinar a capacitância de um capacitor.

Material	ϵ
vácuo	1
água destilada	80
ar	1,0006
alumínio	8,1 - 9,5
mica	3 - 7
óleo	4
papel	4 - 6
papel parafinado	2,5
plástico	3
polistireno	2,5 - 2,6
pyrex	5,1
silício fundido	3,8
teflon	2
Titanatos	50 - 10000

Propriedades elétricas

Condução nos sólidos:

- Devida aos elétrons livres na estrutura;
- Em virtude da agitação térmica, os elétrons se deslocam na estrutura com velocidades altas, da ordem de 100 km/s;
- Na presença de um campo externo, os elétrons são acelerados na direção do campo com velocidade na ordem de cm/s.

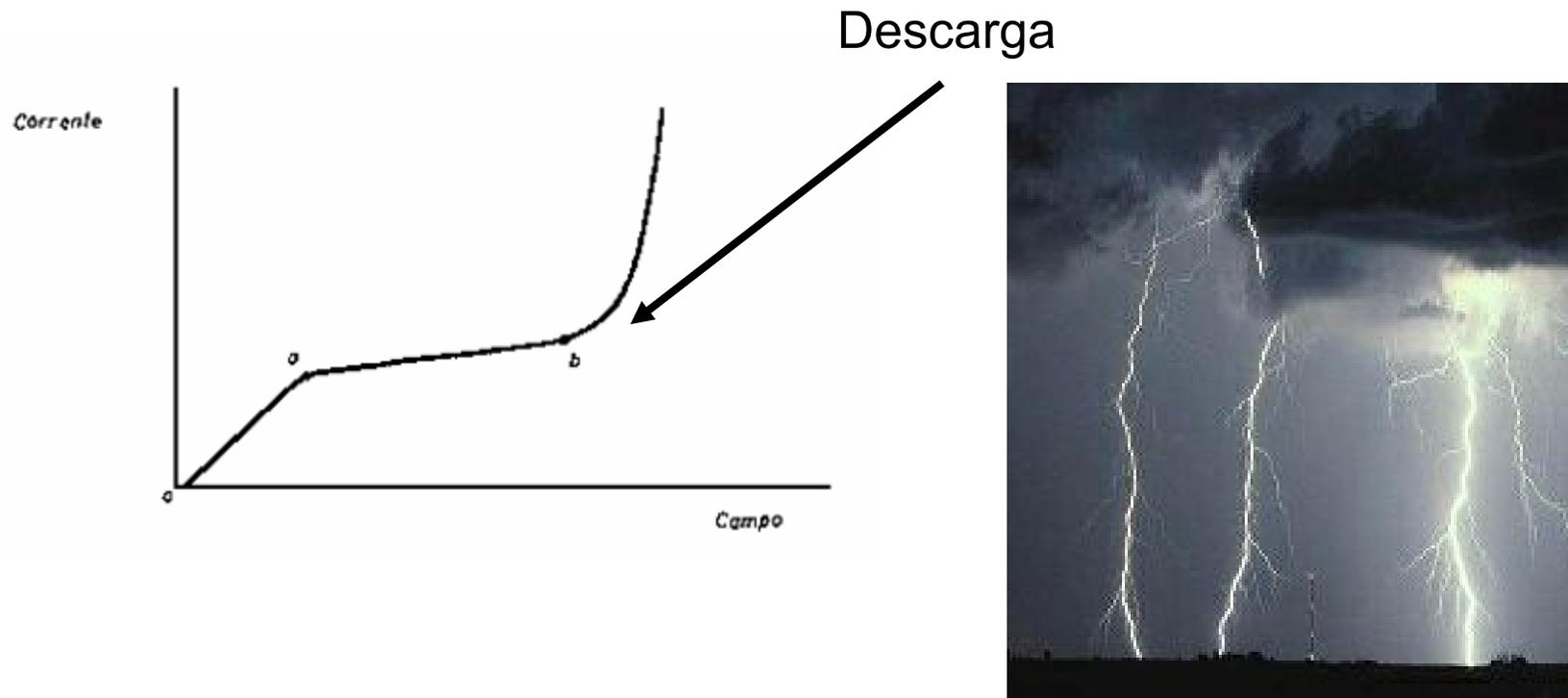
Condução nos líquidos:

- Devida aos íons positivos e negativos;
- Na presença de um campo externo ocorre circulação de cargas em ambos os sentidos;
- A condutividade iônica aumenta com o aumento da temperatura.

Propriedades elétricas

Condução nos gases:

- À pressão atmosférica um gás é um bom isolante;
- Sob ação de um campo externo pode se tornar condutor;
- Ionização é o processo de retirar elétrons dos átomos, ficando estes com carga positiva (íons), através de um externo.



Propriedades mecânicas

Principais propriedades:

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

Resistência mecânica:

- Qualidade dos materiais de suportarem a aplicação de esforços externos sem cederem ou romperem.

