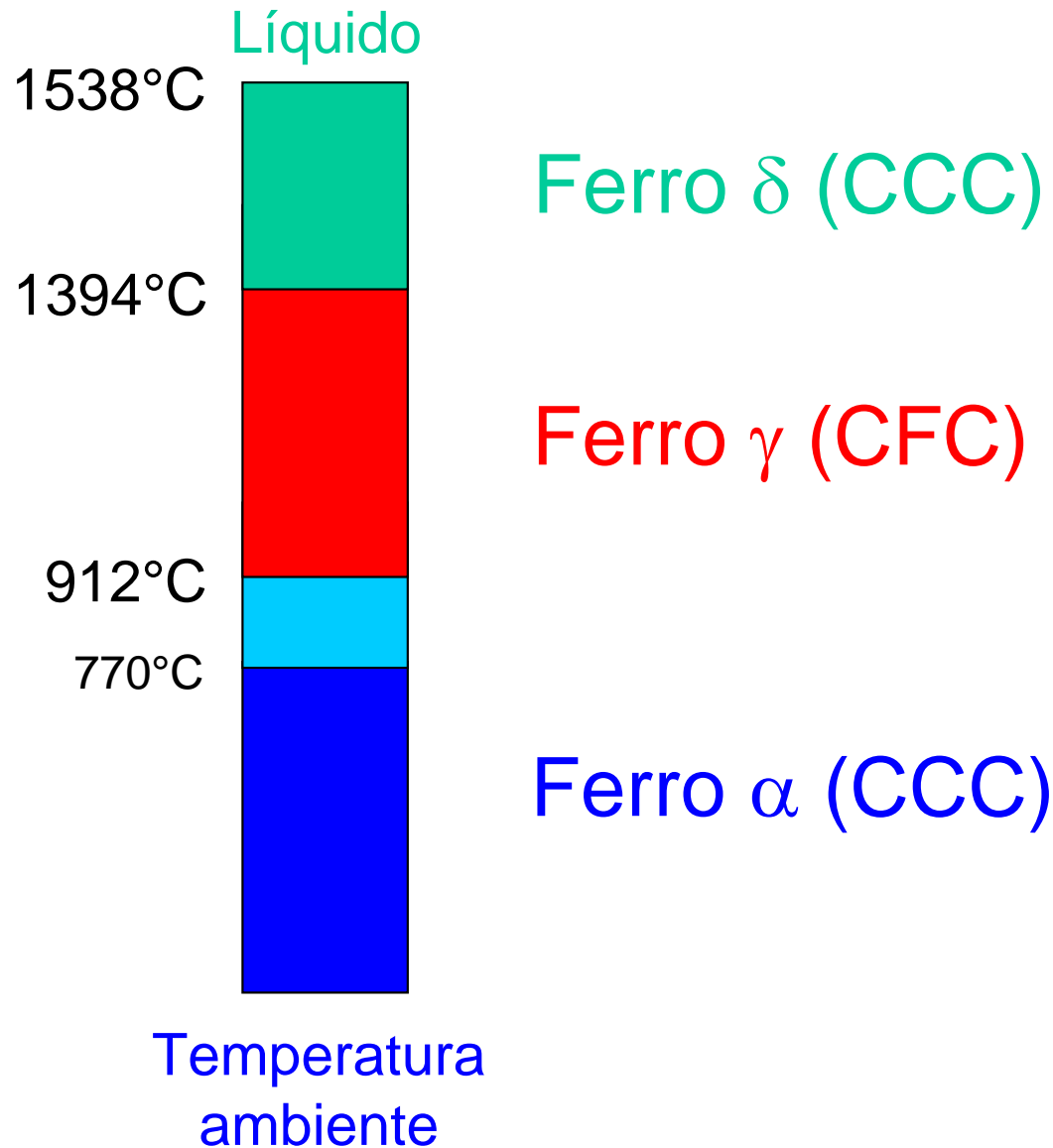
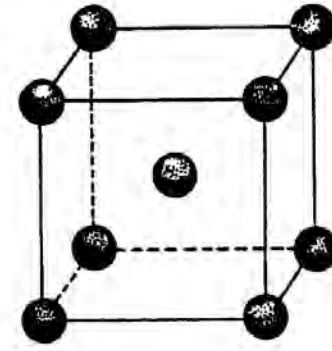


Microestrutura dos aços [5]

➤ Alotropia do ferro puro:

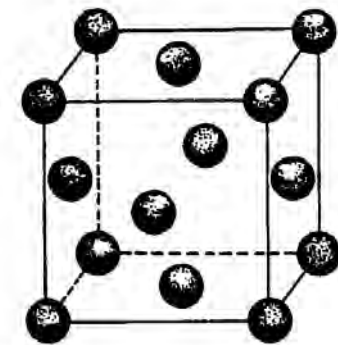


Cúbico de corpo centrado



$$a_0 = 2,93 \text{ \AA} (\delta)$$
$$a_0 = 2,86 \text{ \AA} (\alpha)$$

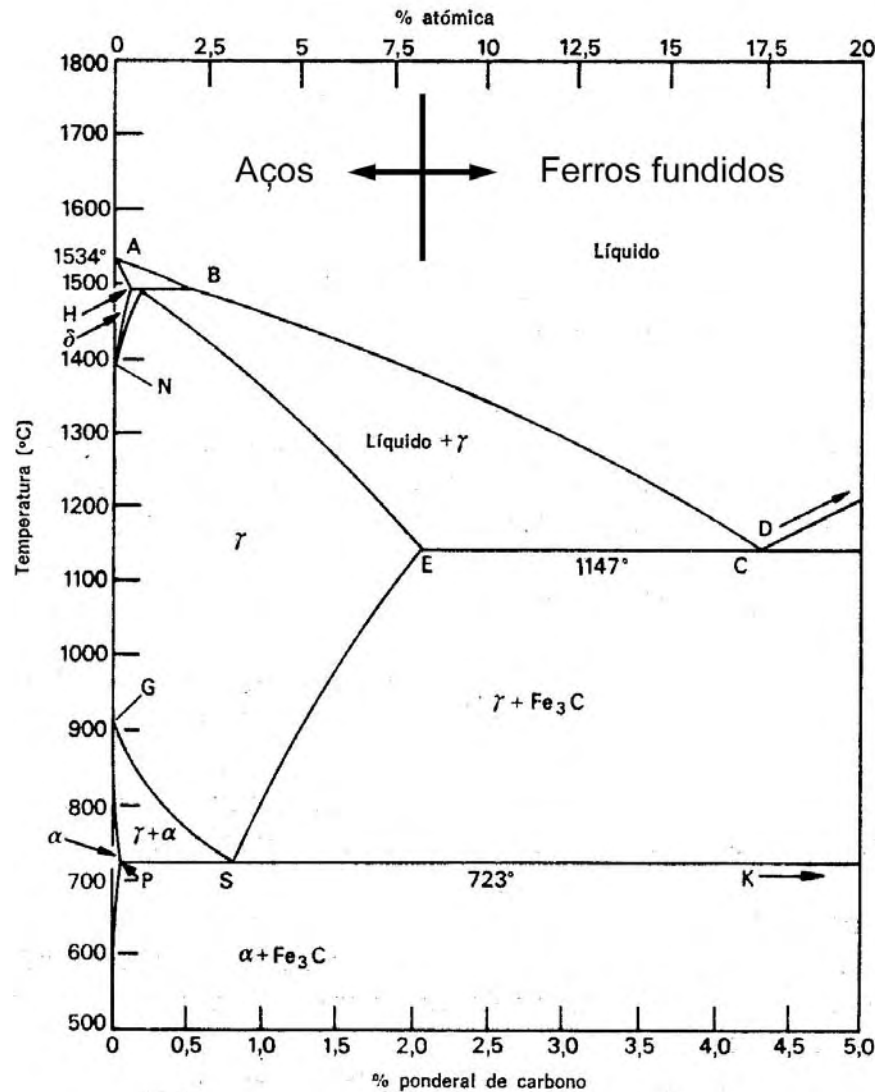
Cúbico de face centrada



$$a_0 = 3,64 \text{ \AA}$$

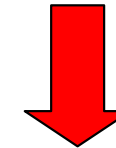
Microestrutura dos aços

➤ Diagrama de equilíbrio Fe-C:



Aços: C < 2,1%p
Ferros Fundidos: C > 2,1%p

Transformação de fase



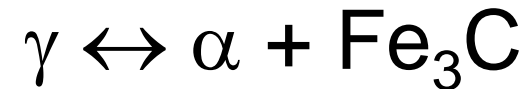
Propriedades mecânicas

Principais fases:

- austenita (CFC)
- ferrita (CCC)
- cementita (ortorrômbica)

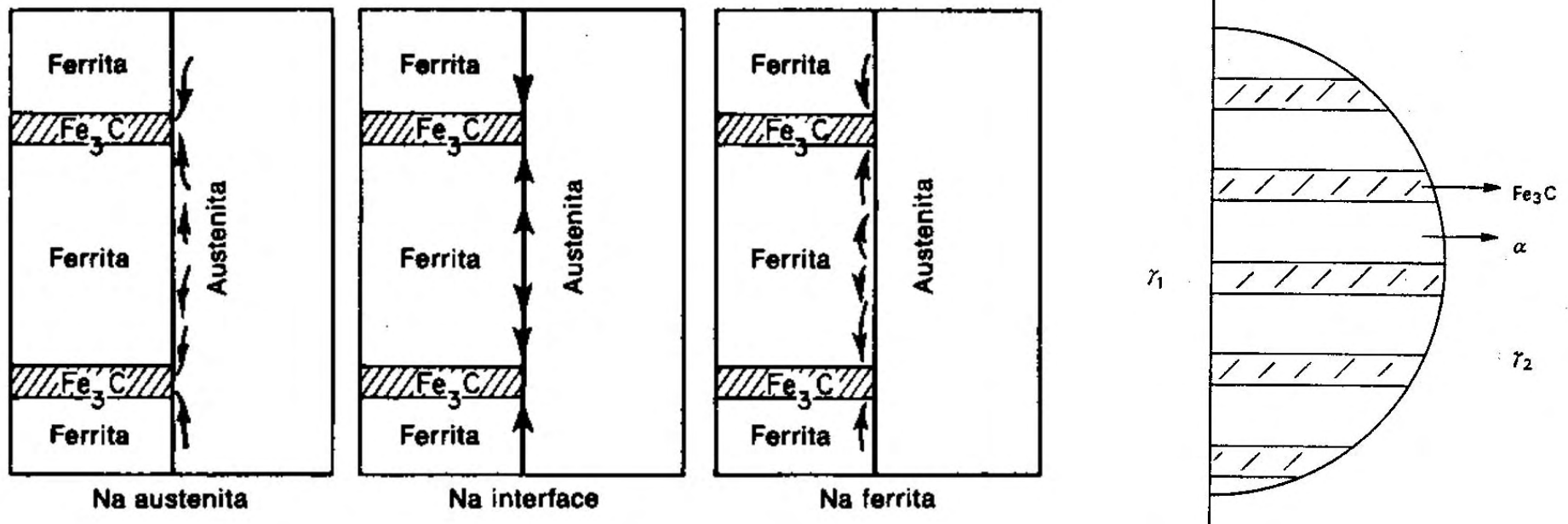
Microestrutura dos aços

➤ Reação eutetóide \longrightarrow aço com 0,8%p de C



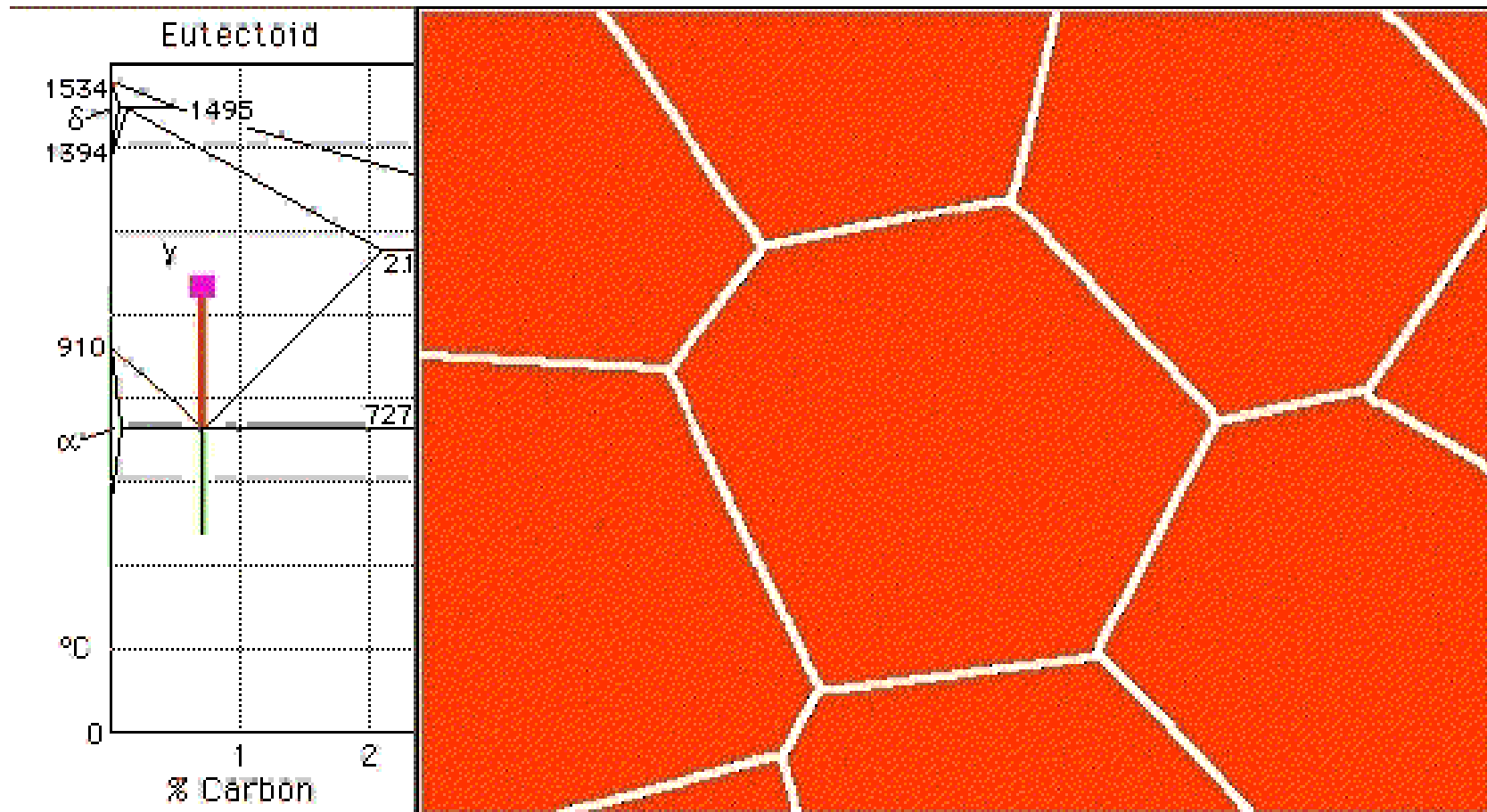
➤ **Cementita (Fe_3C)** \longrightarrow formação favorecida pela menor solubilidade do carbono no Fe_α

