

SMM 0193 – ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS I

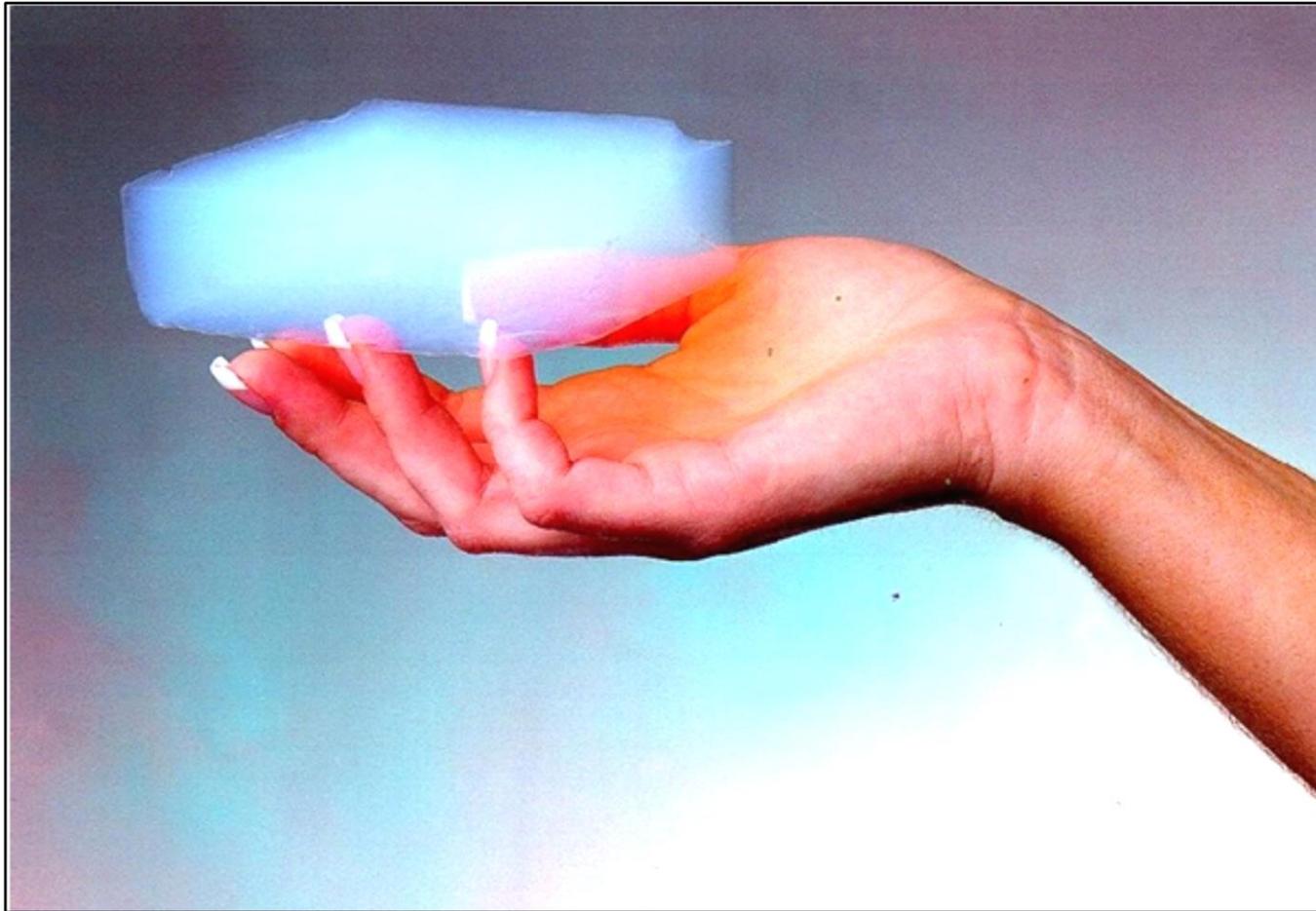
INTRODUÇÃO

Diferentes materiais-diferentes propriedades

Empilhadora/recuperadora de minérios- Stacker/Reclaimer



MATERIAIS COM PROPRIEDADES ESPECIAIS

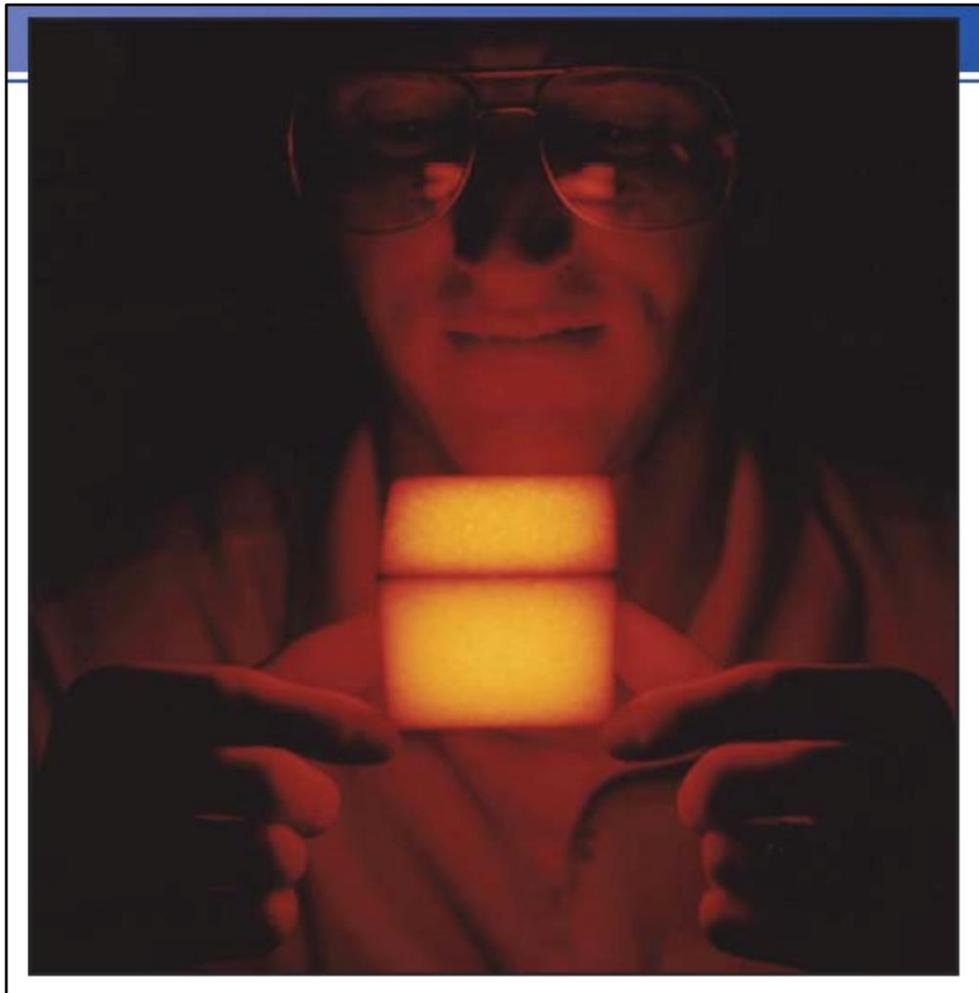


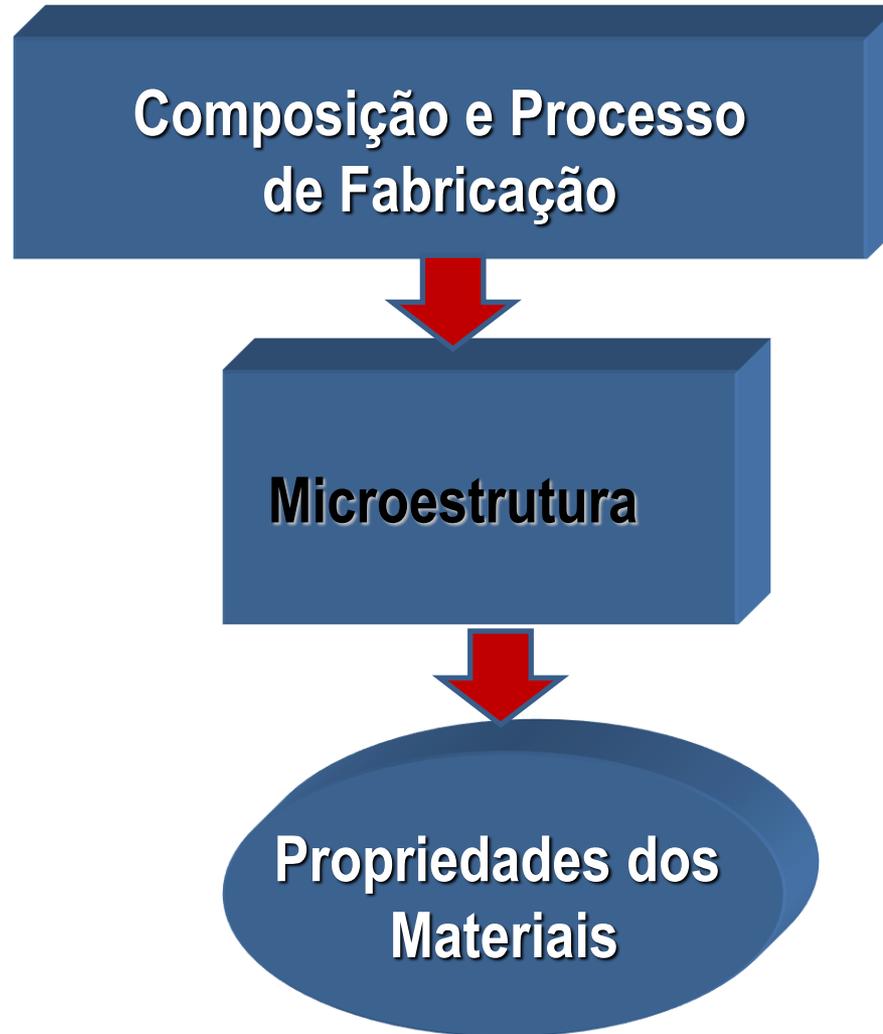
AEROGEL



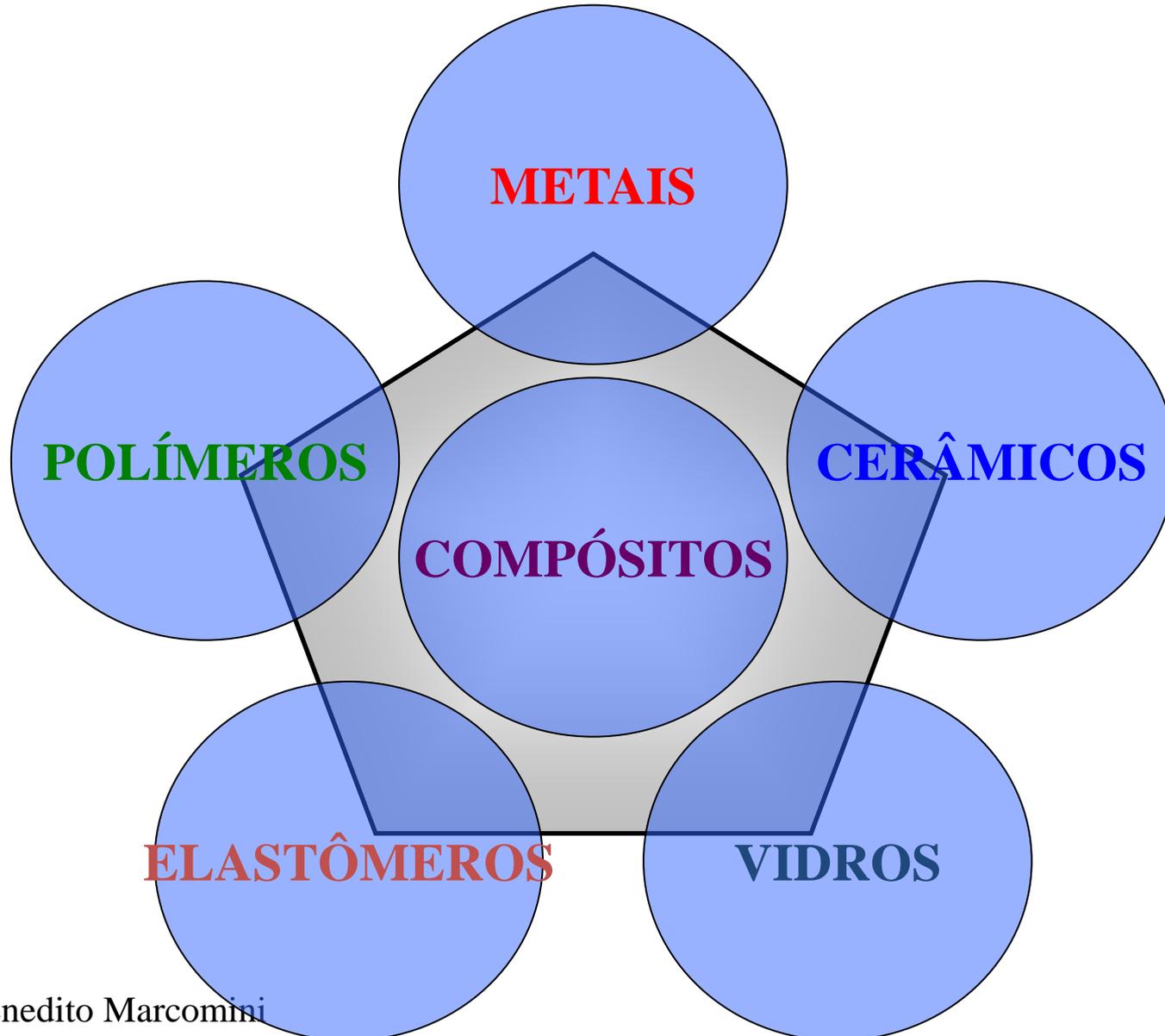
EESC • USP

EXCELENTE ISOLANTE TÉRMICO





↑
E
N
G
E
N
H
A
R
I
A
↓



**ENERGIA DAS LIGAÇÕES
PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS**

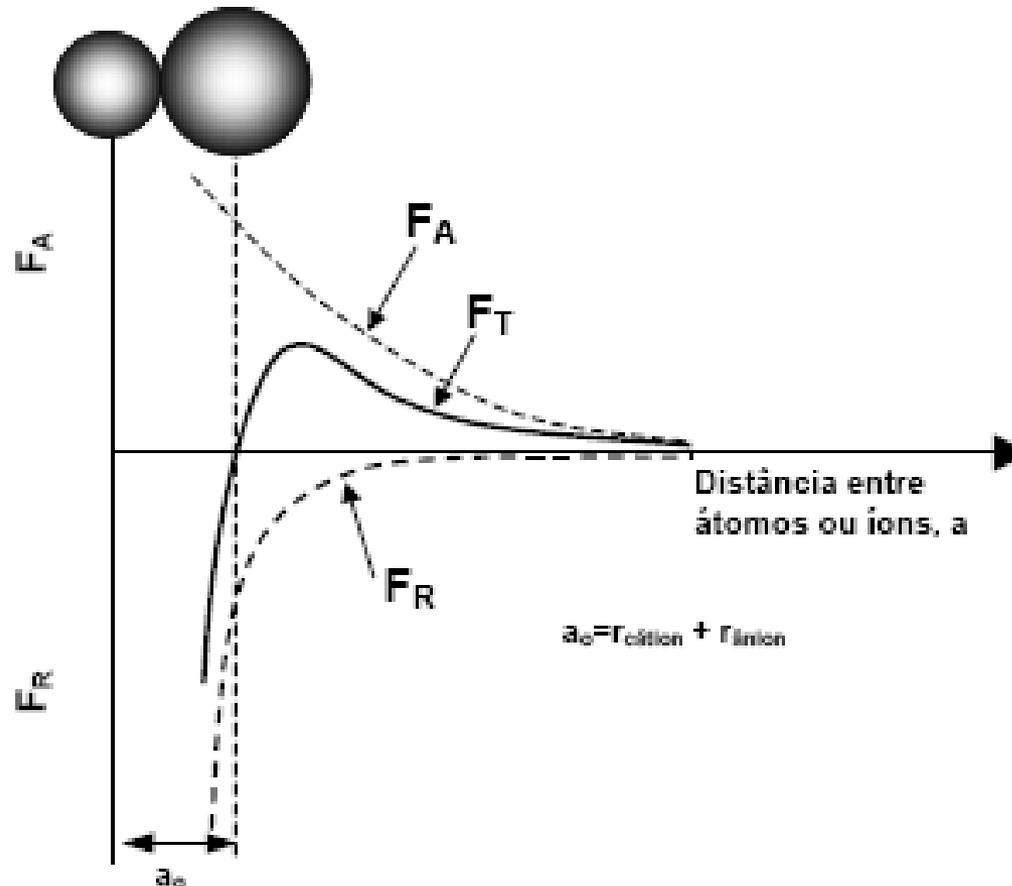
TIPO	ENERGIA DE LIGAÇÃO
	(kcal/mol)
Iônica	150-370
Covalente	125-300
Metálica	25-200
Van der Waals	<10

MATERIAL	LIGAÇÃO	PROPRIEDADES
Cerâmicos: óxidos, silicatos, nitretos	Iônica ou covalente	Alta resistência mecânica e dureza, frágil, isolante térmico e elétrico, alta temperatura de fusão.
Metálicos: metais puros, ligas ferrosas e não ferrosas.	Metálica	Média a alta resistência mecânica e dureza, boa ductilidade, condutor térmico e elétrico, ampla faixa de temperatura de fusão.
Polímeros: plásticos (termoplásticos e termorrígidos), elastômeros (borrachas)	Covalente e ligações secundárias (Van der Waals, pontes de hidrogênio, dipolos permanentes)	Baixa resistência mecânica e dureza, alta ductilidade, isolante térmico e elétrico, baixa estabilidade térmica
Compósitos: união de duas ou mais classes de materiais	complexa	Depende do tipo.



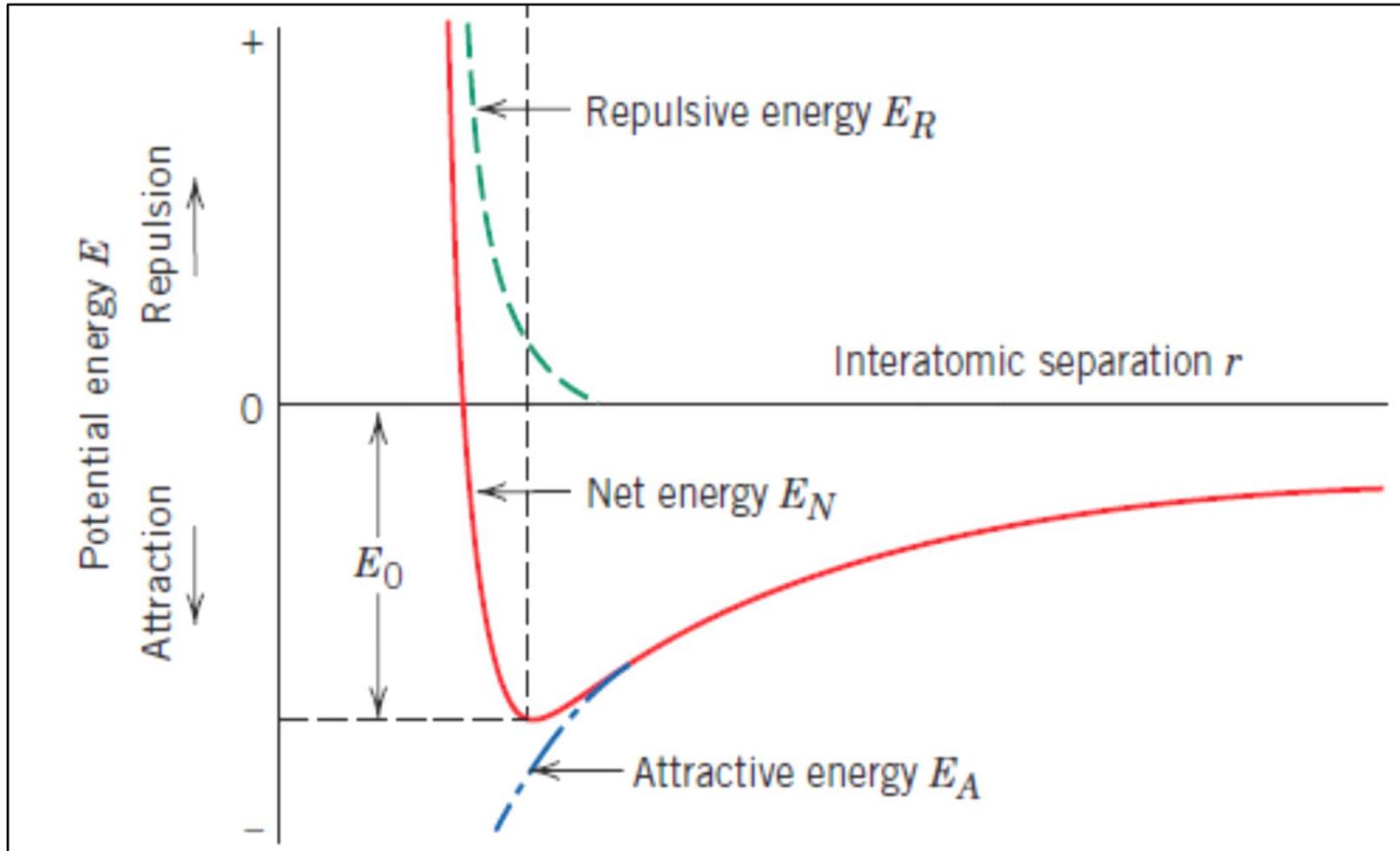
O QUE OCORRE QUANDO UM ÁTOMO/ÍON SE LIGA A OUTRO?