Tensão:

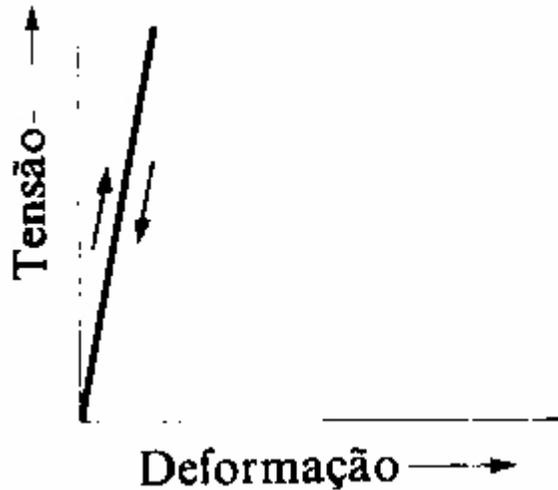


- Força por unidade de área;
- Expressa em kgf/cm^2 ;
- Calculada dividindo a força pela área.

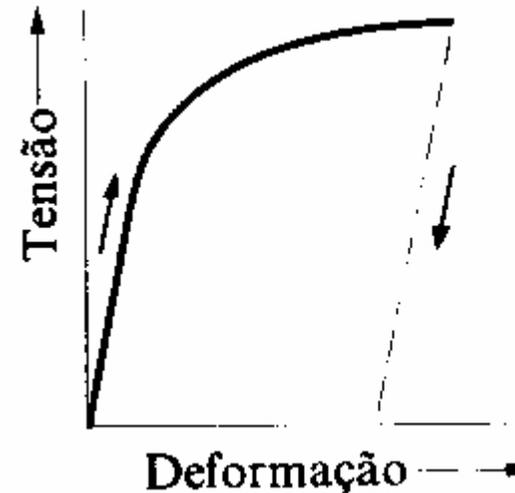
Deformação:

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

Propriedades mecânicas



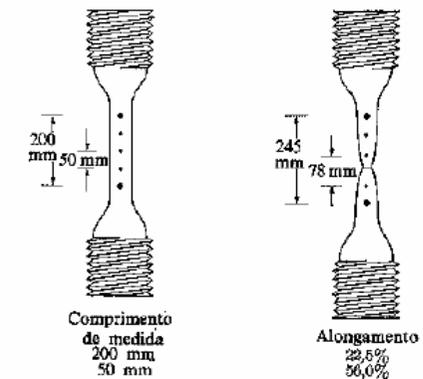
Relação elástica



Relação plástica

Ductilidade:

- Deformação plástica até o ponto de ruptura;
- Pode ser expresso como alongamento.



Propriedades mecânicas

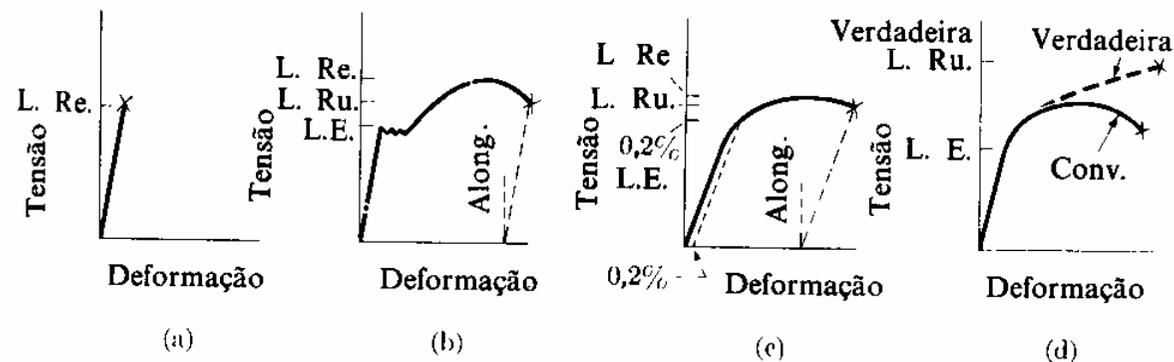
Estricção:

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

$$\text{Estricção} = \frac{\text{área inicial} - \text{área final}}{\text{área inicial}}$$

Limites do material:

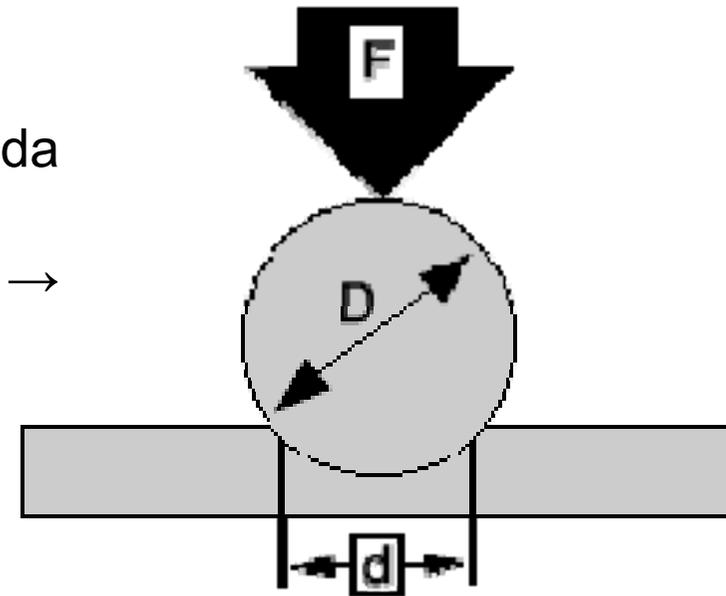
- Limite elástico (de escoamento) → LE;
- Limite de resistência → LRe;
- Limite de ruptura → LRu.