• Mecanismo de controle: difusão do carbono



Microestrutura dos aços

- Transformação de fase em aço eutetóide:



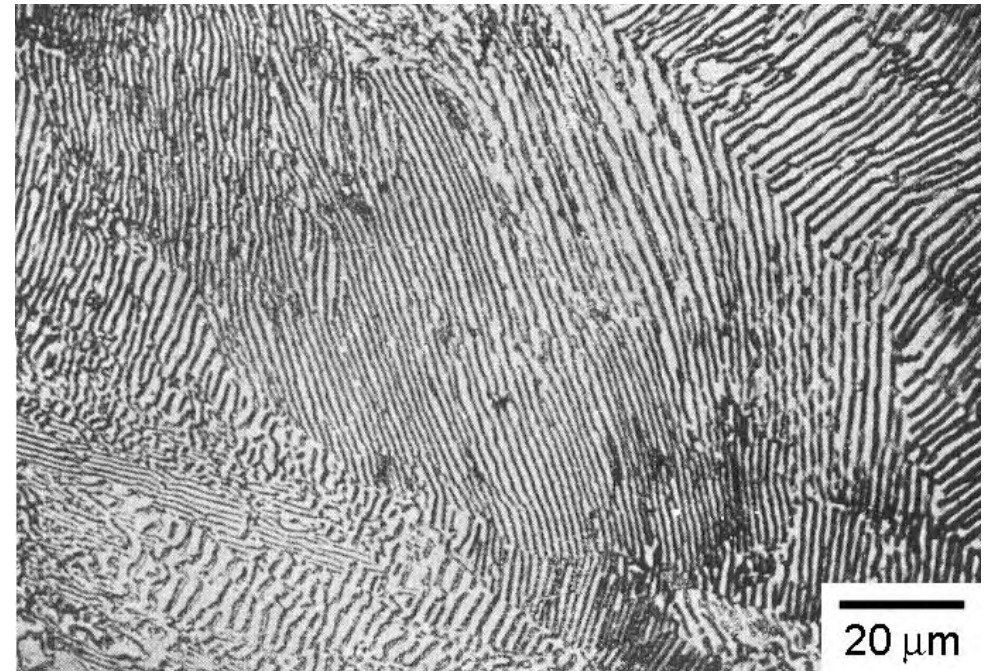
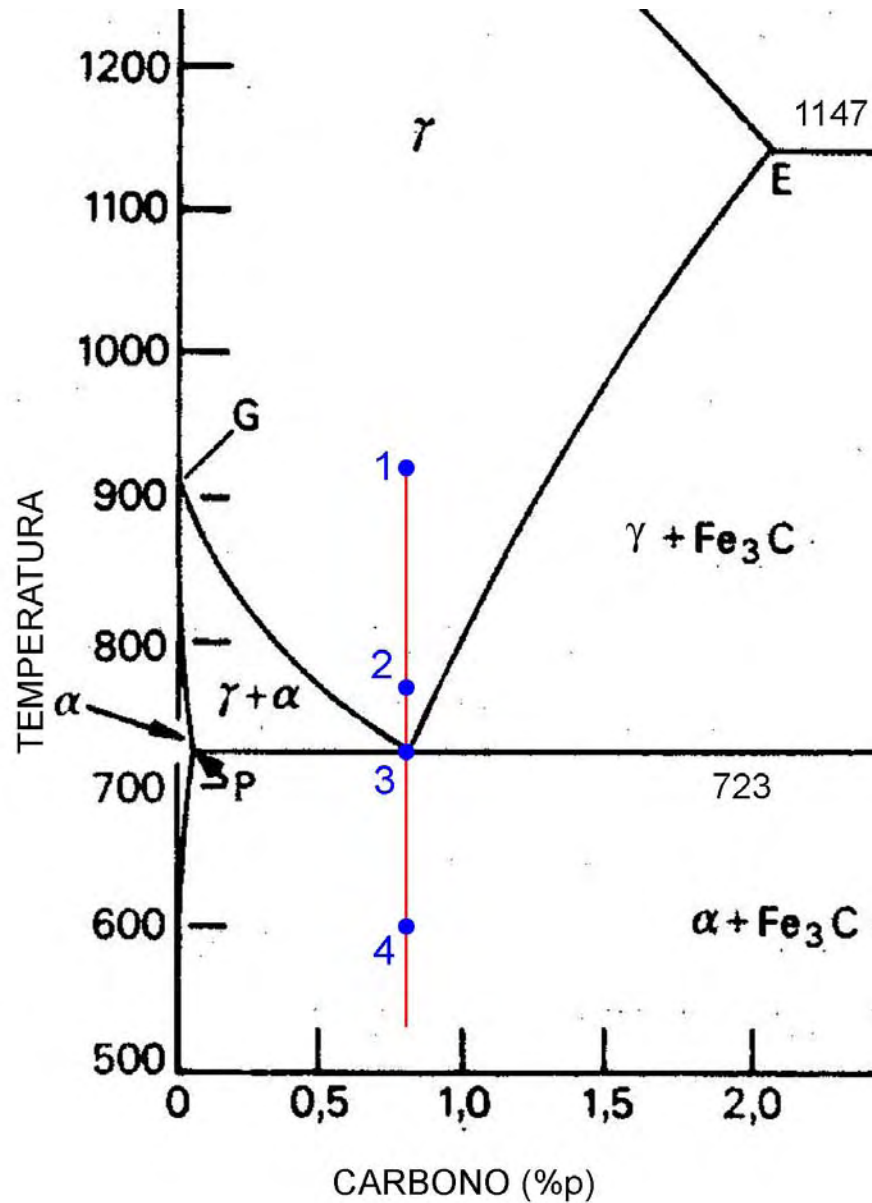
austenita



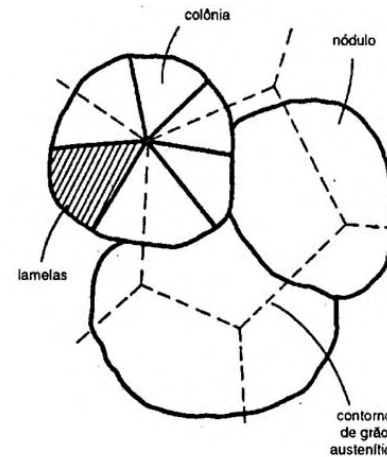
perlita (ferrita + cementita)

Microestrutura dos aços

➤ Microestrutura do aço eutetóide:



Colônias de perlita em aço

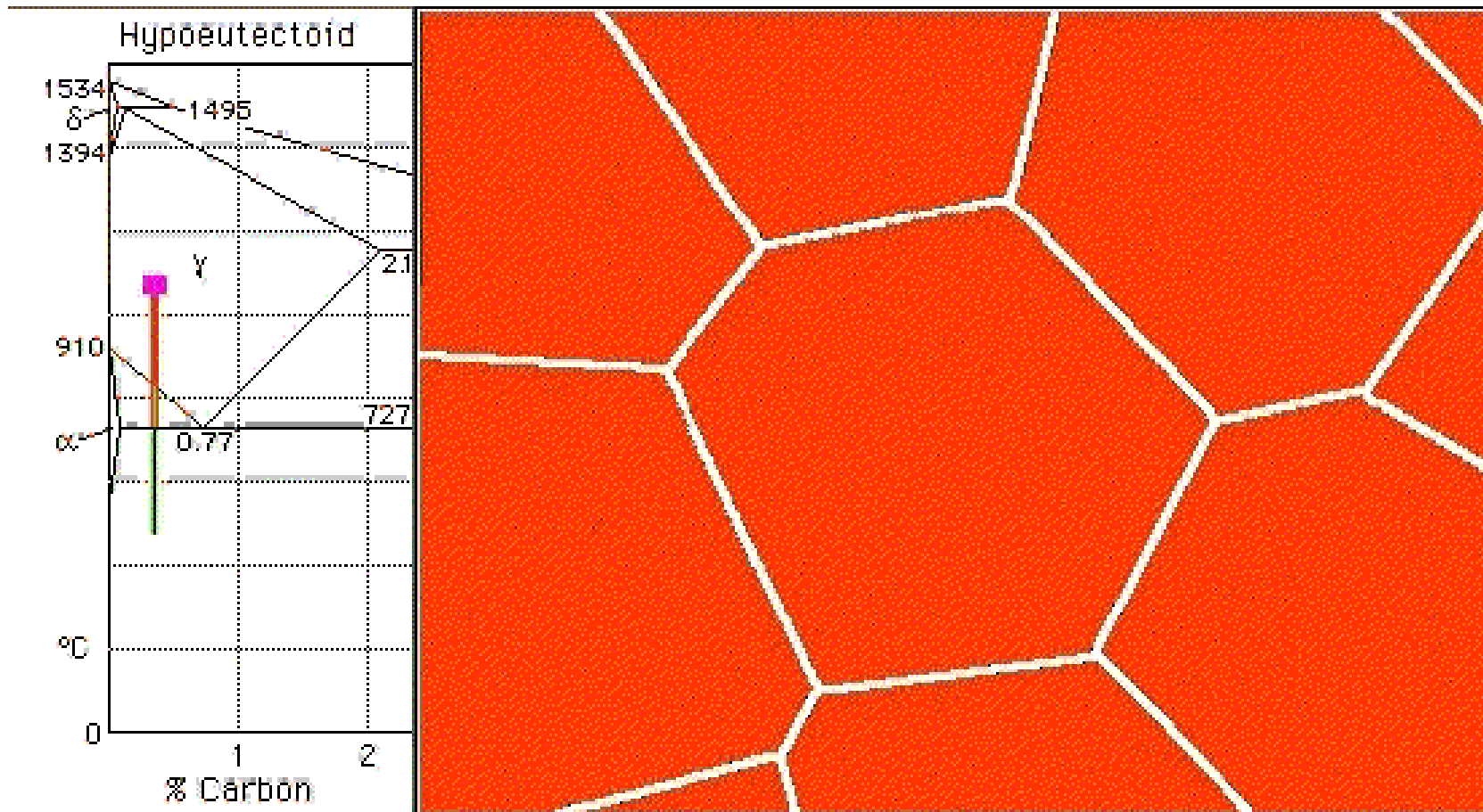


Morfologia da perlita em aços



Microestrutura dos aços

- Transformação de fase em aço hipoeutetóide:



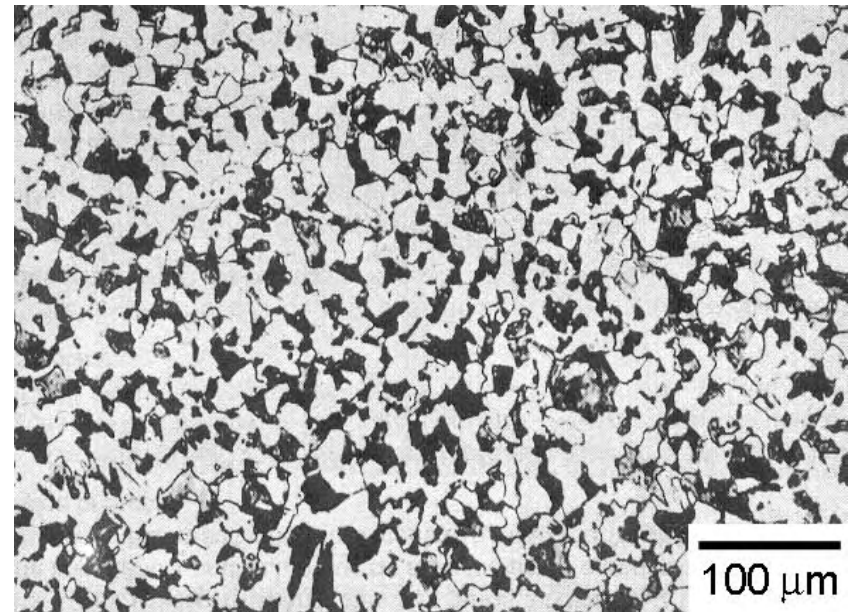
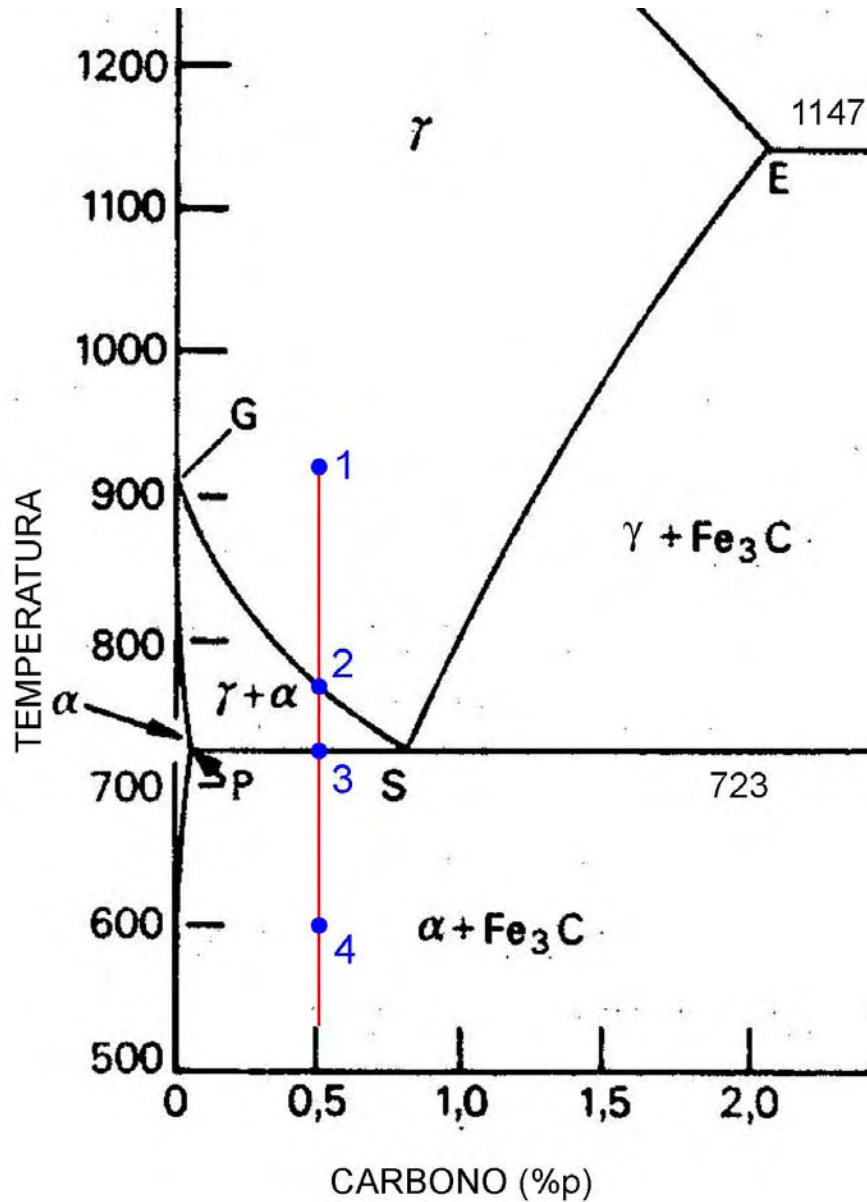
austenita



