

METAIS E LIGAS



Resistência Mecânica (INDICAÇÕES - ppdds)



LIGAS METÁLICAS PARA FUNDIÇÃO



METAIS

DEFINIÇÃO (QUÍMICA):

“Todo elemento que em solução se ioniza positivamente”

(Materiales Dentales, Macchi, 1980)

METAIS

DEFINIÇÃO - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

- é um elemento, substância ou liga em que os átomos e suas ligações estão arranjados em forma muito ordenada.
- possuem núcleos iônicos na sua estrutura atômica, e um, dois ou no máximo três elétrons de valência.
- os elétrons de valência possuem certa liberdade por ser pouco atraído pelo núcleo do átomo, o que lhes confere certa liberdade, favorecendo a formação de cátions e a ligação iônica dos metais a elementos não-metálicos.
- são relativamente densos em comparação aos polímeros e as cerâmicas.

METAIS

DEFINIÇÃO - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

- estruturas tipicamente **cristalinas** (os átomos estão posicionados em um arranjo repetitivo ou periódico ao longo de grandes distâncias atômicas)
- **bons condutores térmicos e de eletricidade devido a sua estrutura atômica e principalmente pelos elétrons de valência**

METAIS

“Metal é uma substância química opaca brilhante, boa condutora de calor e eletricidade e, quando polida, boa refletora de luz” (Metals Handbook, 1992).

TABELA PERIÓDICA

The periodic table is presented in a 3D block format. Elements are color-coded by groups: Metals (yellow), Non-metals (pink), Semimetals (green), and Noble gases (blue). The table includes element symbols, atomic numbers, and names. A detailed callout for Boron (B) shows its atomic number (5), electronic configuration (1s² 2s² 2p¹), and atomic mass (10.811).

Legend:

- Metals (Yellow)
- Non-metals (Pink)
- Semimetals (Green)
- Noble gases (Blue)
- Gases (H, U)
- Solids (U)
- Liquids (Hg)
- Artificial (Yb)

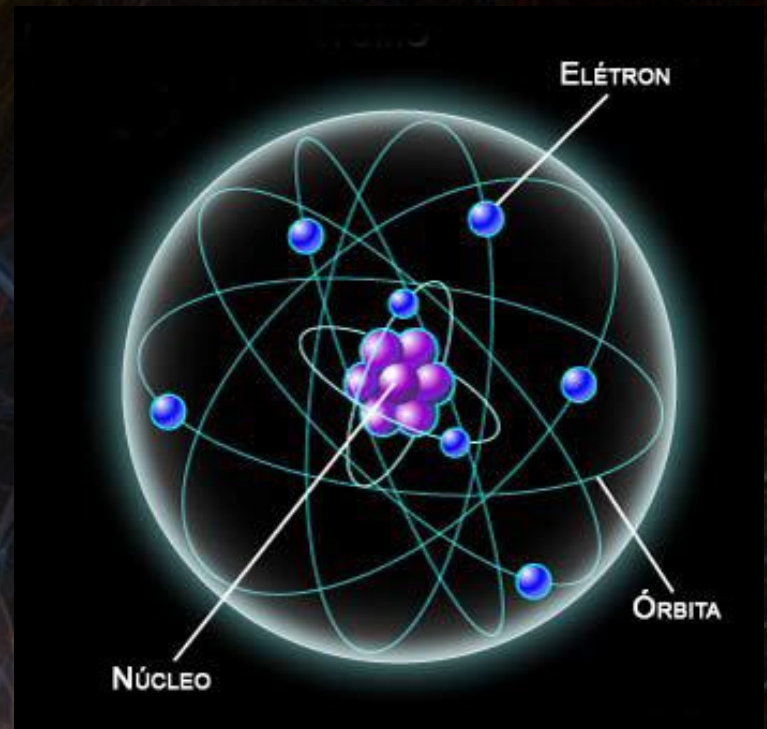
Callout for Boron (B):

- Número atômico: 5
- Configuração eletrônica: 1s² 2s² 2p¹
- Massa atômica (padrão ¹²C = 12): 10,811

Observações:

1. Massas atômicas limitadas a cinco algarismos significativos, IUPAC-1989.
2. (*) Refere-se ao isótopo com meia-vida mais longa.
3. Elementos 104 a 109: IUPAC - 30/08/97

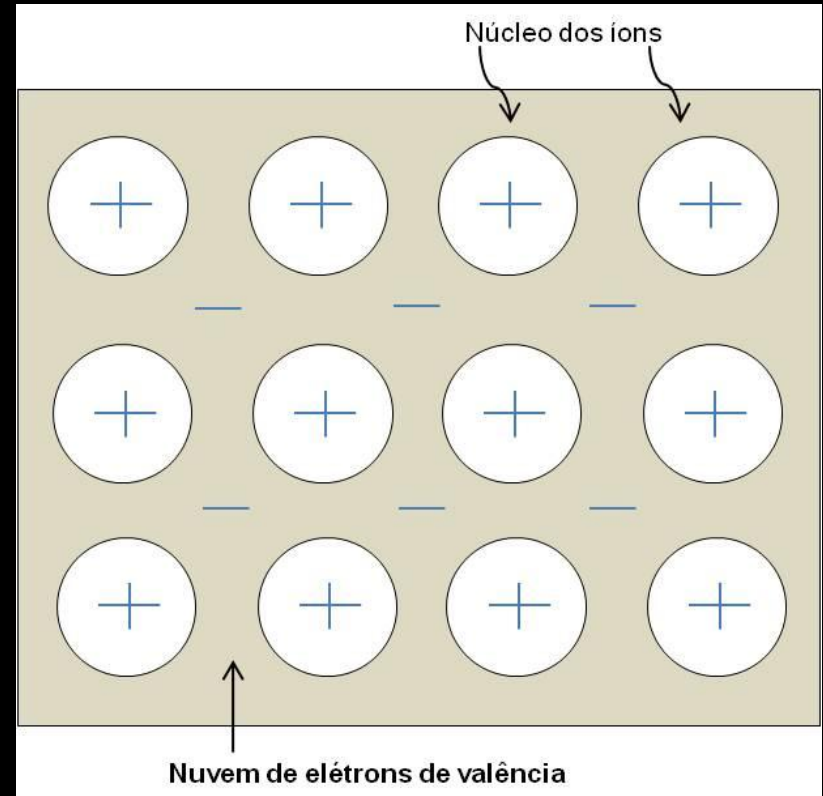
ÁTOMO



K	—	1s				
L	—	2s	2p			
M	—	3s	3p	3d		
N	—	4s	4p	4d	4f	
O	—	5s	5p	5d	5f	
P	—	6s	6p	6d		
Q	—	7s	7p			

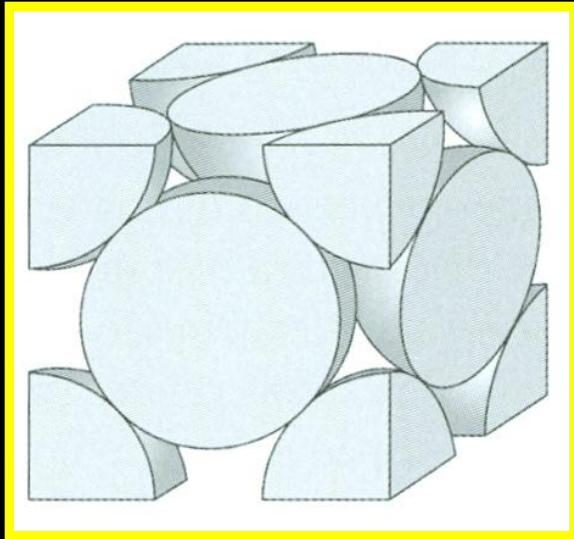
LIGAÇÕES

- Ligações Primárias
- Liberdade dos Elétrons de Valência
- Superfície – Presença da Nuvem de Elétrons
- Demais Elétrons formam os Núcleos Iônicos

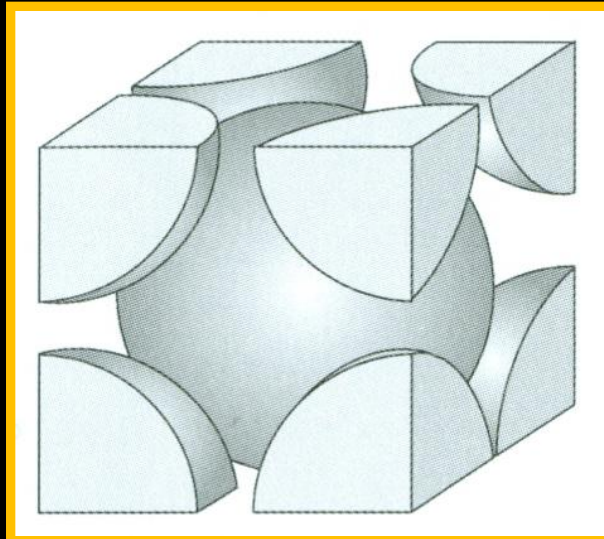


Estruturas Cristalinas dos Metais

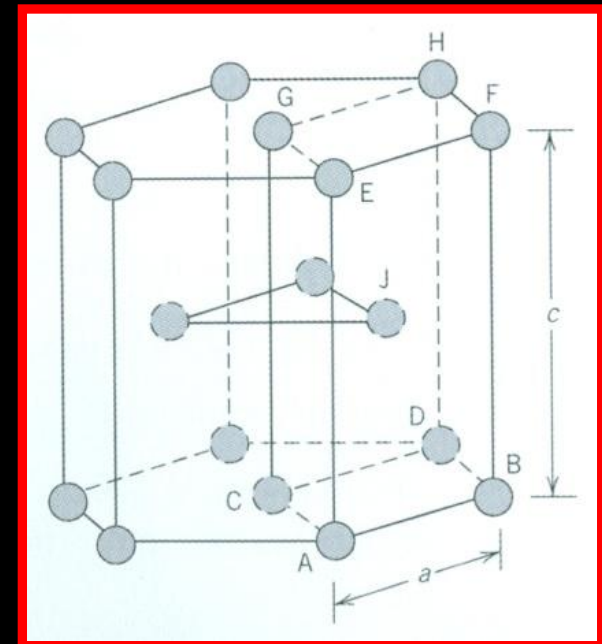
- Cúbica de Face Centrada
- Cúbica de Corpo Centrado
- Hexagonal Compacta