Propriedades mecânicas

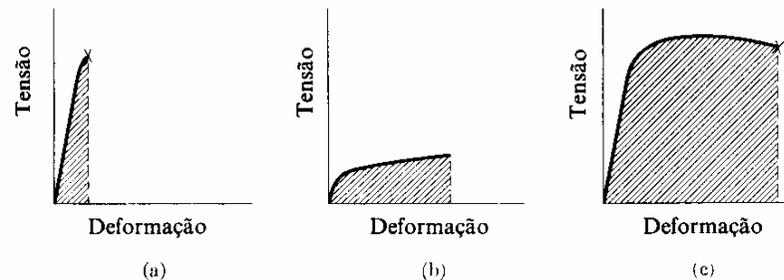
Dureza:

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



Tenacidade:

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



Propriedades térmicas

Calor:

- Energia térmica;
- Expresso em calorias ou Btu.

°C ou °F ou °K

$$^{\circ}\text{F} = 1,8(^{\circ}\text{C}) + 32$$

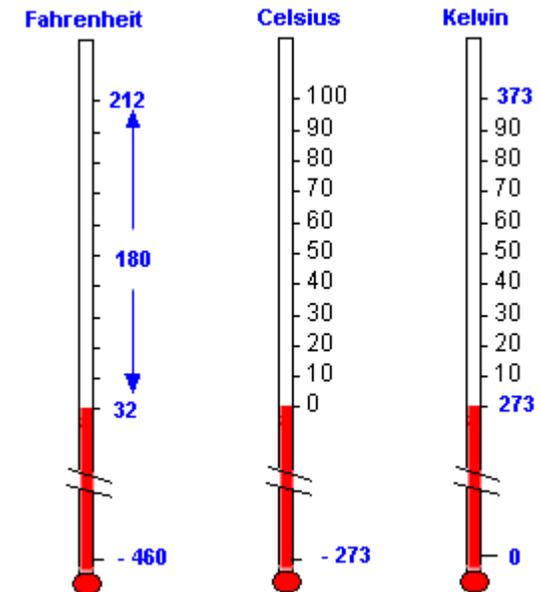
$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} [(^{\circ}\text{F}) - 32]$$

Temperatura:

- Nível de atividade térmica;
- Expresso em:

Propriedades térmicas mais importantes:

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



Propriedades térmicas

Calor específico médio (Cm):

- Relação entre a quantidade de calor necessário (Q) para elevar a unidade de massa do corpo da temperatura θ_0 a θ_1 e a elevação de temperatura ($\theta_1 - \theta_0$):

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.

Propriedades térmicas

Condutividade térmica:

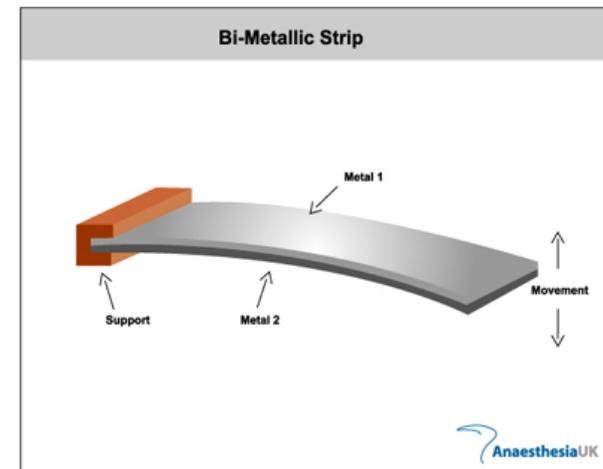
- Propagação do calor através dos corpos;
- Nos metais a energia térmica é transferida pelos elétrons;
- Nos polímeros a transferência de energia é realizada pelas cadeias de moléculas.

Dilatação térmica:

- Alteração (aumento) nas dimensões do corpo em função da temperatura;
- Expressa em:

Efeito da radiação:

- A estrutura molecular ou atômica do material pode receber energia por meio de radiação.



Propriedades químicas

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.

Corrosão por dissolução:

- Reação química em que moléculas de um sólido são dispersadas como íons em uma fase líquida

Corrosão eletroquímica:

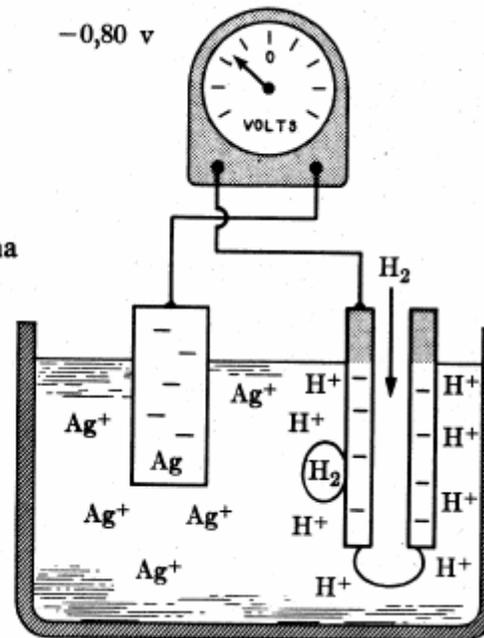
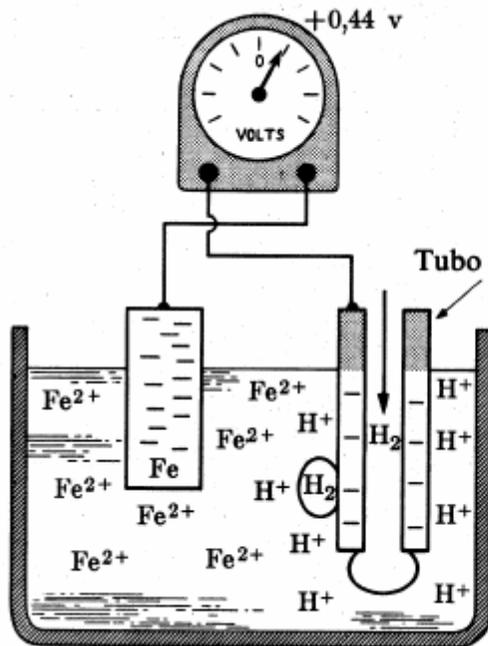
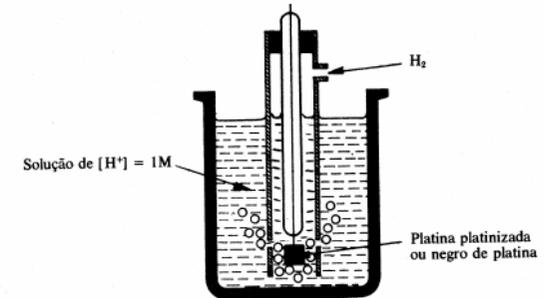
- Processo de oxidação de um metal;
- Oxidação é a remoção de elétrons de um átomo.



Propriedades químicas

Eletrodo normal de hidrogênio:

- Referencial para a tabela de potenciais de eletrodo.



Potencial negativo:

$Fe > H$

Fe = anodo

H = catodo

$Ag < H$

Ag = catodo

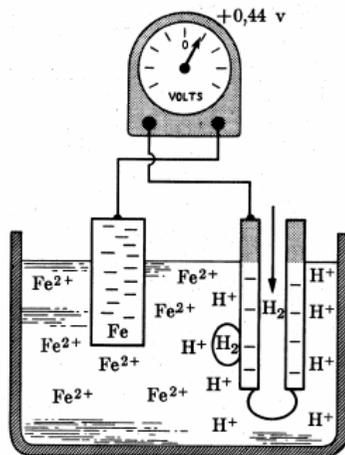
H = anodo

Anodo – cede elétrons (saem do).

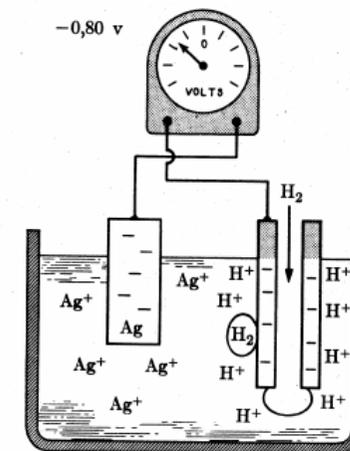
Catodo – recebe elétrons (entram no).

Propriedades químicas

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)



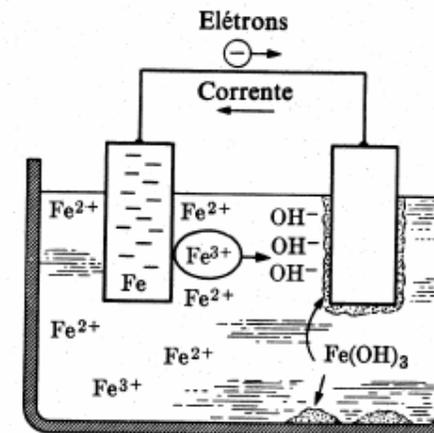
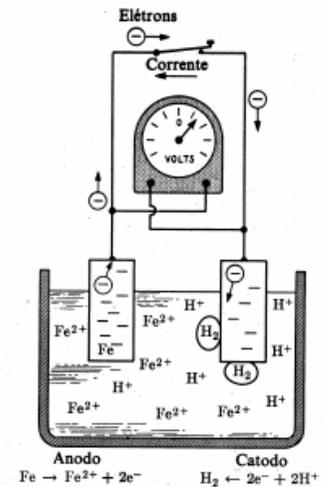
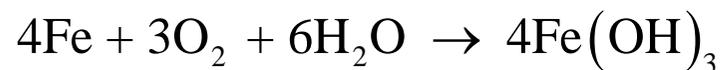
Propriedades químicas

Células galvânicas:

- É um dispositivo que permite a conversão de energia química em energia elétrica.