ferrita + perlita

Microestrutura dos aços

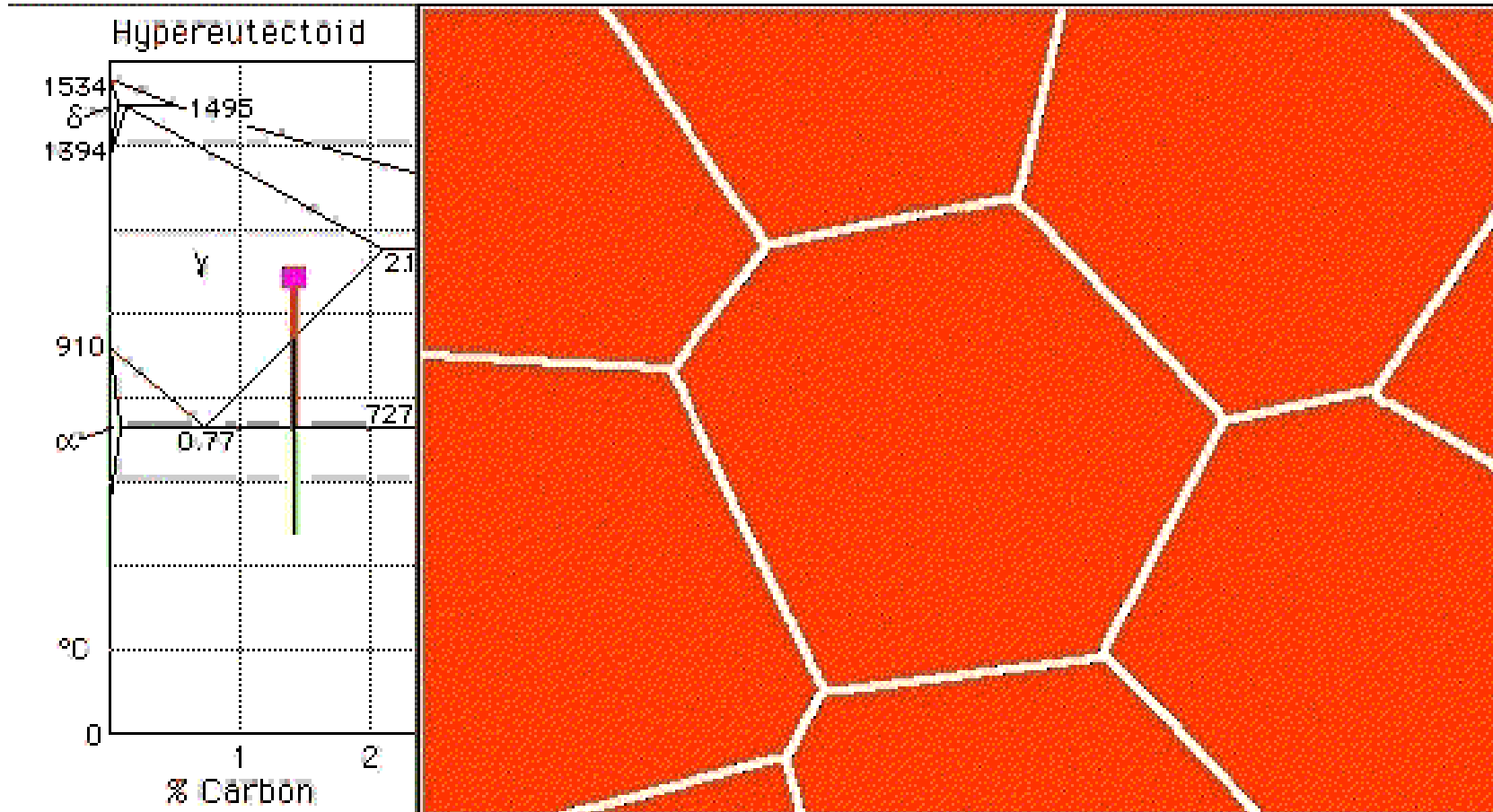
➤ Microestrutura do aço hipoeutetóide:



**Colônias de perlita
envolvidas por grãos de
ferrita pró-eutetóide**

Microestrutura dos aços

- Transformação de fase em aço hipereutetóide:



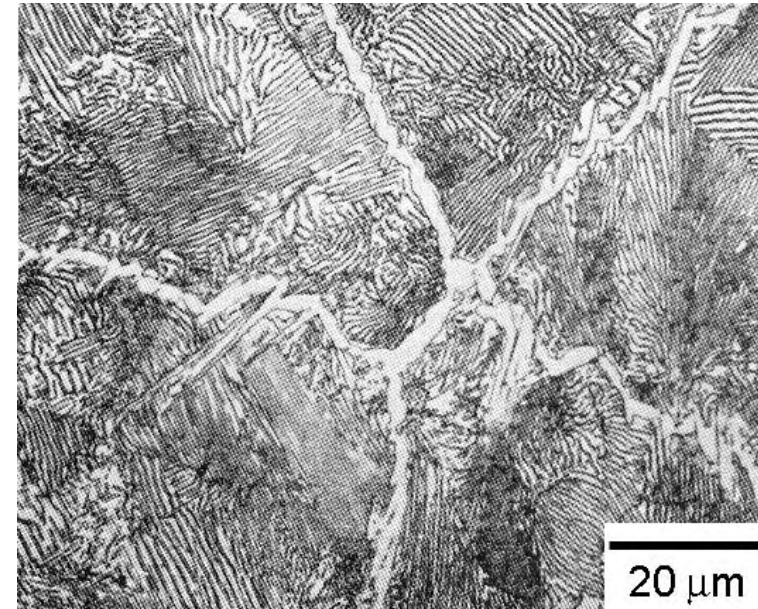
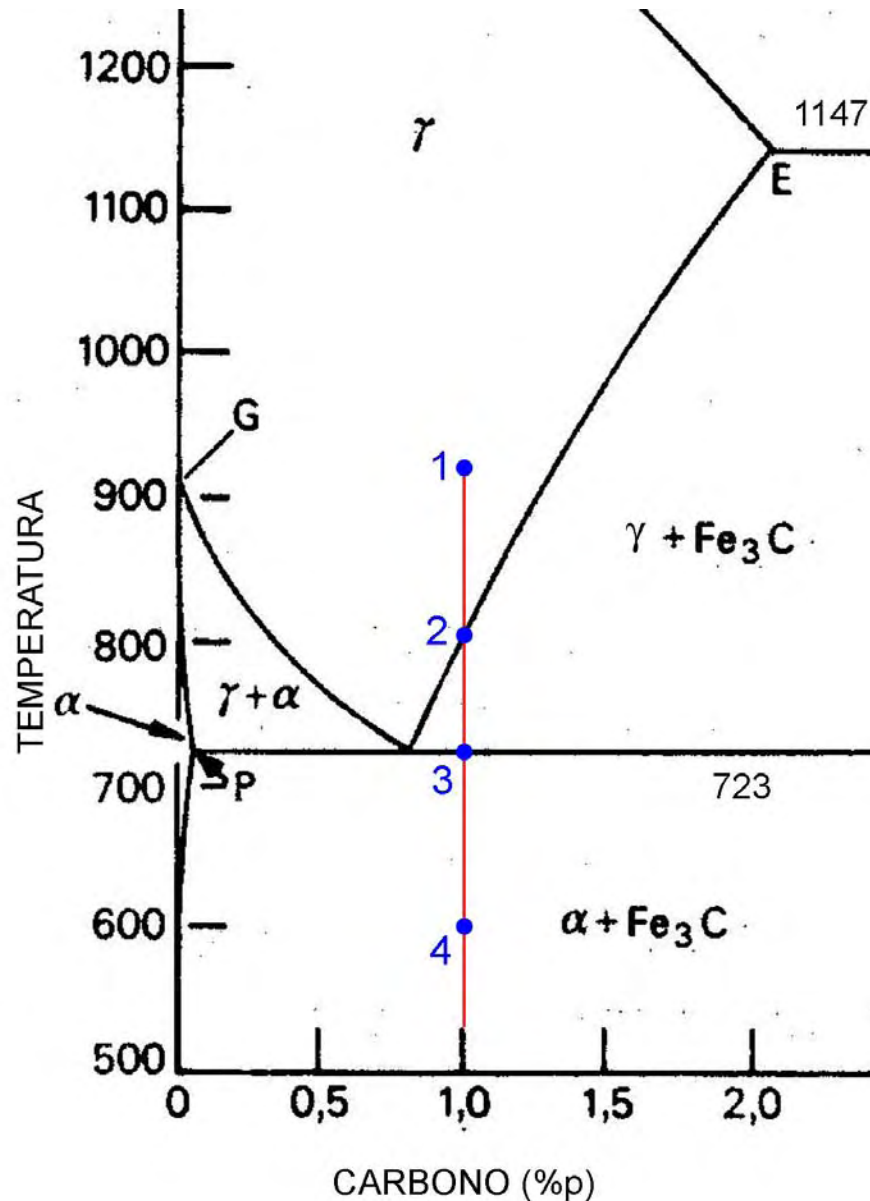
austenita