FEA = 0,74

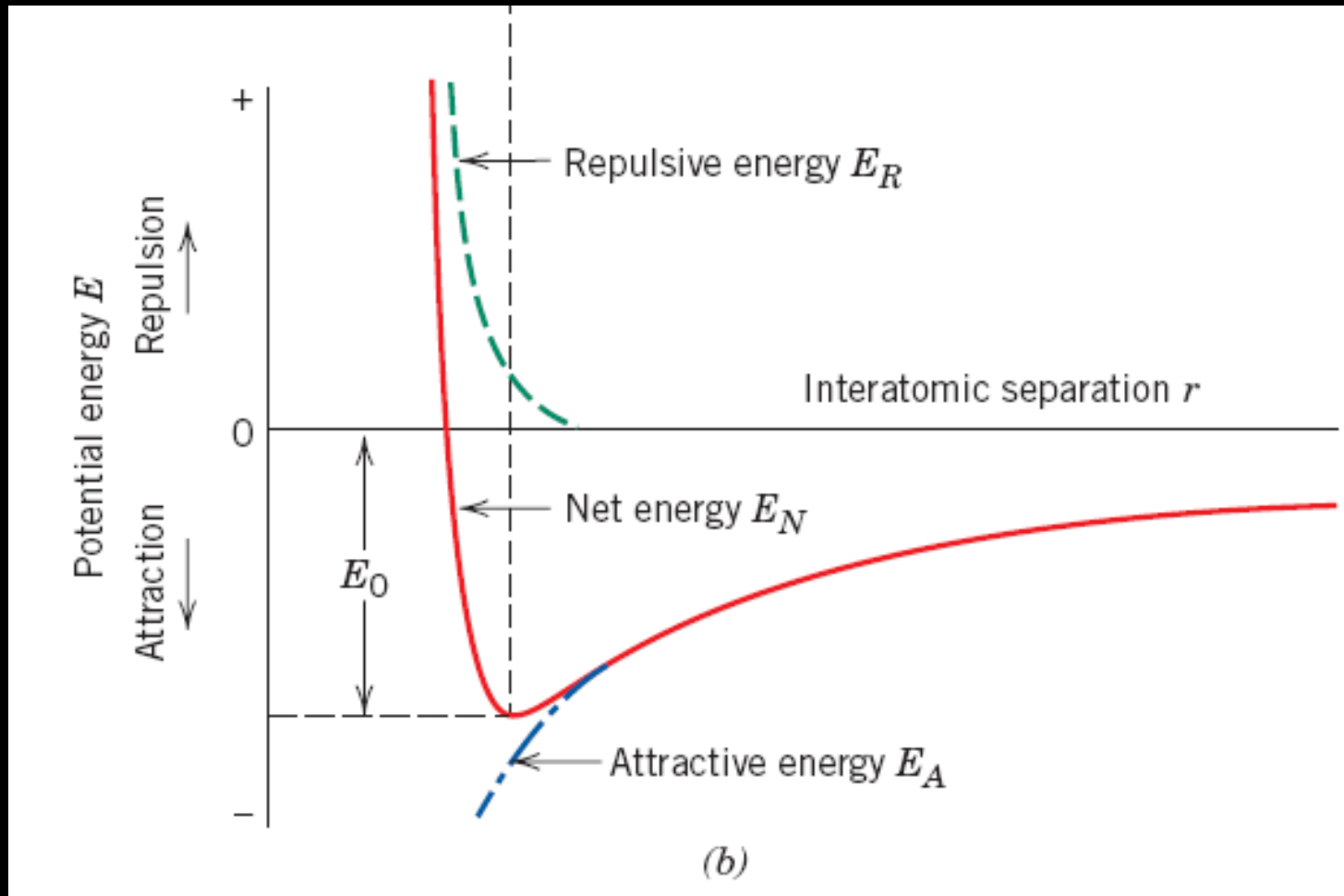


FEA = 0,68



FEA = 0,74

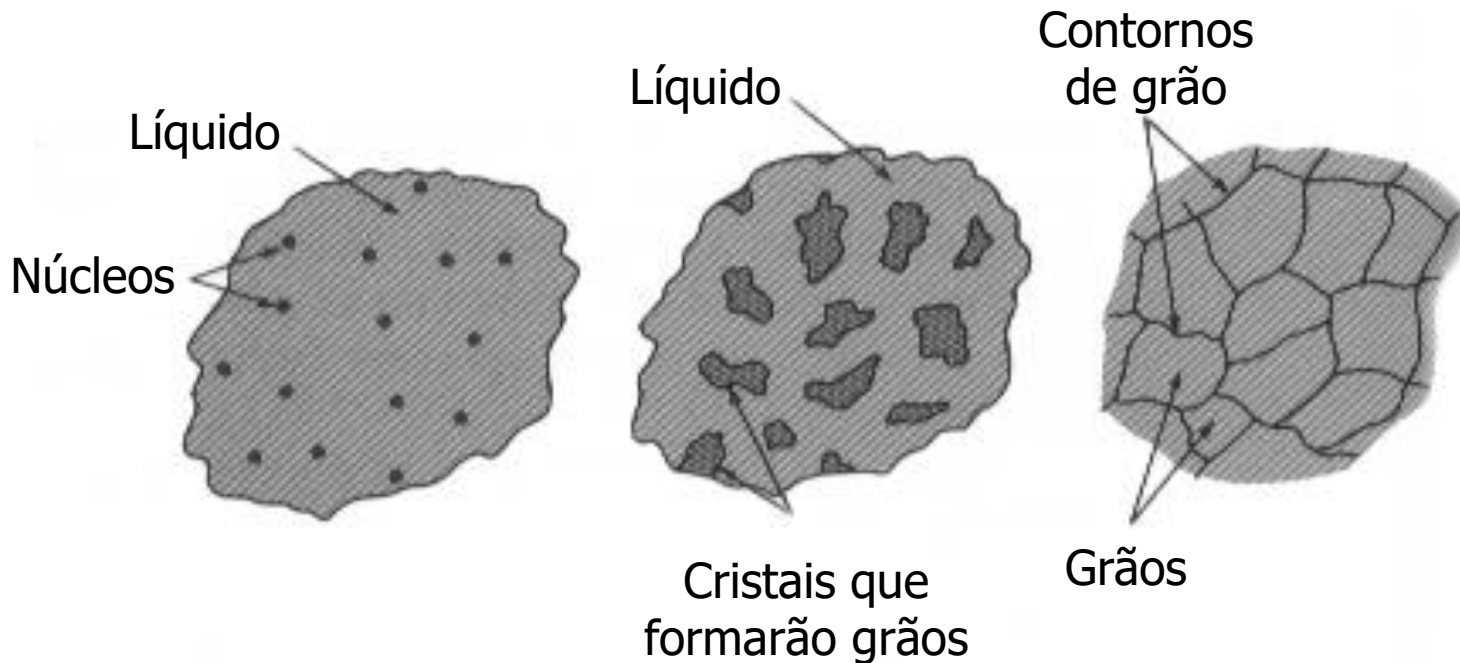
DISTÂNCIA DE EQUILÍBRIO



A dependência das **energias** repulsiva, atrativa e resultante em relação à separação interatômica para dois átomos isolados

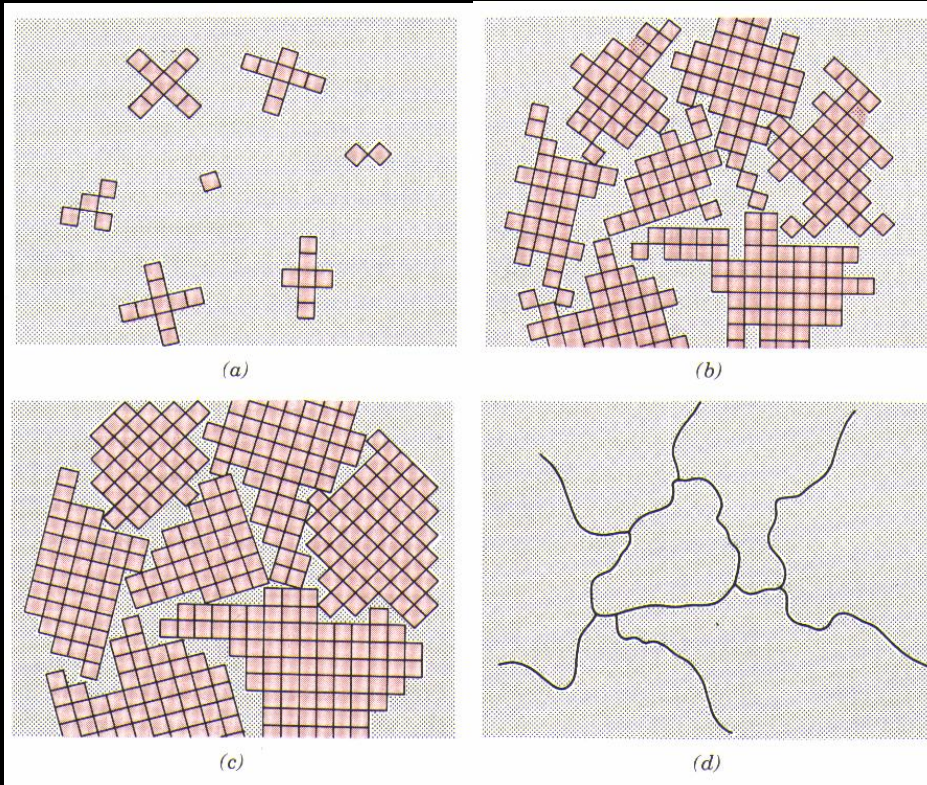
SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS

Processo de nucleação e crescimento

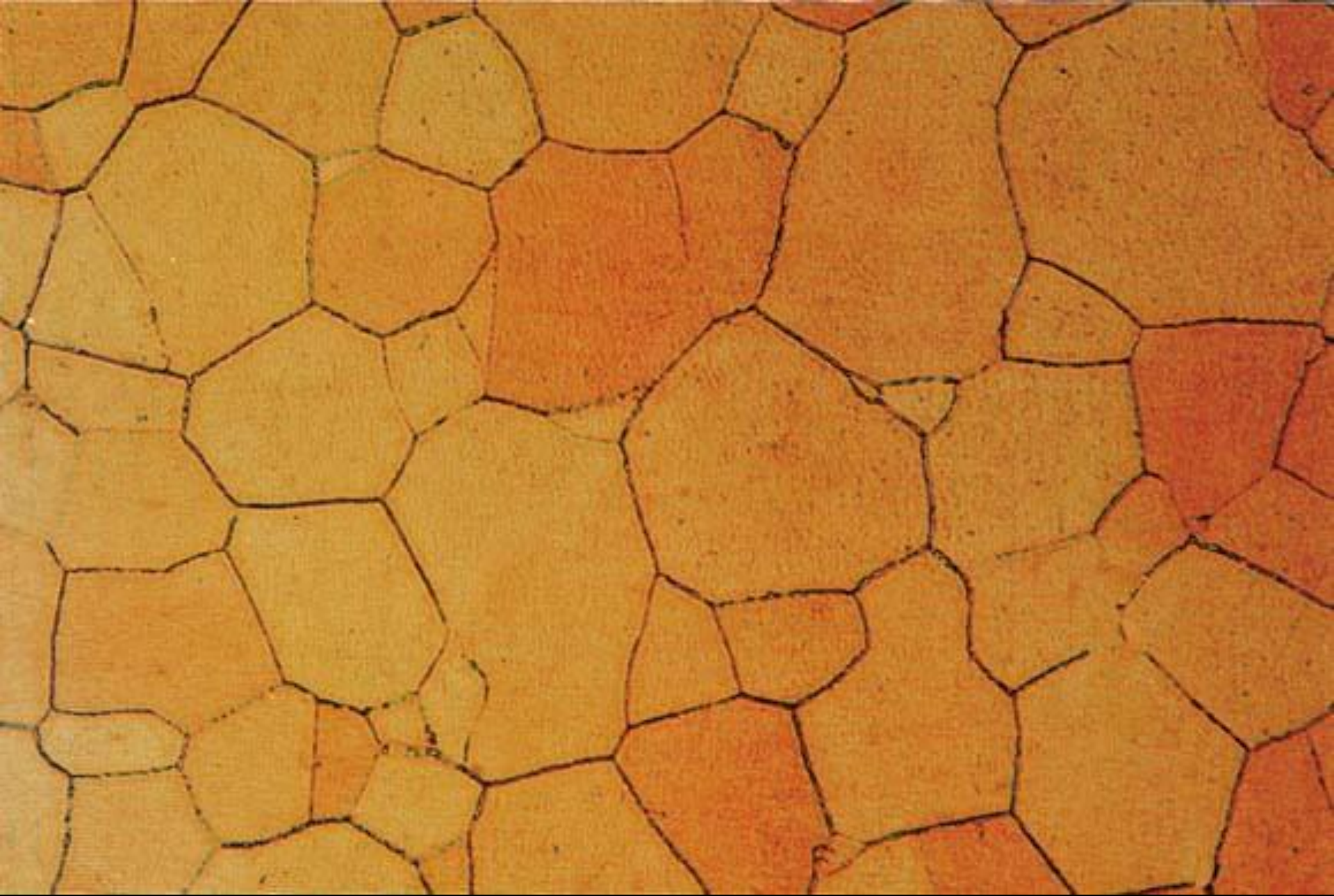


SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS

Formação dos grãos

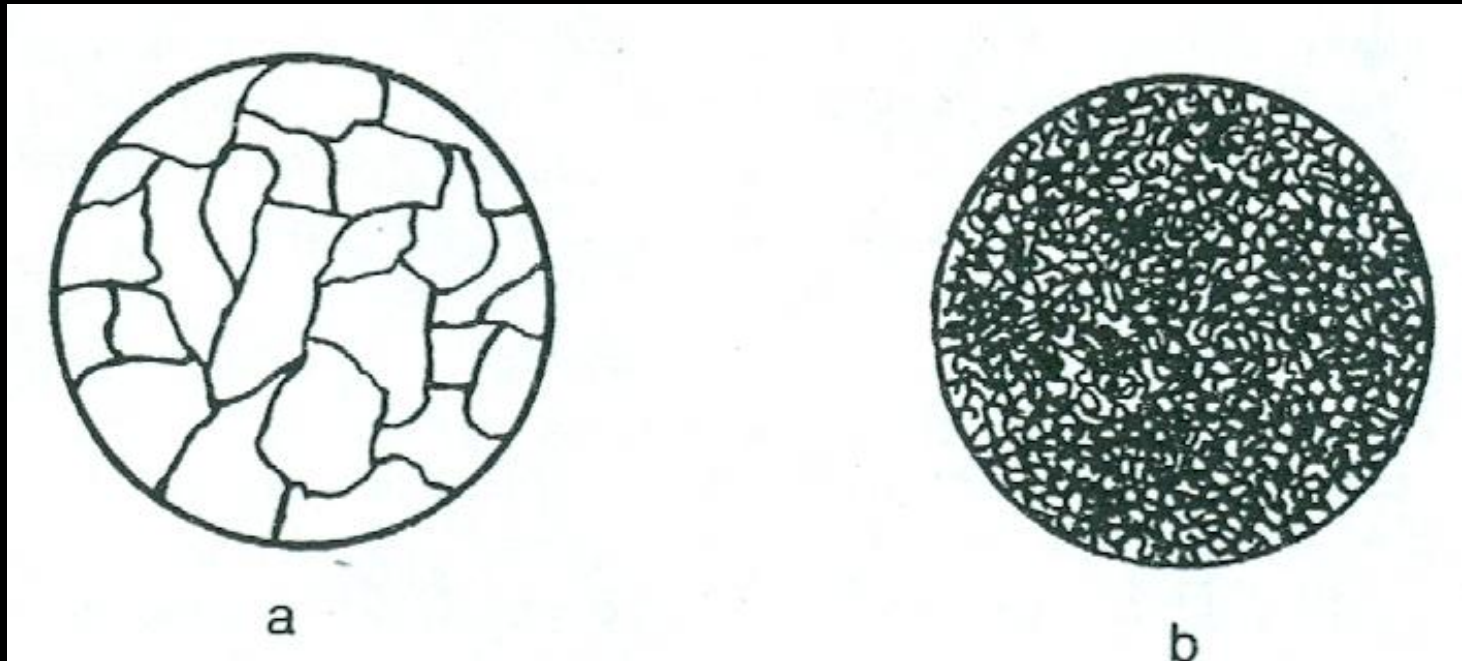


- Os grãos são formados no início do processo de solidificação a partir de pequenos agrupamentos de átomos chamados de núcleos.
- Cada núcleo da origem à um grão com crescimento cristalográfico em direção diferente de seus vizinhos.
- Quando resta pouco líquido e os diferentes grãos começam a se encontrar, formam o contorno de grão.
- O contorno de grão é uma região de 2 a $10\text{\AA}$, desordenada, sem uma estrutura cristalina definida, sendo portanto uma região de maior energia que a do interior do grão.



TAMANHO DO GRÃO

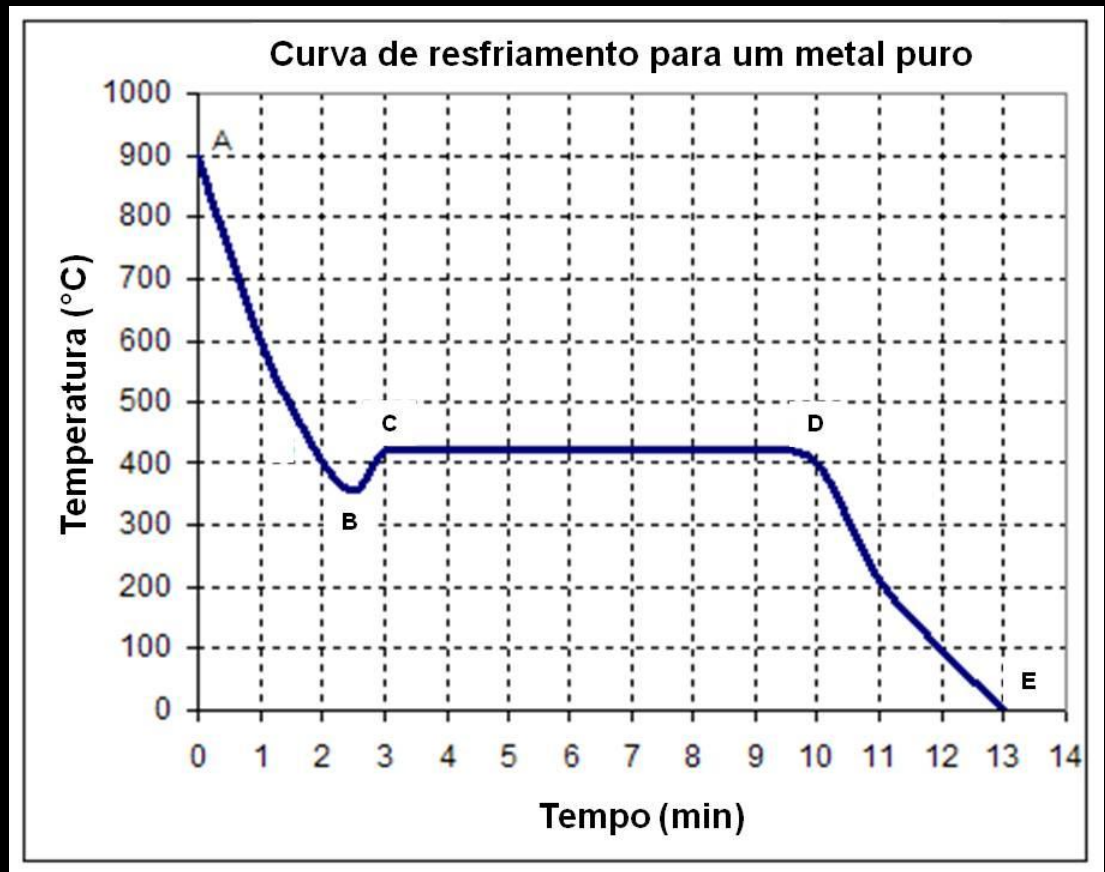
- Dependem da Velocidade de Resfriamento
- Resfriamento Lento → Poucos Núcleos (a)
- Resfriamento Rápido → Muitos Núcleos (b)
- O tamanho pode ser controlado → Agregando Impurezas
 - Formam Núcleos
 - Regulam o Resfriamento