Formação da ferrugem:

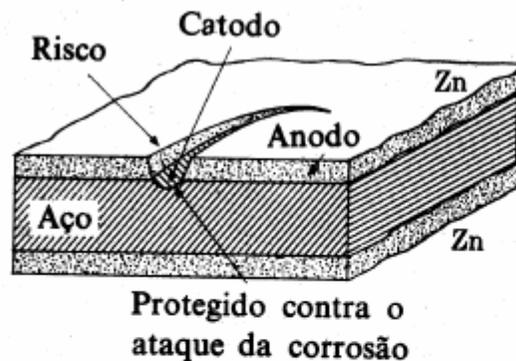
- Reação química com perda de elétrons;
- Óxido férrico.



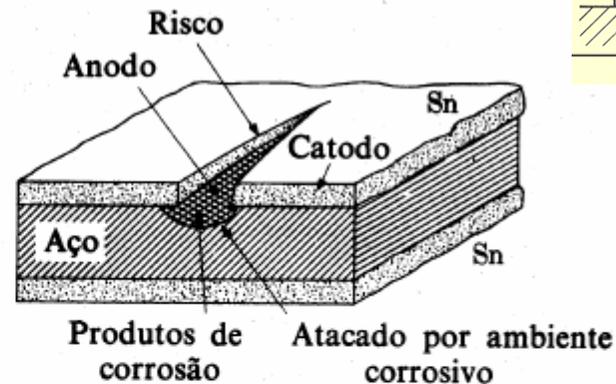
Propriedades químicas

Classificação das células galvânicas:

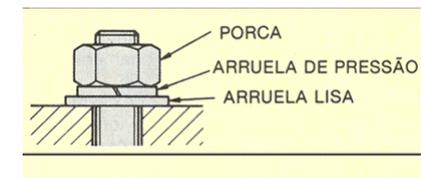
- Células de composição (formada a partir de metais diferentes);
- Células de tensão (deformação a frio – encruamento);
- Células de concentração (deficiência de oxigênio).



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



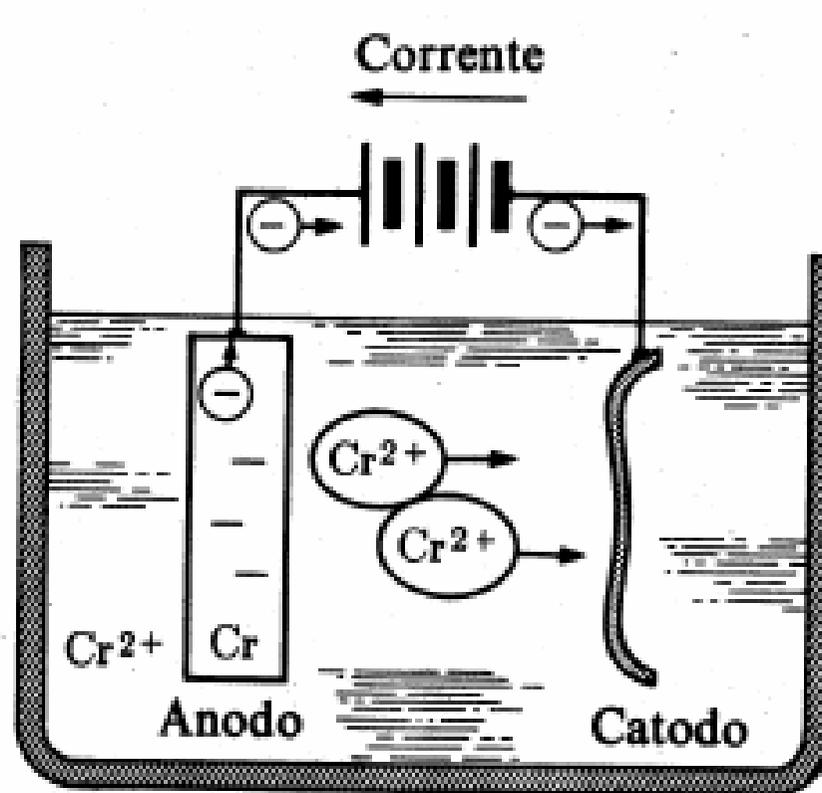
Aço Estanhado. O estanho protege o ferro, enquanto a camada for contínua. Quando a camada é perfurada o ferro do aço funciona como anodo e o estanho como catodo, o que acelera a corrosão



Propriedades químicas

Galvanoplastia:

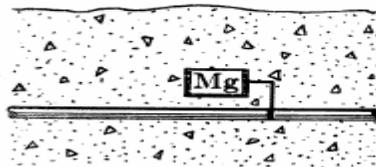
- Deposição de metal no catodo.



Propriedades químicas

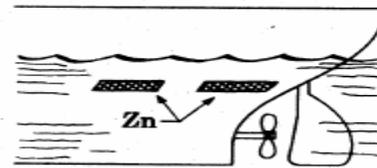
Prevenção da corrosão:

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



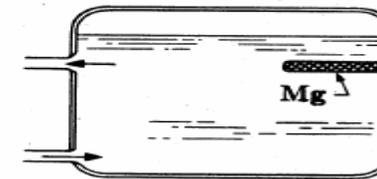
Cano subterrâneo
(a)

Placas de magnésio
ao longo de oleoduto



Navio
(b)