Força e energia interatômicas

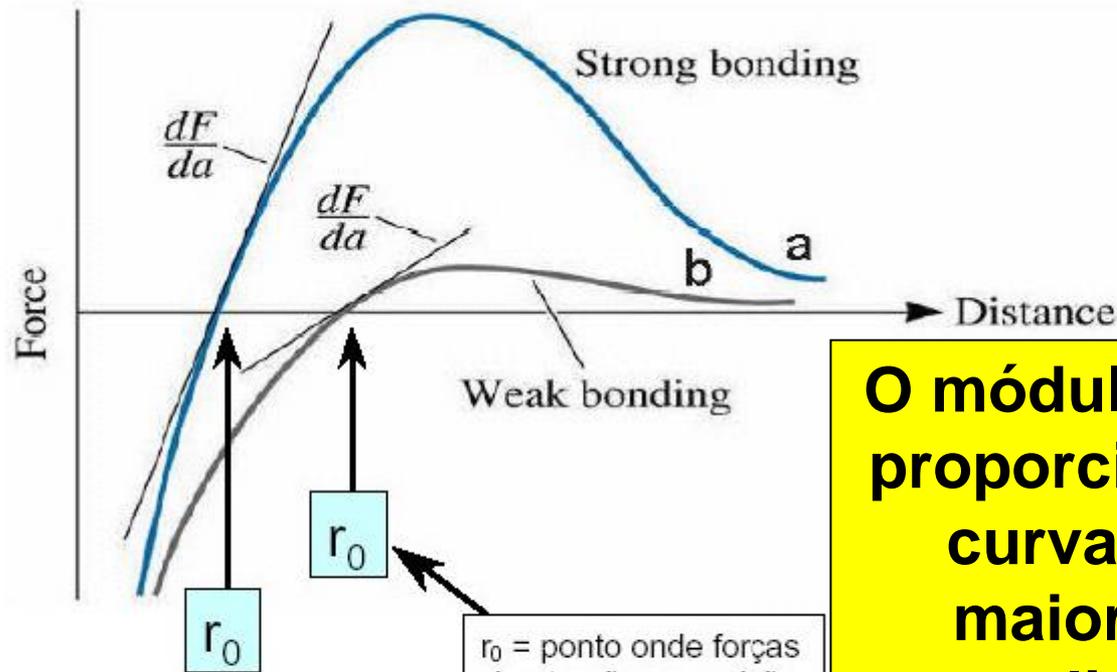


Força de interação entre dois átomos: curva é a soma das forças de atração e repulsão.

Energia interatômica: Variação da energia potencial resultante da interação entre átomos ou íons.



Propriedades mecânicas: módulo de Elasticidade



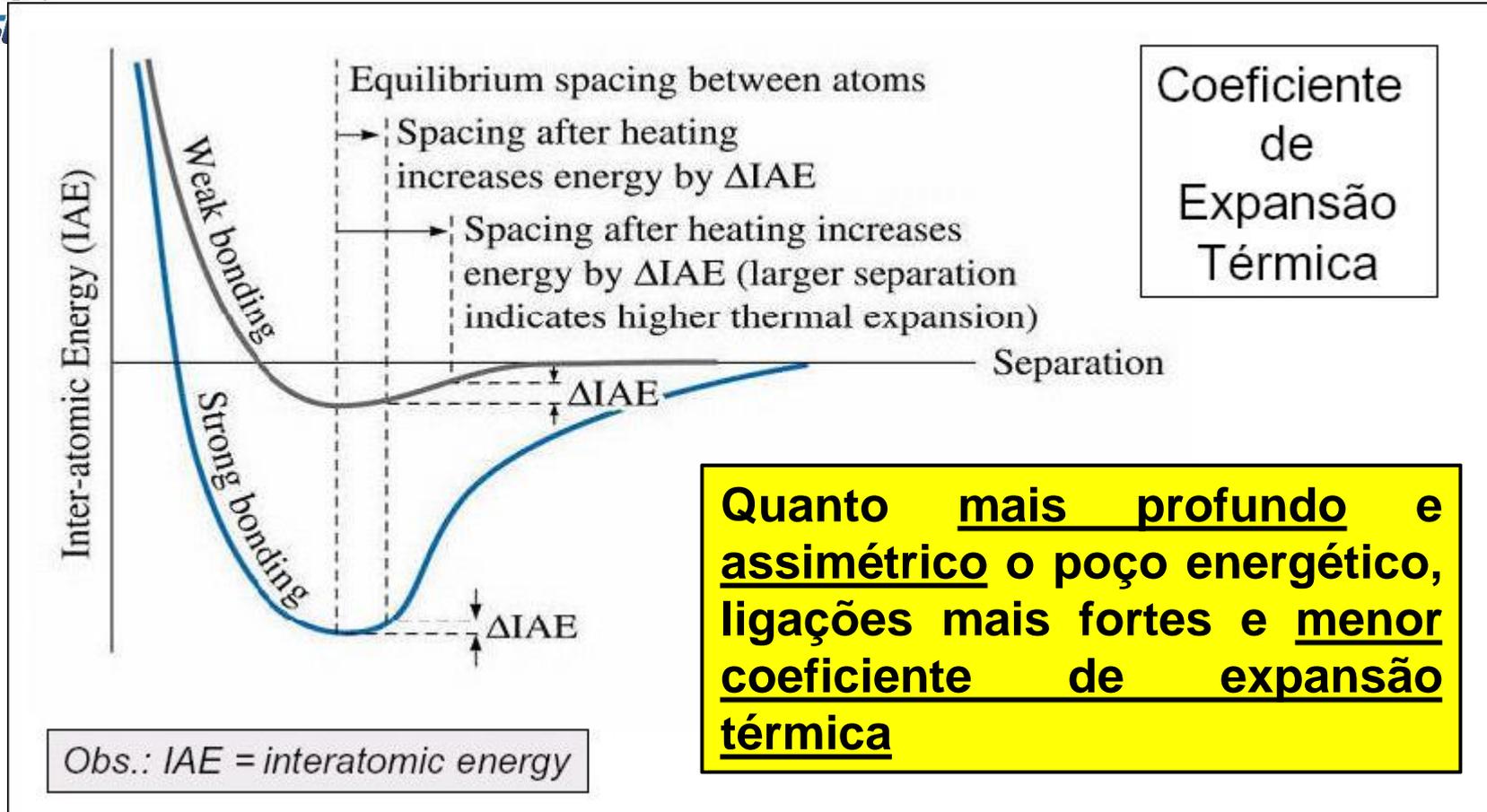
r_0 = ponto onde forças de atração e repulsão são iguais

Obs.: o módulo de elasticidade é uma propriedade mecânica que será estudada em detalhe mais à frente no curso

O módulo de elasticidade é proporcional à derivada da curva em $r=r_0$: quanto maior a inclinação da curva, ligações mais fortes, maior módulo de elasticidade. Material a tem maior módulo que material b!



EES



Ponto de fusão: Quanto mais profundo o poço, maiores as temperaturas de fusão, ebulição e sublimação.



O POÇO DE INTERAÇÃO DEPENDE DA DISTÂNCIA ENTRE OS ÁTOMOS OU ÍONS E DAS FORÇAS ENVOLVIDAS. ASSIM, A ESTRUTURA (CRISTALINA OU AMORFA) CONTRIBUI PARA AS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.

CONCLUI-SE QUE AS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DEPENDEM DA LIGAÇÃO QUÍMICA COMBINADA À ESTRUTURA CRISTALINA.

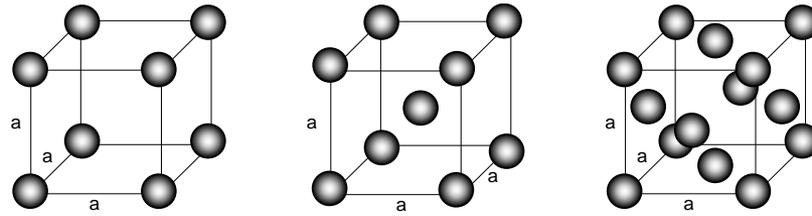


ESTRUTURA CRISTALINA DOS MATERIAIS

- A cristalinidade de uma estrutura não existe em gases ou líquidos.
- Os metais, cerâmicas e os polímeros podem ou não exibi-la.
- Os metais são normalmente cristalinos, mas se resfriados em uma taxa muito alta eles podem ter uma estrutura amorfa, (metais amorfos).
- Cerâmica pode ser amorfa SiO_2 (silica fundida) ou como cristal (cristobalita)
- Polímeros consistem de uma cadeia molecular e pode possuir diferentes graus de cristalinidade.

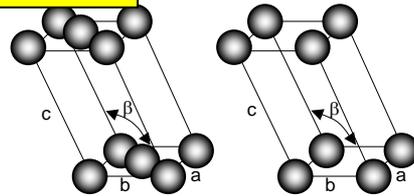


Em **1842**, M. L. **Frankenheim** estimou que havia **15 possibilidades** de alocar **pontos** em uma rede periódica tridimensional, considerando a **simetria espacial**. O físico e mineralogista francês Auguste **Bravais** corrigiu esta estimativa para **14**. Bravais publicou em **1850** o trabalho ***Systemes formés par des points distribués régulièrement sur un plan ou dans l'espace***. Os pontos das redes de **Bravais** são **sítios** possíveis para **átomos e moléculas** na formação dos materiais **cristalinos**.

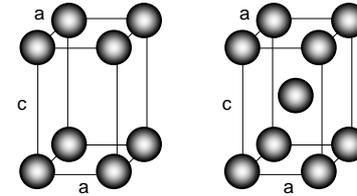


CÚBICO

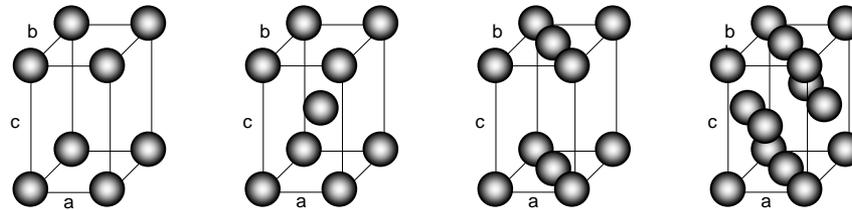
14 redes de Bravais



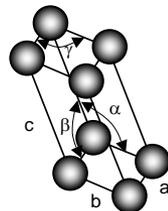
MONOCLÍNICO



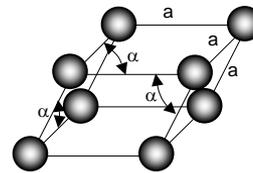
TETRAGONAL



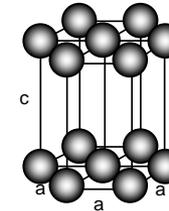
ORTORRÔMBICO



TRICLÍNICO



ROMBOÉDRICO

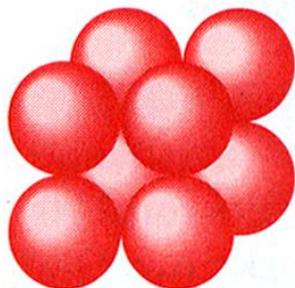


HEXAGONAL

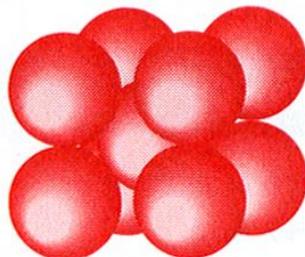


EESC • USP

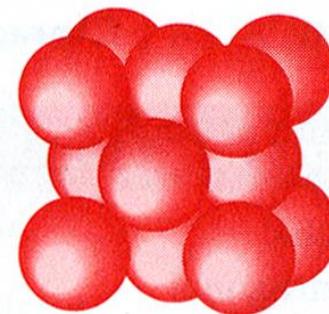
RETICULADOS CÚBICOS-MODELO DE ESFERAS RÍGIDAS



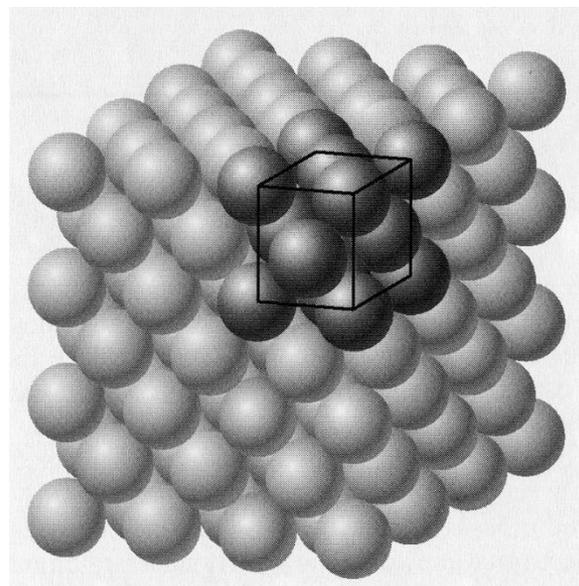
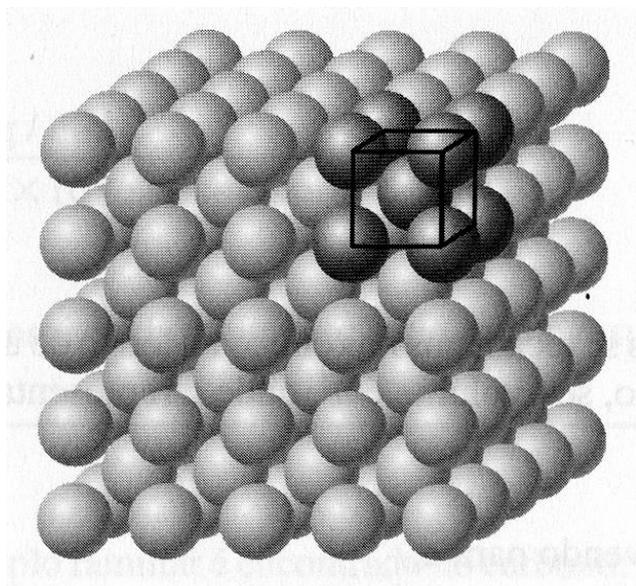
**CÚBICO
SIMPLES**



**CÚBICO DE CORPO
CENTRADO(Fe)**

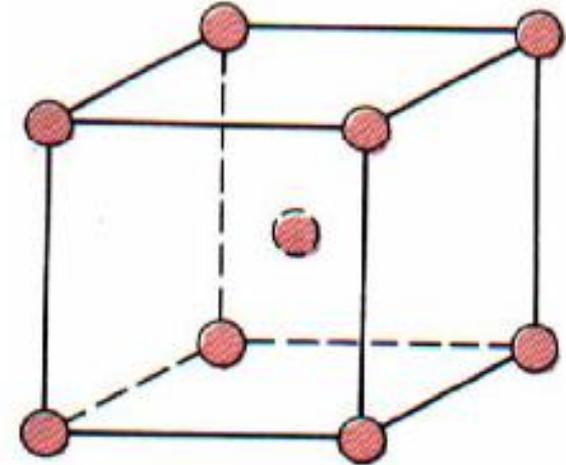
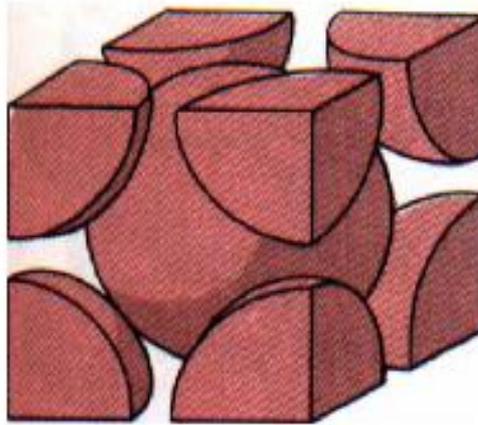
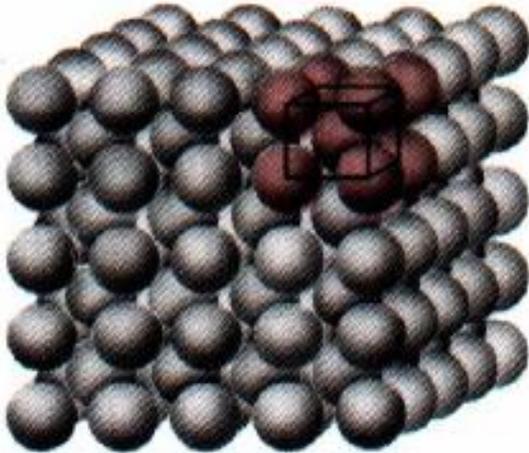


**CÚBICO DE FACE
CENTRADAS (Fe e Al)**





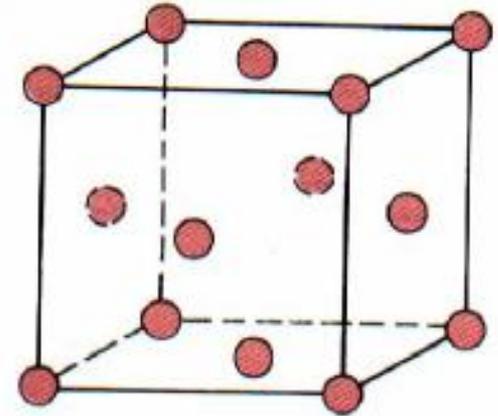
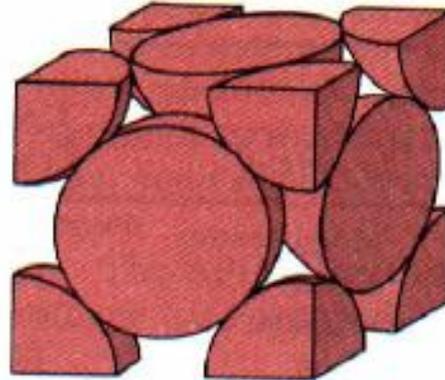
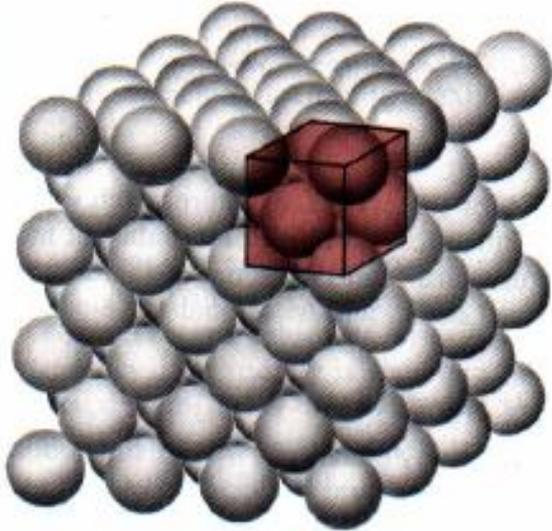
ESTRUTURA CCC: A DENSIDADE ESTÁ RELACIONADA À ESTRUTURA



- A relação entre o raio atômico, R , e a aresta do cubo, a , é dada por:
$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$
- O número de átomos por célula unitária é igual a 2.
- O número de coordenação é igual a 8.
- Exemplo de metais CCC: Fe- α , cromo, tungstênio, molibdênio.

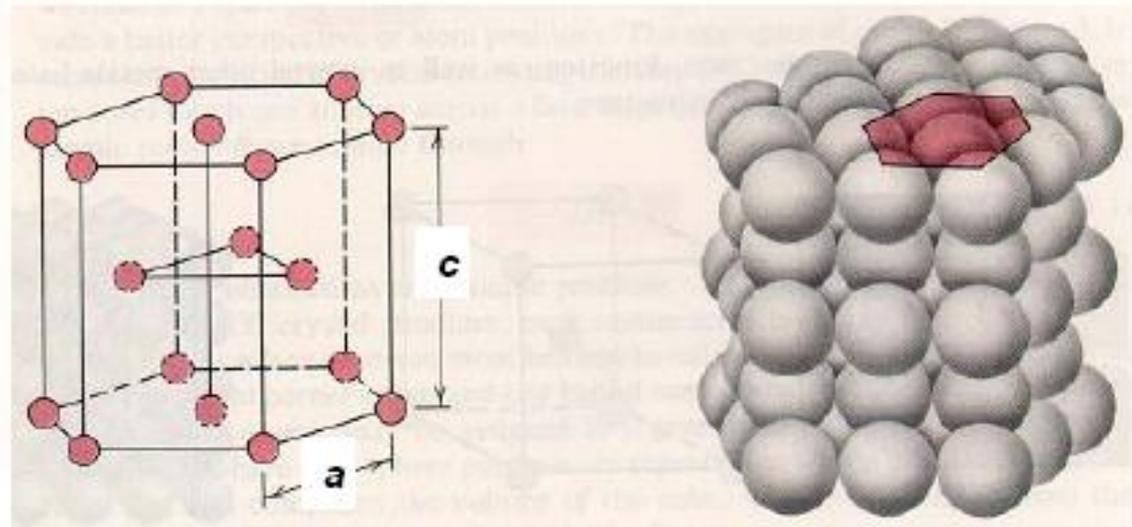


ESTRUTURA CFC: MAIS DENSO QUE O CCC



- A relação entre o raio atômico, R , e a aresta do cubo, a , é dada por: $a = 2R\sqrt{2}$.
- O número de átomos por célula unitária é igual a 4.
- O **número de coordenação** é igual a 12.
- Exemplo de metais CFC: cobre, alumínio, ouro, chumbo.

ESTRUTURA HC: MAIS DENSO QUE O CCC



- $c/a = 1,633$ (ideal).
- O número de átomos por célula unitária é igual a 6.
- O **número de coordenação** é igual a 12.
- Exemplo de metais HC: cádmio, cobalto, zinco.

TABLE 3-2 ■ *Crystal structure characteristics of some metals*

Structure	a_0 versus r	Atoms per Cell	Coordination Number	Packing Factor	Examples
Simple cubic (SC)	$a_0 = 2r$	1	6	0.52	Polonium (Po), α -Mn
Body-centered cubic	$a_0 = 4r/\sqrt{3}$	2	8	0.68	Fe, Ti, W, Mo, Nb, Ta, K, Na, V, Zr, Cr
Face-centered cubic	$a_0 = 4r/\sqrt{2}$	4	12	0.74	Fe, Cu, Au, Pt, Ag, Pb, Ni
Hexagonal close-packed	$a_0 = 2r$ $c_0 \approx 1.633a_0$	2	12	0.74	Ti, Mg, Zn, Be, Co, Zr, Cd

PLANOS E DIREÇÕES CRISTALOGRÁFICAS

- Os materiais **cristalinos** são formados por **planos atômicos** e são caracterizados como em **geometria**, por coordenadas;
- São utilizados os **índices de Miller (1839)** propostos pelo mineralogista William Hallowes Miller: **inverso das coordenadas do vetor direção, ou o inverso dos interceptos do plano cristalográfico**;
- Os planos atômicos são representados com os índices de Miller entre **parênteses**;
- Planos **equivalentes** são agrupados em **famílias** e são representados pelos índices de Miller entre **chaves**. Ex: família do plano **(111)** é **{111}**;
- **Direções cristalográficas** são representadas por **colchetes** e as famílias por **colchetes angulados**. Exemplo: a **direção [111]**, família **<111>**. A **direção é perpendicular ao plano** ao qual está associada.