CURVA DE RESFRIAMENTO

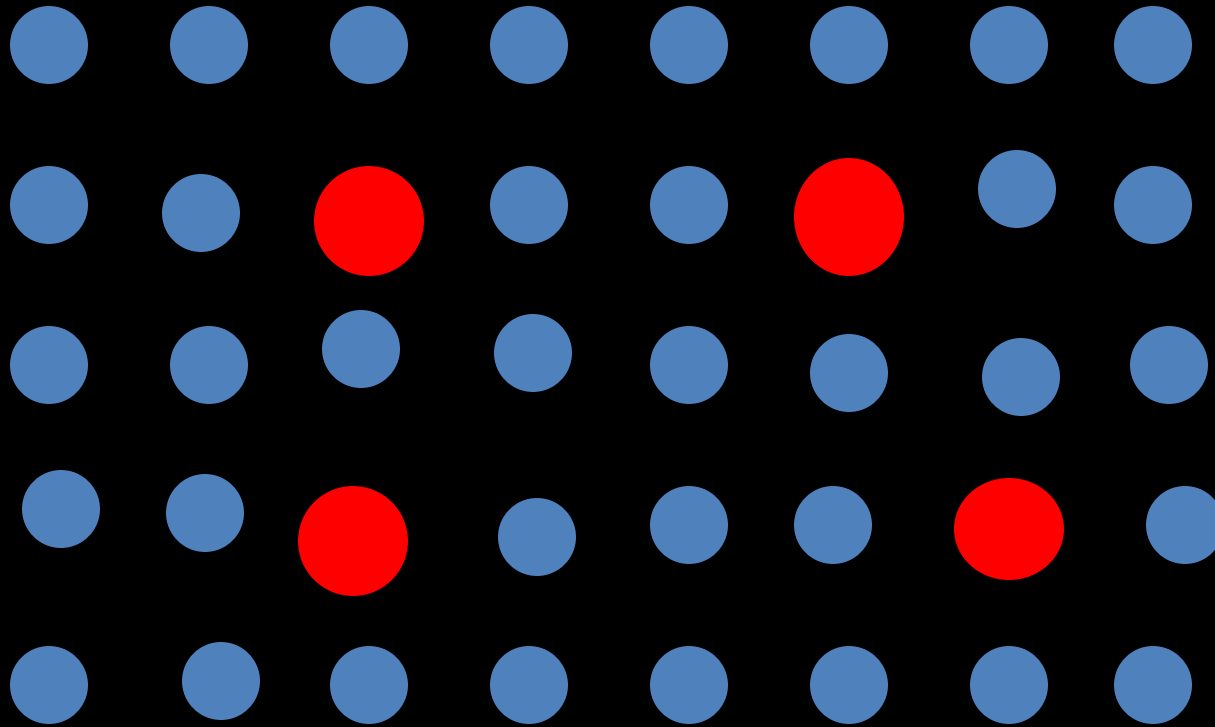
Ponto B – Formação de Núcleos
– Exotermia

Ponto C a D – Temperatura de
Solidificação ou Fusão



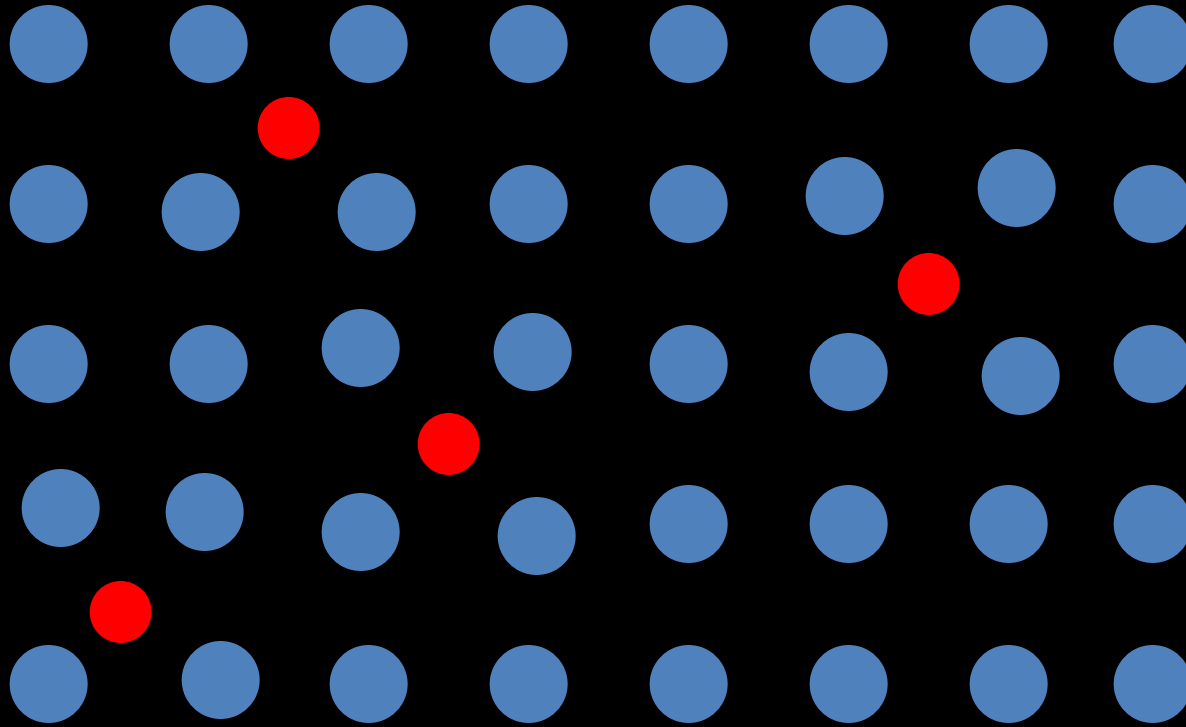
METAIS e LIGAS

- Metais Puros
- Ligas Metálicas → são misturas de pelo menos dois metais (elementos químicos) diferentes com a intenção principal de:
 - ↑ Resistência Mecânica



Similariedade - Tamanho Atômico até 15%
- Mesmo Arranjo Micro Estrutural

- Átomos e Íons substituem uns aos outros na grade estrutural →
Solução Sólida Substitucional



Similariedade - Entre os Elementos

- Tamanho Atômico $< 60\%$

- Átomos Menores entre Maiores → Solução Sólida Intersticial

METAIS e LIGAS

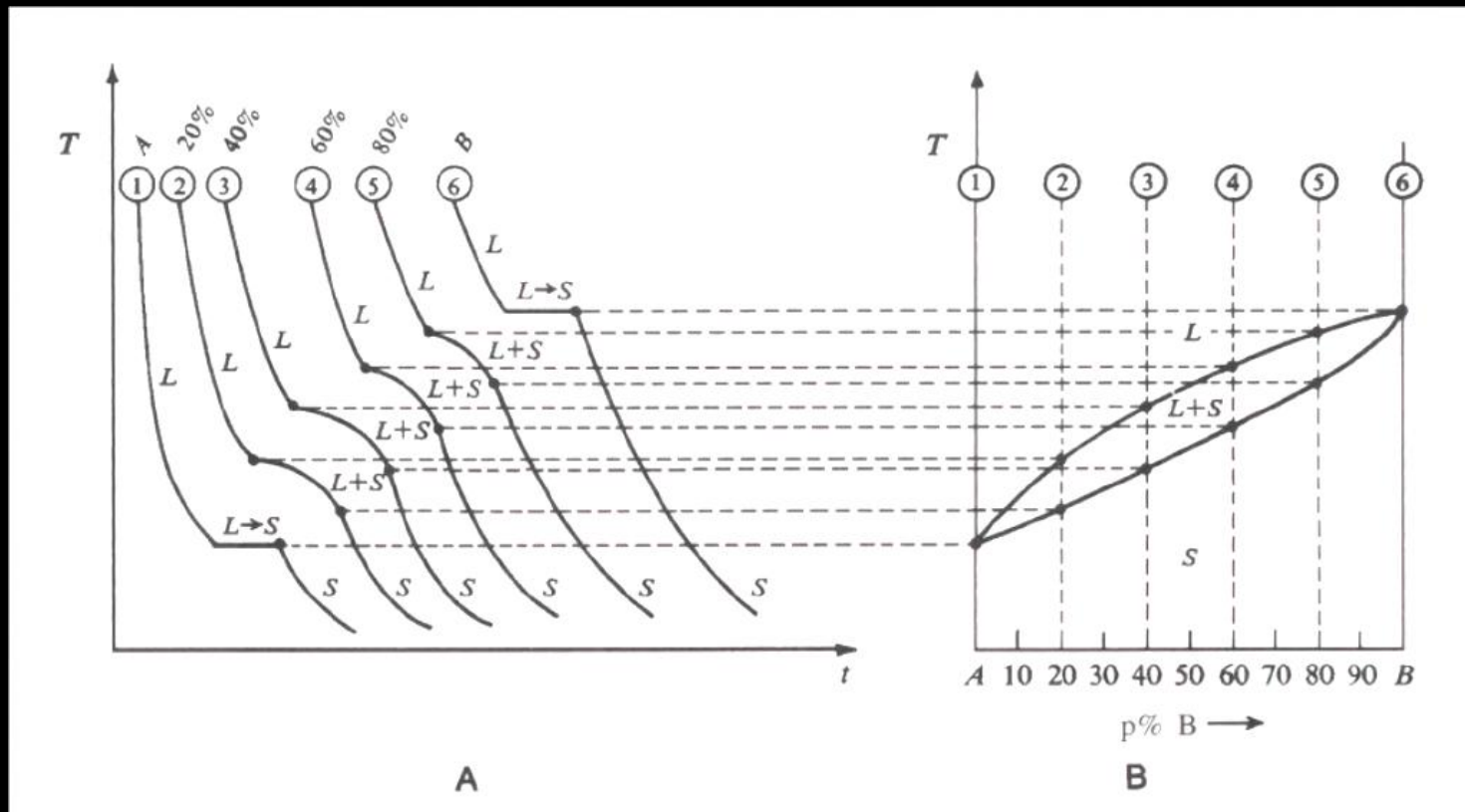
- **Solução Sólida :**
- **Solvente** – representa o elemento ou o composto que está presente na **maior quantidade**
- **Soluto** – é o elemento ou composto que está presente na **menor quantidade**