Placas de zinco em
casco de navio

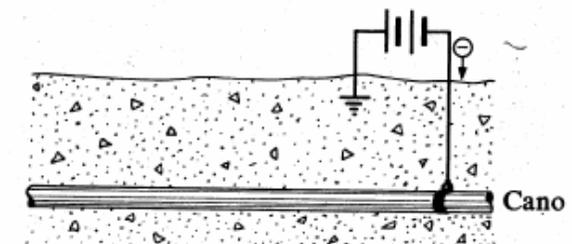


Tanque de água
(c)

Barra de magnésio em
tanque industrial

Uso de eletrodos de sacrifício operando como anodos

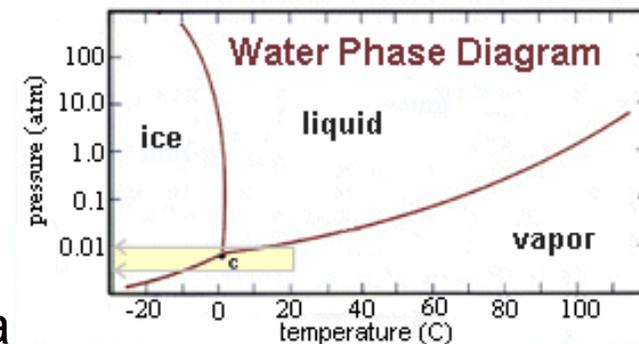
Aplicação de uma tensão externa (fonte de elétrons)



Propriedades x Microestruturas

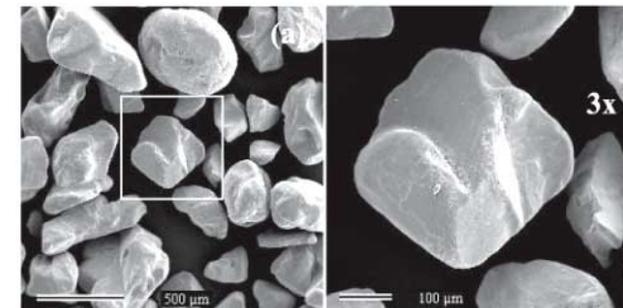
Fase:

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



Grão:

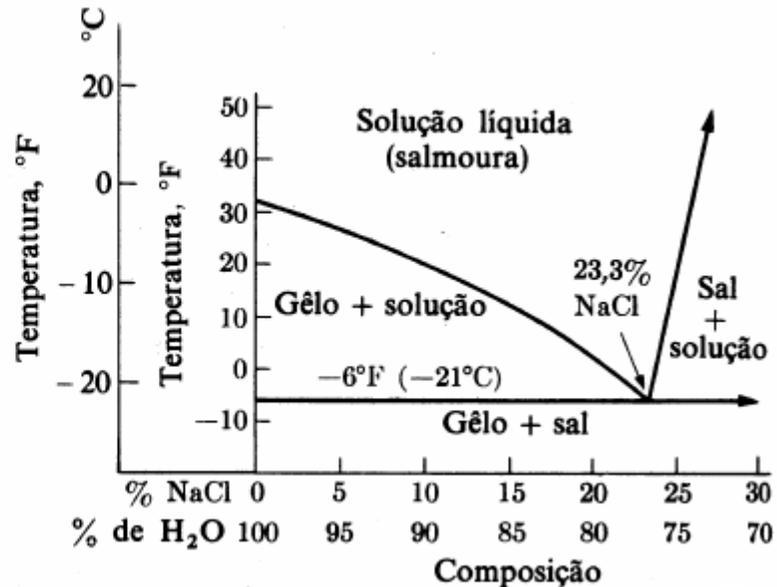
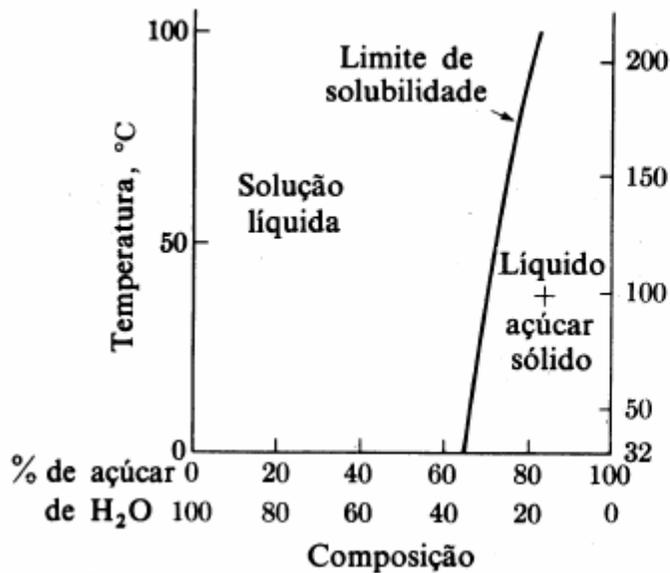
- Cristais individuais na estrutura material;
- Possuem várias orientações;
- Caracterizam uma célula unitária com os átomos no interior organizados da mesma forma.



