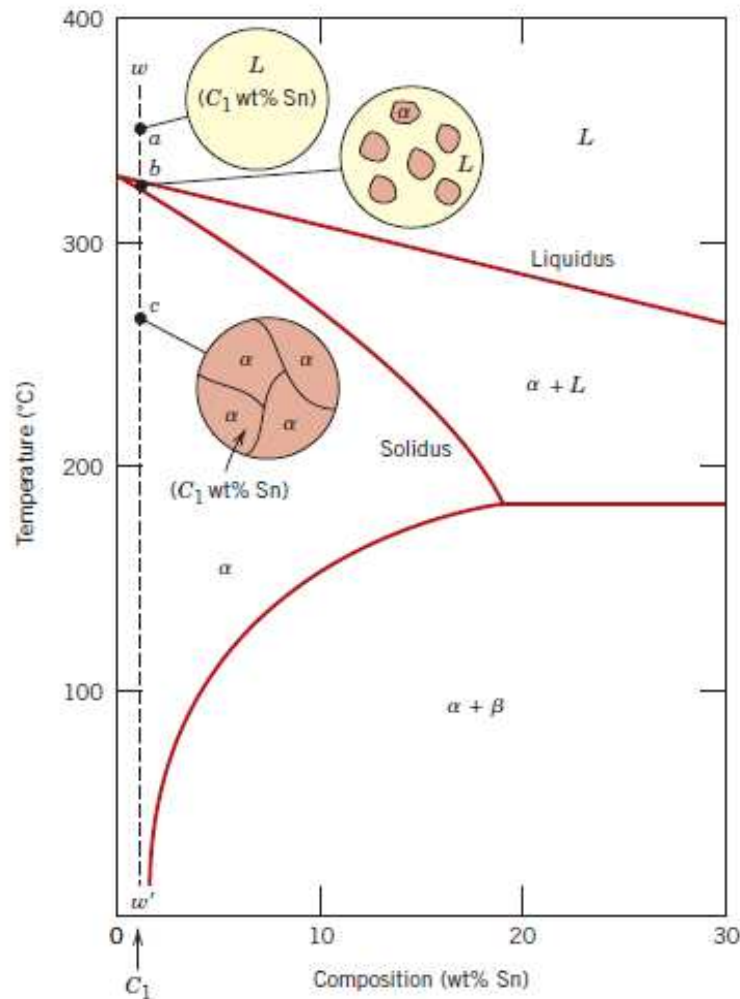
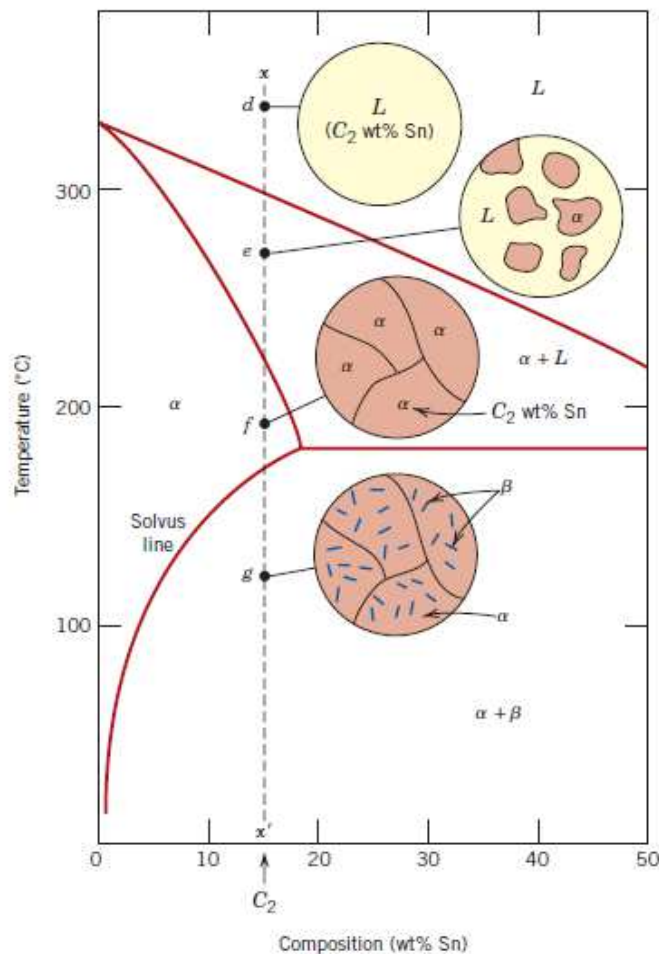


Formação da Microestrutura



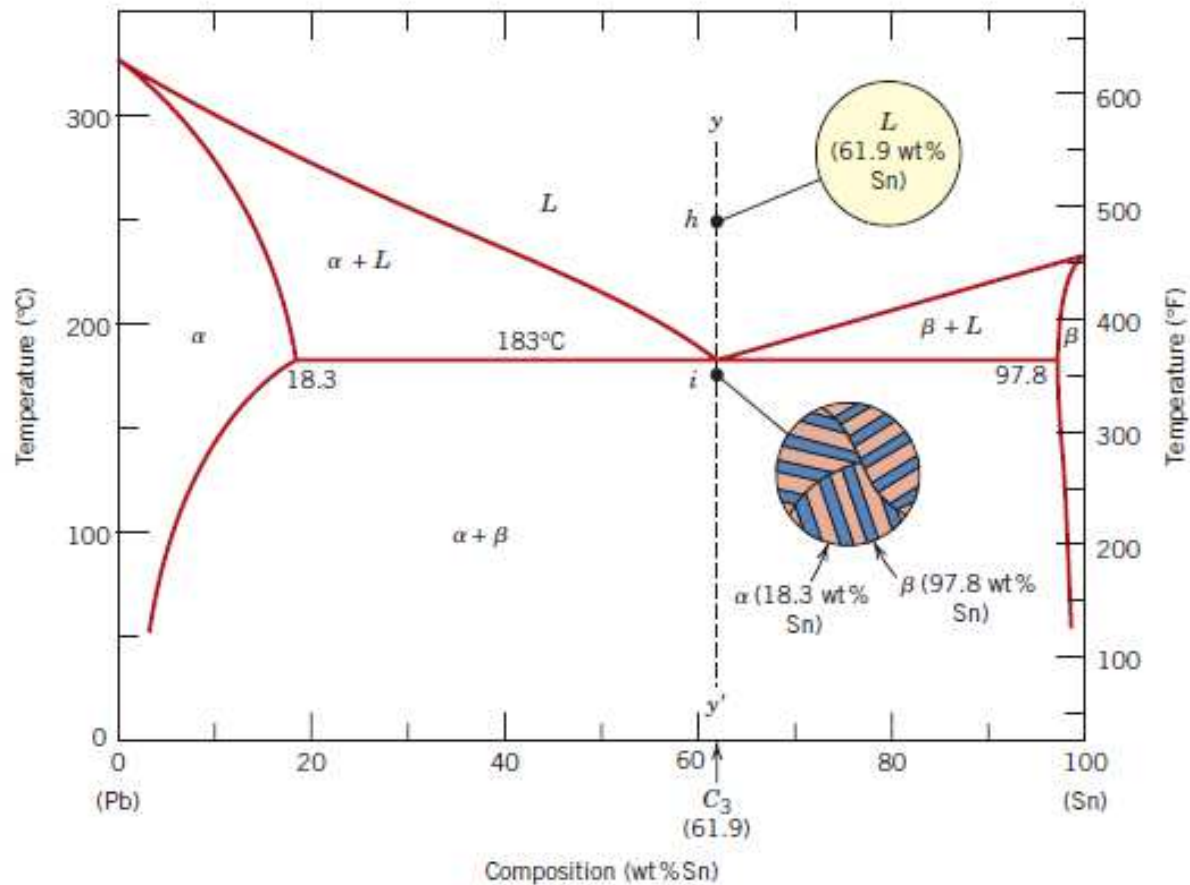
Liga Monofásica

Formação da Microestrutura



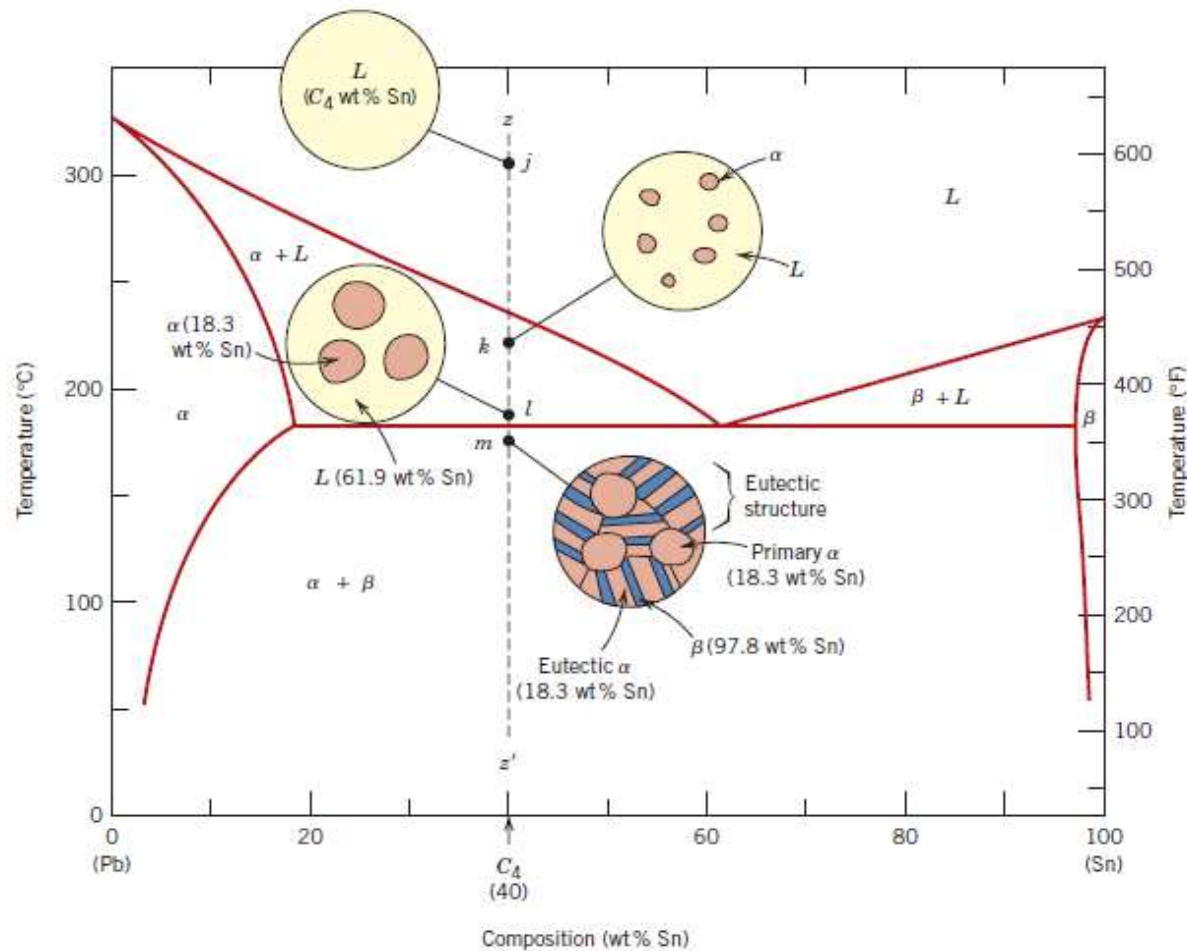
Liga Bifásica
c/ precipitação da segunda
fase no estado sólido