LIGAS METÁLICAS

- Estado Líquido → Homogêneo
- Estado Sólido → pode haver Segregação
→ Heterogênea

LIGAS METÁLICAS

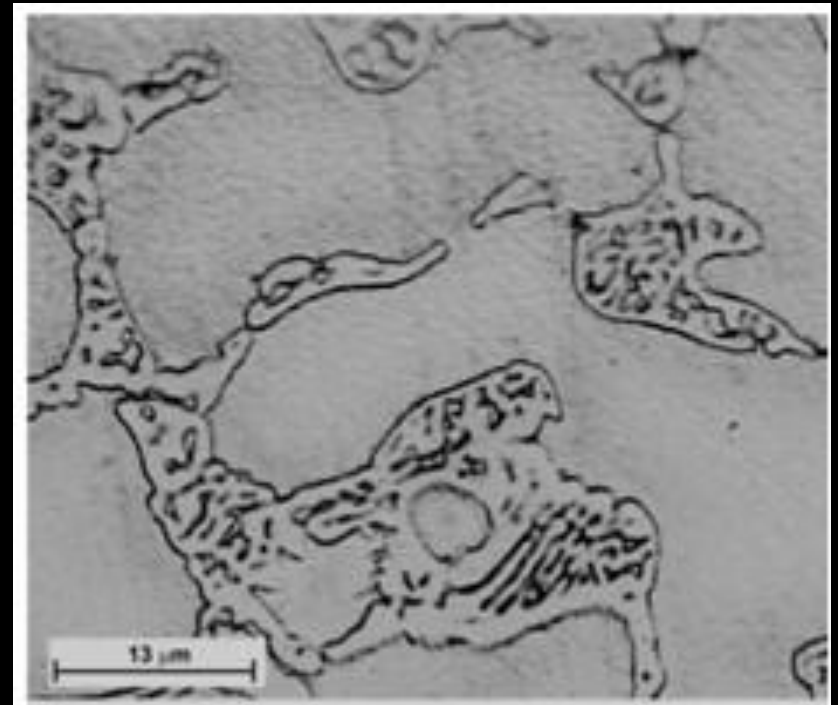
Diagrama de Equilíbrio



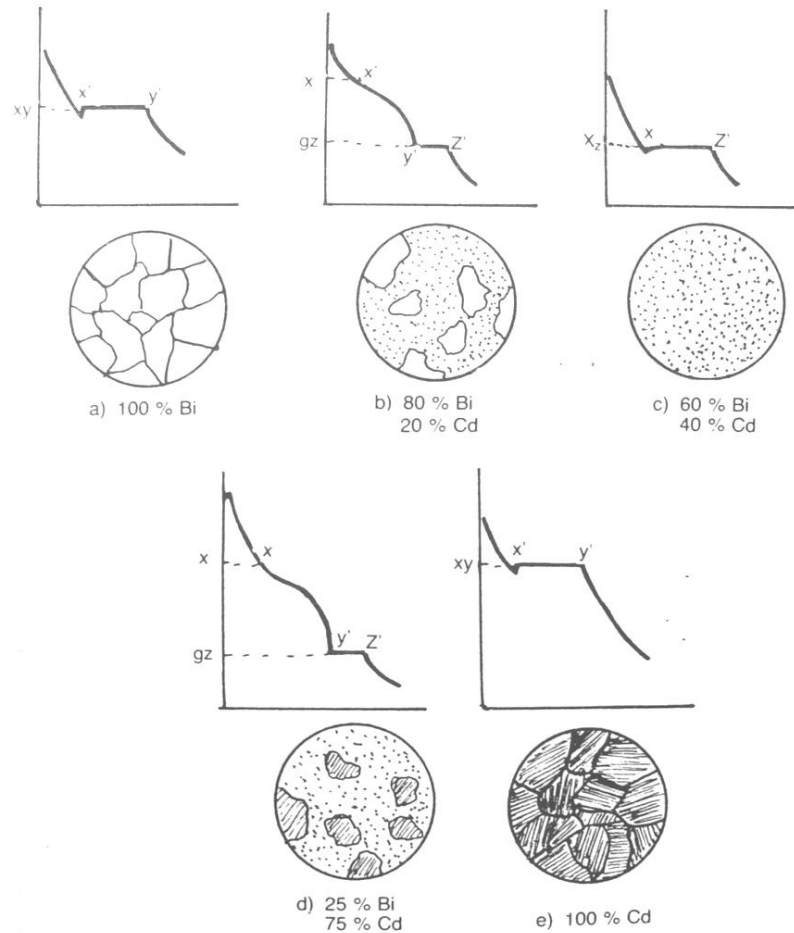
LIGAS METÁLICAS

Ligas Eutéticas (que funde em temperatura inferior)

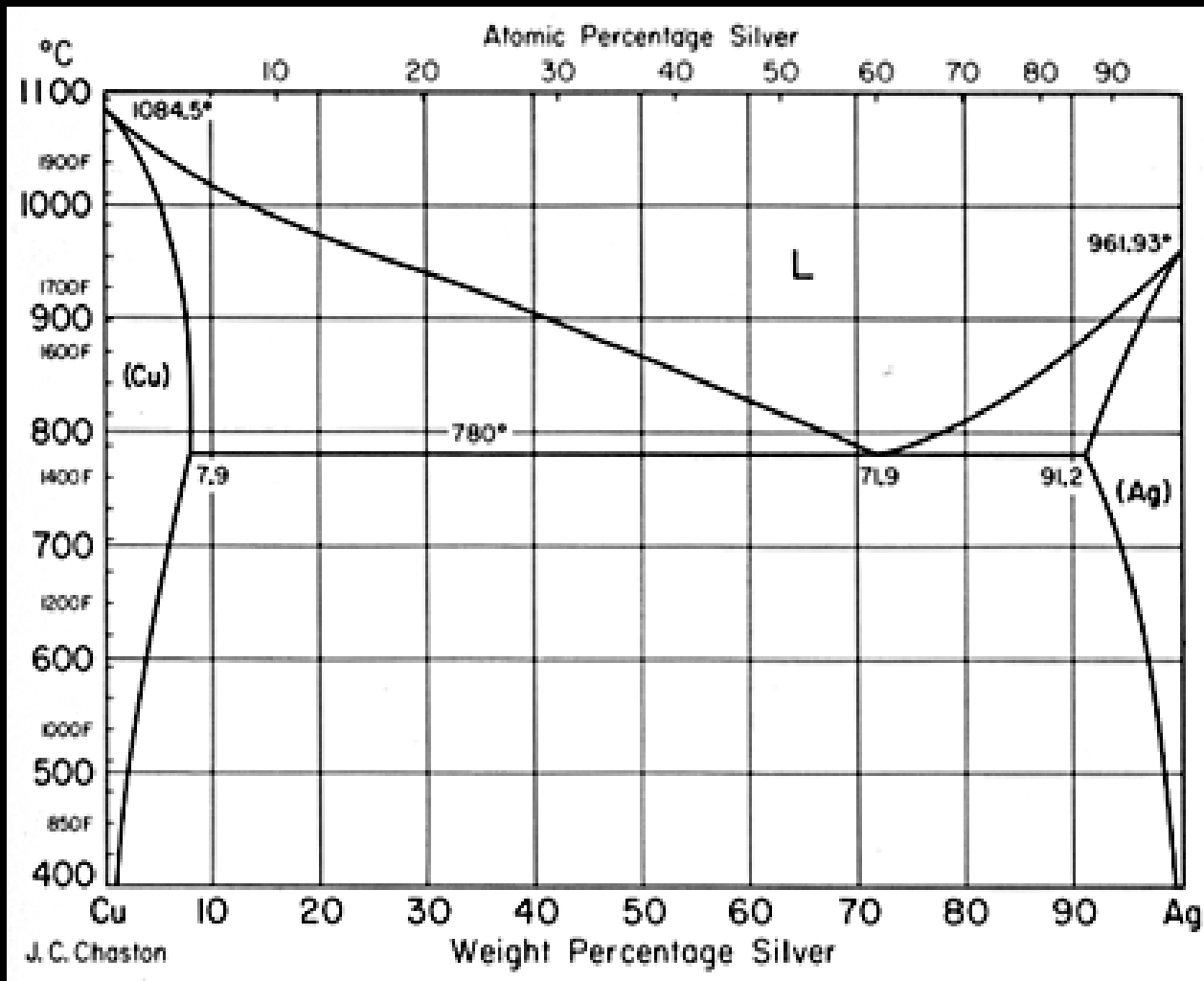
Quando dois elementos são totalmente solúveis apenas no estado líquido.