PLANOS CRISTALOGRÁFICOS-ÍNDICES DE MILLER

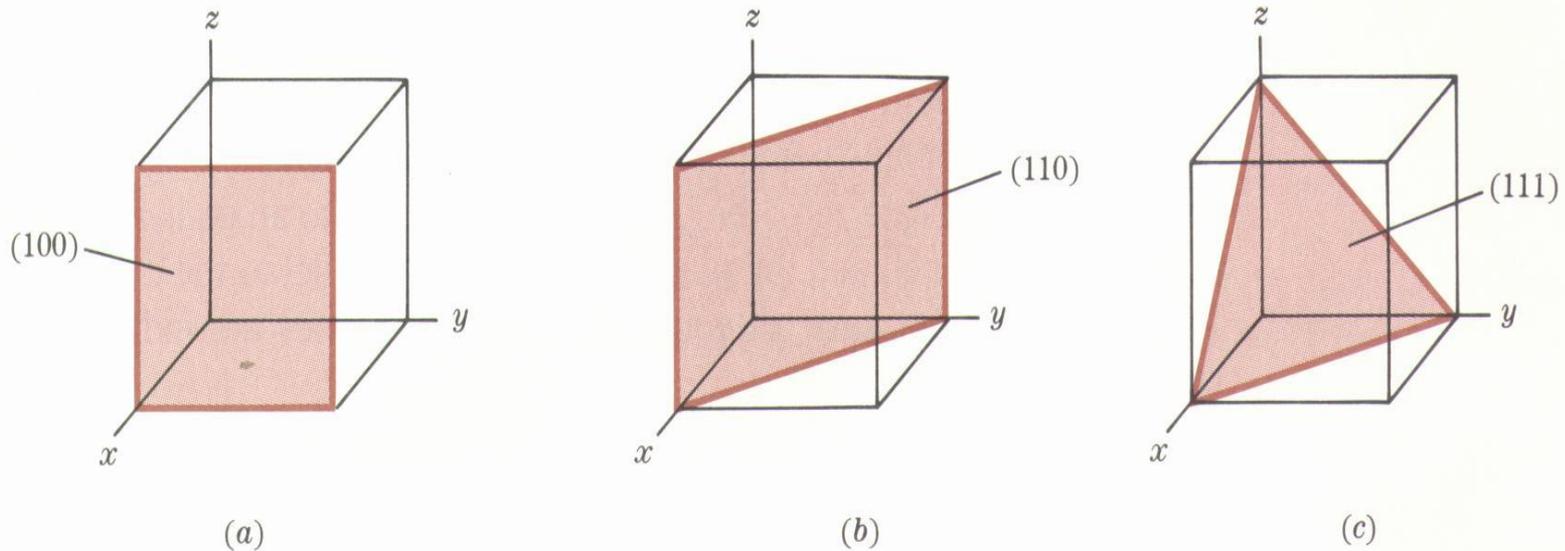
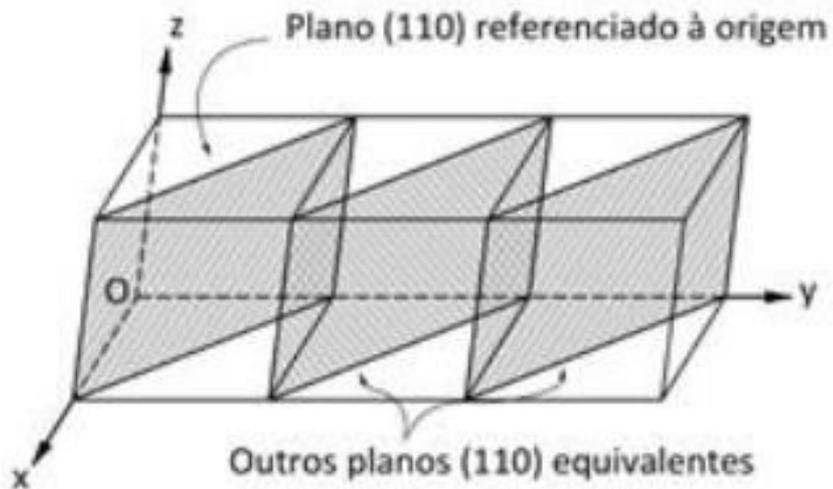
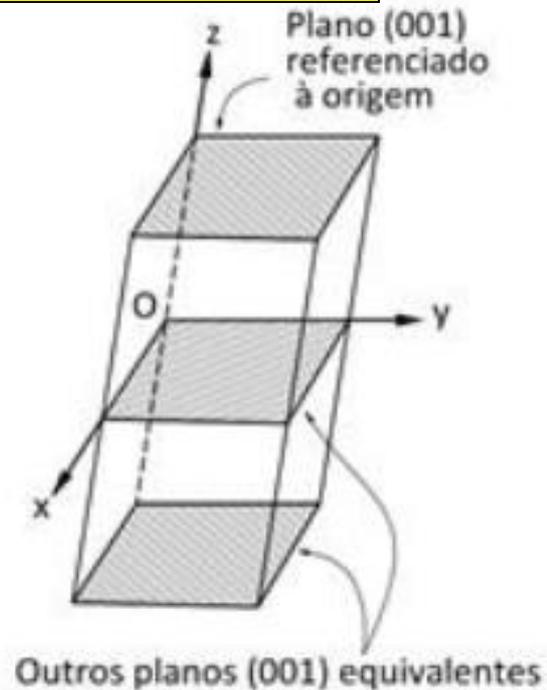
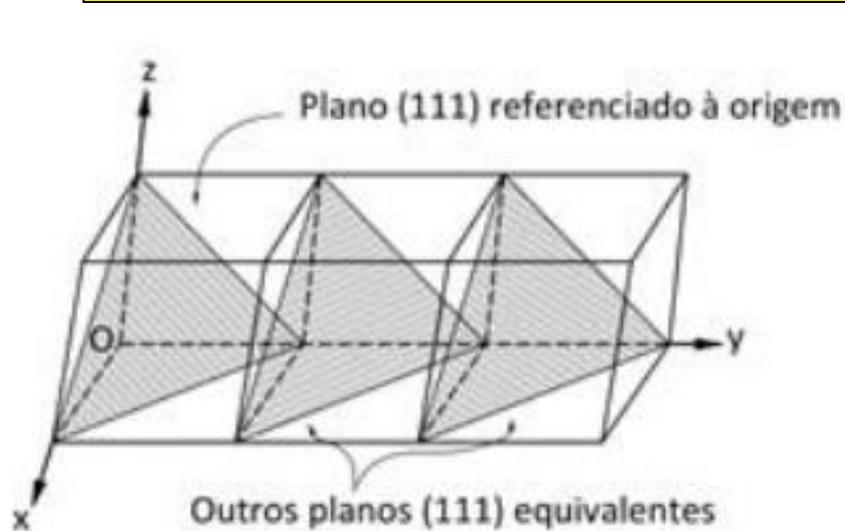


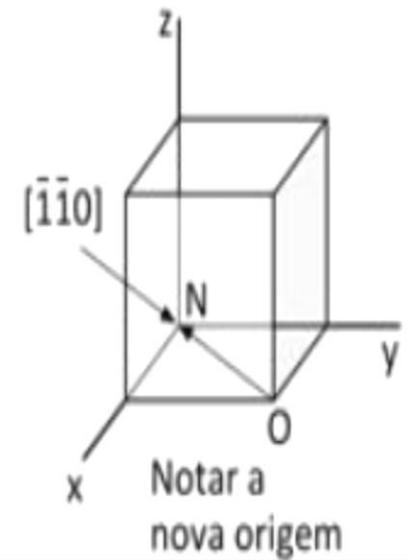
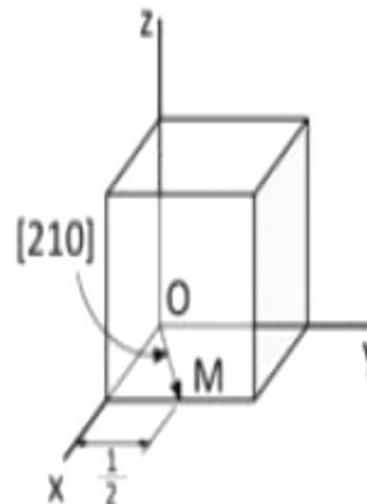
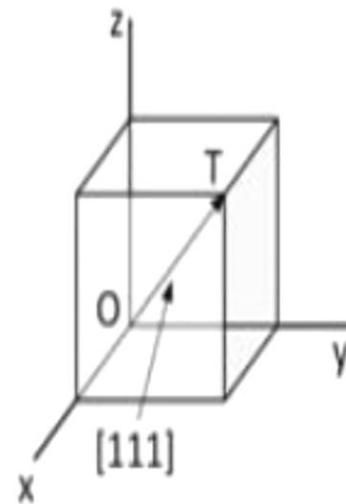
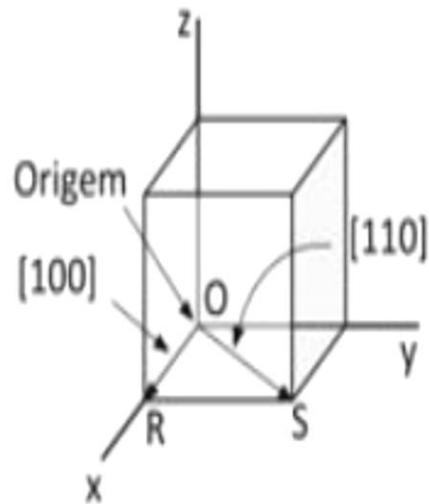
FIGURE 3.13 Miller indices of some important cubic crystal planes: (a) (100) , (b) (110) , and (c) (111) .

FAMÍLIA DE PLANOS CRISTALOGRÁFICOS

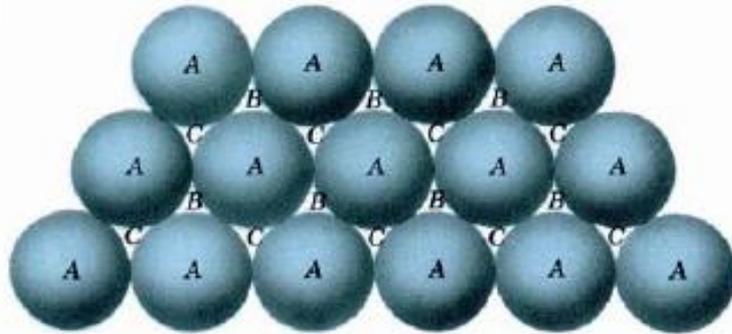


Nota: uma família de planos, como por exemplo $(\bar{1}11)$, $(1\bar{1}1)$, $(11\bar{1})$, $(\bar{1}\bar{1}1)$, $(1\bar{1}\bar{1})$, $(\bar{1}1\bar{1})$, $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ e (111) é representada por $\{111\}$.

DIREÇÕES CRISTALOGRÁFICAS-ÍNDICES DE MILLER



FORMAÇÃO DA ESTRUTURA COMPACTA-HC



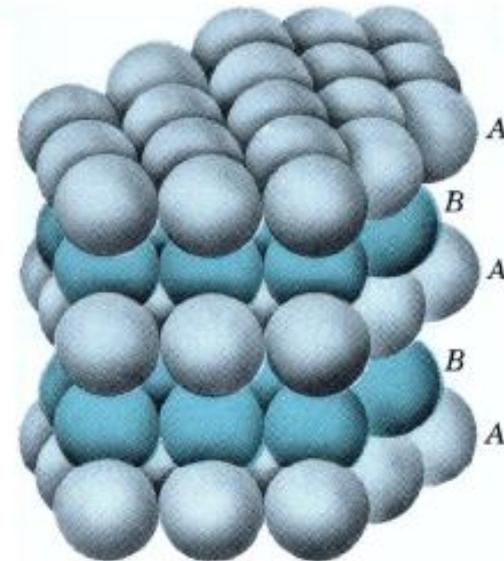
(a)

Plano compacto formado por esferas rígidas (A). Observam-se dois tipos de interstícios, que são assinalados como B e C.



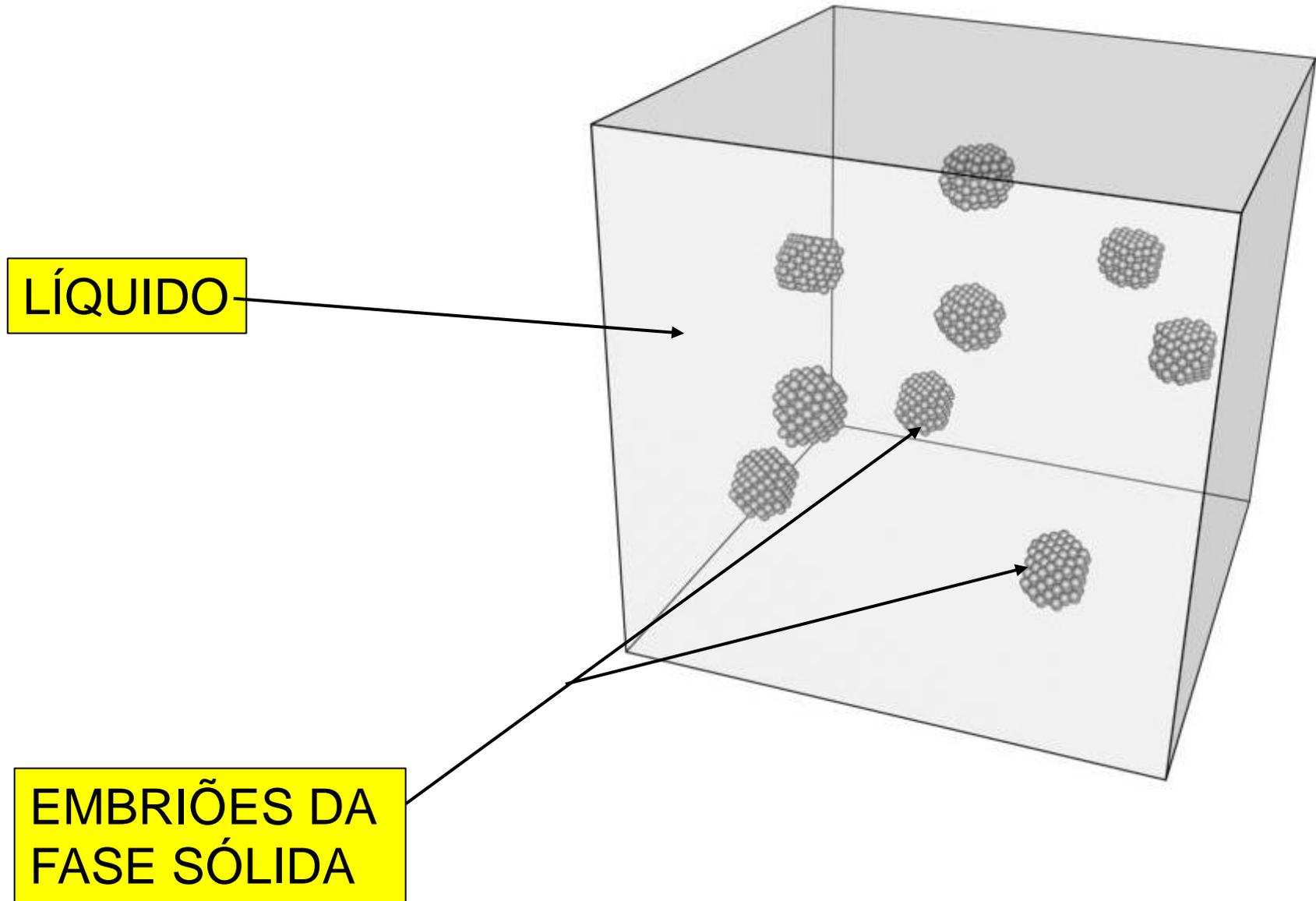
(b)

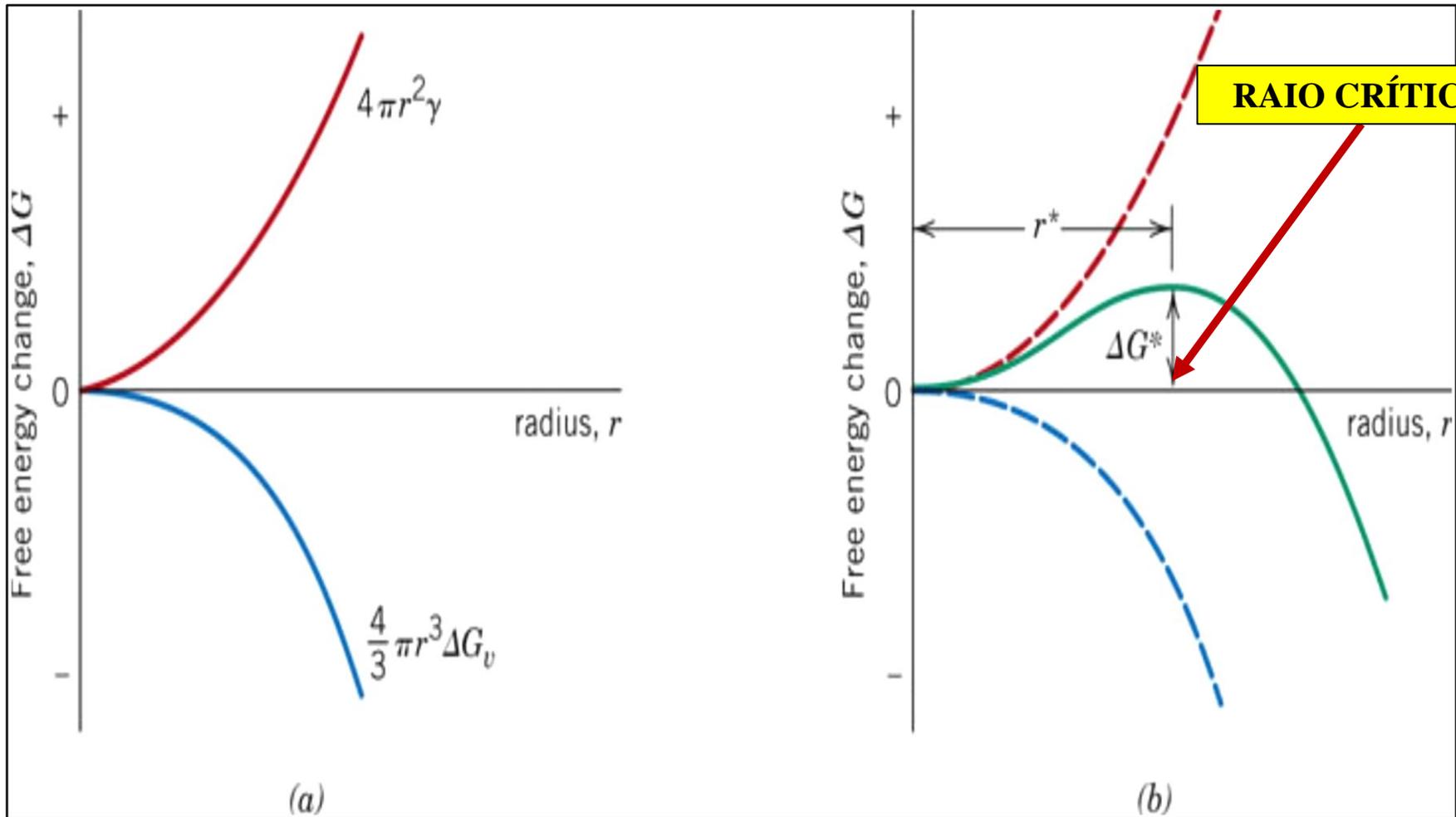
Empilhamento de dois planos compactos.



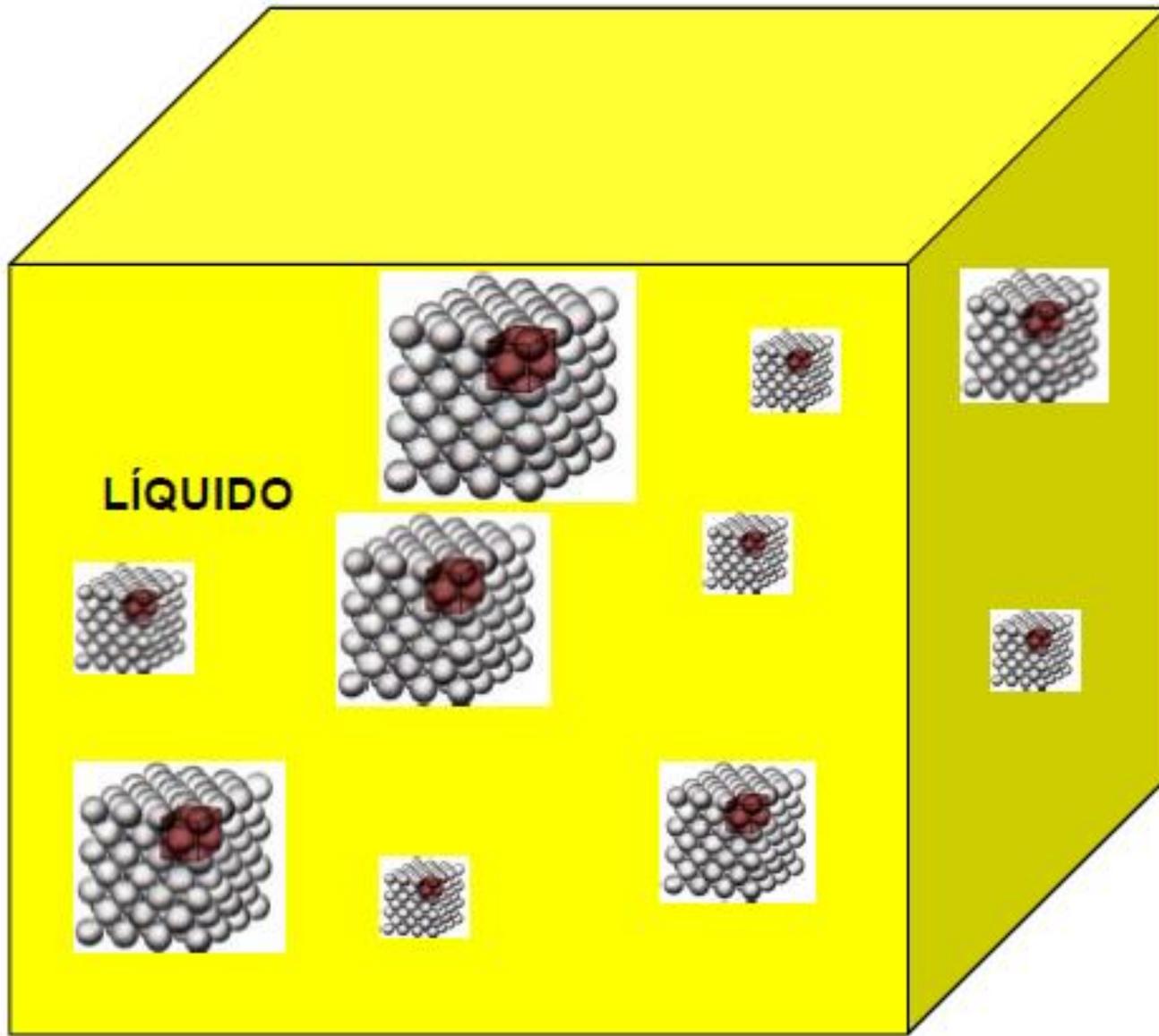
Empilhamento de planos compactos formando uma estrutura HC.