Formação da Microestrutura



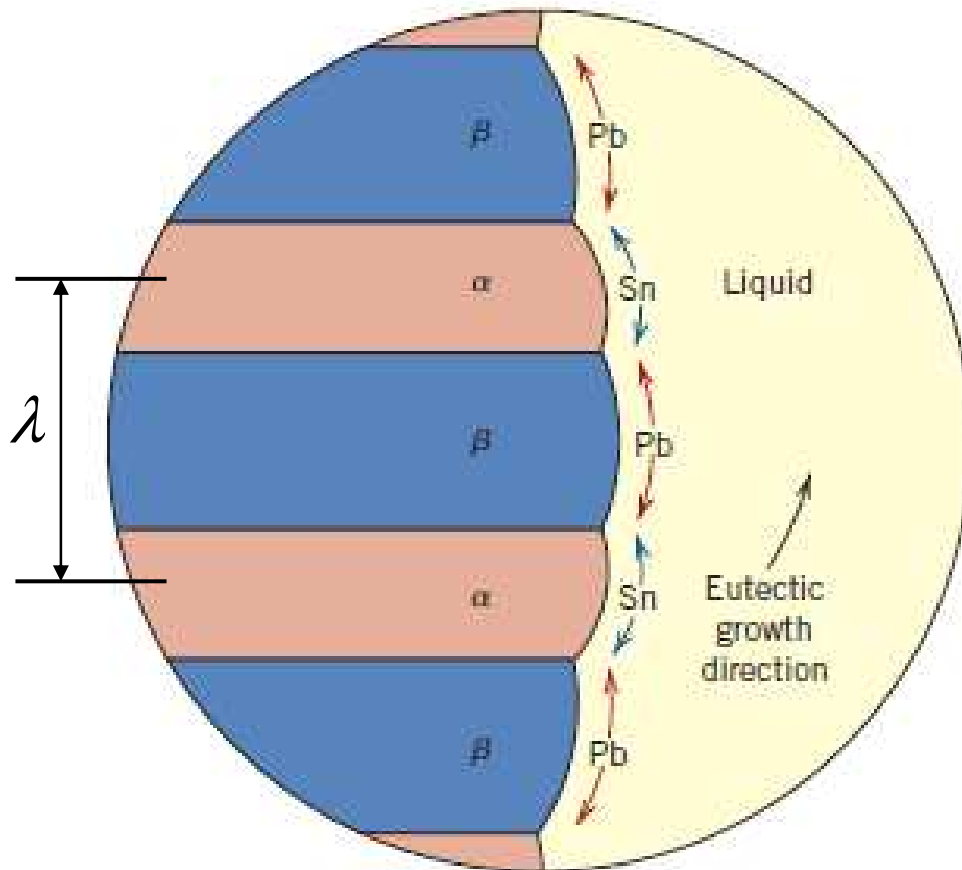
Liga Bifásica
Eutética

Formação da Microestrutura



Liga Bifásica
Hipoeutética

Crescimento do Eutético



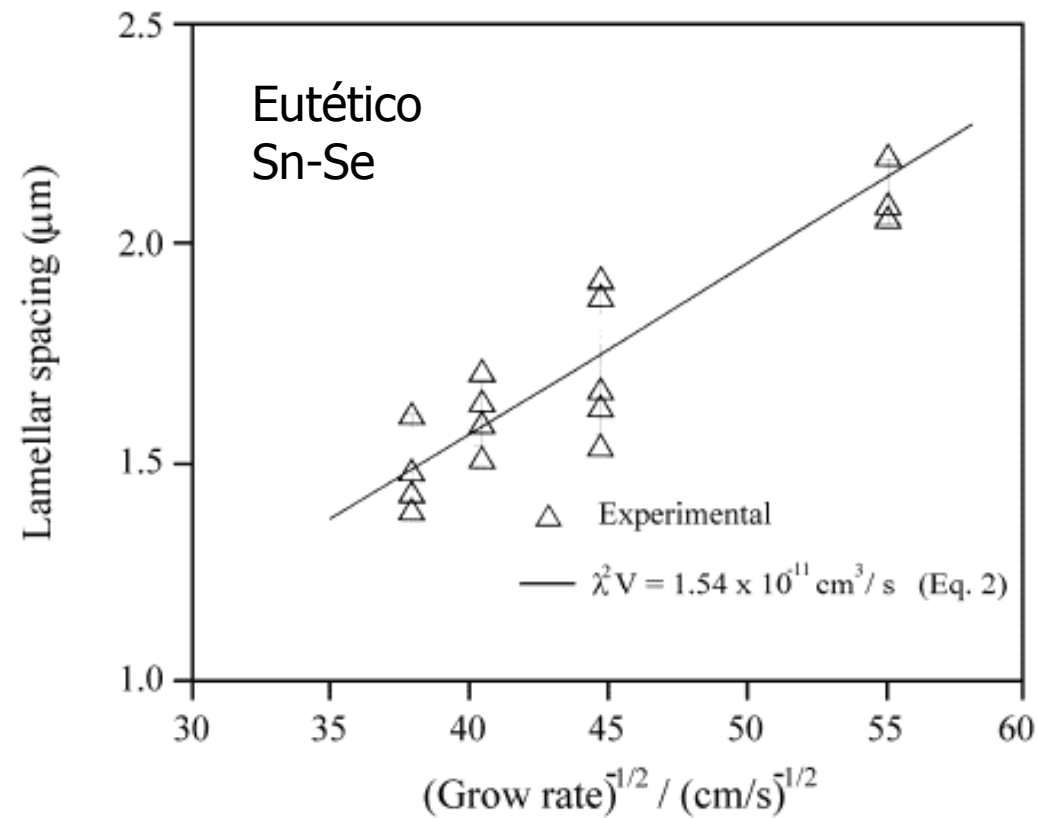
líquido $\rightarrow \alpha + \beta$

- Crescimento Cooperativo controlado pela difusão
- Espaçamento lamelar depende da velocidade de crescimento

$$\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{R}}$$

Espaçamento Lamelar X Velocidade de Crescimento

$$\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{R}}$$





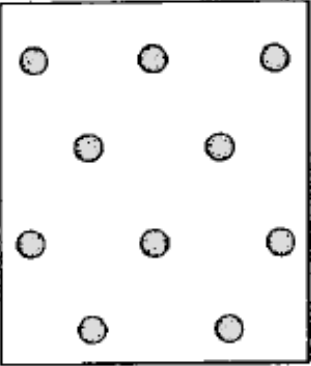
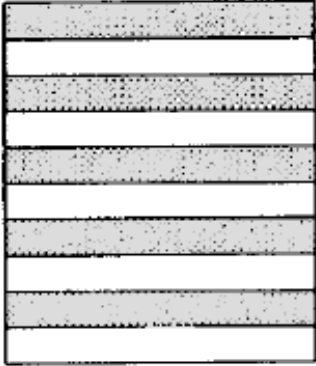
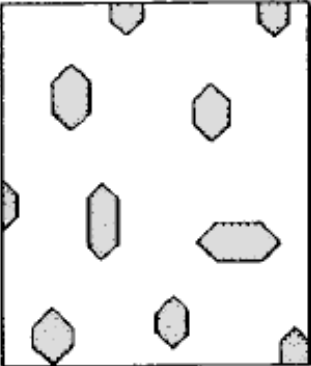
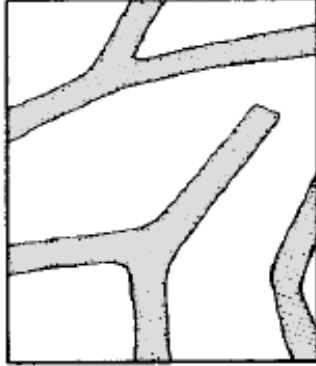
Morfologia do Eutético

- Depende de:
 - Fração volumétrica das fases
 - Interface dos cristais (facetada ou não-facetada)
 - Velocidade de crescimento