LIGAS EUTÉTICAS



LIGAS EUTÉTICAS



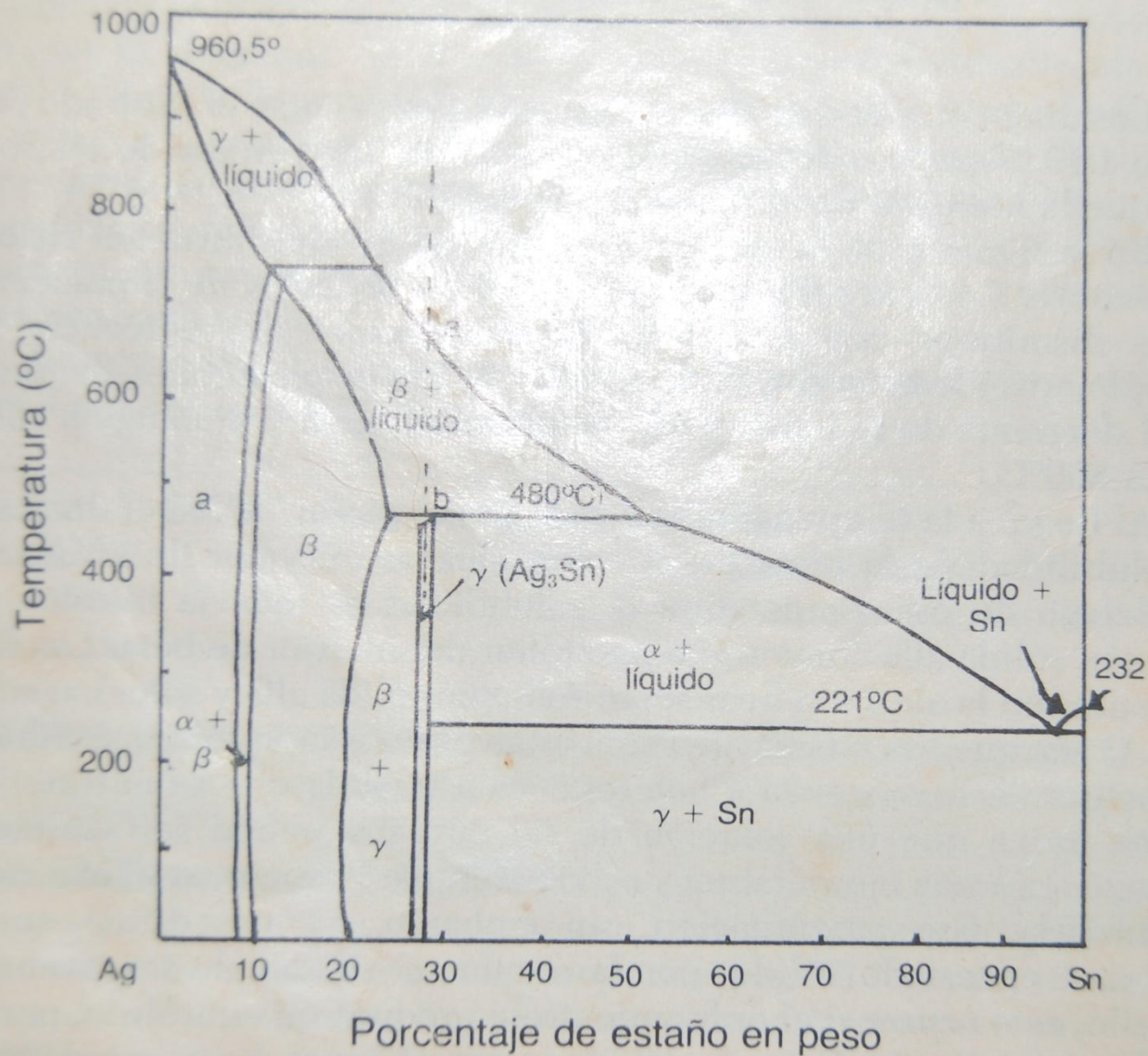
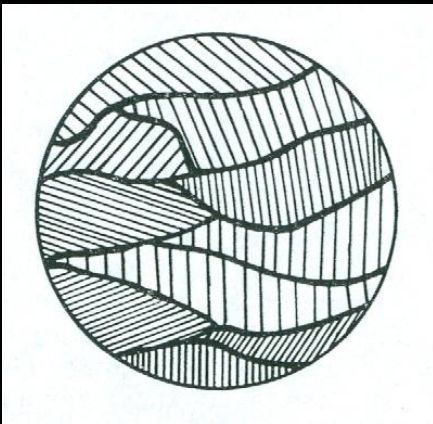


Fig. 4.15. Diagrama de equilibrio del sistema plata-estaño.

Metal Trabalhado

- Intenso tratamento de Deformação a Frio
- Exemplo: Molas
- Uma liga ou metal fundido é colocado num molde para obter o lingote que será deformado por tração
- **Mais Dureza** **Mais Resistência**
- Limite proporcional aumentado → maior a possibilidade de acumular energia (resiliência)



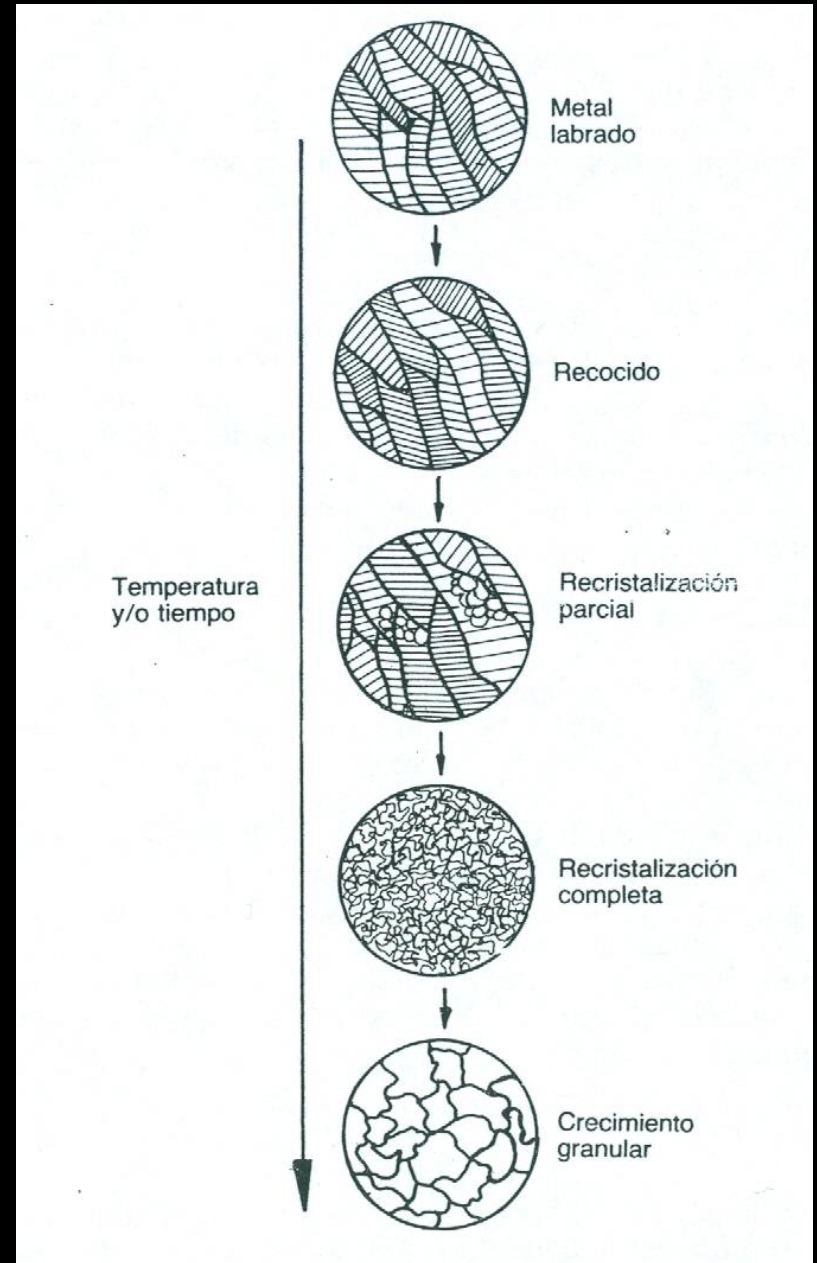
Trabalhado

Recozido

(Libera Tensões)

- Temperatura

- Tempo



Ligas Odontológicas

- fundição – técnica da cera perdida – 1907 (Taggart)
- ligas p/ odontologia
- 1932 – NBS (National Bureau of Standards)
 - ouro
 - cobalto-cromo
 - ligas para metalocerâmica (1950)
 - anos 70 – supervalorização do ouro (paládio)

moedas

Ligas de joalheria

Au

10% Cu e/ou Ag

1907

1932 NBS

CLASSIFICAÇÃO: 4 TIPOS

Dureza (composição)

65% Au (resistência à corrosão)

30 CoCr

50 metalocerâmica

70 Au (Pd)

Ni-Cr

Co-Cr

Ti

Ligas Odontológicas - requisitos

- biocompatibilidade
- resistência a corrosão e manchamento
- não alergênicos
- resistência mecânica
- baixo custo
- fácil manuseio
- fidelidade de reprodução

Castability

ADA (1984)

Classificação	Condições
Altamente nobre (AN)	Conteúdo de metal nobre $\geq 60\%$ (ouro, platina, paládio) e ouro $\geq 40\%$
Nobre (N)	Conteúdo de metal nobre $\geq 25\%^*$ (ouro, platina, paládio)
Predominância de metais básicos (PMB)	Conteúdo de metal nobre $< 25\%$ (ouro, platina paládio)