Formação dos grãos cristalinos (Solidificação)





$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \gamma$$



LÍQUIDO

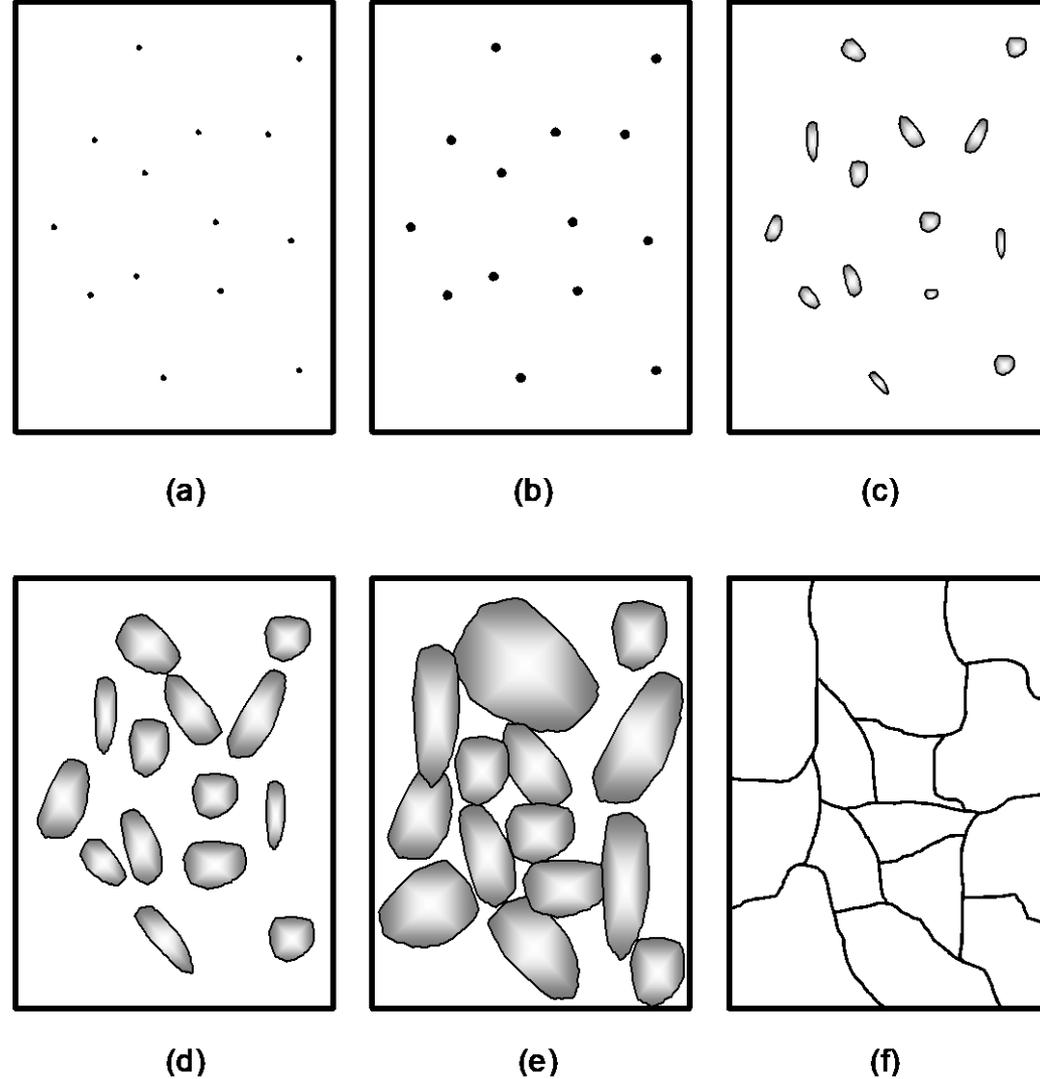


Figura 1) Formação de um material policristalino:

(a) Presença de embriões;

(b) Embriões transformam-se em núcleos;

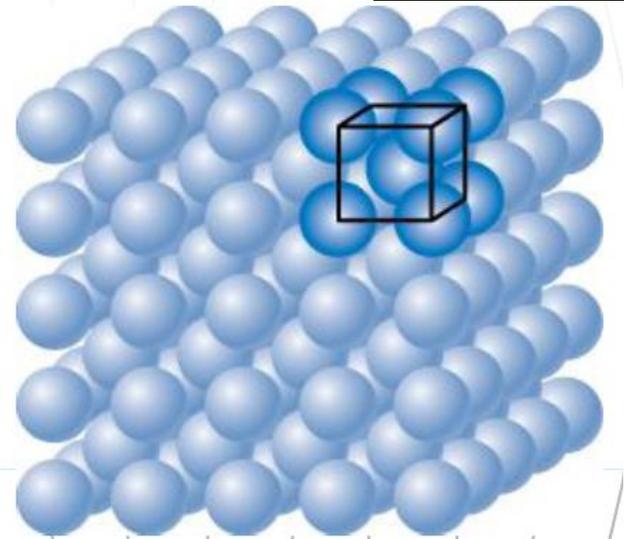
(c) Crescimento dos núcleos;

(d) Núcleos dão origem aos grãos cristalinos;

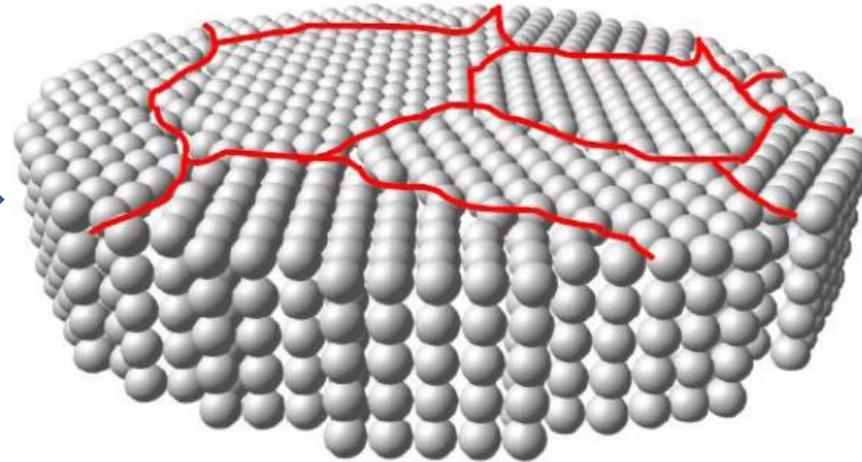
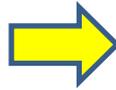
(e) Encontro dos grãos cristalinos com seus vizinhos e

(f) Contornos dos grãos cristalinos.

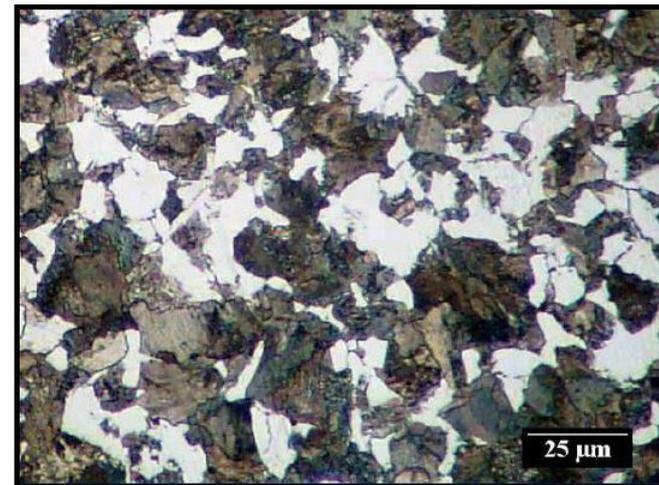
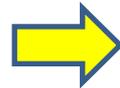
FORMAÇÃO DOS GRÃOS- TG ESTÁ RELACIONADO ÀS PROPRIEDADES MECÂNICAS



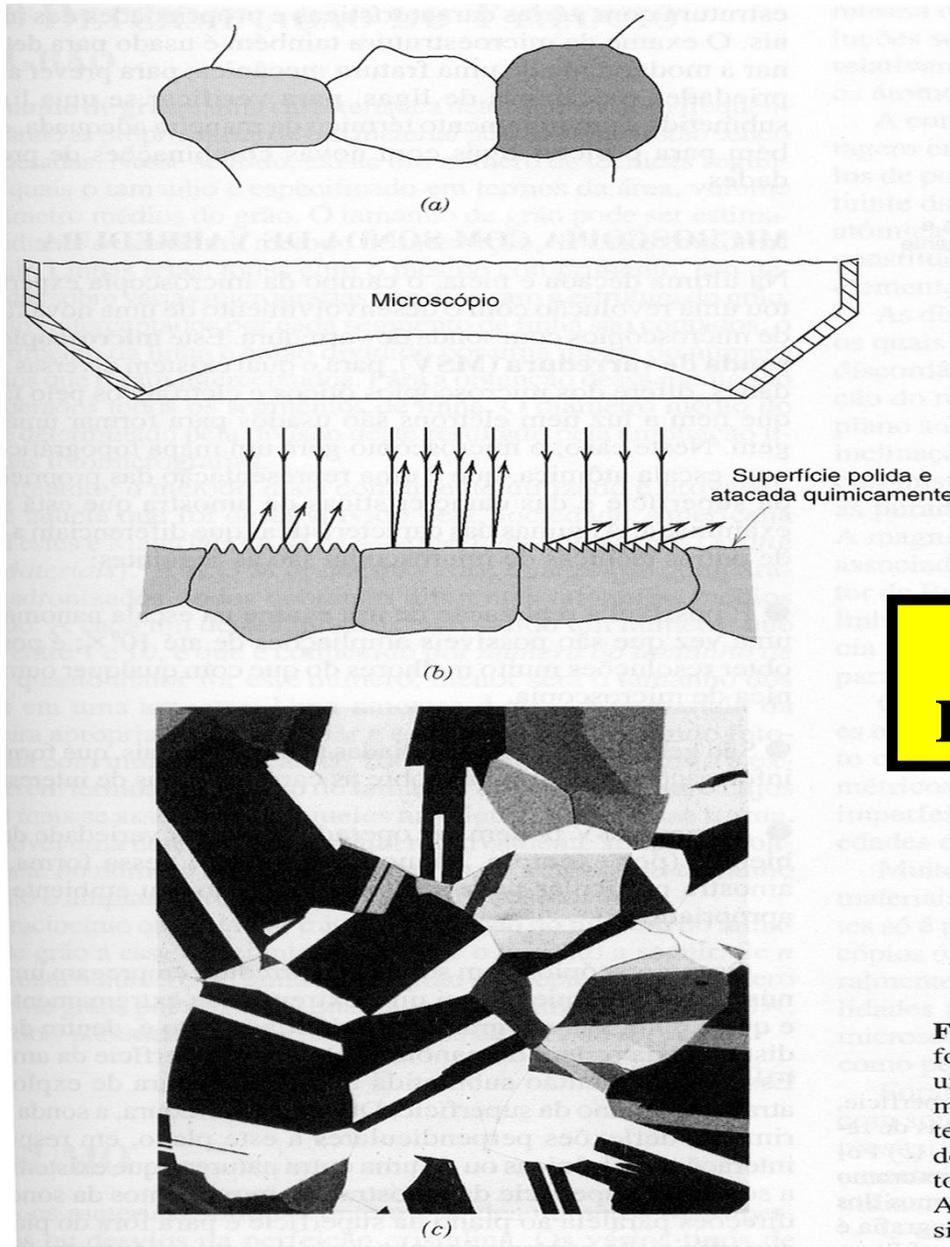
(Callister, cap.3)



(Apostila Prof.Dr. Rubens Caram)

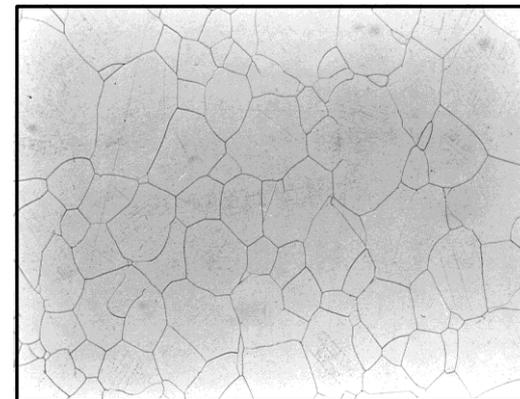
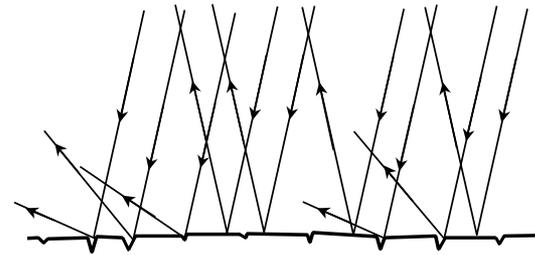
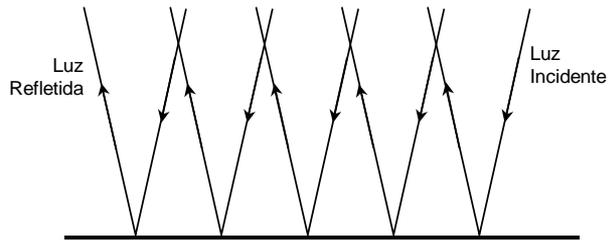
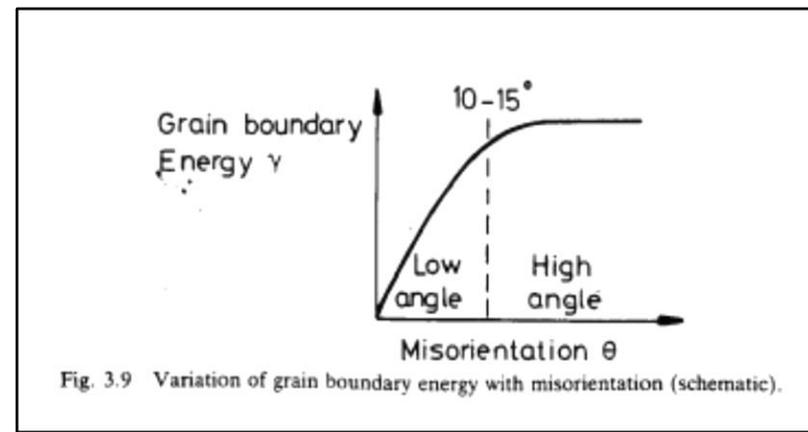
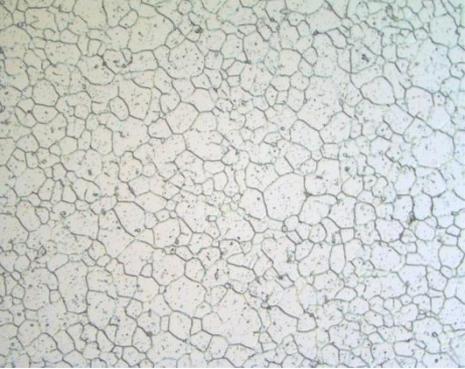


PREPARAÇÃO METALGRÁFICA

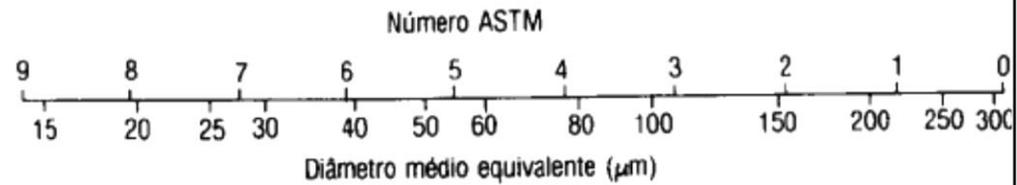
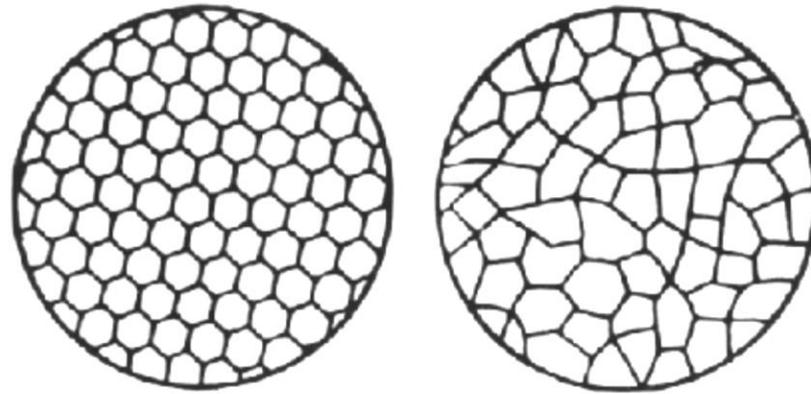
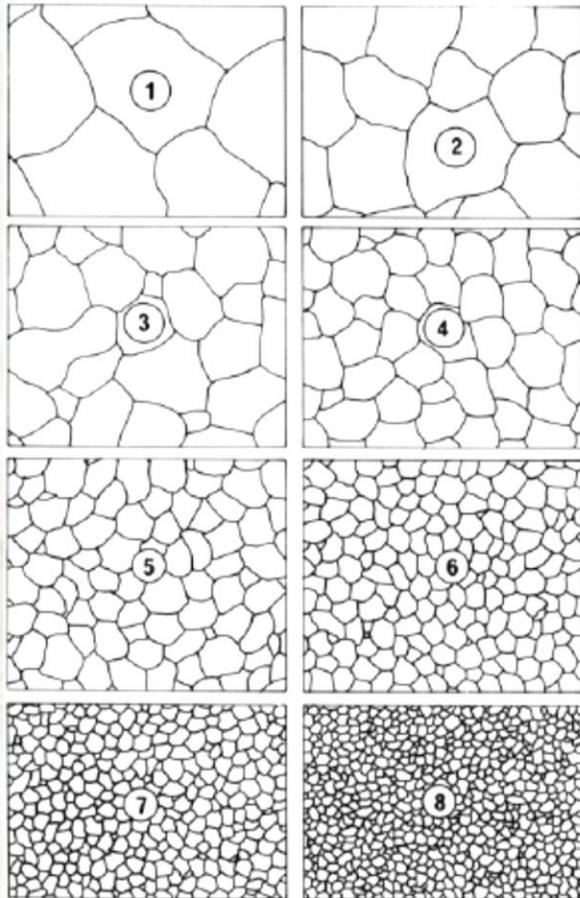


LIXAMENTO, POLIMENTO, ATAQUE

Fig. 4.11 (a) Grãos polidos e atacados quimicamente da forma como eles aparecem quando são vistos através de um microscópio ótico. (b) Seção feita através desses grãos mostrando como as características do ataque químico e a textura da superfície resultante variam de grão para grão devido a diferenças na orientação cristalográfica. (c) Fotomicrografia de uma amostra de latão policristalino. Ampliação de 60 \times . (Esta fotomicrografia é uma cortesia de J. E. Burke, General Electric Co.)