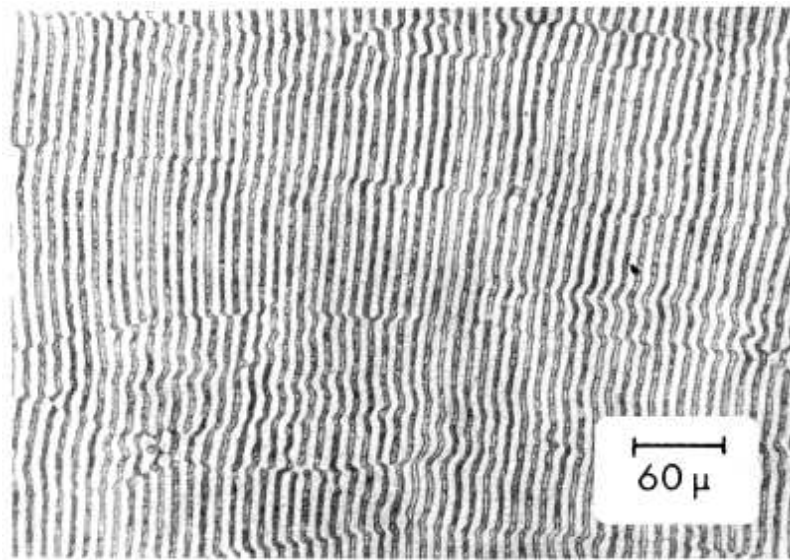
Morfologia do Eutético

Branco – fase α
(não facetada)

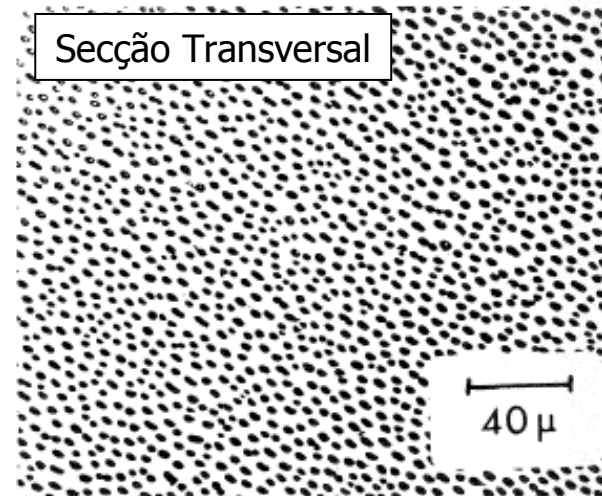
Cinza – fase β

	Pequena fração de β	Alta fração de β
β não facetada		
β facetada		

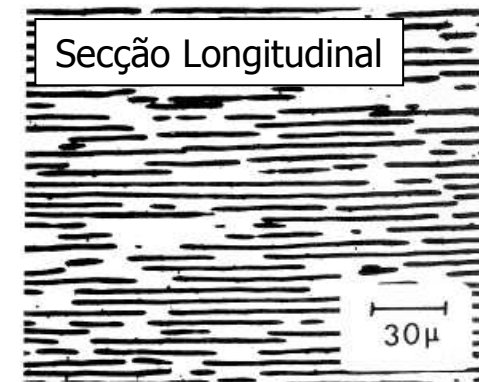
Morfologia do Eutético



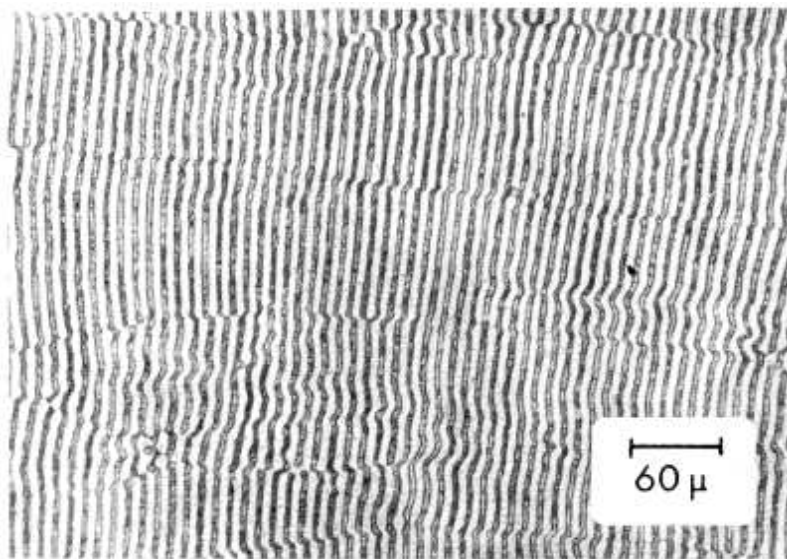
Pb-Sn
lamelar



Al-Al₃Ni
fibroso



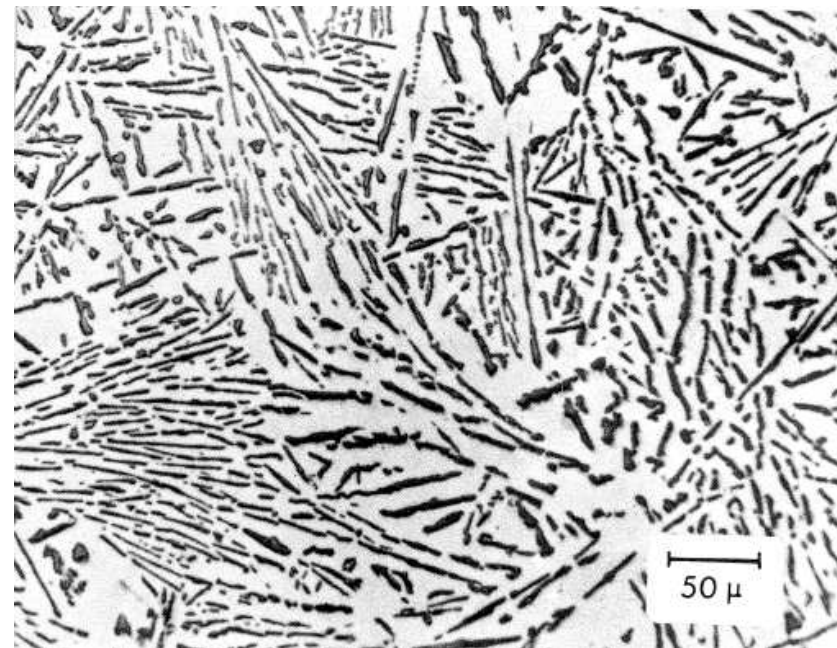
Morfologia do Eutético



Pb-Sn

Pb – não facetada

Sn – não facetada

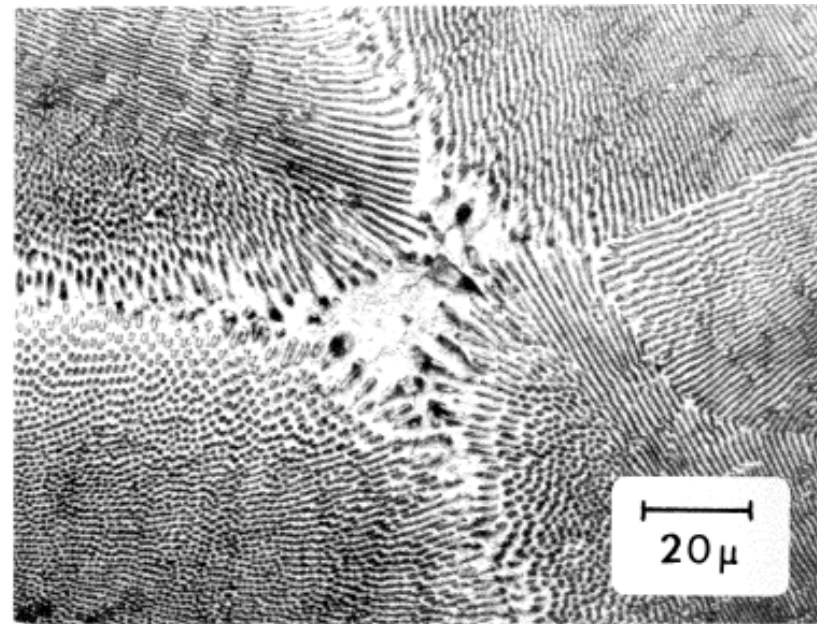
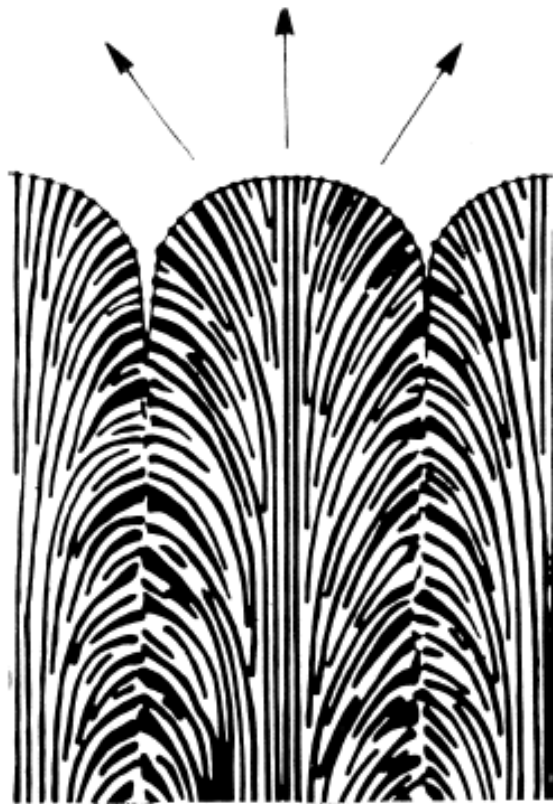