cementita + perlita

Microestrutura dos aços

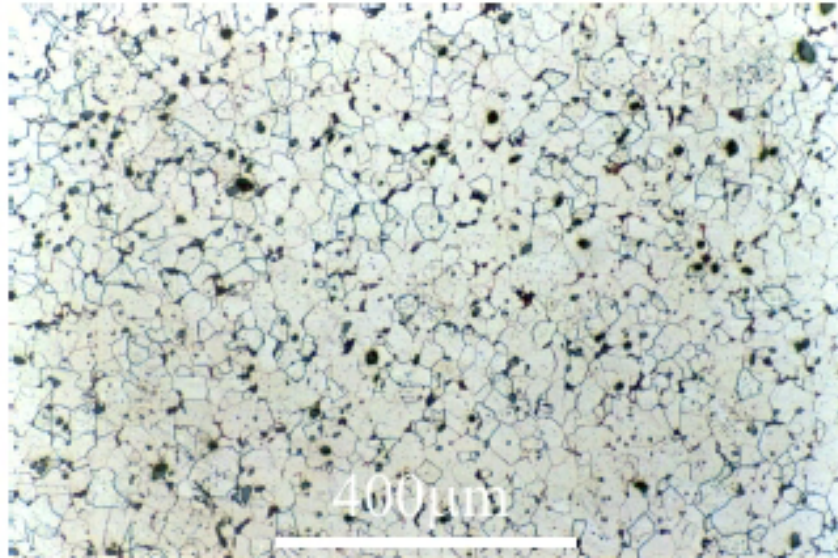
➤ Microestrutura do aço hipereutetóide:



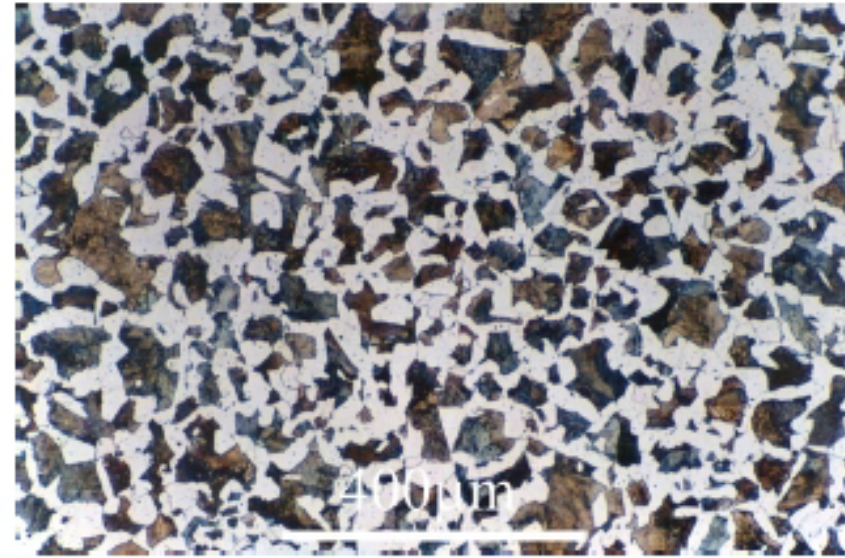
**Colônias perlíticas
envolvidas em
filmes de cementita**

Microestrutura dos aços

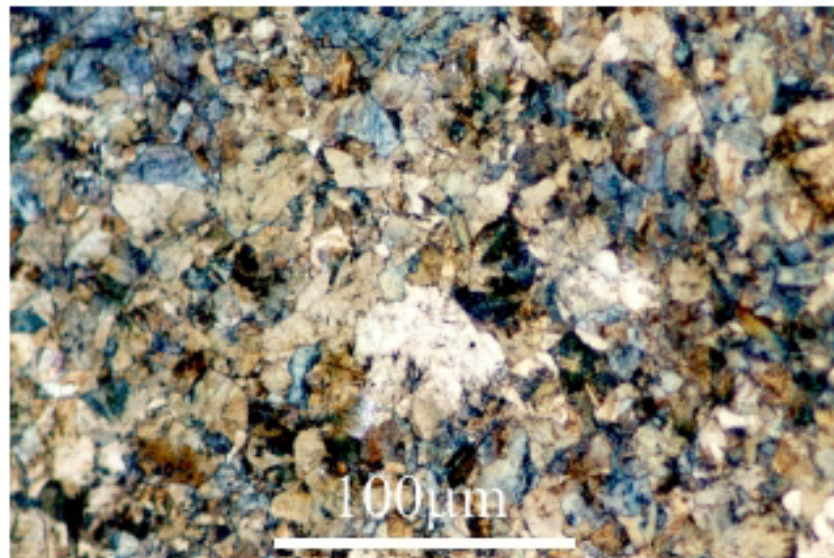
➤ Microestrutura ferrítico-perlítica dos aços-carbono:



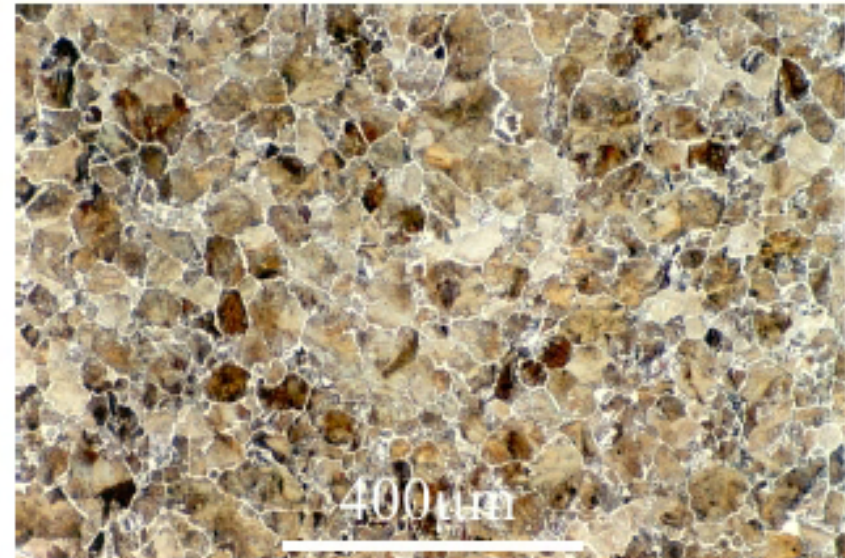
0,1% C – ferrita + perlita



0,4% C – ferrita + perlita



0,8% C - perlita



1,3% C – perlita + cementita

Ataque: nital 2%

Microestrutura dos aços

➤ Propriedades Mecânicas dos aços-carbono:

- **C < 0,8%p** → aço hipoeutetóide
- **C = 0,8%p** → aço eutetóide
- **C > 0,8%p** → aço hipereutetóide

Carbono %	Limite de escoamento		Limite de resistência à tração		Alongamento em 2'' %	Estricção %	Dureza Brinell
	kfg/mm ²	MPa	kfg/mm ²	MPa			
0,01	12,5	125	28,5	275	47	71	90
0,20	25,0	250	41,5	405	37	64	115
0,40	31,0	300	52,5	515	30	48	145
0,60	35,0	340	67,0	660	23	33	190
0,80	36,5	355	80,5	785	15	22	220
1,00	36,5	355	75,5	745	22	26	195
1,20	36,0	350	71,5	705	24	39	200
1,40	35,0	340	69,5	685	19	25	215

Microestrutura dos aços

➤ Diagrama de equilíbrio → transformações muito lentas



divergências devido ao processamento industrial

➤ Reações / transformações em condições realísticas:

diagramas

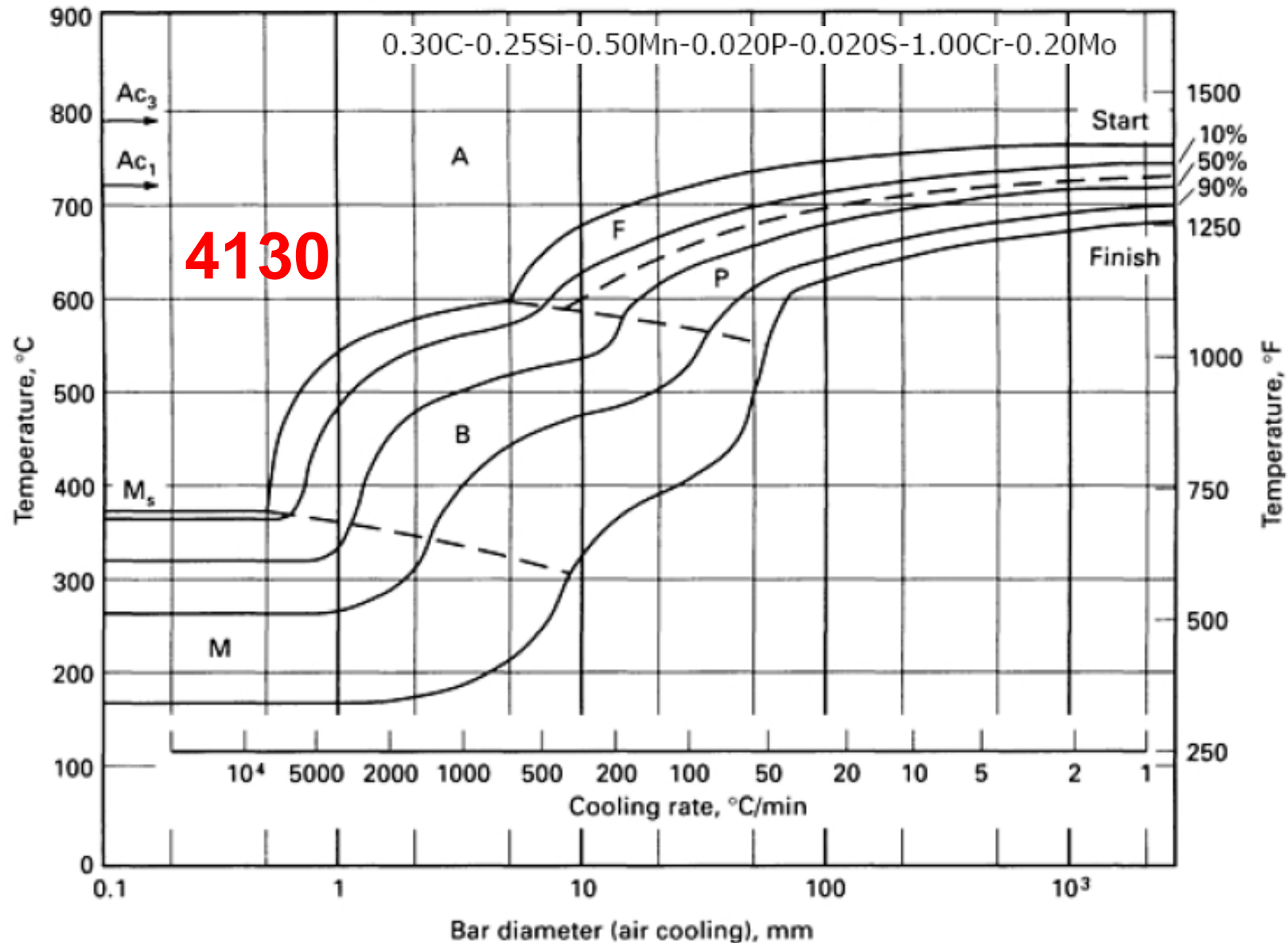
resfriamento isotérmico (T-T-T)

resfriamento contínuo

Microestrutura dos aços

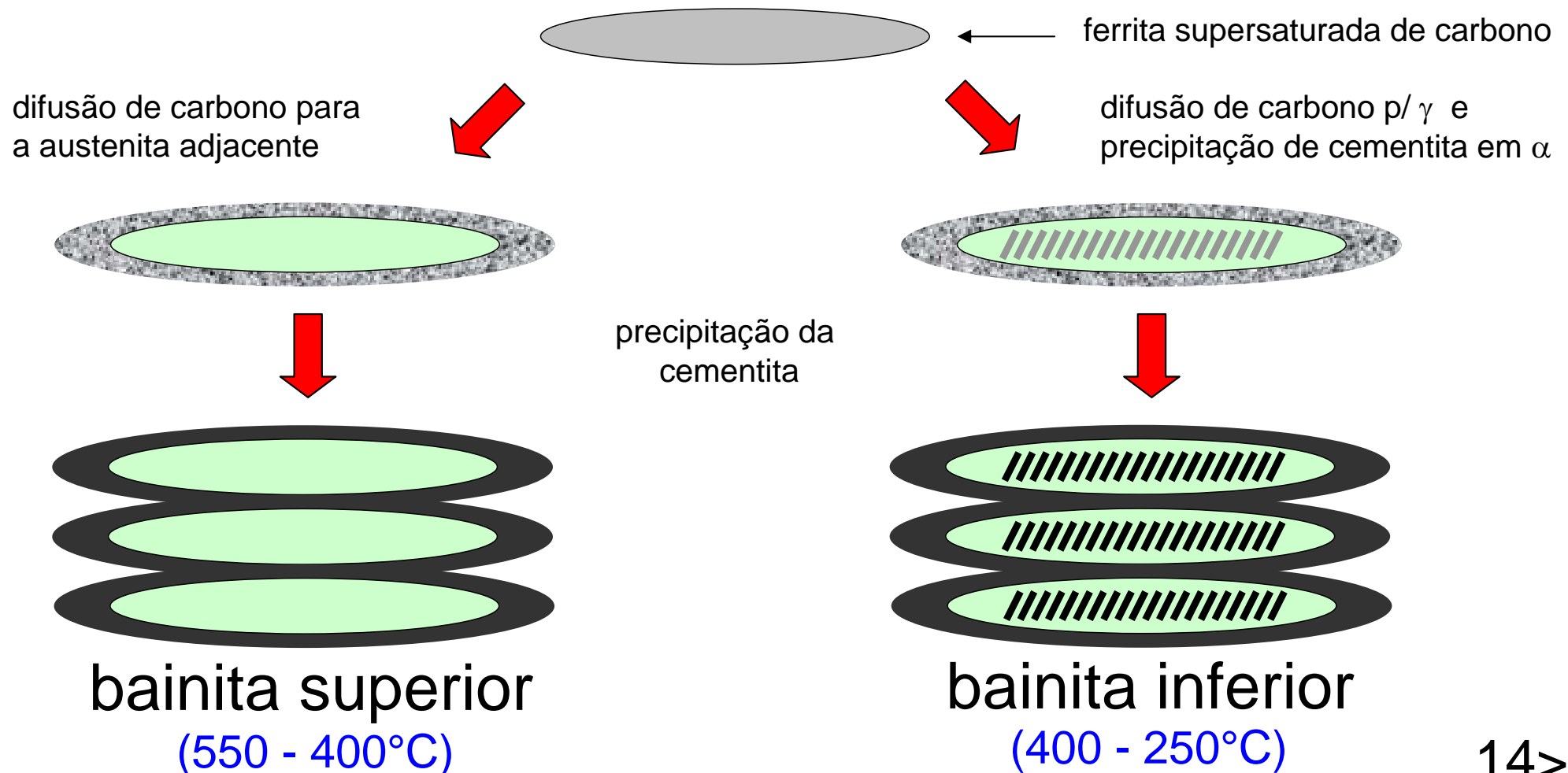
➤ Diagrama de Resfriamento Contínuo (CCT):