TAMANHO DE GRÃO ASTM

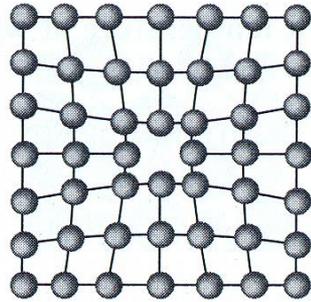


(ADAPTADO: PROF.
CARAM -UNICAMP)

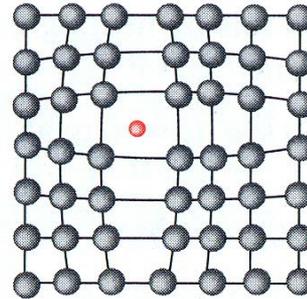
IMPERFEIÇÕES EM SÓLIDOS

IMPERFEIÇÕES EM SÓLIDOS CRISTALINOS

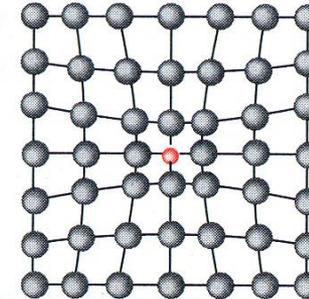
DEFEITOS PUNTUAIS



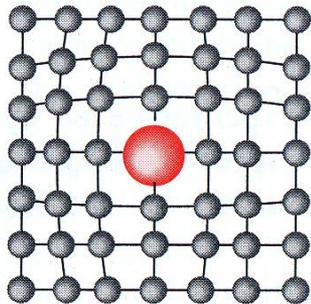
(a)



(b)

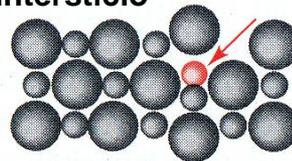


(c)



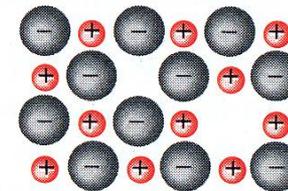
(d)

Movimento de um
cátion numa posição
normal para um
interstício



(e)

Lacuna de cátion e
lacuna de ânion

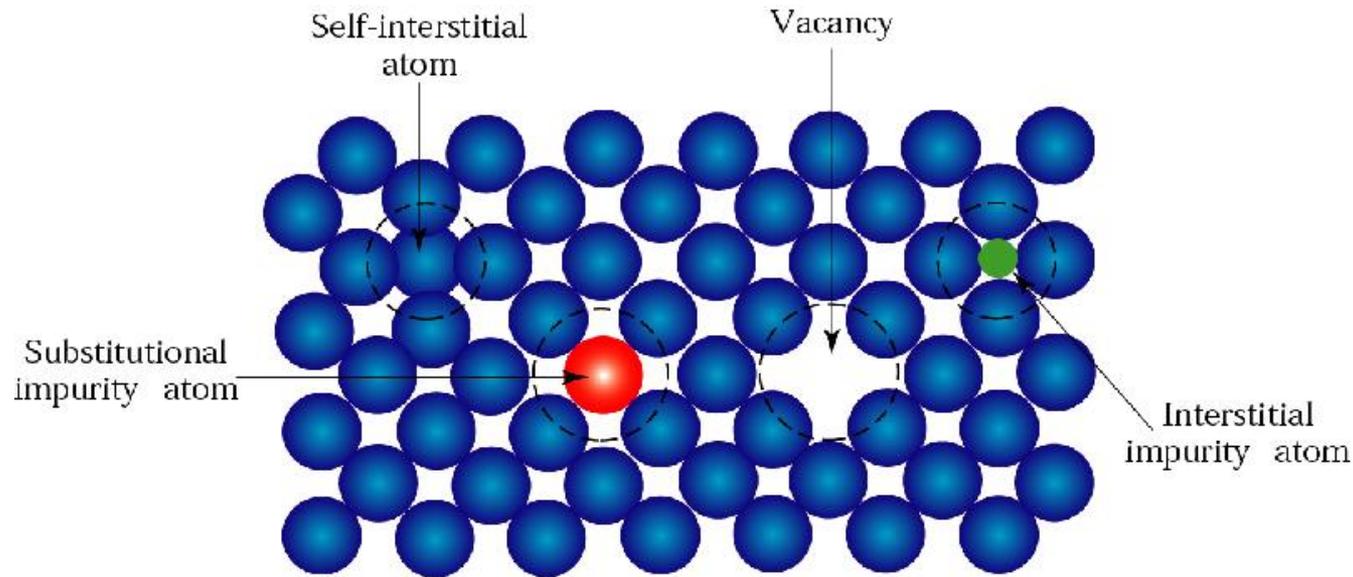


(f)

AUSÊNCIA OU PRESENÇA DE ÁTOMOS

(a) Vacância, (b) Átomo intersticial, (c) Pequeno átomo substitucional, (d) Grande átomo substitucional, (e) Defeito Frenkel, (f) Defeito Schottky. Todos estes defeitos destroem localmente o arranjo cristalino perfeito dos átomos vizinhos.

Defeitos Pontuais



- O número de vacâncias aumenta exponencialmente com a temperatura

$$N_v = N \exp(-Q_v/KT)$$

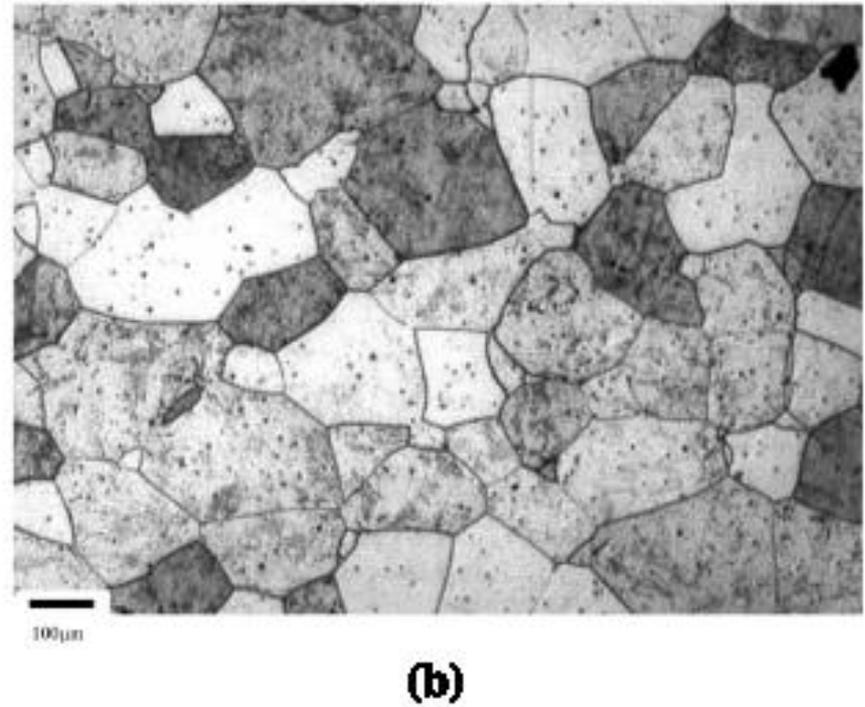
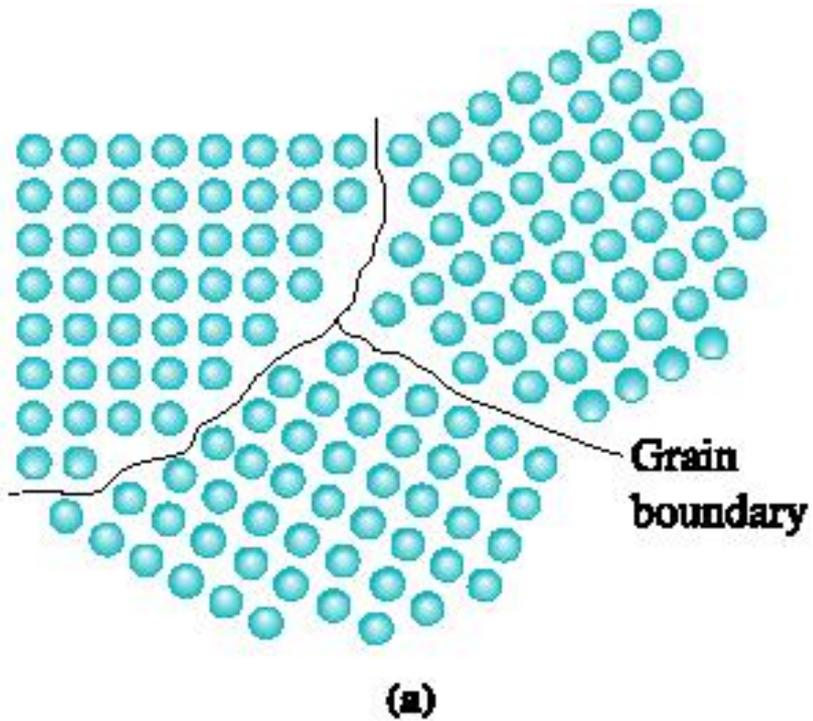
N_v = número de vacâncias

N = número total de sítios atômicos

Q_v = energia requerida para formação de vacâncias

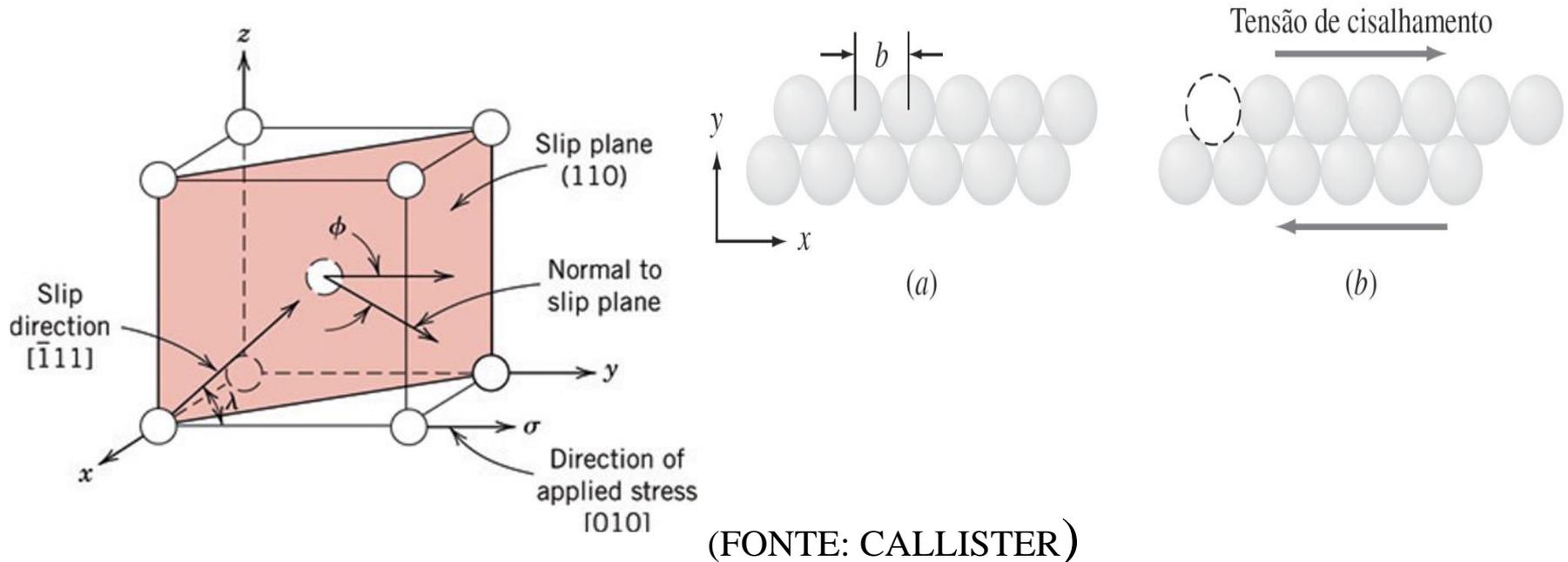
K = constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/at.K}$ ou $8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/at.K}$

Defeitos de Superfície



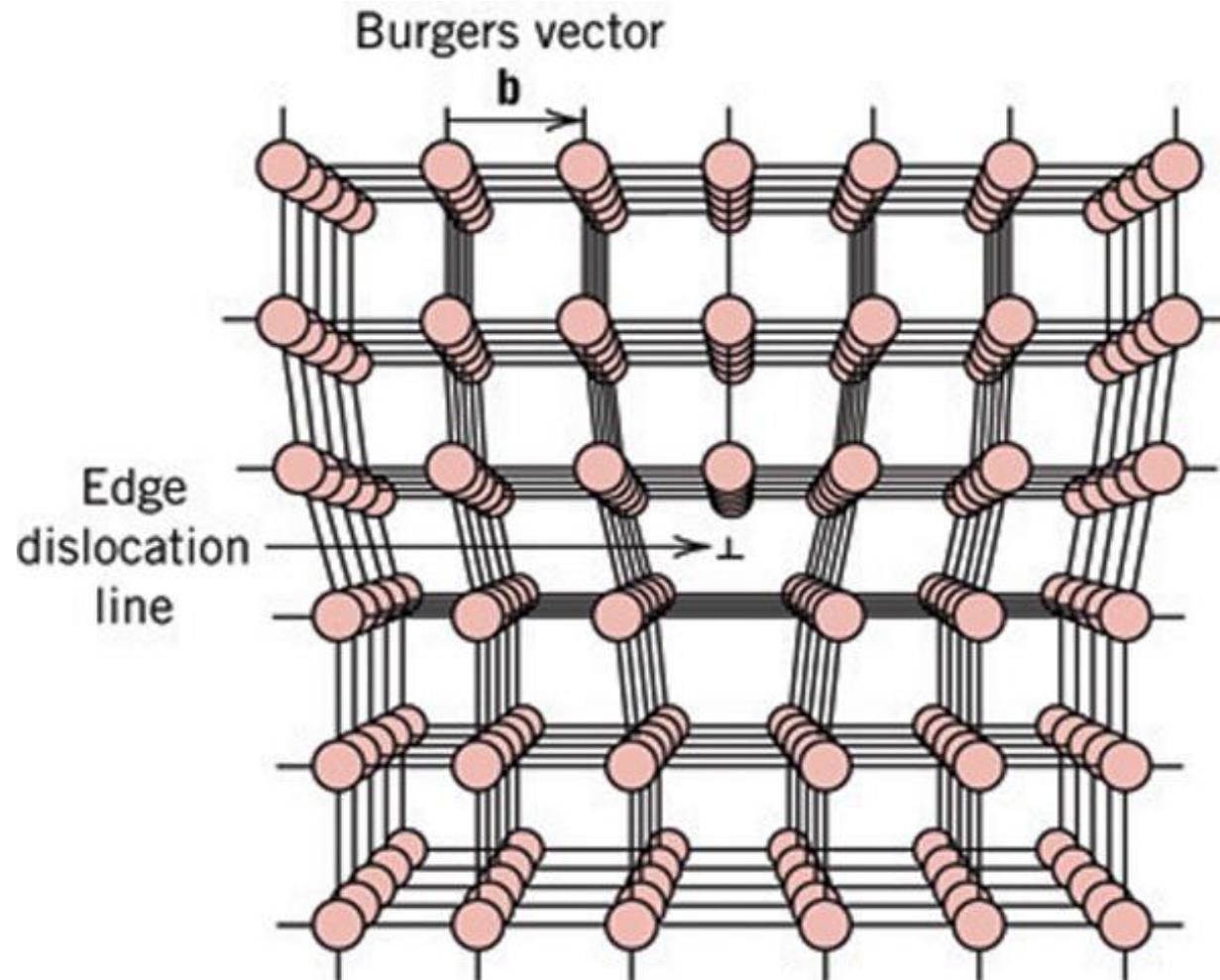
DEFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS – TEORIA DAS DISCORDÂNCIAS HISTÓRICO

PENSAMENTO NATURAL: DEFORMAÇÃO PLÁSTICA EM MONOCRISTAIS PERFEITOS OCORRE POR DESLIZAMENTO DE PLANOS ATÔMICOS E NOS PLANOS MAIS COMPACTOS.

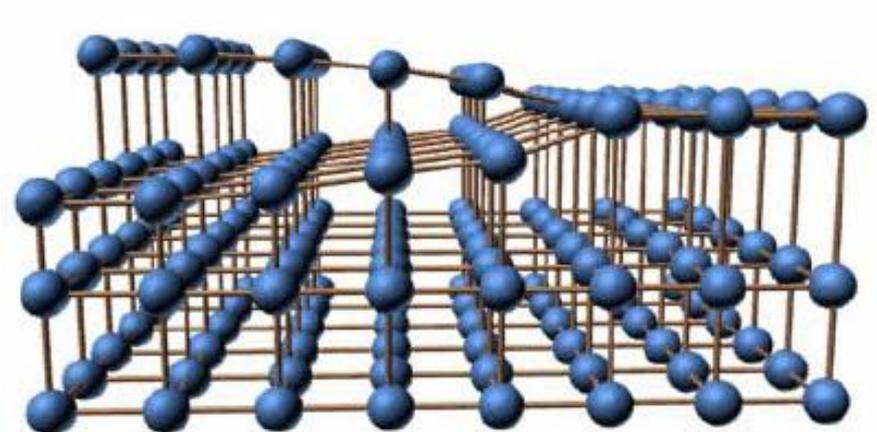
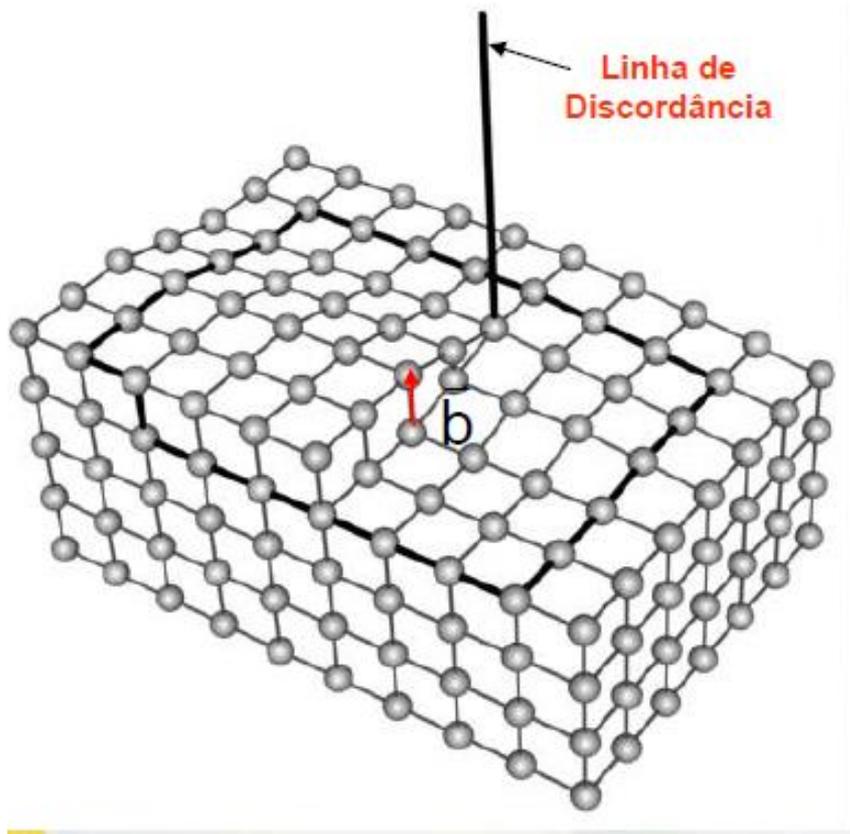


**1930: Mg -valor teórico de 8.600 MPa-ensaio de tração: 0,70 MPa -
Orowan, Taylor e Polanyi: Teoria das Discordâncias (1934)**

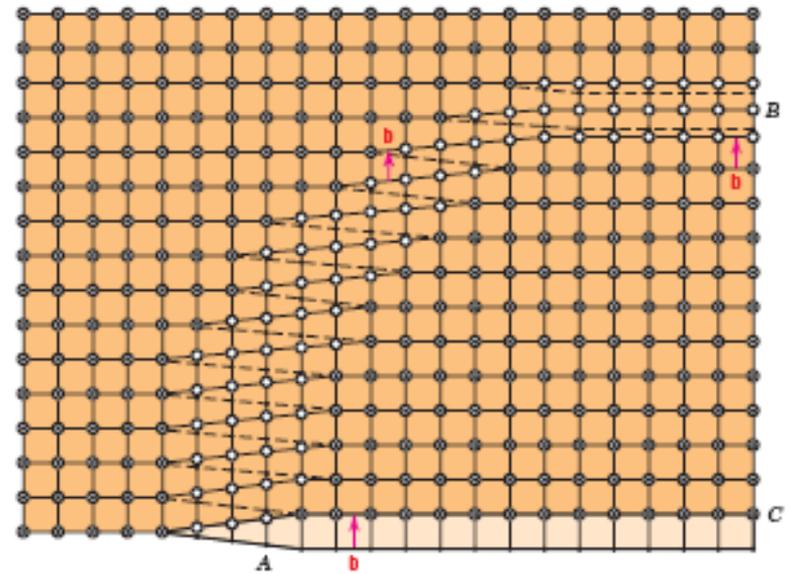
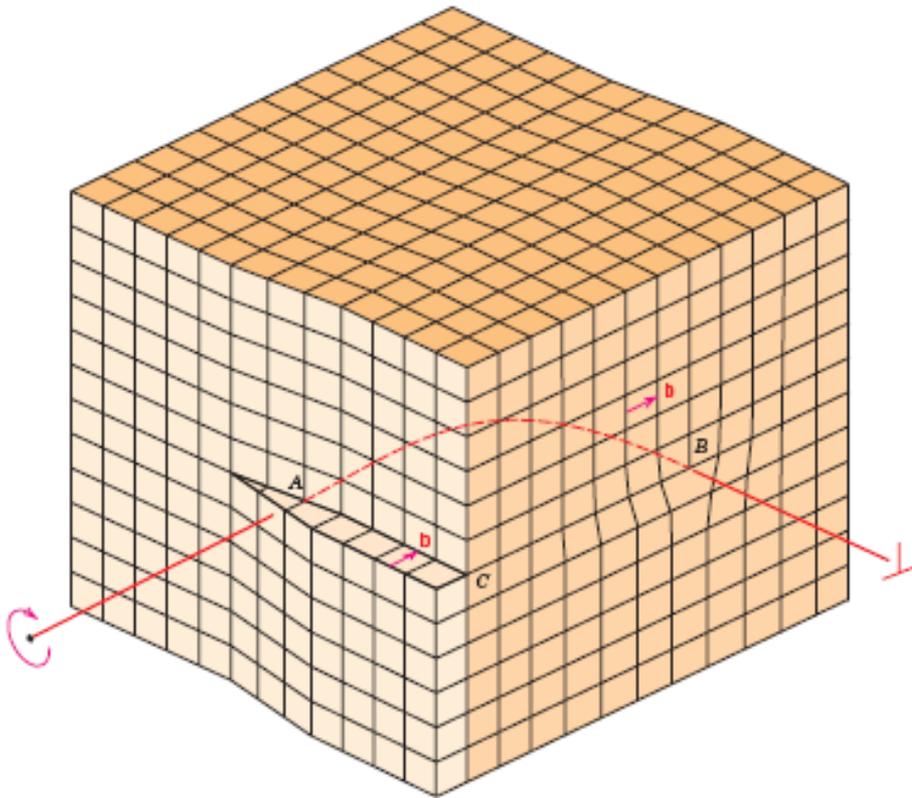
DISCORDÂNCIA EM CUNHA