Al-Si

Al – não facetada

Si – facetada

Crescimento de eutético na presença de impurezas



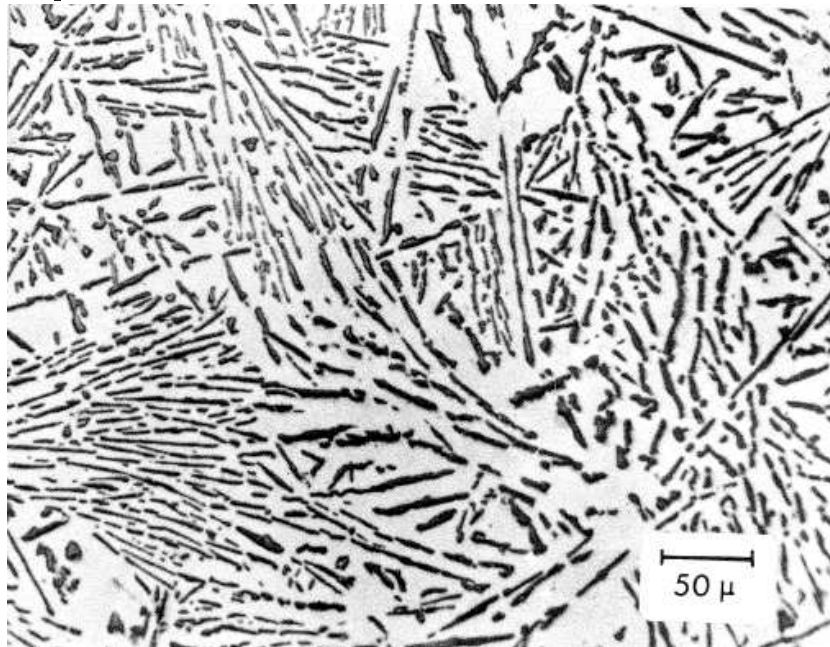
Pb-Cd c/ impurezas



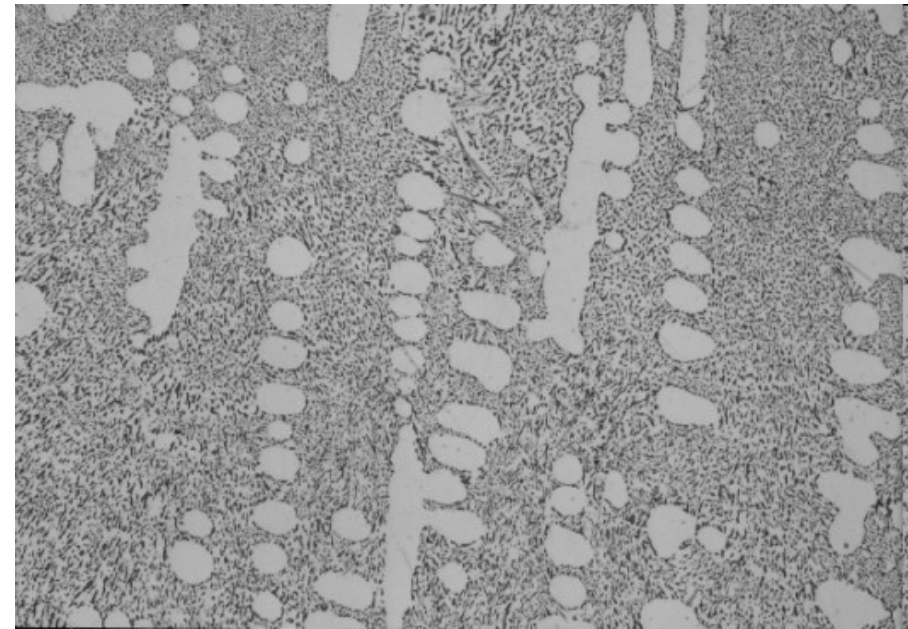
Morfologia do Eutético

- Filme (Resumo)
- http://mechse.illinois.edu/research/dantzig/solidification.org/Movies/Hunt/Jackson_Hunt_Eutectics_Smaller.gif

Modificação da Morfologia do Eutético

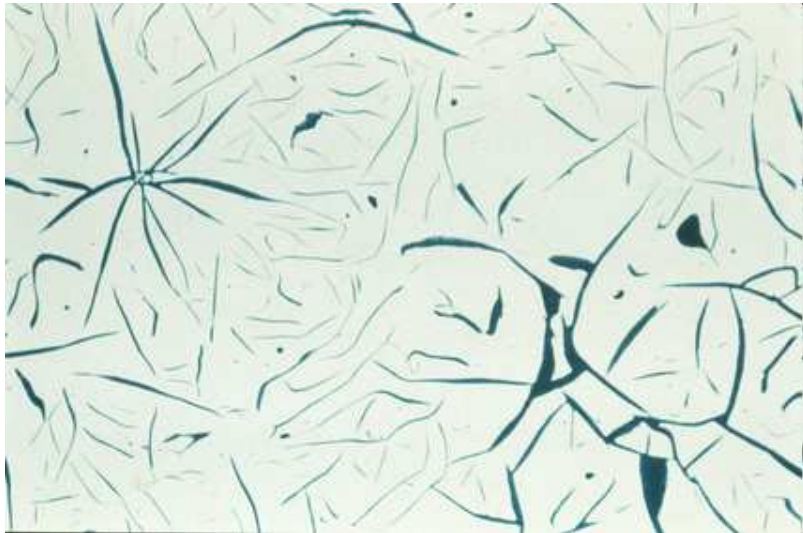


Al-Si

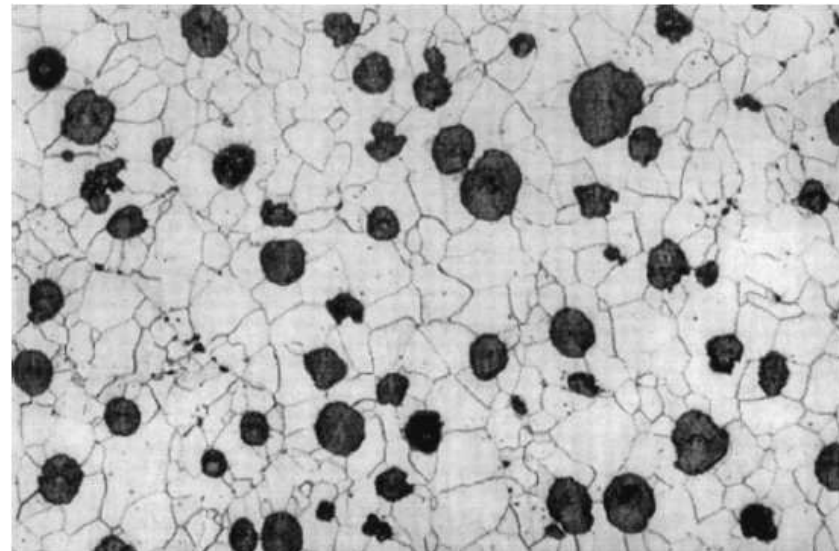


Al-Si
Modificado com Na, Sr ou Ca
0,01%

Modificação da Morfologia do Eutético



Fe-C
(FoFo Cinzento)



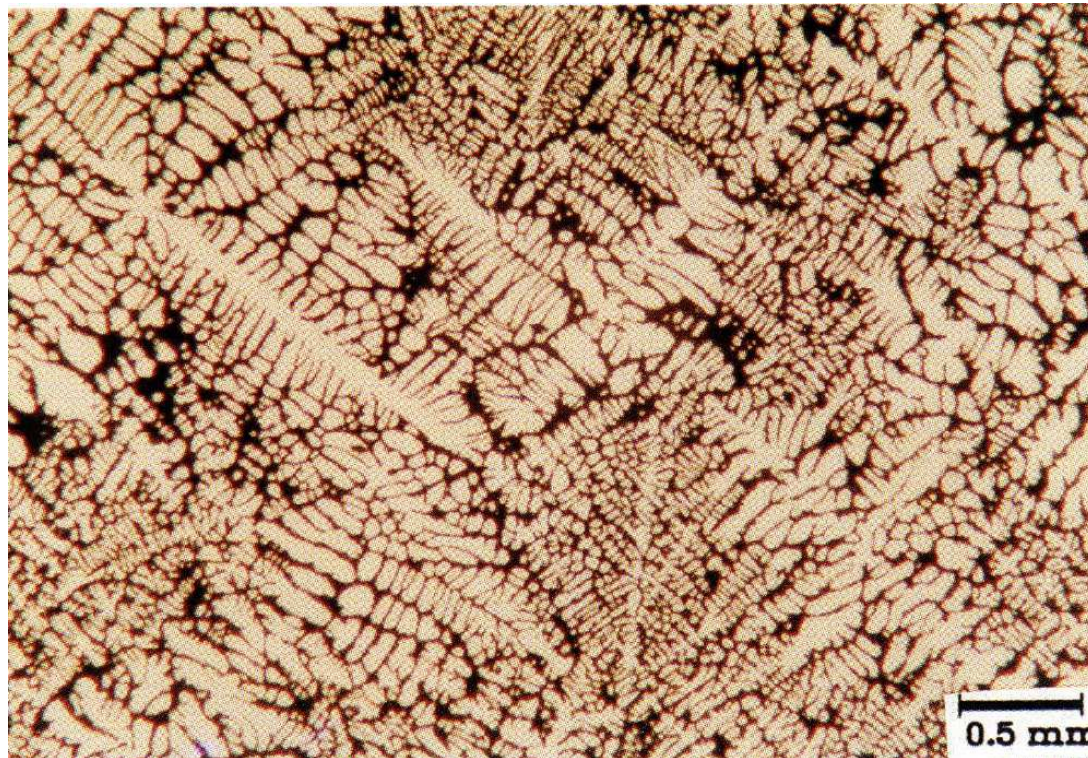
Fe-C
Modificado com Mg (0,04%)
ou Ce (0,04%)
(FoFo Nodular)