Propriedades x Microestruturas

Diagramas de fase:

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



Açúcar na água

Sal (NaCl) na água

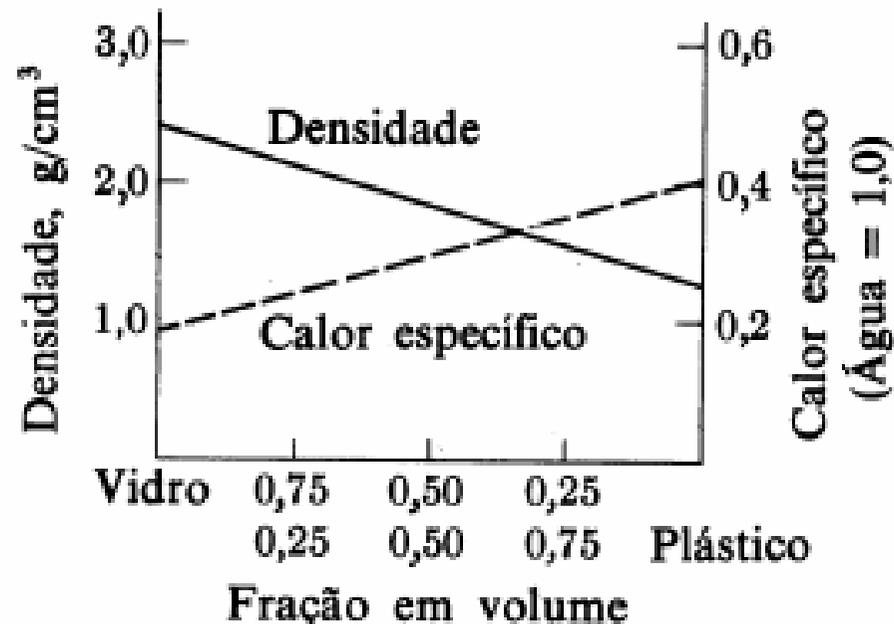


Propriedades x Microestruturas

Propriedades aditivas:

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

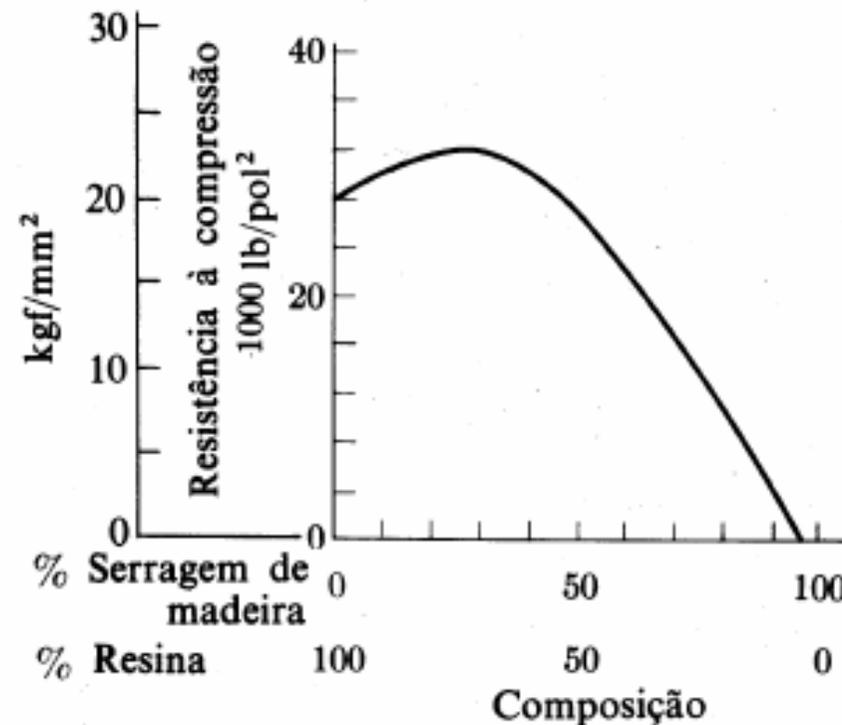
$$\rho_{material} = f_1 \cdot \rho_1 + f_2 \cdot \rho_2 + \dots + f_n \cdot \rho_n$$



Propriedades x Microestruturas

Propriedades interativas:

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



Propriedades x Microestruturas

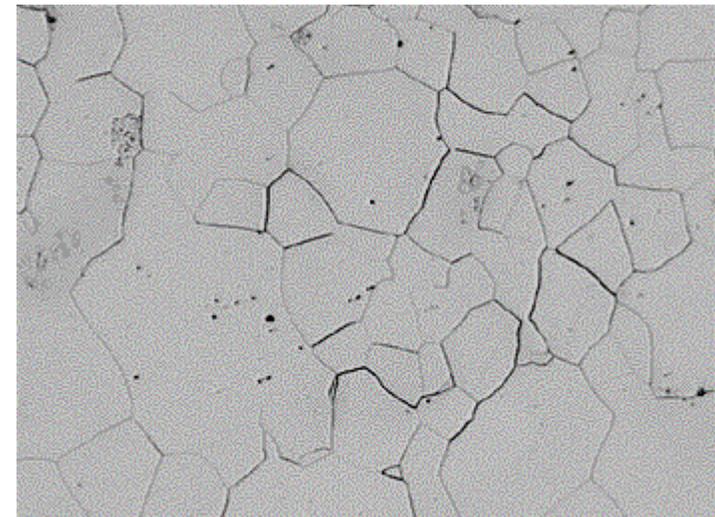
Tratamentos térmicos:

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

- 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.