Ligas de Ouro Tradicionais

Composição e propriedades		Tipos de liga de ouro tradicionais			
		I (Macia)	II (Média)	III (Dura)	IV (Extra dura)
Composição (%)	Au	87	78	75	68
	Ag	11	13	12	15
	Cu	3	7	10	14
	Pd	0	2	3	4
	Pt	0	0	2	3
	Zn	1	1	1	2
Dureza Vickers (kgf/mm ²)**		A 80	A 101	A 138	A 144
		-	-	E 230	E 260
Limite de proporcionalidade (MPa)**		A 80	A 140	A 180	A 270
		-	-	E 300	E 450
Alongamento (%)**		A 25	A 22	A 20	A 16
		-	-	E 10	E 4
Contração de fundição (%)		1.56	1.44	1.42	1.40
Temperatura de fusão (°C)		930	900	900	870

Ligas de Ouro Tradicionais

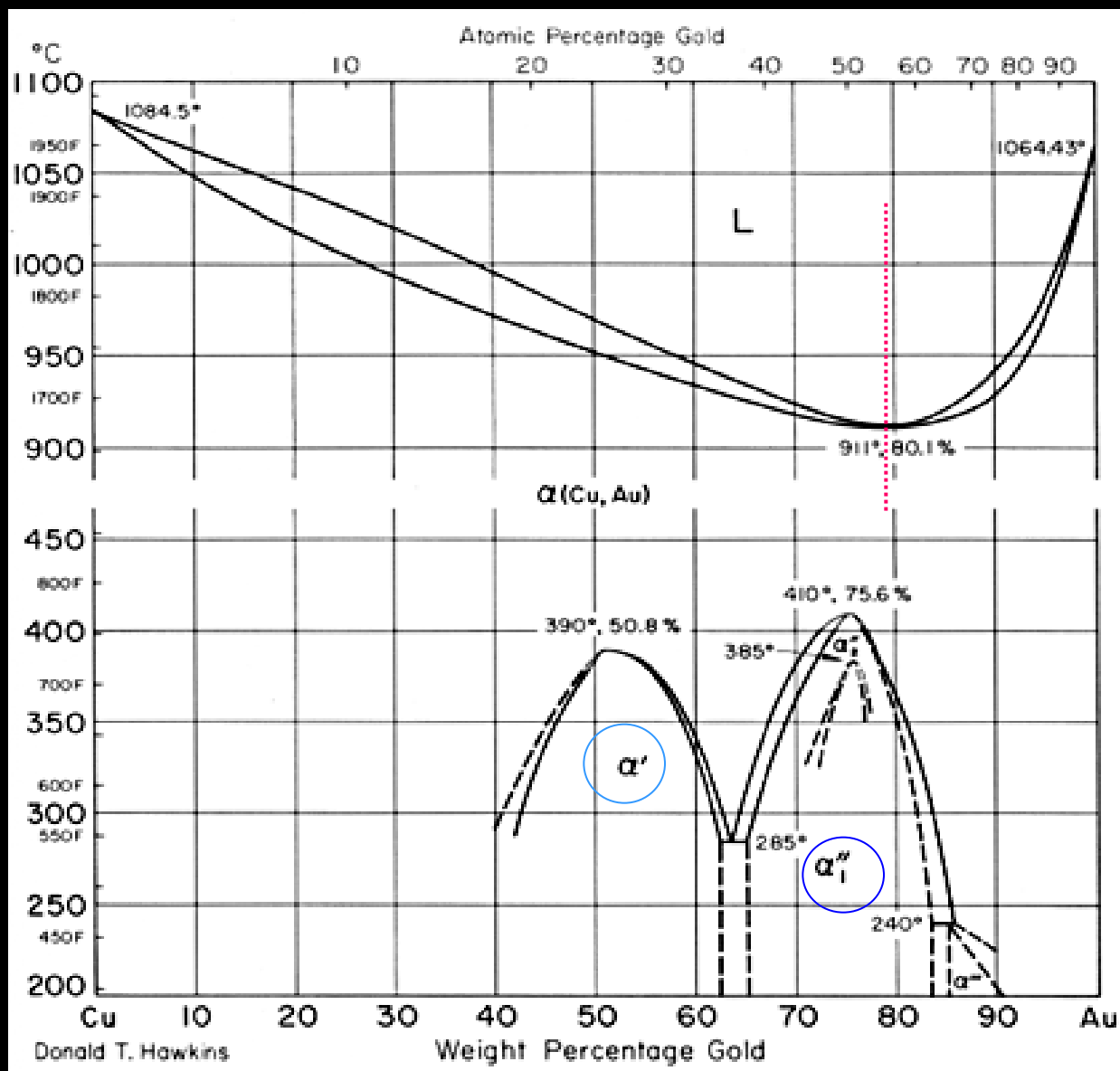
- excelente resistência à corrosão e manchamento
- Cu - ↓ temperatura de fusão (melhora propriedade mecânica pós tte)
- Pd e Pt - ↑ dureza
- Ag – substituição do Au
- Zn – evita formação de óxidos

Tto Térmico das Ligas de Ouro

- Au (65-88%) – supergrade AuCu
- TTA/homogeneizador – estrutura CFC
- 700°C / 10 a 15 min ➡ ÁGUA
- TTE – 450°C e a 250°C (30 min) – AuCu tetragonal
- ligas microgranuladas – Irídio (0,005%)

Cu

Au



Supergrade AuCu Tetrágonos

 Resistência

 Alongamento

(III e IV)

Microgranulação

IRÍDIO

0,005%

Composição e propriedades de ligas de ouro tradicionais*

Composição e propriedades		Tipos de liga de ouro tradicionais			
		I (macia)	II (média)	III (dura)	IV (extra dura)
Composição (%)	Au	87	78	75	68
	Ag	11	13	12	15
	Cu	3	7	10	14
	Pd	0	2	3	4
	Pt	0	0	2	3
	Zn	1	1	1	2
Dureza Vickers (kgf/mm²)**		80	101	A 138	A 144
		-	-	E 230	E 260
Limite de proporcionalidade (MPa)**		80	140	A 180	A 270
		-	-	E 300	E 450
Alongamento (%)**		25	22	A 20	A 16
		-	-	E 10	E 4
Contração de fundição (%)		1,56	1,44	1,42	1,40
Temperatura de fusão (°C)		930	900	900	870

* Os valores constantes da tabela são médias aproximadas

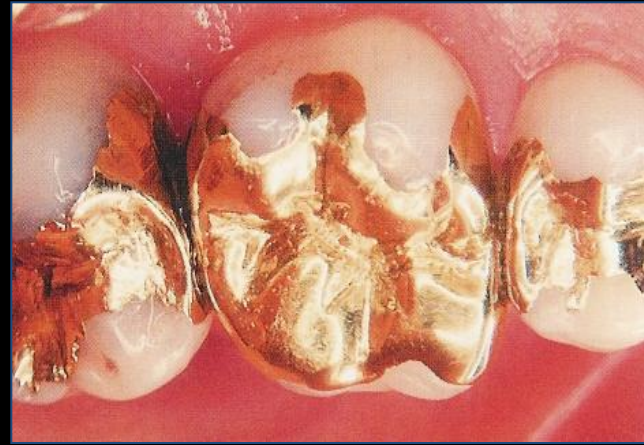
** A (amaciada); E (endurecida)

Ligas de Ouro Tradicionais - indicações

- Ligas tipo I e II – pequenos blocos (desuso).
- Liga tipo III – grandes blocos, coroas e próteses fixas
- Liga tipo IV – infra-estrutura de PPR, PPF extensas

INDICAÇÃO

I e II (inlays e onlays)



- III (fixa: metaloplásticas)
- IV (PPR)



PERMILAGEM

$$75\% \text{ Au} = 750$$

QUILATES

$$75\% \text{ Au} = 18$$

Ligas Nobres com Baixo Conteúdo de Ouro

dureza

↑ resistência
à corrosão

Liga	Composição (%)				
	Au	Ag	Cu	Pd	Outros (In,Zn,Sn)
Tipo III (Baixo Au)	46	39	8	6	-
Tipo III (Baixo Au)*	40	44	5	8	-
Tipo III (Ag-Pd)	-	70	-	25	-
Tipo IV (Ag-Pd)	15	45	14	25	-

LIGAS DE
↓Au e
de Pd (1,85)

(ligas de metais nobres)

Com menos Pd ($< 1000^{\circ}\text{C}$)

FONTE DE
CALOR/REVESTIMENTO

AR $\leftarrow$ $\rightarrow$ O₂

Ligas Nobres com Baixo Conteúdo de Ouro

Propriedade		Tipo III (Baixo Au)	Tipo III (Baixo Au)*	Tipo III (Ag-Pd)	Tipo IV (Ag-Pd)
Temp. fusão final (°C)		916	980	1099	1021
Densidade (g/cm³)		12,8	12,5	10,6	11,3
Limite de escoamento (MPa)	A**	240	249	262	434
	E**	586	451	323	586
Dureza Vickers (kgf/mm²)	A**	138	137	143	180
	E**	231	223	154	270
Alongamento (%)	A**	30	11	10	10
	E**	13	3	8	6

- PPF
- Blocos
- Metaloplásticas
- tipo IV para PPR

PROPRIEDADES → INDICAÇÕES:

Alternativas para clássicas

III e IV

Ligas a Base de Ag-Sn

- Ag (80%), Sn (20%), Cu, Zn
- ↓ propriedades mecânicas
- ↓ resistência à corrosão
- VHN = 90, T° fusão = 700/800°C
- núcleos, restaurações unitárias, PPF pequenas
- metaloplástica – escurecimento da interface

Ligas a Base de Cu-Al

- ligas Au III
- Cu (85%), Al (9,5%), Ni (4%), Fe (4%), Mn
-  resistência à corrosão , manchamento
- desconhecimento efeitos biológicos (regiões de auto-limpeza)