Porosidades

- Interdendríticas
- Evolução de gases

Microporosidades Interdendríticas

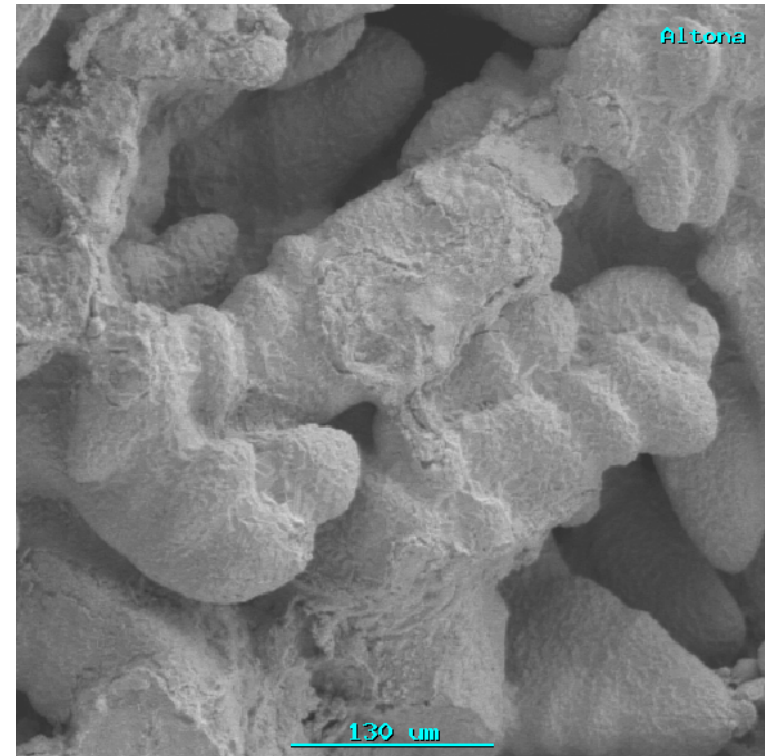
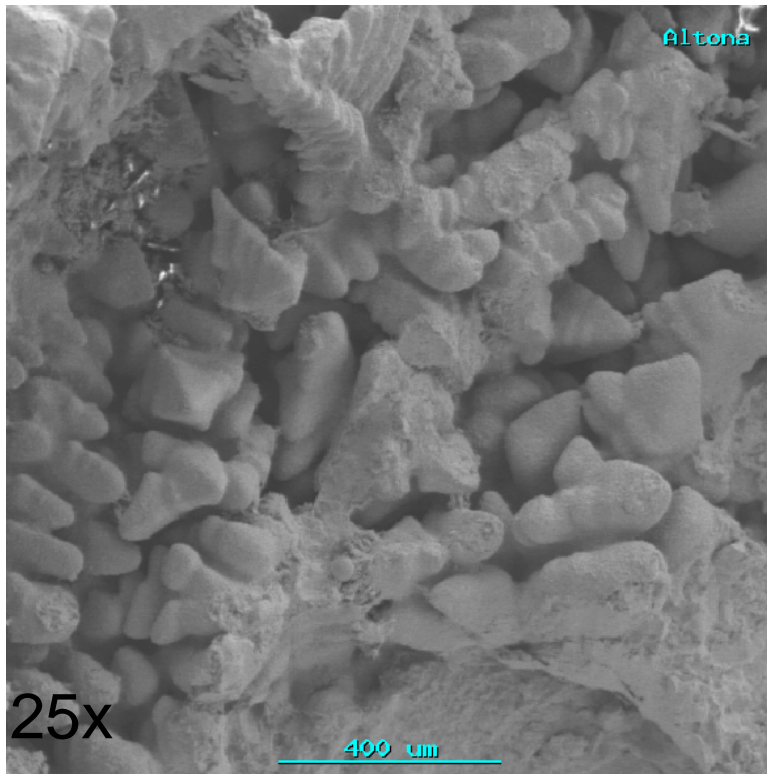