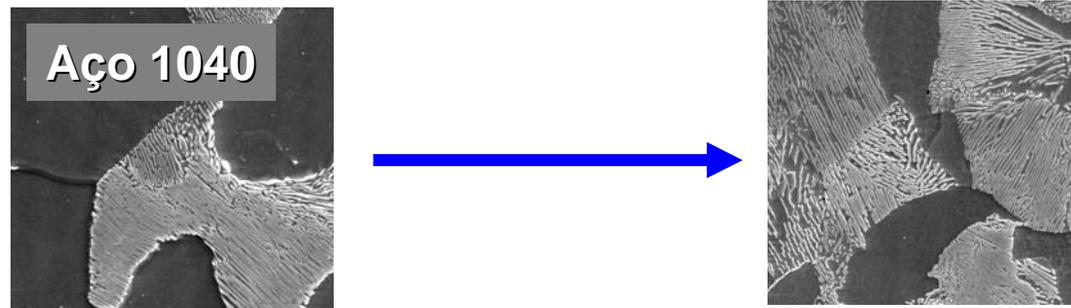
2 horas



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.

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).

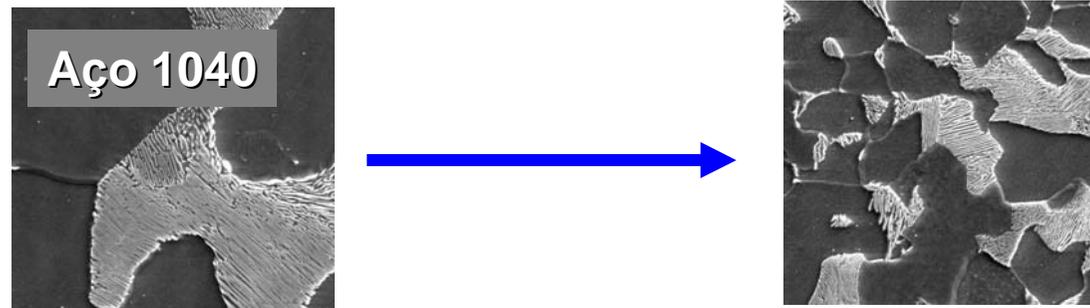
Recozimento subcrítico:

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

Propriedades x Microestruturas

Normalização:

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



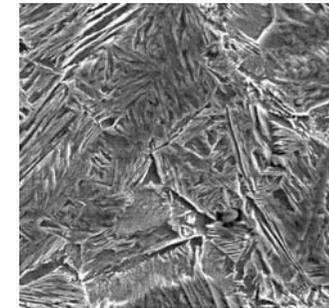
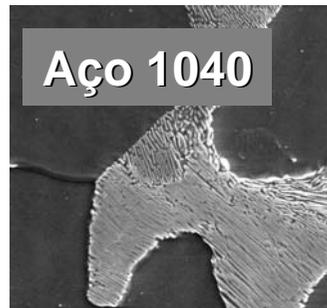
Coalescimento:

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

Propriedades x Microestruturas

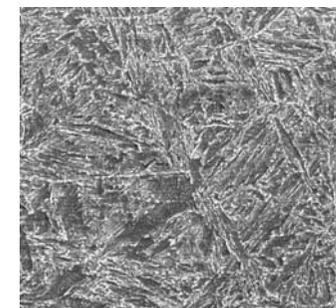
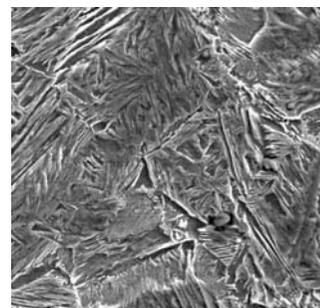
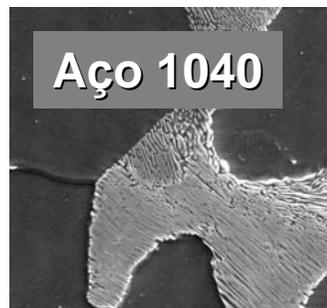
Têmpera:

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



Revenido:

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



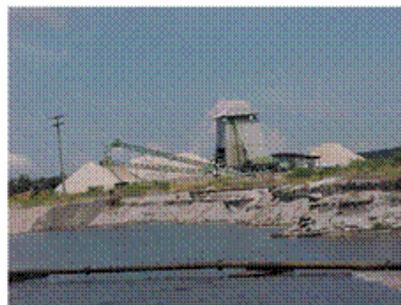
Propriedades x Microestruturas

Têmpera:

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



Areia



Transporte



Beneficiamento



Derretimento



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...

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):

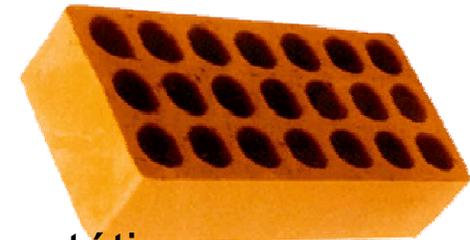
- Exemplo: Ligas de alumínio;
- Finalidade: Endurecer;
- Procedimento: Solubilizar

Maleabilização:

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

Queima (sinterização por formação de fase vítrea):

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



Propriedades x Microestruturas

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.



Livro texto para este capítulo