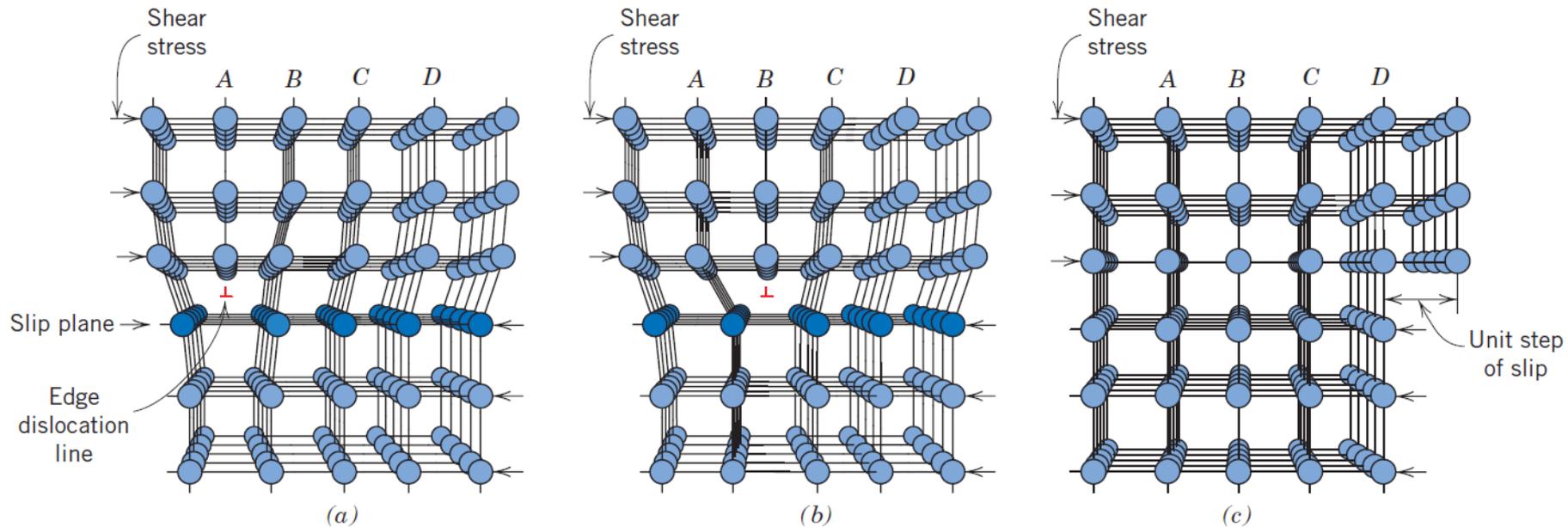
DISCORDÂNCIA EM HÉLICE



DISCORDÂNCIA MISTA



MOVIMENTAÇÃO DAS DISCORDÂNCIA



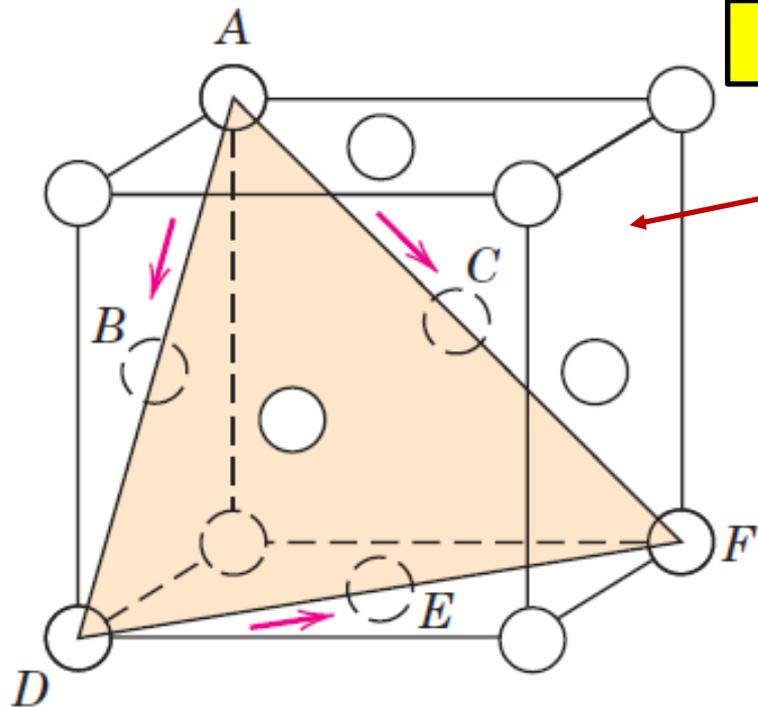
É APLICADA UMA TENSÃO DE CISALHAMENTO, FORÇANDO A PARTE SUPERIOR DOS PLANOS A, B, C E D. SE A TENSÃO FOR SUFICIENTE, AS LIGAÇÕES DA PARTE INFERIOR DO PLANO B SÃO ROMPIDAS E O PLANO A SE LIGA À ESTA PARTE. ISSO OCORRE SUCESSIVAMENTE ATÉ QUE O SEMI-PLANO AFLORA NA SUPERFÍCIE COM A LARGURA DE UMA DISTÂNCIA ATÔMICA.

SISTEMAS DE ESCORREGAMENTO

AS DISCORDÂNCIAS DESLOCAM-SE COM MAIS FACILIDADE EM PLANOS E DIREÇÕES ESPECÍFICAS. ESTE CONJUNTO DE PLANO E DIREÇÃO DE DESLIZAMENTO É CHAMADO DE SISTEMA DE DESLIZAMENTO OU SISTEMA DE ESCORREGAMENTO (DISTRORÇÃO ATÔMICA DA DISCORDÂNCIA É MÍNIMA).

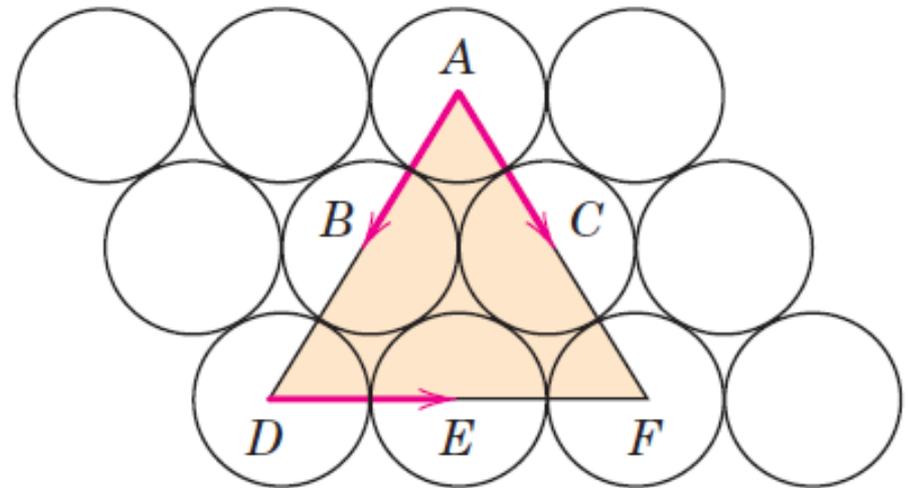
NORMALMENTE, ESSES PLANOS SÃO OS MAIS COMPACTOS (MAIOR DENSIDADE PLANAR) DA ESTRUTURA CRISTALINA E A DIREÇÃO É AQUELA QUE APRESENTA MAIOR DENSIDADE LINEAR.

SISTEMAS DE ESCORREGAMENTO



(a)

PLANO MAIS COMPACTO DA CFC



(b)

**ESTRUTURA CFC – SISTEMA DE DESLIZAMENTO: $\{111\} \langle 110 \rangle$.
QUATRO PLANOS $\{111\}$ E 3 DIREÇÕES $\langle 110 \rangle$ - 12 SISTEMAS DE
DESLIZAMENTO.**

DIFUSÃO NO ESTADO SÓLIDO

CONCEITO DE DIFUSÃO

Callister: Transporte de massa por movimentação Atômica.

Força motriz: **Gradiente de concentração**

Ocorre em **sólidos, líquidos e gases.**

Exemplos:

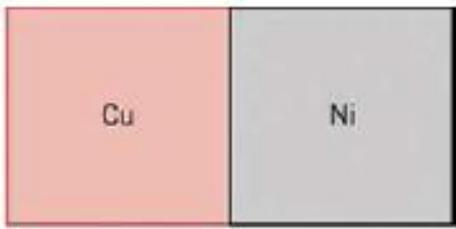
- **Gota de tinta** diluindo-se na água (líquido);
- **Perfume** espalhando-se por uma sala (gás);

A difusão ocorre:

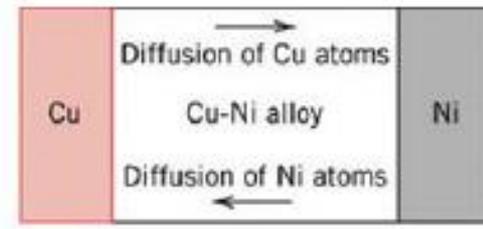
- **Metais:** movimento de **Átomos**;
- **Cerâmicas:** movimento de **Íons**;
- **Polímeros:** movimento de **Macromoléculas**.

PAR DE DIFUSÃO

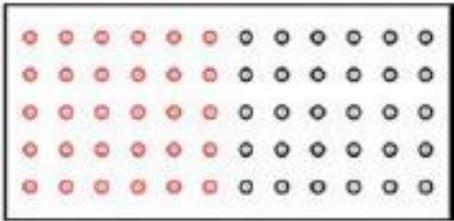
DEPOIS DE ALGUM TEMPO EM ALTA TEMPERATURA



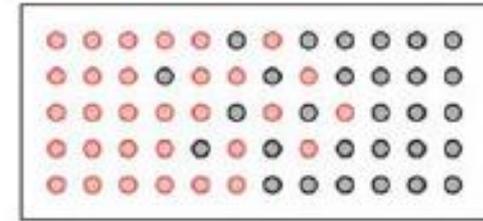
(a)



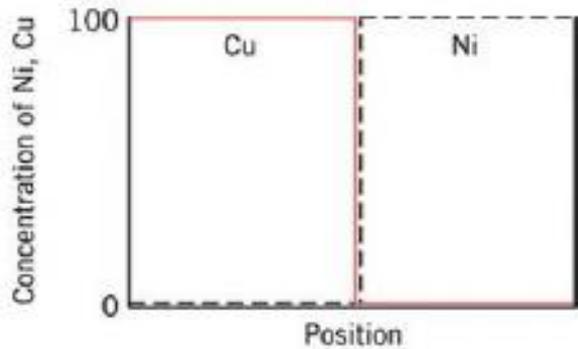
(a)



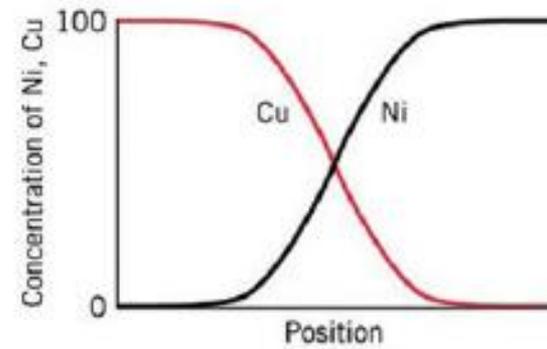
(b)



(b)



(c)



(c)

(Adaptado de: Callister – cap.5)

MECANISMOS DE DIFUSÃO

Difusão: deslocamento de átomos entre posições do reticulado cristalino.

Condições necessárias:

- **Existência de um espaço livre adjacente;**
- **Energia** suficiente para **quebrar as ligações químicas** e provocar uma **deformação na rede cristalina.**

MECANISMOS DE DIFUSÃO

DIFUSÃO EM UM CRISTAL PERFEITO

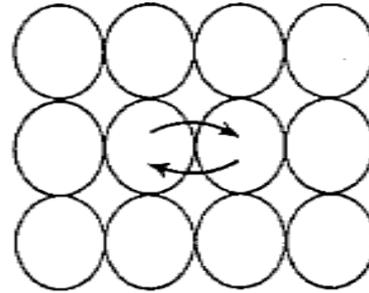


Fig. 10.8 Direct interchange diffusion mechanism.

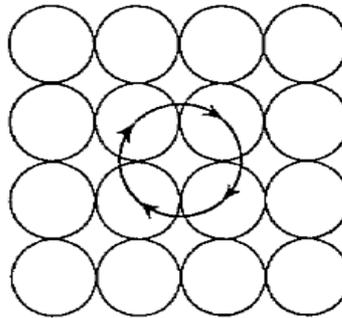


Fig. 10.9 Zener ring mechanism for diffusion.

(Reed-Hill)

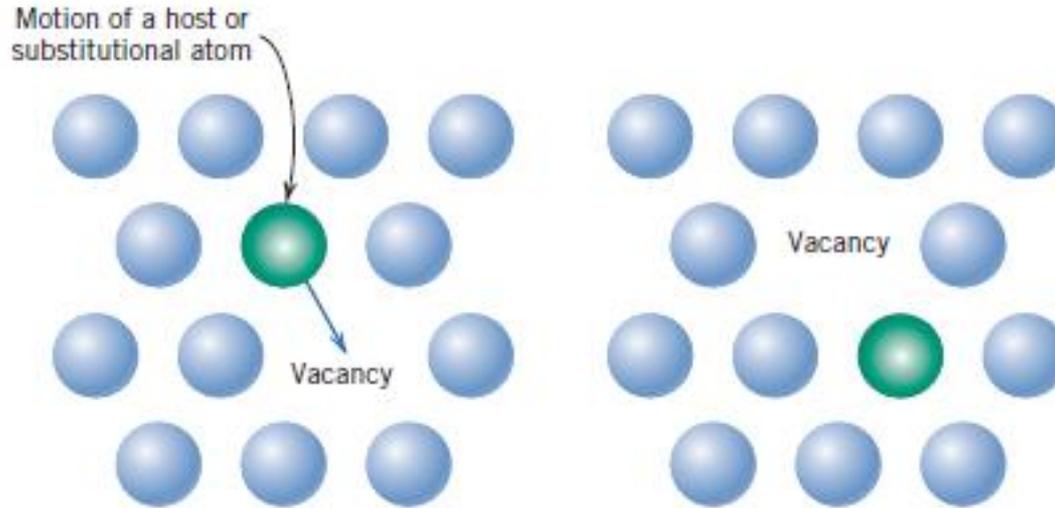
MECANISMOS DE DIFUSÃO

ANEL DE ZENER

- Mecanismo **mais aceito** que a **troca direta**. Provoca **menor deformação** na rede, menor energia;
- Ocorre em **soluções sólidas substitucionais**;
- **Vibrações** térmicas **suficientes** para que **alguns átomos** efetuem um **salto simultâneo e síncrono, em anel**;
- Mecanismo **preferencial** em estruturas **CCC**, pois são **menos compactas** que **CFC** ou **HC** e a **deformação é menor**.

MECANISMOS DE DIFUSÃO

DIFUSÃO POR LACUNAS OU VACÂNCIAS



- **Átomos trocam** de posições com **vacâncias** existentes na **rede cristalina**;
- A movimentação é função do **número de vacâncias**;
- O **número de vacâncias aumenta exponencialmente com a temperatura**;
- O **deslocamento** dos átomos e vacâncias ocorrem em **sentidos opostos**;
- Na **autodifusão** o deslocamento é de **átomos do mesmo elemento**;
- Na **interdifusão** o deslocamento é de **átomos de elementos diferentes**.

MECANISMOS DE DIFUSÃO

DIFUSÃO INTERSTICIAL

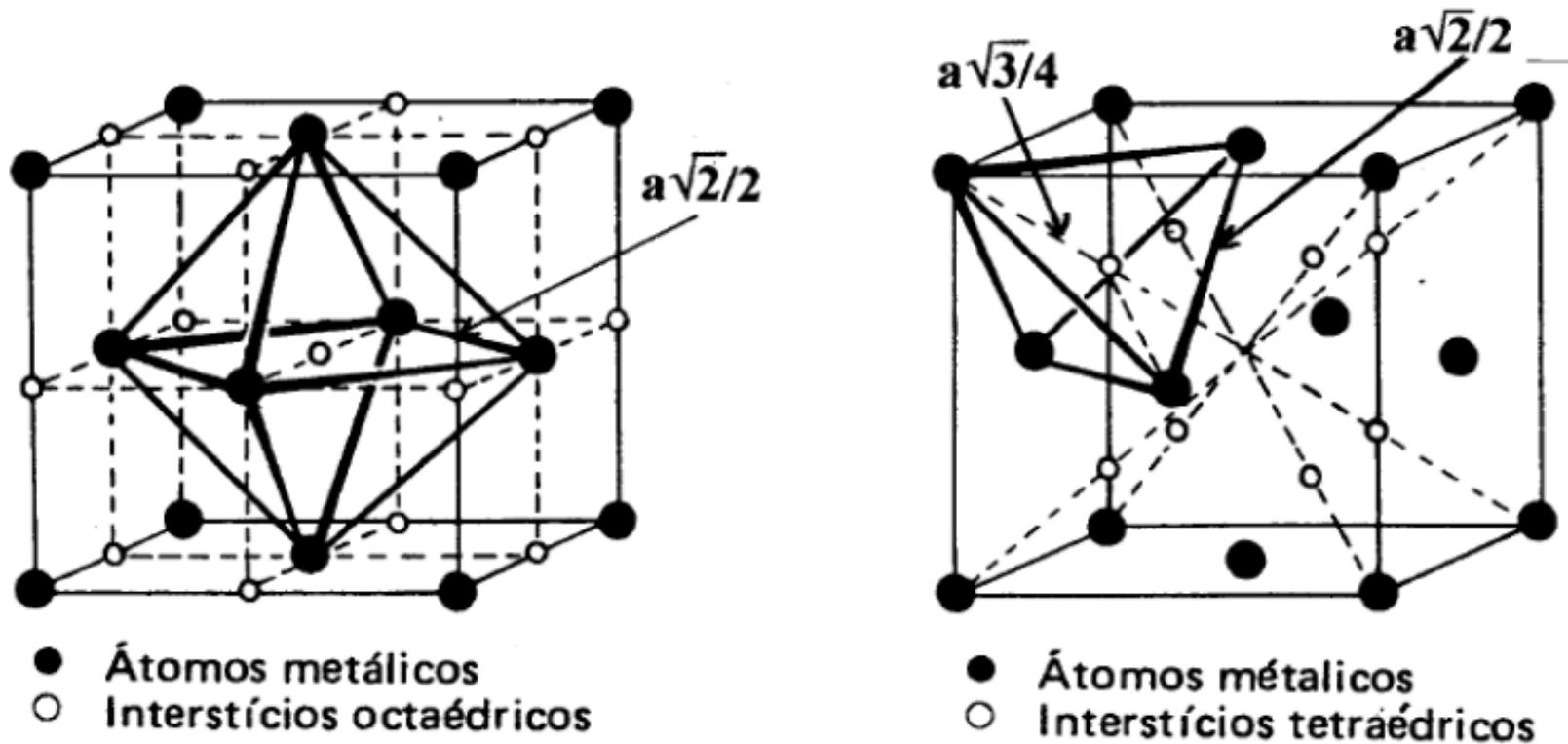
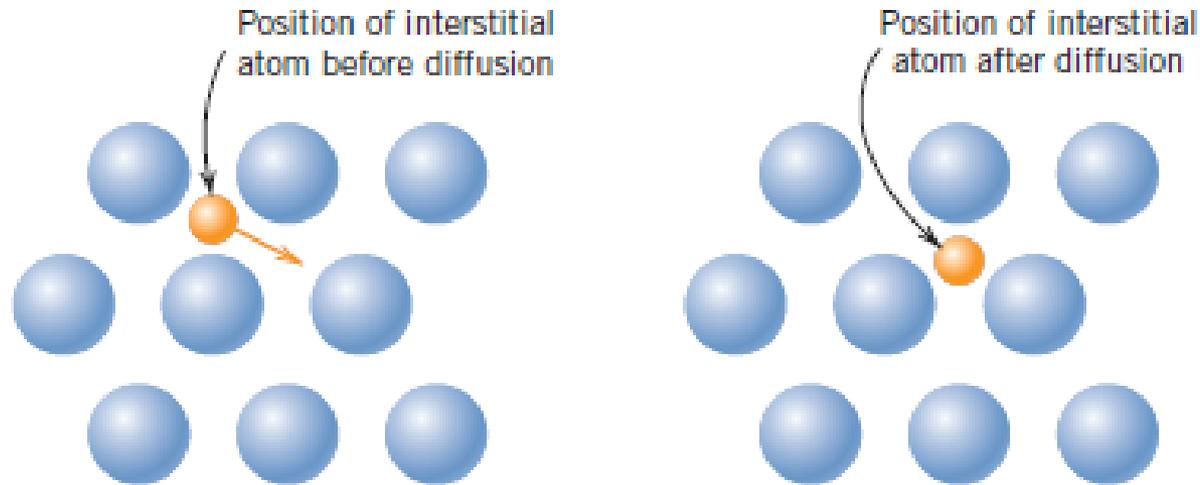


Figura 2.29 Posições intersticiais em uma célula unitária CFC, segundo C. Barret e T. B. Massalski (1993) [Padilha, 2000].

MECANISMOS DE DIFUSÃO

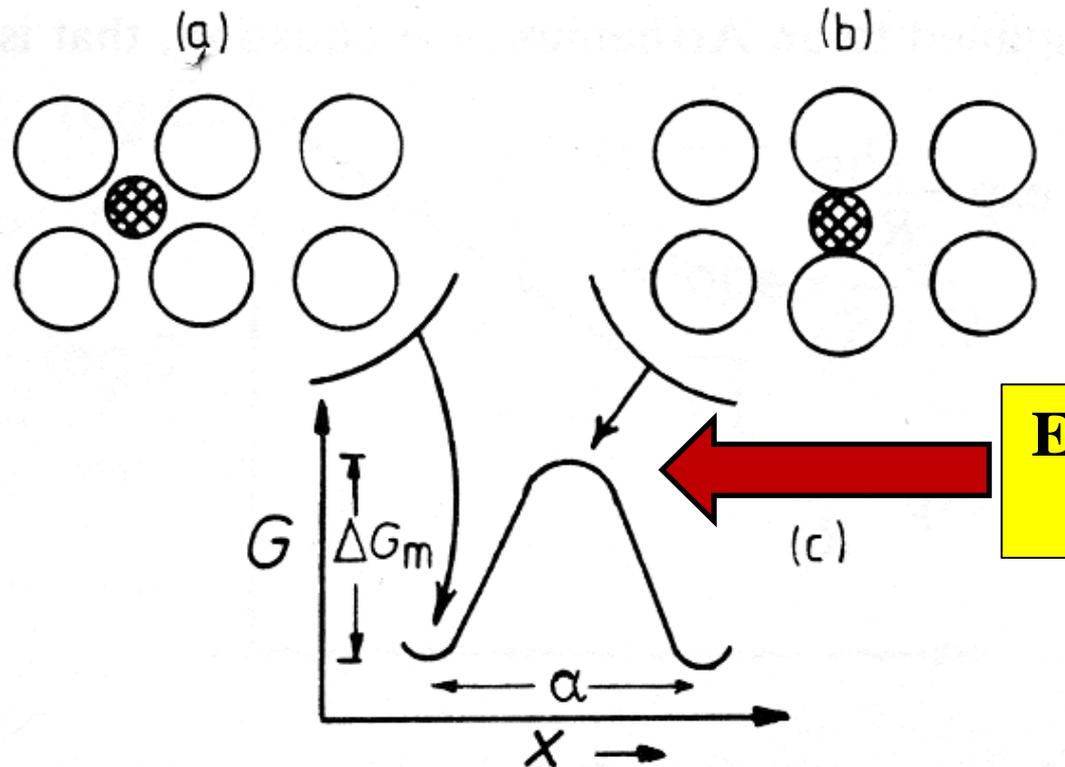
DIFUSÃO INTERSTICIAL



- Átomos migram para **interstícios** adjacentes **não ocupados**;
- **Não há** necessidade de ocorrência de **vacâncias**;
- **Ocorre** especialmente em **metais e ligas**, com átomos de impureza cujo **raio atômico é pequeno** em relação ao **raio atômico dos átomos da matriz**. **Ex: carbono, nitrogênio, hidrogênio e oxigênio, no aço**;
- A difusão **intersticial** é muito **mais rápida** que a **difusão por vacâncias**. **Ex: Ferrita a 500°C- carbono difunde 10⁹ mais rápido** que a **autodifusão do Fe (vacâncias)**;
- **Especialmente**, no **aço e ferro (CCC)**, interstícios **preferenciais** são **octaédricos**.