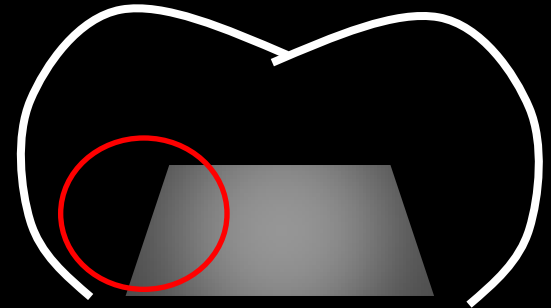
Ligas Odontológicas



Ligas Altamente Nobres e Nobre para Metalocerâmica

Propriedades:

MPa30



- alta resistência de união com porcelana;
- CETL compatível
- Temperatura de fusão > porcelana

Ligas Altamente Nobres e Nobre para Metalocerâmica

Nobreza	Composição (% em peso)					Cor
	Au	Pt	Pd	Ag	(Sn, In, Fe, Zn)	
Altamente nobre	87	9	2	-	-	Amarela
	84	7	6	1	-	Amarela
	77	10	9	-	-	Branca
	50	-	35	10	-	Branca
Nobre	6	-	74	7	-	Branca
	-	-	58	30	-	Branca

Propriedade		Altamente nobre				Nobre	
		Amarela		Branca		Branca	
Temp. fusão inicial (°C)		1065	1170	1150	1235	1270	1175
Coeficiente de expansão térmica (25-600°C)/°C (x10 ⁻⁶)		14,6	14,7	14,0	13,8	14,0	15,2
Peso específico		18,5	17,5	18,0	14,5	11,0	11,4
Dureza Vickers (kgf/mm ²)	A*	155	170	200	200	235	160
	E*	185	185	240	235	-	300
Limite de escoamento (MPa)	A*	400	413	470	425	474	340
	E*	490	504	580	545	-	650
Alongamento (%)	A*	8	10	7	23	30	29
	E*	6	-	3	18	-	8
* A (amaciada); E (endurecida)							

SAG

Ligas Altamente Nobres e Nobre para Metalocerâmica

Nobreza	Composição (% em peso)					Cor
	Au	Pt	Pd	Ag	(Sn, In, Fe, Zn)	
Altamente nobre	87	9	2	-	-	Amarela
	84	7	6	1	-	Amarela
	77	10	9	-	-	Branca
	50	-	35	10	-	Branca
Nobre	6	-	74	7	-	Branca
	-	-	58	30	-	Branca

Ligas Altamente Nobres e Nobre para Metalocerâmica

Propriedade		Altamente nobre				Nobre	
		Amarela		Branca		Branca	
Temp. fusão inicial (°C)		1065	1170	1150	1235	1270	1175
Coeficiente de expansão térmica (25-600°C)/°C (x10 ⁻⁶)		14,6	14,7	14,0	13,8	14,0	15,2
Peso específico		18,5	17,5	18,0	14,5	11,0	11,4
Dureza Vickers (kgf/mm ²)	A*	155	170	200	200	235	160
	E*	185	185	240	235	-	300
Limite de escoamento (MPa)	A*	400	413	470	425	474	340
	E*	490	504	580	545	-	650
Alongamento (%)	A*	8	10	7	23	30	29
	E*	6	-	3	18	-	8
* A (amaciada); E (endurecida)							

SAG

Ligas de Metais Predominantemente Básicos para Metalocerâmicas



Liga	Composição (%)
Ni-Cr	Ni:69-81; Cr:12-20; Fe:0,0-0,4; Al:0-4; Mo:0-4; Si:0,2-2,0; Be:0-2; Mn:0-3
Co-Cr	Co:52-56; Cr:24-27; W: 10-14; Ga: 0-8
Ti (cp)	Ti: (Comercialmente puro – graus 1 a 4) O:0,18-0,40; N:0,03-0,05; H:0,015-0,020; Fe:0,2-0,5; C: 0,1
Ligas de Ti	Ti; Al:6; V:4

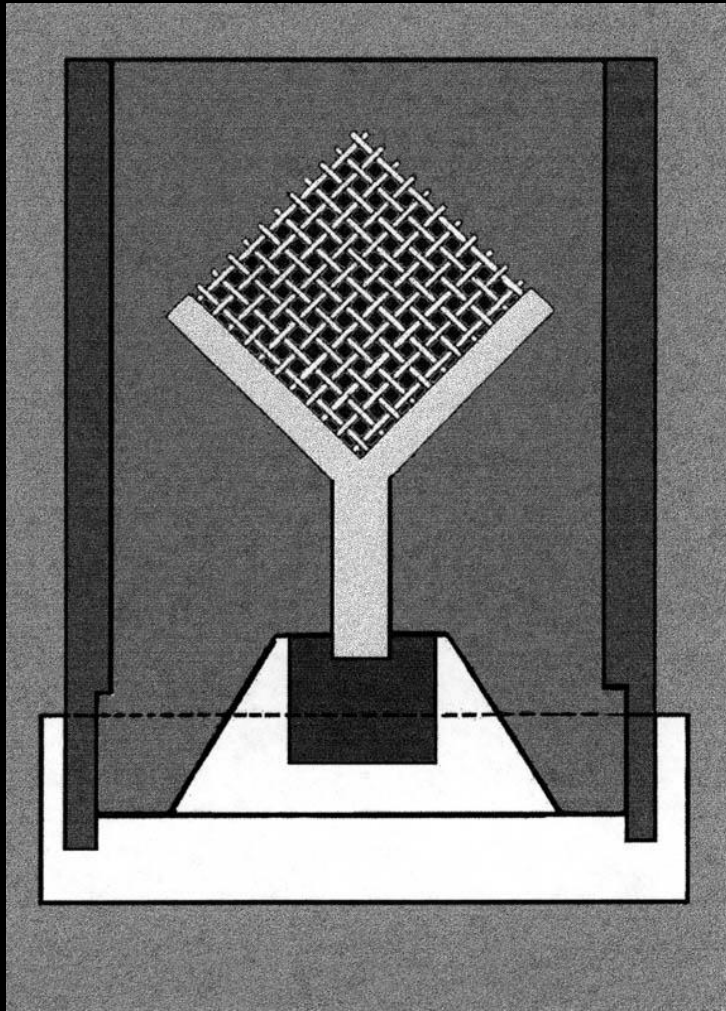
Ligas Básicas para Metalocerâmicas NiCr

Funções dos principais componentes:

- Cr – resistência à corrosão – camada passivadora (HCl; Cl)
- Ni – sistema CFC
- Mo, Mn – resistência mecânica
- Si – desoxidante durante fusão
- Be – *castability*
- Biocompatibilidade

Fundibilidade

Método de Whitlock, 1981



Ligas Básicas para Metalocerâmicas CoCr

-  potencial alergênico
- CCC – alongamento menor
- tungstênio - > resistência mecânica
- gálio -  temperatura de fusão



Ligas Básicas para Metalocerâmicas

Propriedade	Liga				
	Ni-Cr	Ni-Cr-Be	Co-Cr	Co-Cr-Ga	Ti(cp)
Temperatura fusão inicial (°C)	1300	1200	1400	1200	1668
Coeficiente de expansão térmica (°C ⁻¹ x10 ⁻⁶)	14,4	15,0	14,0	15,2	9,4
Peso específico (g/cm³)	8,1	7,4	8,4	8,1	4,5
Dureza Vickers (kgf/mm²)	320	250	370	390	180
Limite de escoamento (MPa)	310	320	400	480	330
Alongamento (%)	22	12	3	4	15
Módulo de elasticidade (GPa)	192	192	210	180	100

Ligas Básicas para PPR

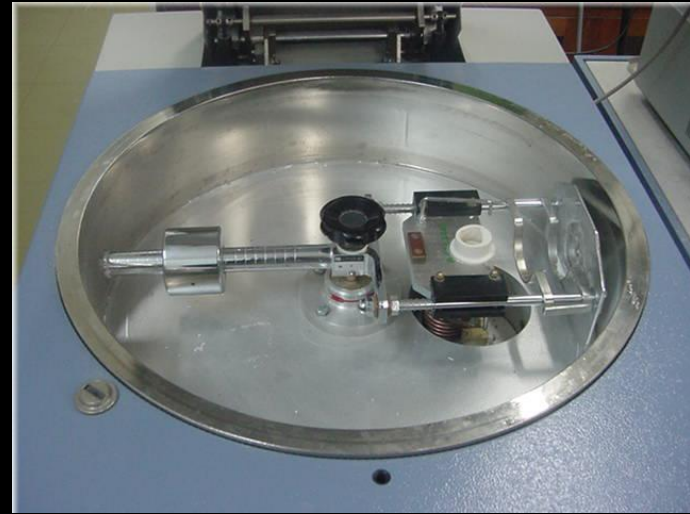
Liga	Composição (%)
Co-Cr	Co:65-67; Cr:24-27; Mo:4-8; Si:0,1-0,8; Fe:0,1-2,0; Mn:0,0-0,4; C:0,2-0,4
Co-Cr-Ni	Co:36-67; Cr:23-27; Ni:2-36; Mo:0-6; Mn:0,3-0,6; Si:0,2-0,6; Fe:0,5-1,0; C:0,2-0,4
Ti(cp)	Ti: (Comercialmente puro – graus 1 a 4) O:0,18-0,40; N:0,03-0,05; H:0,015-0,020; Fe:0,2-0,5; C:0,1
Ligas de Ti	Ti; Al:6; V:4 Ti; V:15 Ti; Nb:13; Zr:13

Ligas Básicas para PPR

Propriedade	Liga			
	Co-Cr	Co-Cr-Ni	Ti(cp)	Ti-6Al-4V
Temperatura fusão inicial (°C)	1400	1300	1668	1760
Dureza Vickers (kgf/mm ²)	430	280	180	300
Limite de escoamento (MPa)	600	470	330	700
Alongamento (%)	2	8	15	5
Módulo de elasticidade (GPa)	220	200	100	115
Peso específico (g/cm ³)	8,4	8,0	4,5	-

TITÂNIO

Fundição



- Equipamento especial
- Reatividade
- Densidade