Liga de Al

Falta de líquido para suprir a contração interdendrítica

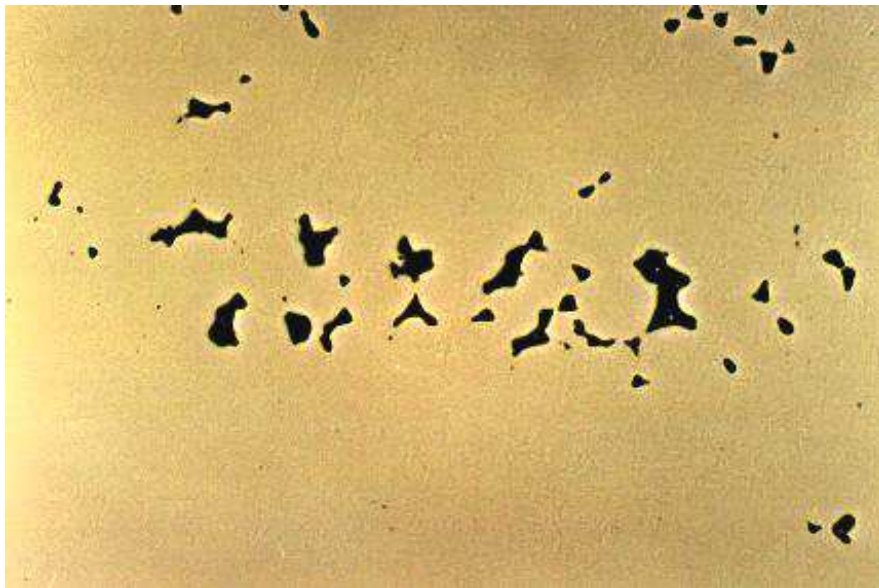
Microporosidades Interdendríticas

Aço ao carbono



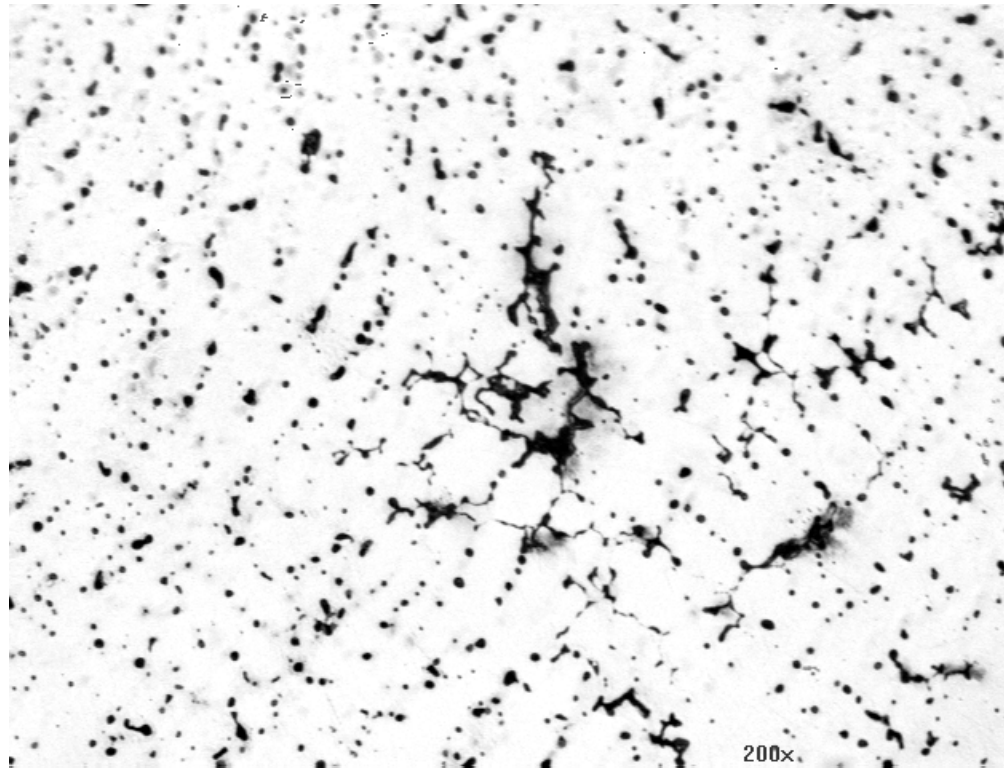
Microporosidades Interdendríticas

Aço ao carbono



Microporosidades Interdendríticas

Bronze 85-5-5-5



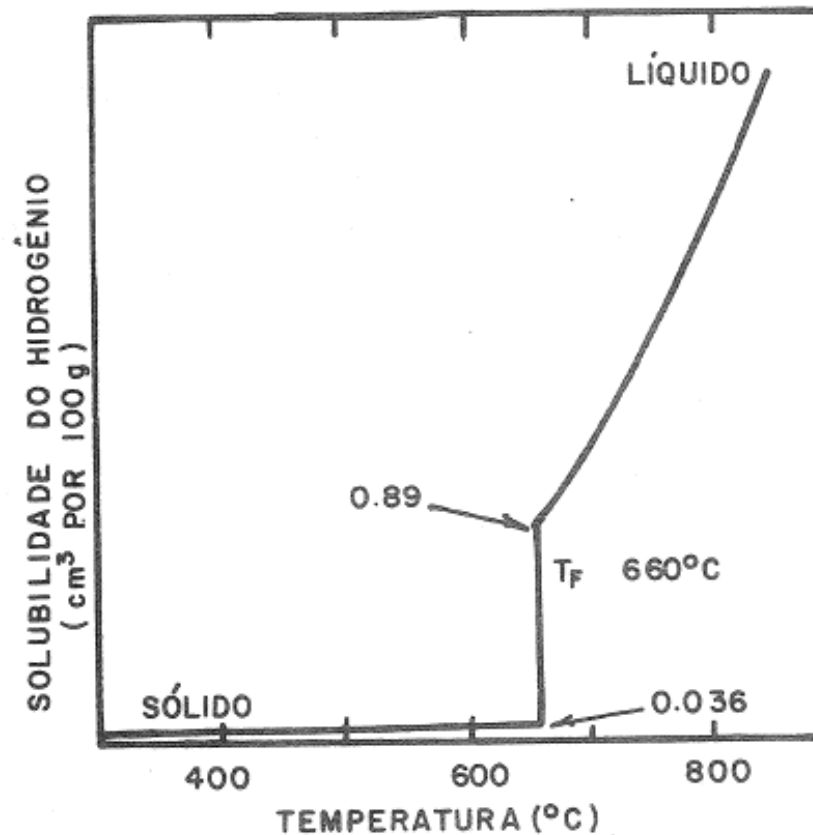
Porosidades Interdendríticas

Liga Al- 8%Si + 3,5%Cu

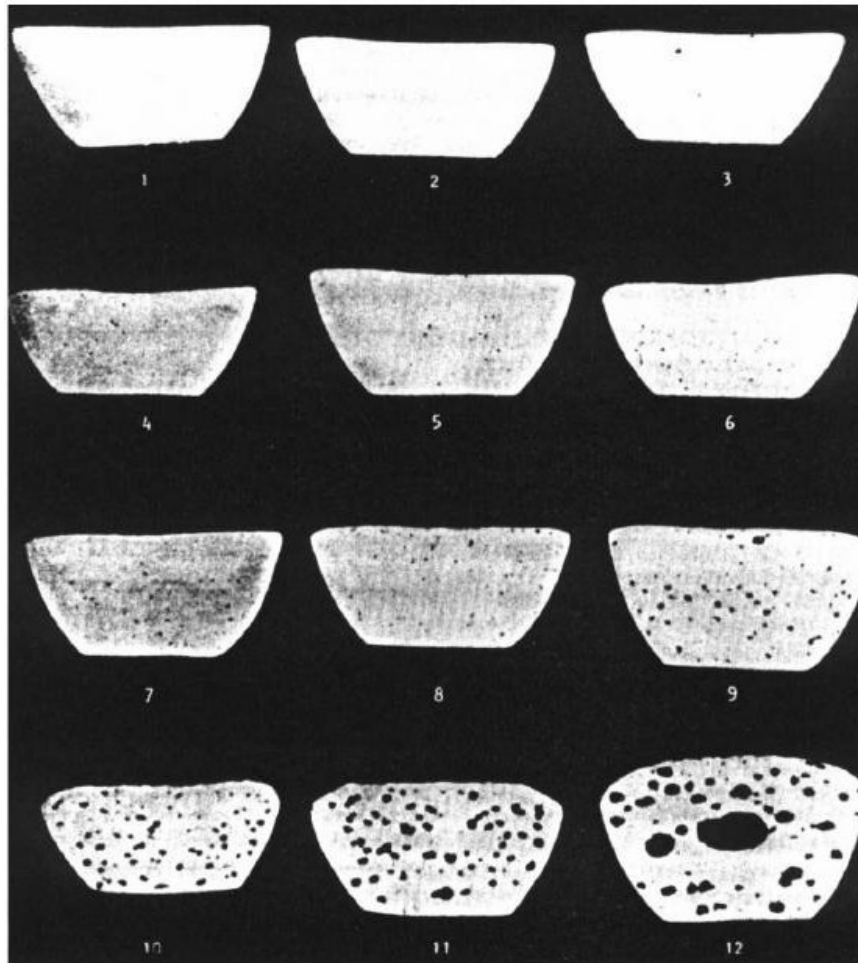


Evolução de Gases

- Exemplo: H em Al



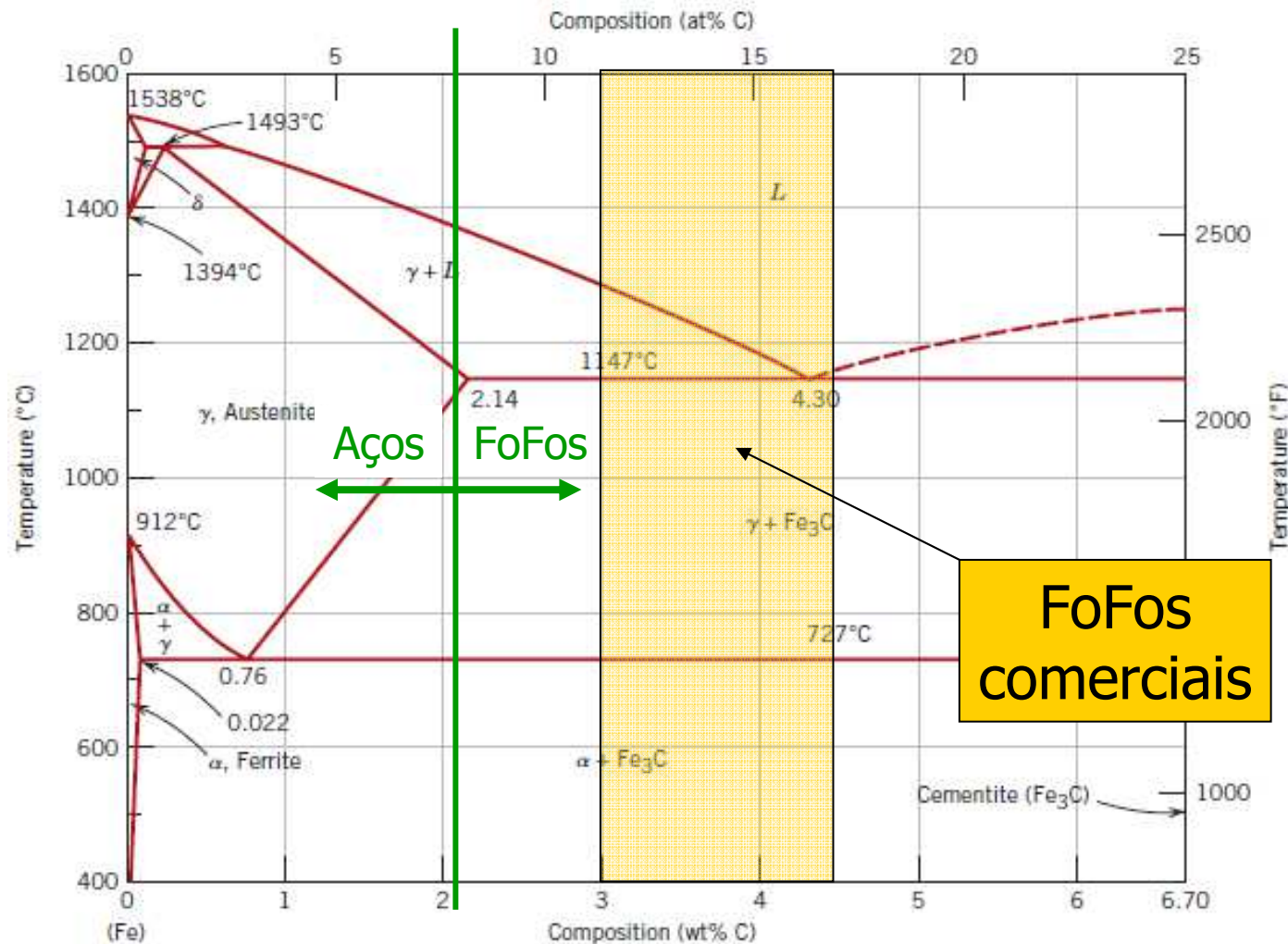
Porosidade devido à evolução de gases



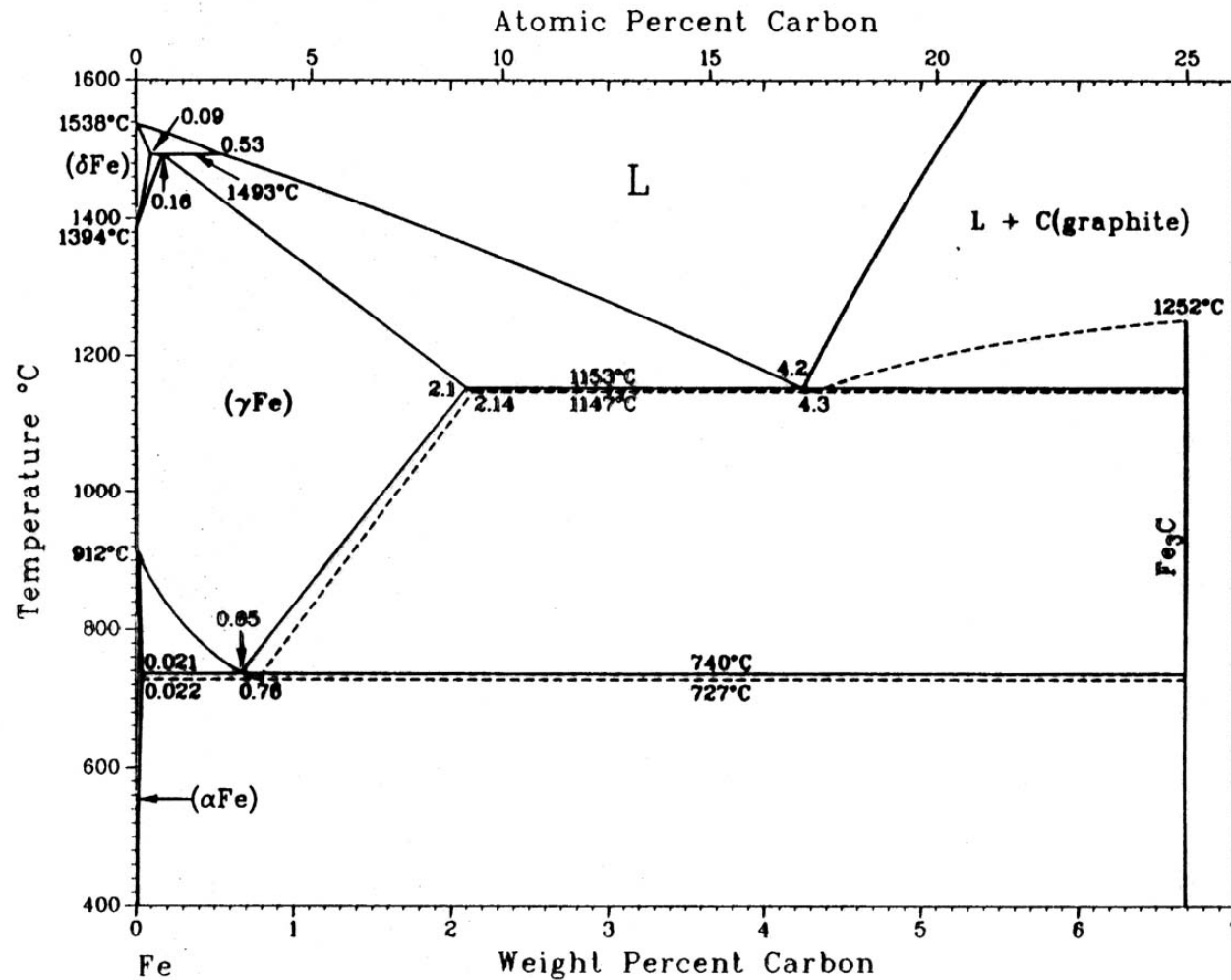
H em Al

Amostras obtidas sob pressão reduzida empregadas na avaliação da quantidade de hidrogênio dissolvido em banhos de alumínio. As intensidades de 1 a 12 representam teores crescentes de H.