TERMODINÂMICA DA DIFUSÃO

- Átomos “vencem” as barreiras energéticas por meio de saltos para difundir;
- Depende da frequência de saltos, portanto, depende da energia de vibração da rede - Temperatura;
- Difusão é um processo termicamente ativado.



**Energia mínima
(Gibbs)**

(Porter & Easterling)

CINÉTICA DA DIFUSÃO

1ª. LEI DE FICK

COEFICIENTE DE DIFUSÃO (D)

FLUXO DE ÁTOMOS (J)

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

GRADIENTE DE
CONCENTRAÇÃO $\frac{dC}{dX}$

1ª. LEI DE FICK!!!

COEFICIENTE DE DIFUSÃO

Relação do tipo Arrhenius

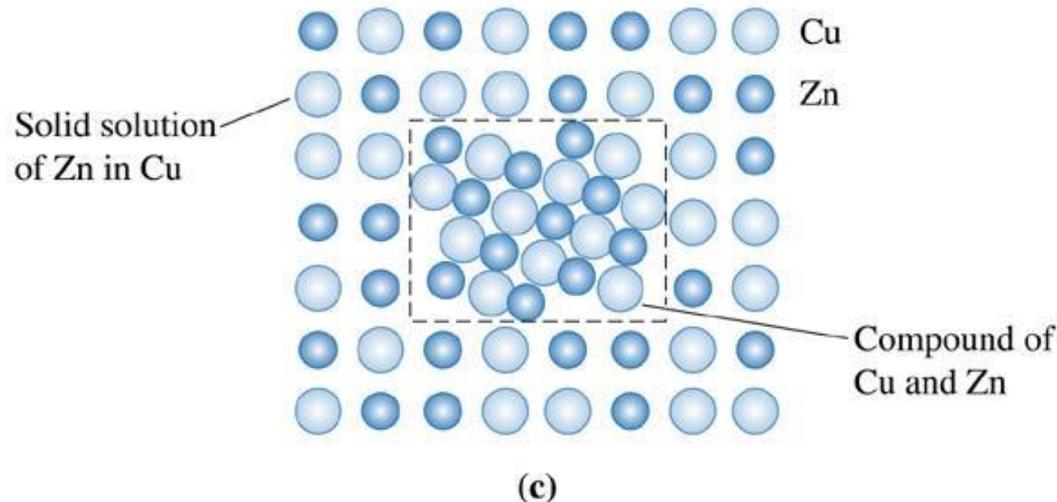
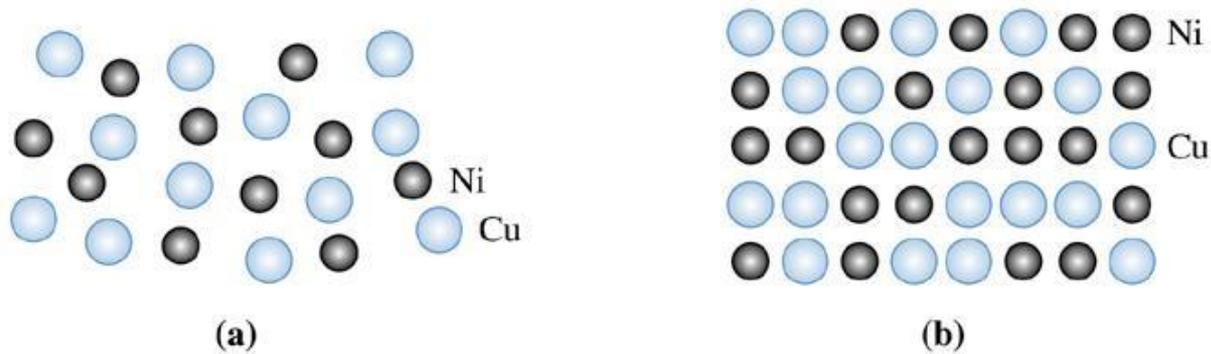
$$D = D_0 \exp(-Q_d / RT)$$

D_0 = constante (m^2/s)

Q_d = energia de ativação para difusão
($\text{eV}/\text{átomo}$)

R = Cons. do gás = $8,62 \times 10^{-5} \text{ eV}/\text{átomo}$

T = temperatura absoluta (K)



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[®] is a trademark used herein under license.

(a) Cu e Ni líquidos são completamente solúveis um no outro. (b) Ligas de Cu e Ni sólidas apresentam solubilidade completa com os átomos de Ni ocupando ao acaso os lugares no retículo. (c) Nas ligas de Cu – Zn contendo mais do que 30% Zn, uma segunda fase é formada por causa da solubilidade limitada do Zn no Cu.

O QUE É AÇO?

AÇO É UMA LIGA DE FERRO E CARBONO COM ELEMENTOS RESIDUAIS: P, S, Mn. ISTO É, UMA SOLUÇÃO SÓLIDA INTERSTICIAL, COM CARBONO OCUPANDO OS INTERSTÍCIOS DA REDE CRISTALINA DO FERRO E SUBSTITUCIONAL, COM O Mn SUBSTITUINDO ALGUNS ÁTOMOS DE FERRO EM PONTOS DE SUA REDE CRISTALINA.

- **Produção mundial de plástico (ABIPLAST):
350 milhões por ano**
- **Produção mundial de aço (World Steel Association)
em 2019:
1,68 bilhões de toneladas**

FABRICAÇÃO DO AÇO E SUA CLASSIFICAÇÃO



COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO FERRO GUSA:

CARBONO: 3,5 - 4,5%

SILÍCIO: 0,3 - 2,0%

ENXÔFRE: 0,01 - 0,1%

FÓSFORO: 0,05 - 2 %

MANGANÊS: 0,5 - 2%



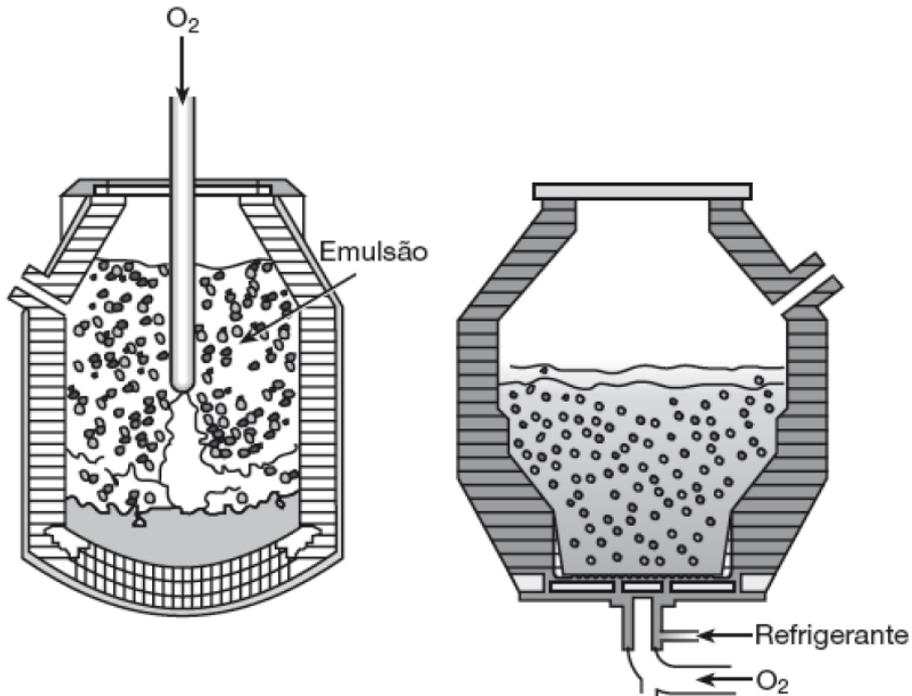
**SAÍDA DO
FERRO GUSA
DO ALTO
FORNO PARA O
CARRO
TORPEDO.**

CONVERSÃO DO GUSA EM AÇO

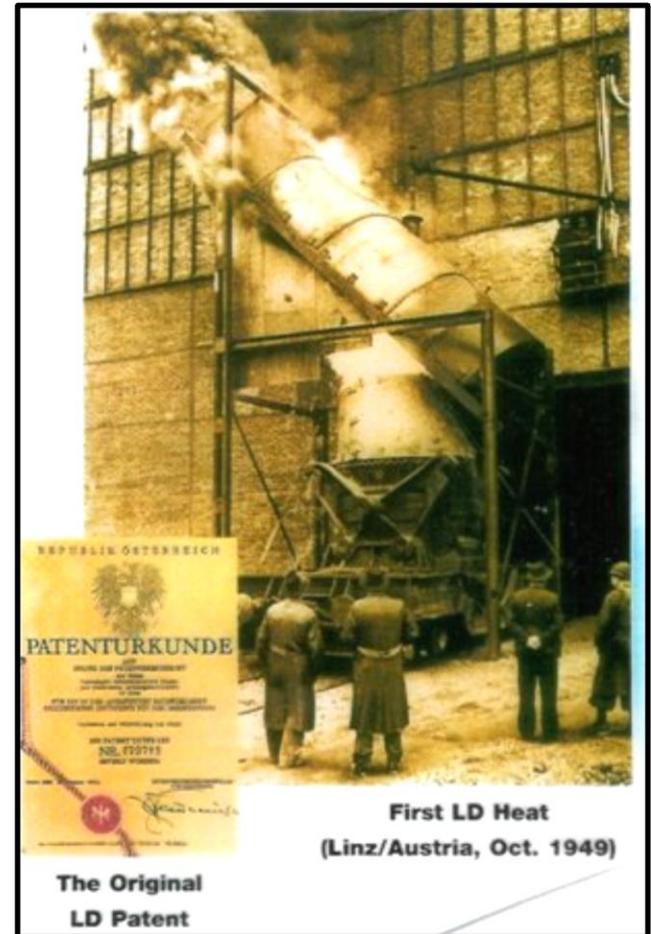
CONVERSOR LD

L : LINZ NA ÁUSTRIA (VOEST ALPINE) – 1952.

D: DONAWITZ NA ÁUSTRIA – 1953.



(COLPAERT)



CONVERSÃO DO FERRO GUSA EM AÇO OS CONVERTEDORES

DESCARREGAMENTO DO GUSA PARA OS CONVERTEDORES



ACIARIA ELÉTRICA



SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONVENCIONAL



SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONVENCIONAL

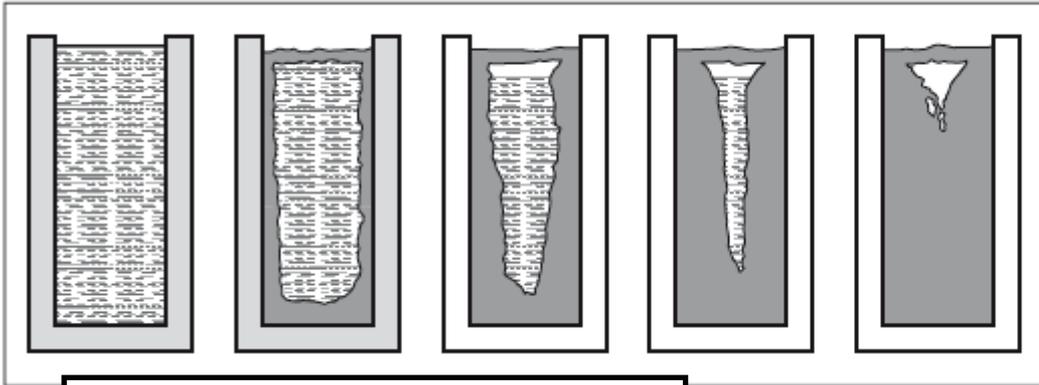
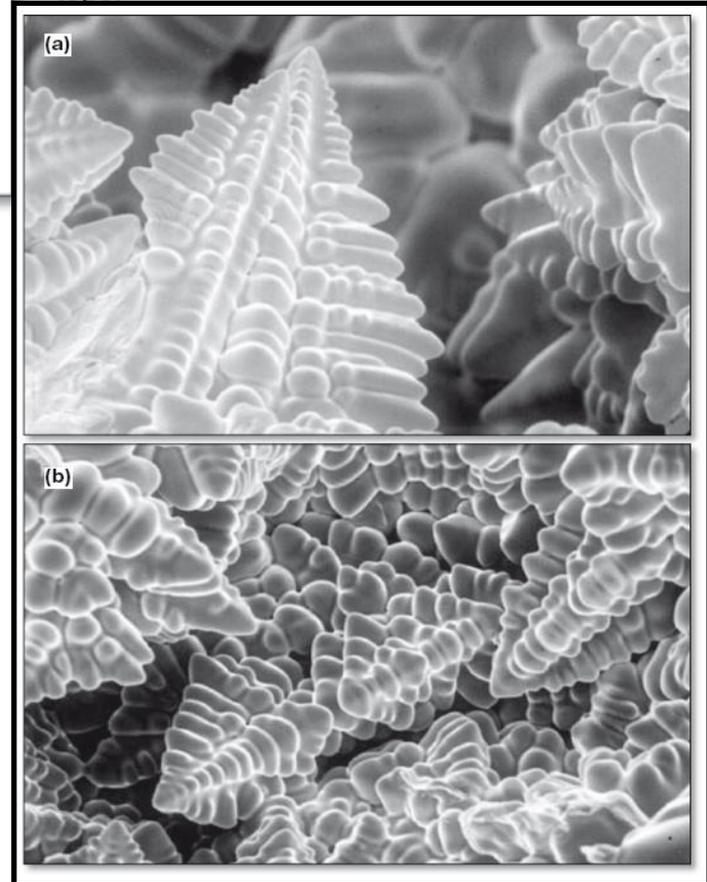


Figura 8.4

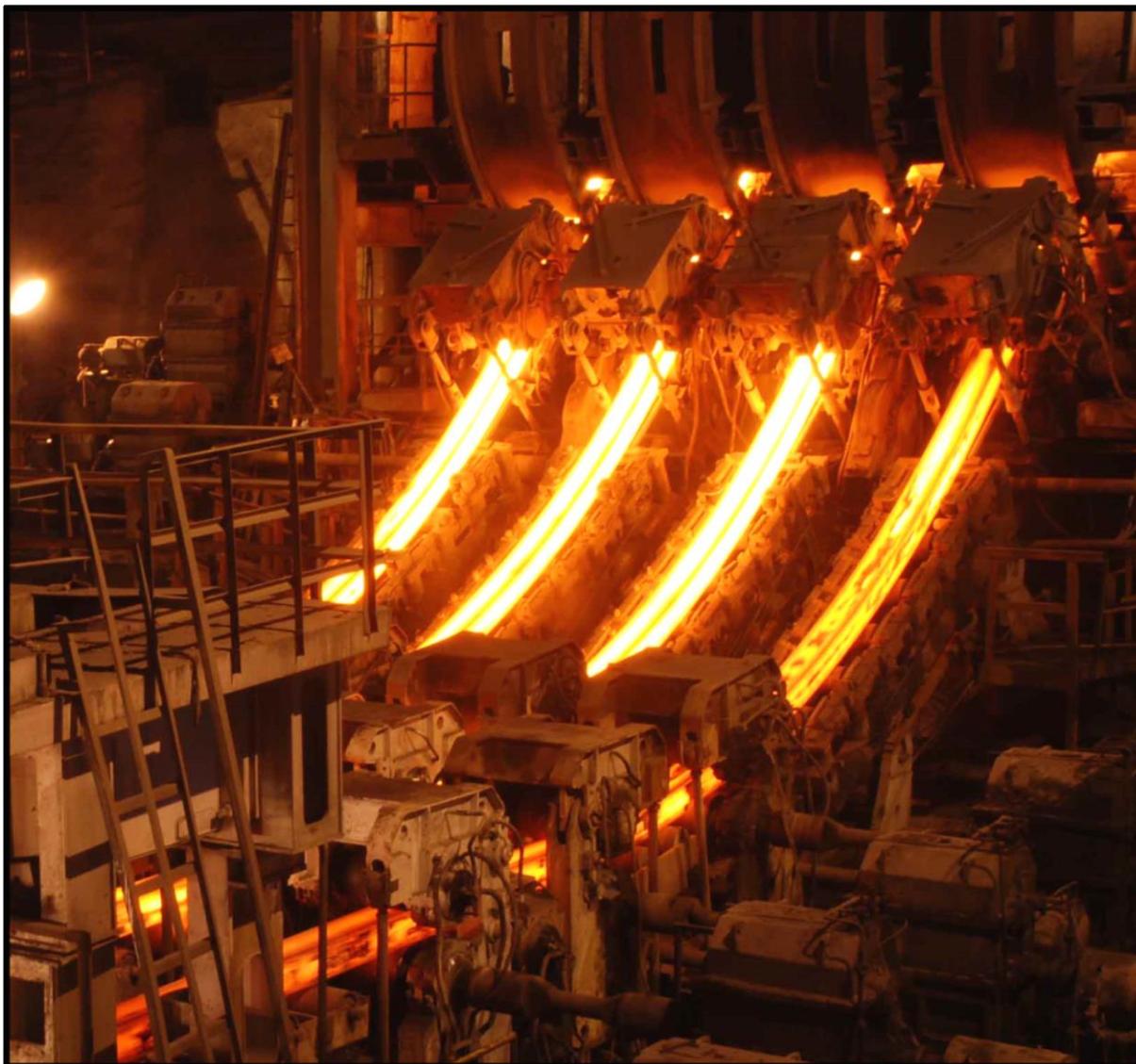
Progresso da solidificação em um molde metálico em que a extração de calor se passa, principalmente, pelas laterais e pela base e, de forma secundária, pelo topo.



(Colpaert)



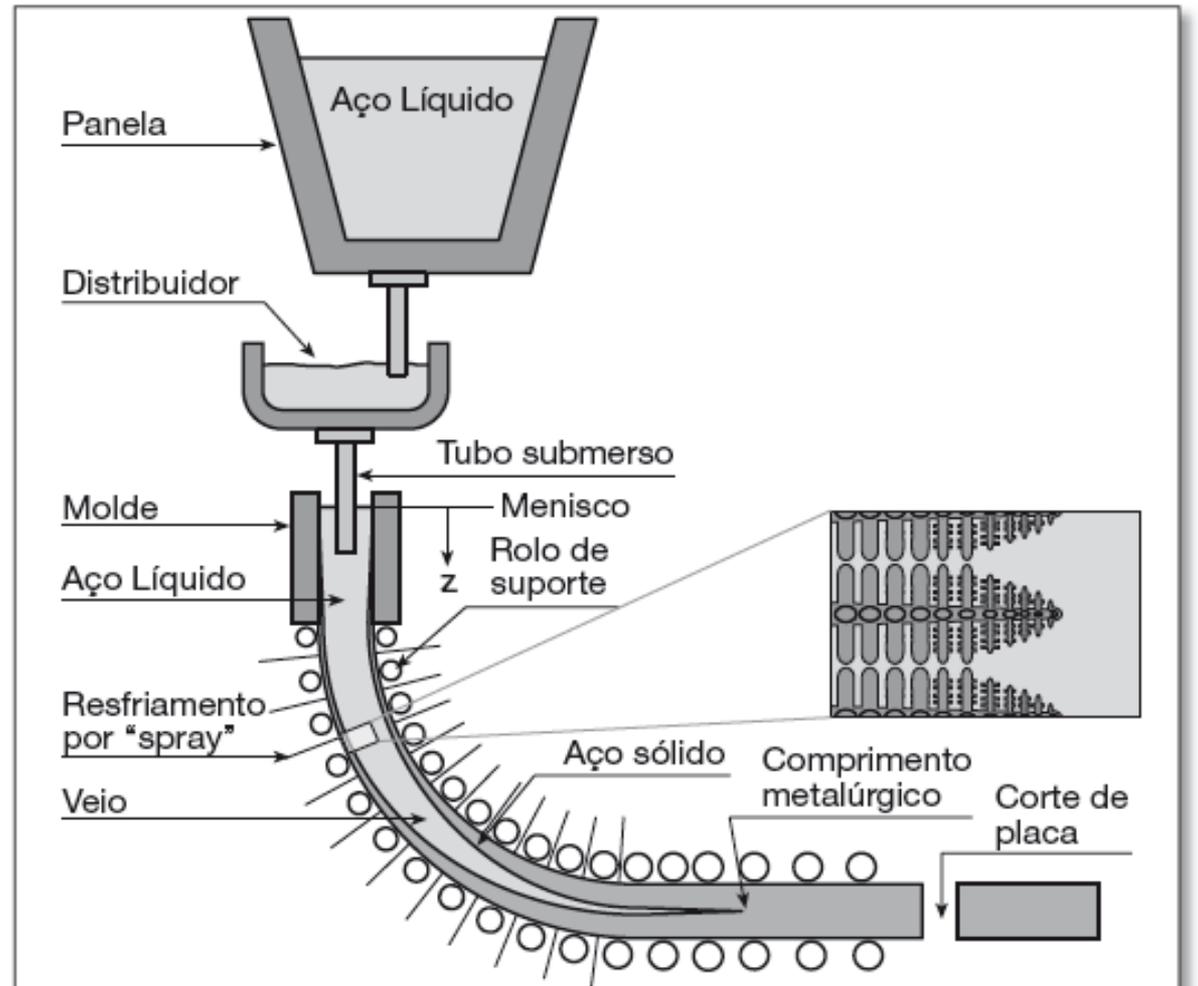
SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO



SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO

Figura 8.48

Esquema de uma máquina de lingotamento contínuo. A solidificação é concluída vários metros abaixo do nível do menisco formado no interior do molde (comprimento metalúrgico). Velocidades de lingotamento (ou do veio) da ordem de 1 a 2 m/min são típicas. Como o veio é curvo, a estrutura não é perfeitamente simétrica (ver Figura 8.52).

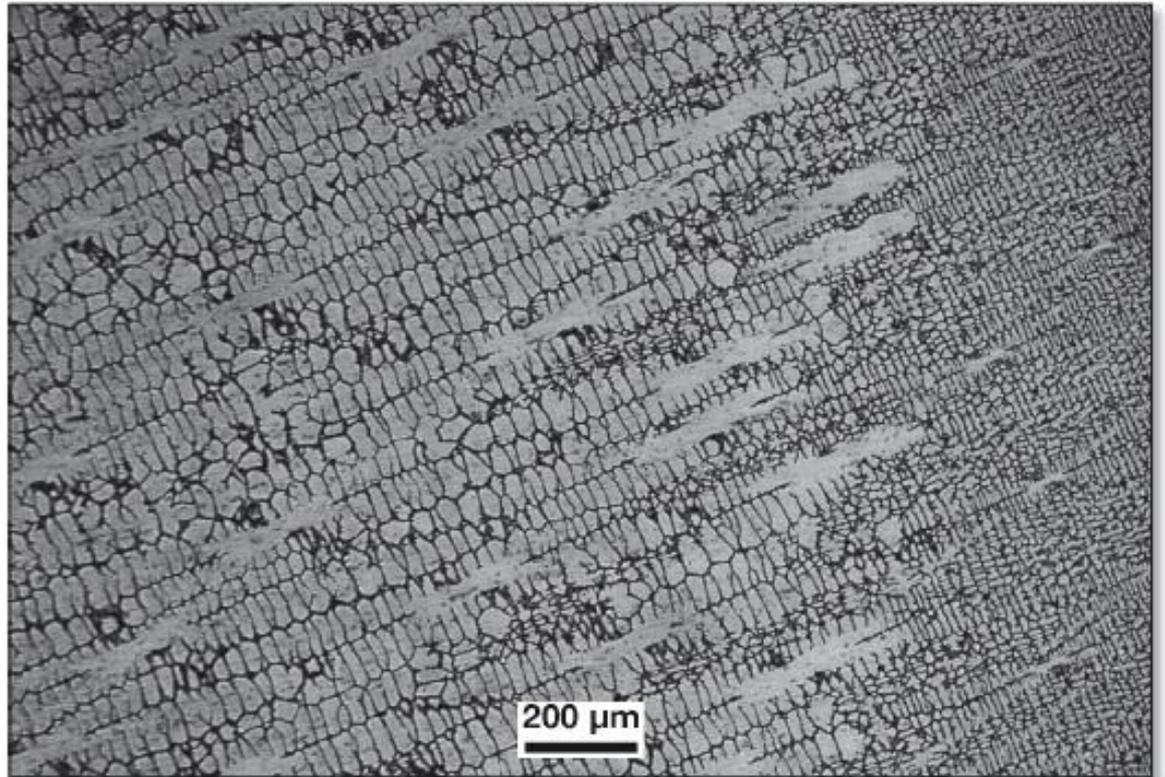


(Colpaert)

SOLIDIFICAÇÃO

Figura 8.20

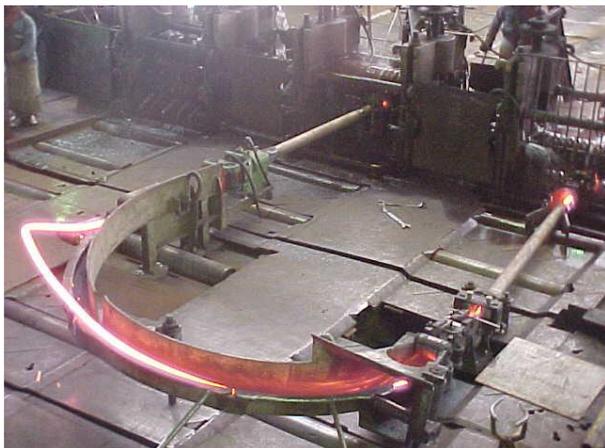
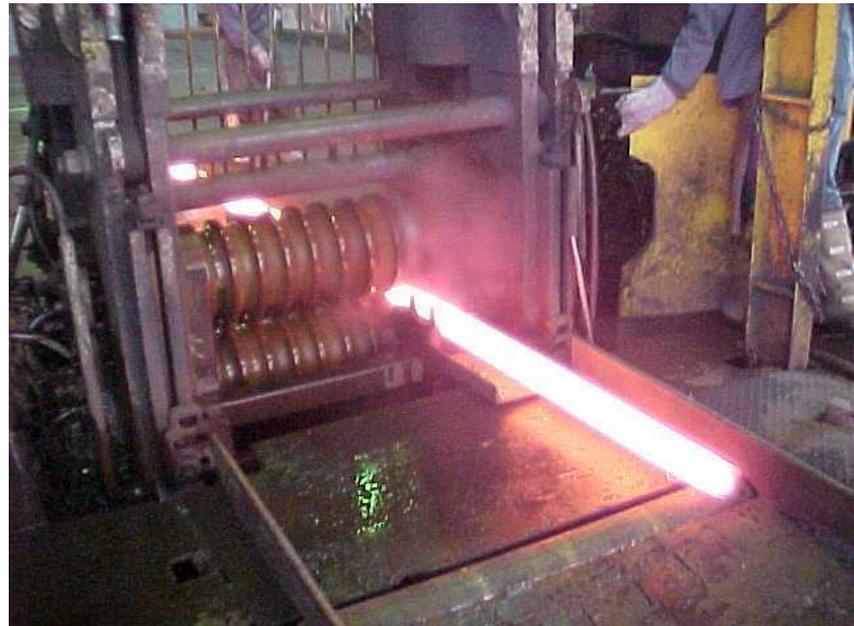
Macrografia de experimento de simulação de solidificação de liga 718⁽⁷⁾. A região à esquerda solidificou nas condições equivalentes ao centro de um lingote ESR (ver item 9.2) de 550 mm de diâmetro. A amostra foi então resfriada bruscamente, quando ocorreu o fim da solidificação de forma rápida, com espaçamento dendrítico mais fino (à direita). Cortesia A. Mitchell, University of British Columbia, Canadá.



(Colpaert)

**APÓS A SOLIDIFICAÇÃO, O LINGOTE É
SUBMETIDO AOS
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO
(DEFORMAÇÃO A QUENTE OU A FRIO)**

LAMINAÇÃO

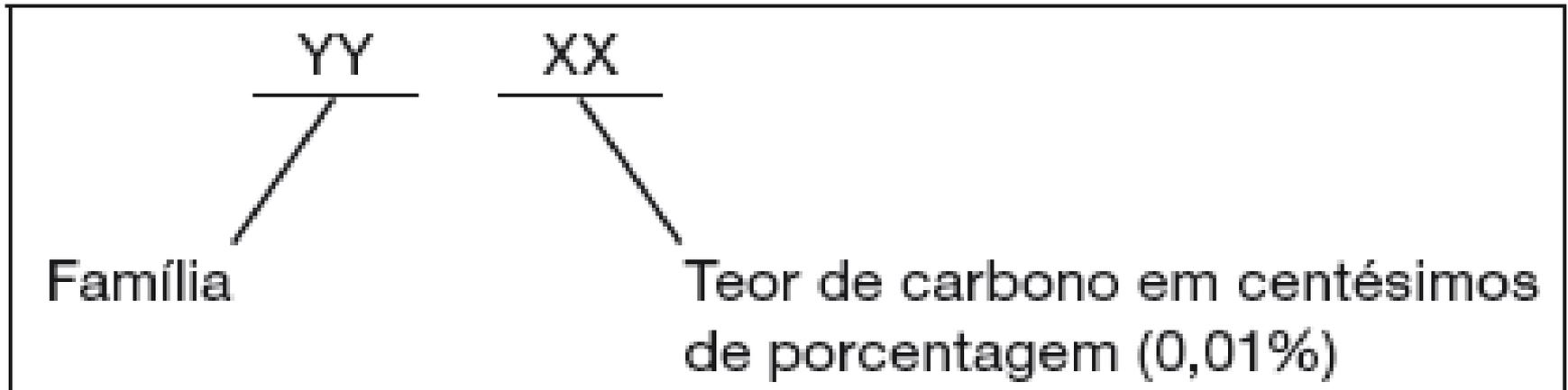


FORJAMENTO



CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

CLASSIFICAÇÃO SAE/AISI/ABNT



(Colpaert)

NORMAS

COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

- NORMA ABNT NM87
- NORMA SAE J 403 E J 404

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E

DUREZA:

- NORMA SAE J 1268

ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES

MECÂNICAS:

- NORMA SAE J 1397

NORMAS ASTM E DIN:

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E

PROPRIEDADES MECÂNICAS

CÓDIGO ASME: PETROQUÍMICA- SOLDAGEM-MATERIAIS-ENSAIOS

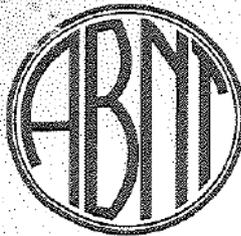
Tabela 10.1

Principais famílias de aços conforme a classificação ABNT (similar a AISI e SAE)

Aços carbono	10xx	Aço carbono
	11xx	Aço carbono resulfurado (corte fácil)
	12xx	Aço carbono resulfurado e refosforado (corte fácil)
Aços de baixa liga (construção mecânica)	13xx	Mn 1,75%
	23xx	NI 3,5%
	25xx	NI 5,0%
	31xx	NI 1,25%, Cr 0,65%
	33xx	NI 3,50%, Cr 1,55%
	40xx	Mo 0,25%
	41xx	Cr 0,50% ou 0,95%, Mo 1,12% ou 0,20%
	43xx	NI 1,80%, Cr 0,50% ou 0,80%, Mo 0,25%
	46xx	NI 1,55% ou 1,80%, Mo 0,20% ou 0,25%
	47xx	NI 1,05%, Cr 0,45%, Mo 0,20%
	48xx	NI 3,50%, Mo 0,25%
	50xx	Cr 0,80% ou 0,40%
	51xx	Cr 0,80% a 1,05%
	5xxxx	Cr 0,50% ou 1,00% ou 1,45%, C 1,00%
	61xx	Cr 0,80% ou 0,95%, V 0,10% ou 0,15% mínimo
	86xx	NI 0,55%, Cr 0,50% ou 0,65%, Mo 0,20%
87xx	NI 0,55%, Cr 0,50%, Mo 0,25%	
92xx	Mn 0,85%, Si 2,00%	
93xx	NI 3,25%, Cr 1,20%, Mo 0,12%	
98xx	NI 1,00%, Cr 0,80%, Mo 0,25%	

NORMAS

N-034.004.001



**ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Fax: (021) 220-1762/220-6436
Endereço Telegráfico:
NORMATÉCNICA

Copyright © 2000,
ABNT-Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

OUT 2000

NBR NM 87

Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química

Origem: NM 87:1996
ABNT/CB-28 - Comitê Brasileiro de Siderurgia
NBR NM 87 - Carbon steel and alloy steel for general engineering purpose -
Designation and chemical composition
Descriptors: Steel, Chemical composition
Esta Norma cancela e substitui a NBR 6006:1994
Válida a partir de 30.11.2000

Palavras-chave: Aço, Composição

19 páginas

COMPOSIÇÃO
QUÍMICA:
NORMA ABNT NM87

Designação COPANT del acero/ Designação COPANT do aço	Composición química de colada (%) (1) / Composição química de corrida (%) (1)						
	Carbono (C)	Manganeso/ Manganês (Mn)	Silicio (Si)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdeno/ Molibdênio (Mo)	Vanadio/ Vanádio (V)
1330	0,28-0,33	1,60-1,90	0,15-0,35	-	-	-	-
1345	0,43-0,48	1,60-1,90	0,15-0,35	-	-	-	-
3015	0,12-0,17	0,40-0,60	0,15-0,40	1,40-1,70	1,40-1,70	-	-
3115	0,13-0,18	0,40-0,50	0,15-0,35	1,10-1,40	0,55-0,75	-	-
3519	0,15-0,20	0,40-0,60	0,15-0,40	1,80-2,10	1,80-2,10	-	-
4015	0,12-0,20	0,40-0,80	0,10-0,35	-	-	0,25-0,35	-
4113	0,10-0,18	0,40-0,70	0,10-0,35	-	0,70-1,10	0,45-0,65	-
4117	0,15-0,22	0,60-0,90	0,10-0,40	-	0,85-1-15	0,10-0,40	-
4118	0,18-0,23	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,40-0,60	0,08-0,15	-
4120	0,17-0,22	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,30-0,50	0,40-0,50	-
4122	0,17-0,22	0,70-1,00	0,15-0,40	-	0,30-0,60	0,40-0,50	-
4125	0,23-0,28	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,40-0,60	0,20-0,30	-
4126	0,22-0,29	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4127	0,23-0,29	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,40-0,60	0,40-0,50	-
4130	0,28-0,33	0,40-0,60	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25	-
4133 ^A	0,29-0,35	0,60-0,85	0,15-0,35	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4135	0,33-0,38	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4136	0,30-0,37	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4137	0,35-0,40	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25	-
4140	0,38-0,43	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4141	0,38-0,45	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4142	0,40-0,45	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25	-
4145	0,43-0,48	0,75-1,00	0,15-0,30	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4150	0,48-0,53	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4151	0,46-0,54	0,50-0,80	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4161	0,56-0,64	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,70-0,90	0,25-0,35	-
4210	0,08-0,15	0,40-0,70	0,50 max.	-	2,00-2,50	0,90-1,20	-
4320	0,17-0,22	0,45-0,65	0,15-0,35	1,65-2,00	0,40-0,60	0,20-0,30	-
4340	0,38-0,43	0,60-0,80	0,15-0,35	1,65-2,00	0,70-0,90	0,20-0,30	-
4517	0,15-0,20	0,40-0,60	0,15-0,40	1,40-1,70	1,50-1,80	0,25-0,35	-
4534	0,30-0,38	0,40-0,70	0,15-0,40	1,40-1,70	1,40-1,70	0,15-0,30	-
4620	0,17-0,22	0,45-0,65	0,15-0,35	1,65-2,00	-	0,20-0,30	-
4720	0,17-0,22	0,50-0,70	0,15-0,35	0,90-1,20	0,35-0,55	0,15-0,25	-
4815	0,13-0,18	0,40-0,60	0,15-0,35	3,25-3,75	-	0,20-0,30	-
4820	0,18-0,23	0,50-0,70	0,15-0,35	3,25-3,75	-	0,20-0,30	-
5016	0,12-0,18	0,40-0,60	0,15-0,40	-	0,40-0,70	-	-
5046	0,43-0,48	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,20-0,35	-	-
5060	0,56-0,64	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,40-0,60	-	-
5115	0,13-0,18	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,70-0,90	-	-
5116	0,14-0,19	1,00-1,30	0,15-0,35	-	0,80-1,10	-	-
5120	0,17-0,22	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,70-0,90	-	-
5121 ^B	0,17-0,22	1,10-1,40	0,15-0,35	-	1,00-1,30	-	-
5123 ^C	0,20-0,25	0,60-0,80	0,12 max	-	0,80-1,00	-	-
5125 ^C	0,23-0,28	0,60-0,80	0,12 max	-	0,80-1,00	-	-
5130	0,28-0,33	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,80-1,10	-	-
5132	0,30-0,35	0,60-0,80	0,15-0,35	-	0,75-1,00	-	-

NORMAS DIN

COMO INTERPRETAR A NOMENCLATURA DE AÇOS NA NORMA DIN

AÇOS CARBONO

Podem ser classificados de duas formas: **pelo limite de resistência à tração** ou **pela composição química**.

Pelo **limite de resistência à tração**, utiliza-se o símbolo St (de stahl, que significa aço em alemão), seguido do limite de resistência à tração mínimo.

Ex: **St 42** – aço com limite de resistência à tração mínimo de **42 kgf/mm²**.

NORMAS DIN

Pela **composição química**, emprega-se a letra C seguida do teor de carbono multiplicado por 100.

Ex: **C 45** - aço com teor médio de carbono de **0,45%**. Equivalente ao **SAE/ABNT 1045**

NORMAS DIN

AÇOS LIGADOS

No caso de **aços baixa liga**, estes são representados de acordo com o seguinte exemplo:

Aço DIN 42 Cr Mo 4, da norma DIN EN 10083-3 (equivalente ao **SAE4140**):

- **42** é o teor de **carbono** multiplicado por 100 (ou seja **0,42%**);
- **Cr e Mo** são símbolos dos elementos de liga;
- **4** é o multiplicador do teor do elemento de liga em maior quantidade .

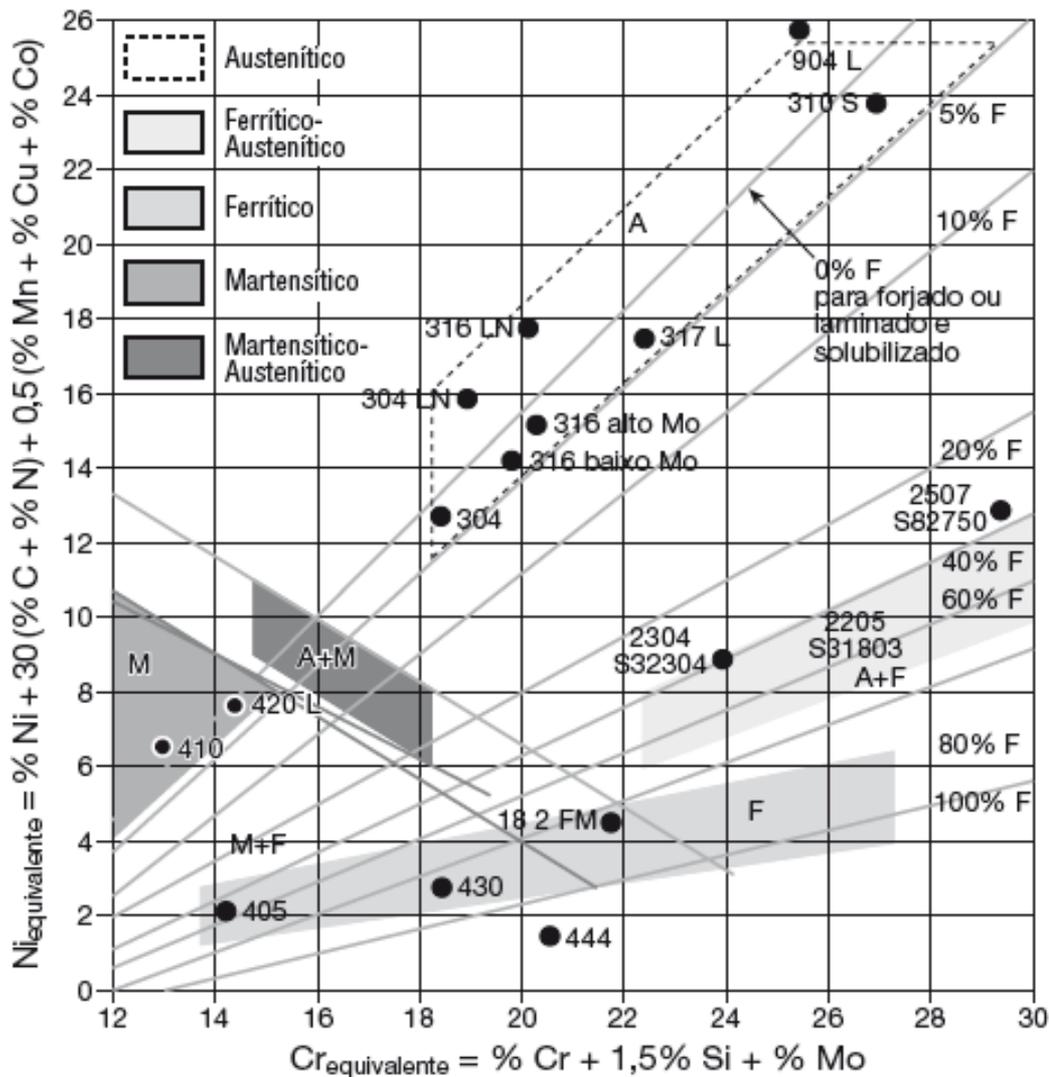
EQUIVALÊNCIA ENTRE NORMAS

5.1.3 - AÇOS LIGADOS PARA BENEFICIAMENTO

QUAL. GERDAU	ABNT/SAE AISI/ASTM	DIN	UNI	JIS	BS	AFNOR
1330	1330	(30Mn5)	-	(SMn 2H)	(120M36)	-
4037	4037	-	-	-	(605A37)	-
41 Cr 4	5140	41Cr4	41Cr4	SCr 4H	(530H40)	42C4
4130	4130	(30CrMo4)	(30CrMo4)	SCM 3H	(708A30)	(30CD4)
4140	4140	(42CrMo4)	(42CrMo4)	(SCM 4H)	(708M40)	(42CD4)
4142	4142	41CrMo4	41CrMo4	(SCM 4H)	(708A42)	(42CD4)
4150	4150	(50CrMo4)	-	(SCM 5H)	(708A47)	-
42CrMo4	(4140)	42CrMo4	42CrMo4	(SCM 24H)	708M40	42CD4
4340	4340	(40CrNiMo6)	-	(SNM 21H)	(817M40)	(35NCD6)

AÇOS INOXIDÁVEIS

(ADAPTADO: COLPAERT)



ÁÇOS INOXIDÁVEIS:

ALTO Cr > 12%

CARBONO ABAIXO DE 0,10%.

AUSTENÍTICOS: SÉRIE 300 – Cr (16- 30%) E Ni (8-35%) EX: 316, 304.

MARTENSÍTICOS: SÉRIE 400- Cr(11-18%) EX: 410, 420.

DUPLEX: Cr(18-27%), Ni(4-7%) E Mo(1-4%). EX: 2205.

FIM