Microestruturas dos FoFos



Microestruturas dos FoFos

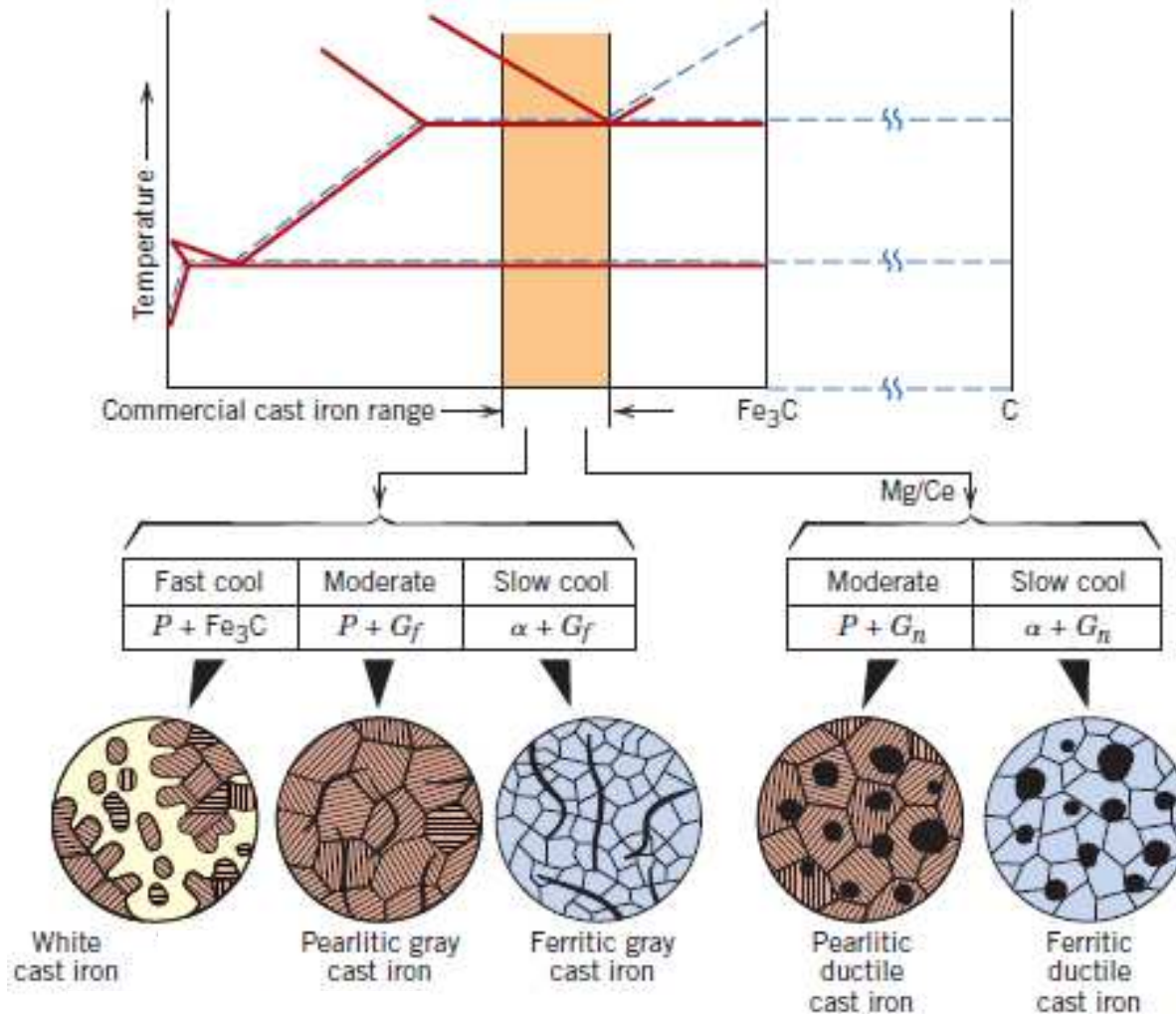




Microestruturas dos FoFos

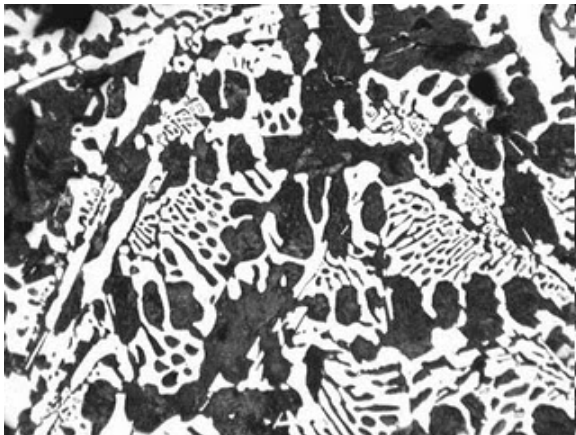
- A Cementita é uma fase metaestável
 - Resfriamento:
 - Mais lento: Grafita
 - Mais rápido: Cementita
 - Presença de Si:
 - Teor de Si acima de 1%: favorece a Grafita

Microestruturas dos FoFos

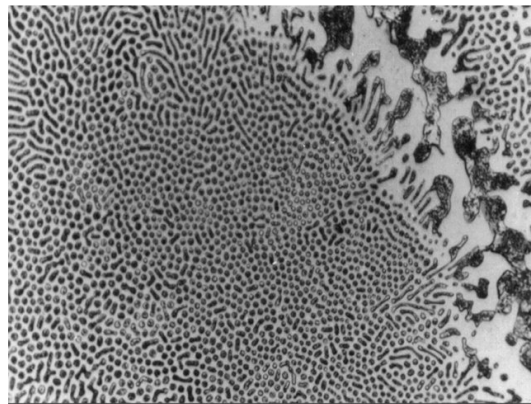


FoFo branco

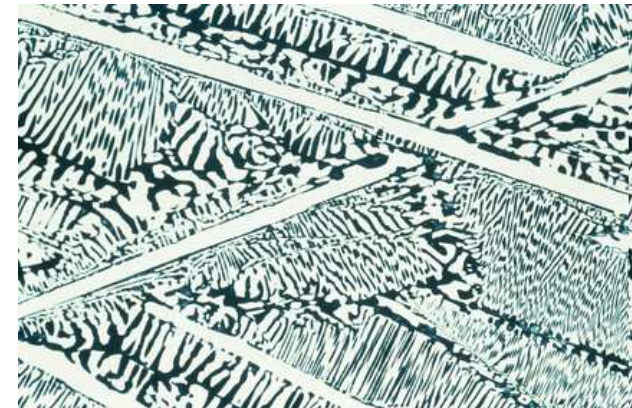
- Resfriamento rápido; ou moderado com Si < 1%



Hipoeutético
CE < 4,3%



Eutético
CE ~ 4,3%
(Ledeburita)

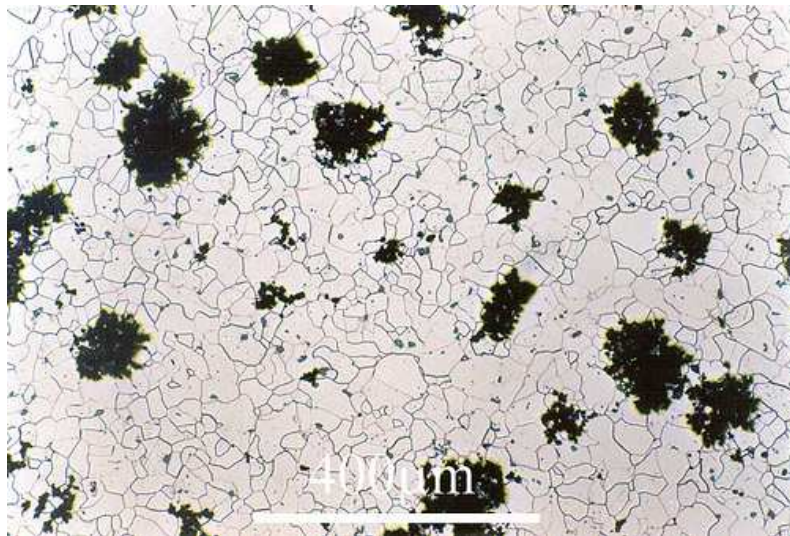


Hipereutético
CE > 4,3%

$$CE = \%C + \%Si/3$$

ToTo do FoFo branco

- Tratamento Térmico de Maleabilização
 - ~ 700°C por 30 h ou mais

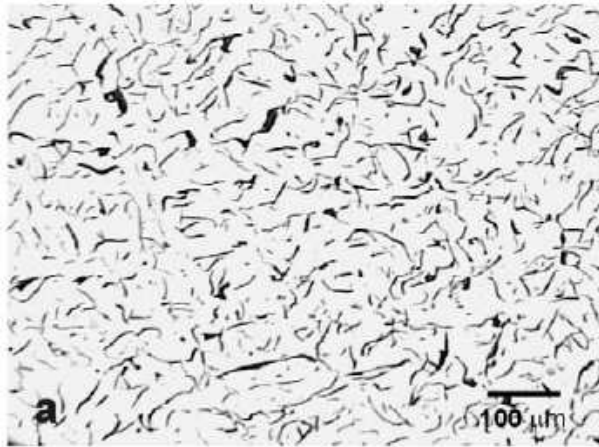


Ferrítico
(resfriamento lento)

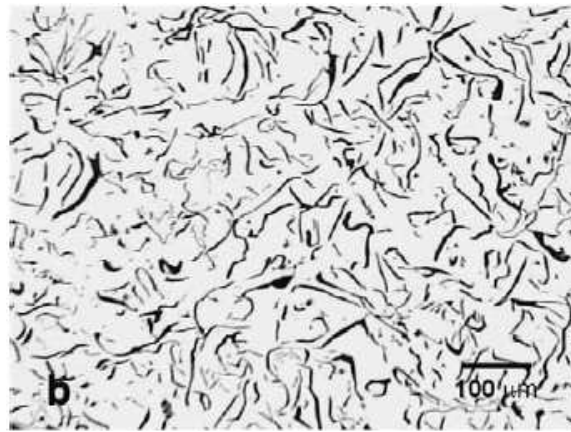


Perlítico
(resfriamento rápido)

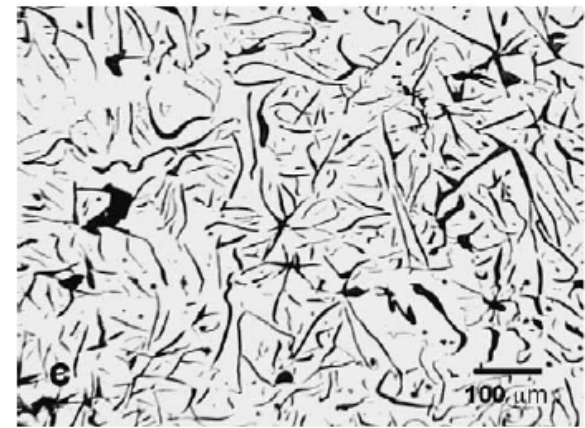
FoFo Cinzento



Hipoeutético
CE < 4,3%



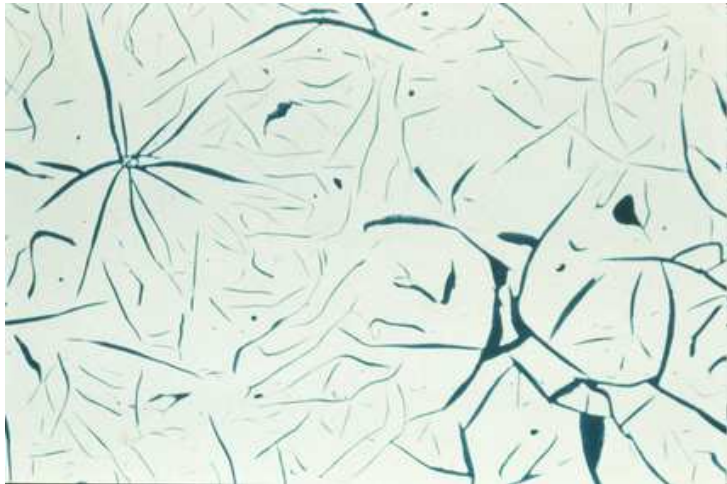
Eutético
CE ~ 4,3%



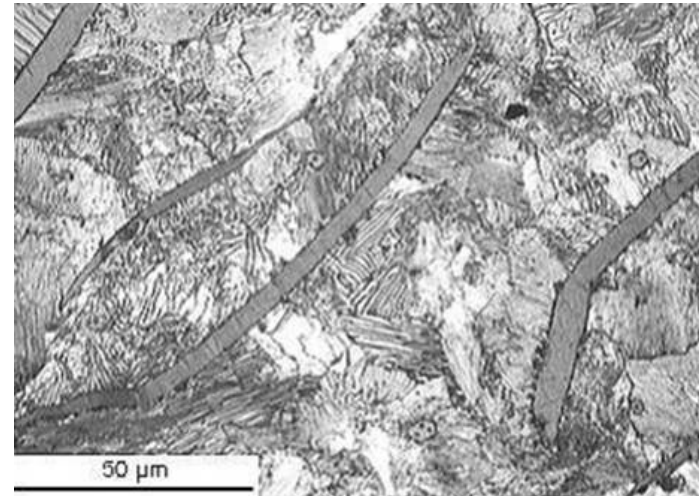
Hipereutético
CE > 4,3%



FoFo Cinzento



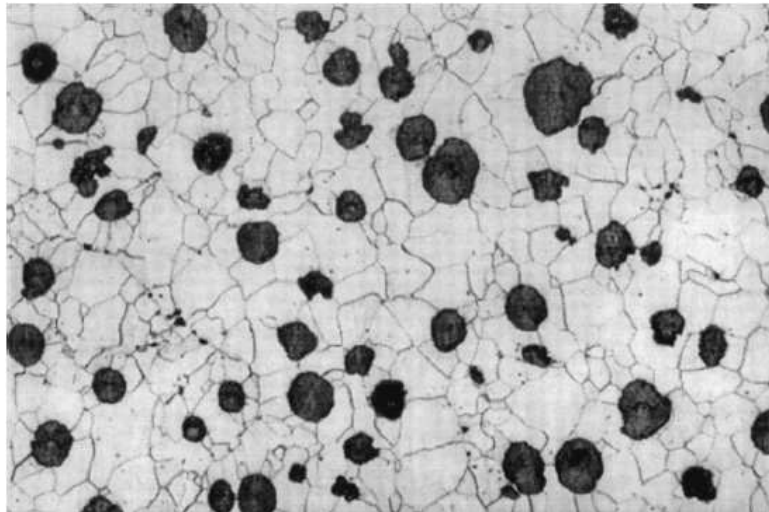
Ferrítico
(resfriamento lento)



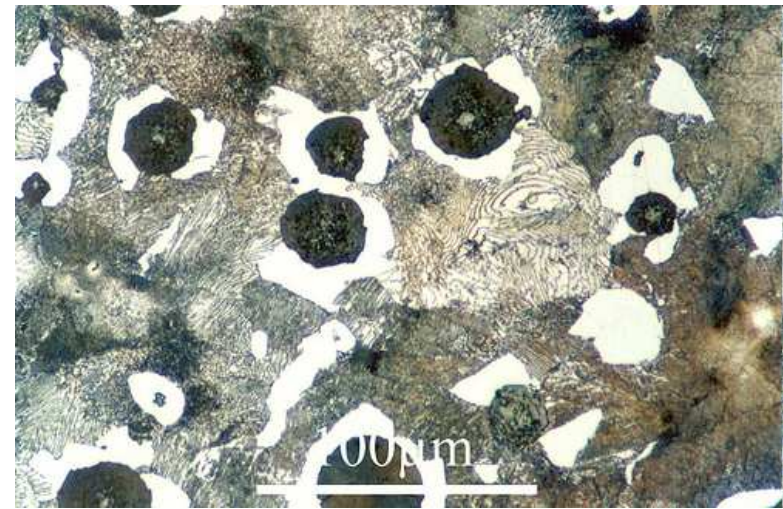
Perlítico
(resfriamento moderado)



FoFo Nodular



Ferrítico
(resfriamento lento)



Perlítico
(resfriamento moderado)



Designação dos FoFos Cinzentos (segundo ABNT)

Designação	Resistência à tração (MPa)
FC – 100	100
FC - 150	150
FC - 200	200
FC – 250	250
FC - 300	300
FC - 400	400



Designação dos FoFos Nodulares (segundo ABNT)

Designação	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
FE 38017	380	17
FE 42012	420	12
FE 50007	500	7
FE 60003	600	3
FE 70002	700	2
FE 80002	800	2



Outras ligas fundidas

- Ligas de Aço fundidas
 - baixo carbono ($C < 0,2\%$)
 - médio carbono (C entre $0,2$ e $0,5\%$)
 - alto carbono ($C > 0,5\%$)
 - baixo teor de liga (teor total de liga inferior a 8%)
 - alto teor de liga (teor total de liga superior a 8%)



Outras ligas fundidas

- Ligas de Alumínio fundidas
 - 1xx.x alumínio, 99.0% mínimo;
 - 2xx.x Cu (4%...4.6%);
 - 3xx.x Si (5%...17%) com adições de Cu e/ou Mg
 - 4xx.x Si (5%...12%);
 - 5xx.x Mg (4%...10%);
 - 7xx.x Zn (6.2%...7.5%);
 - 8xx.x Sn;
 - 9xx.x outros



Outras ligas fundidas

■ Ligas de Cobre fundidas

Liga	Classificação UNS	Composição
Cobre comercialmente puro	C80100 - C81100	> 99% Cu
Ligas de alto teor de cobre	C81300 - C82800	> 94% Cu
Latões vermelhos ao chumbo	C83300 - C85800	Cu-Zn-Sn-Pb (75-89% Cu)
Latões amarelos ao chumbo	C85200 - C85800	Cu-Zn-Sn-Pb (57-74% Cu)
Bronzes ao chumbo e ao manganês	C86100 - C86800	Cu-Zn-Mn-Fe-Pb
Bronzes e latões ao silício	C87300 - C87900	Cu-Zn-Si
Bronzes ao estanho e ao chumbo	C90200 - C94500	Cu-Sn-Zn-Pb
Bronzes ao níquel e ao estanho	C94700 - C94900	Cu-Ni-Sn-Zn-Pb
Bronzes ao alumínio	C95200 - C95810	Cu-Al-Fe-Ni
Cobre-níquel	C96200 - C96800	Cu-Ni-Fe
Níquel prata	C97300 - C97800	Cu-Ni-Zn-Pb-Sn
Cobres ao chumbo	C98200 - C98800	Cu-Pb
Ligas especiais	C99300 - C99750	-