identifica as taxas de resfriamento necessárias para a transformação de fase fora das condições de equilíbrio termodinâmico.



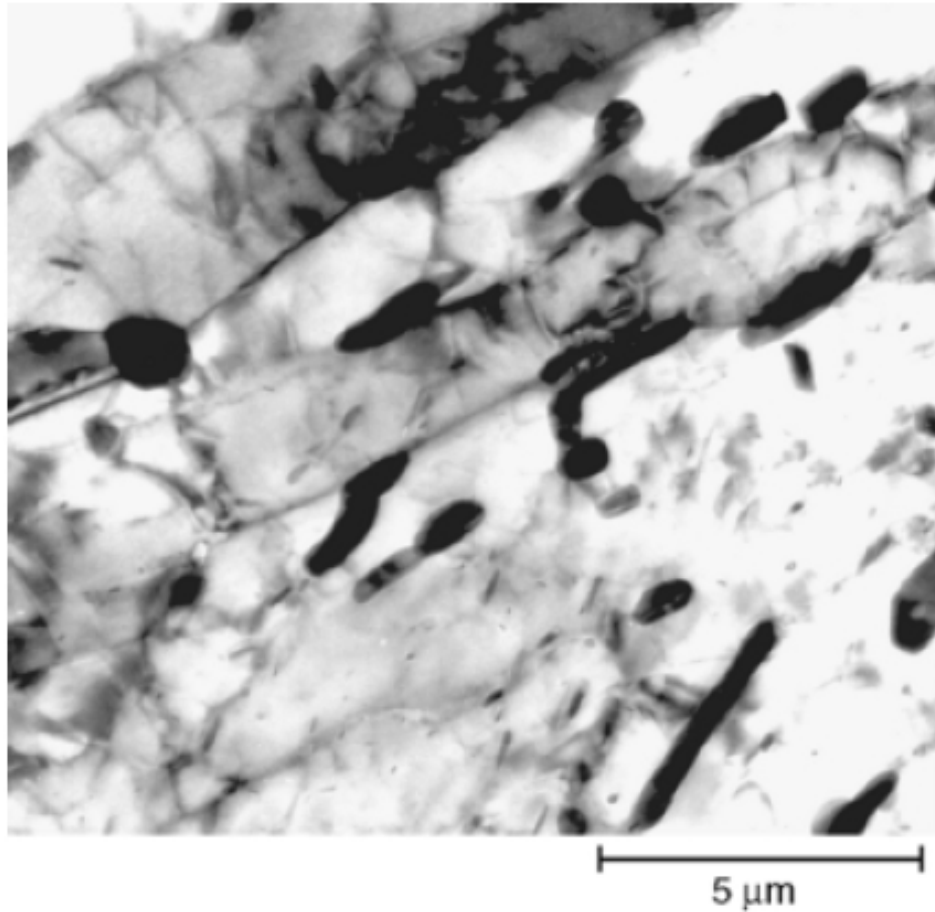
Microestrutura dos aços

- Um outro microconstituente dos aços: a BAINITA
Aspecto morfológico da bainita – formada em temperaturas inferiores à perlita, constitui-se de finos agregados de placas ou agulhas de ferrita com partículas de Fe_3C .

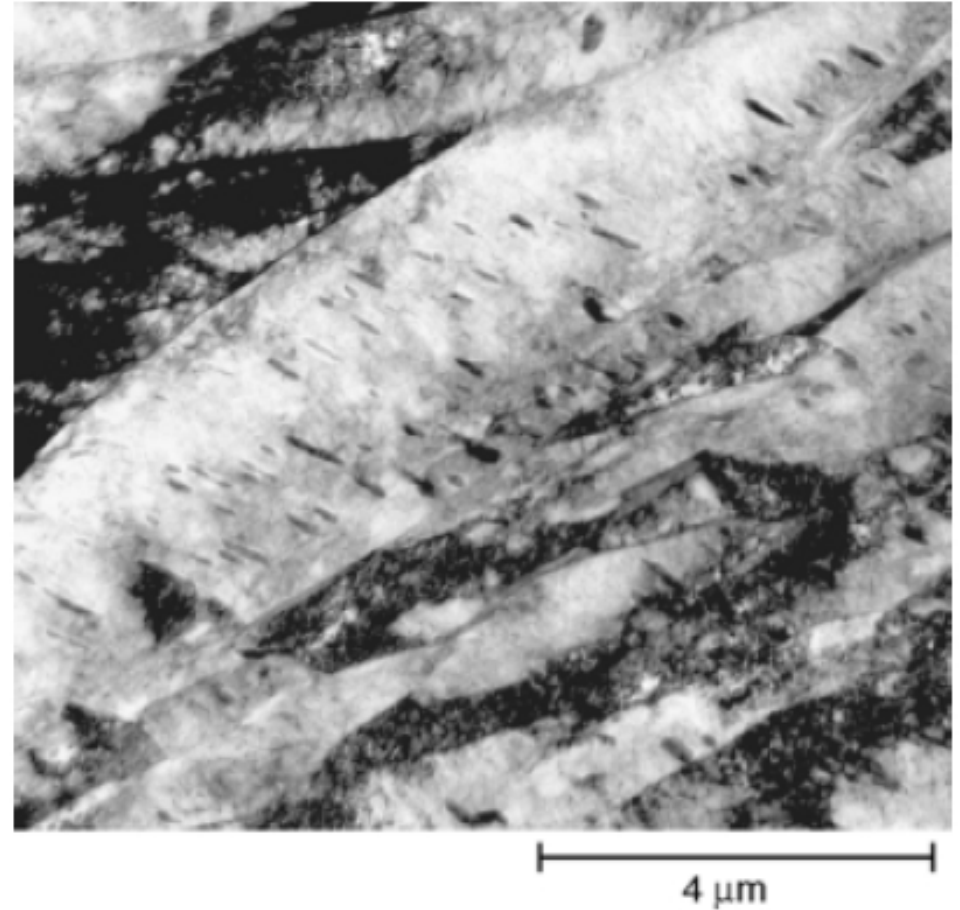


Microestrutura dos aços

➤ CARBONETOS NA BAINITA (MET):



bainita superior
(550 - 400°C)

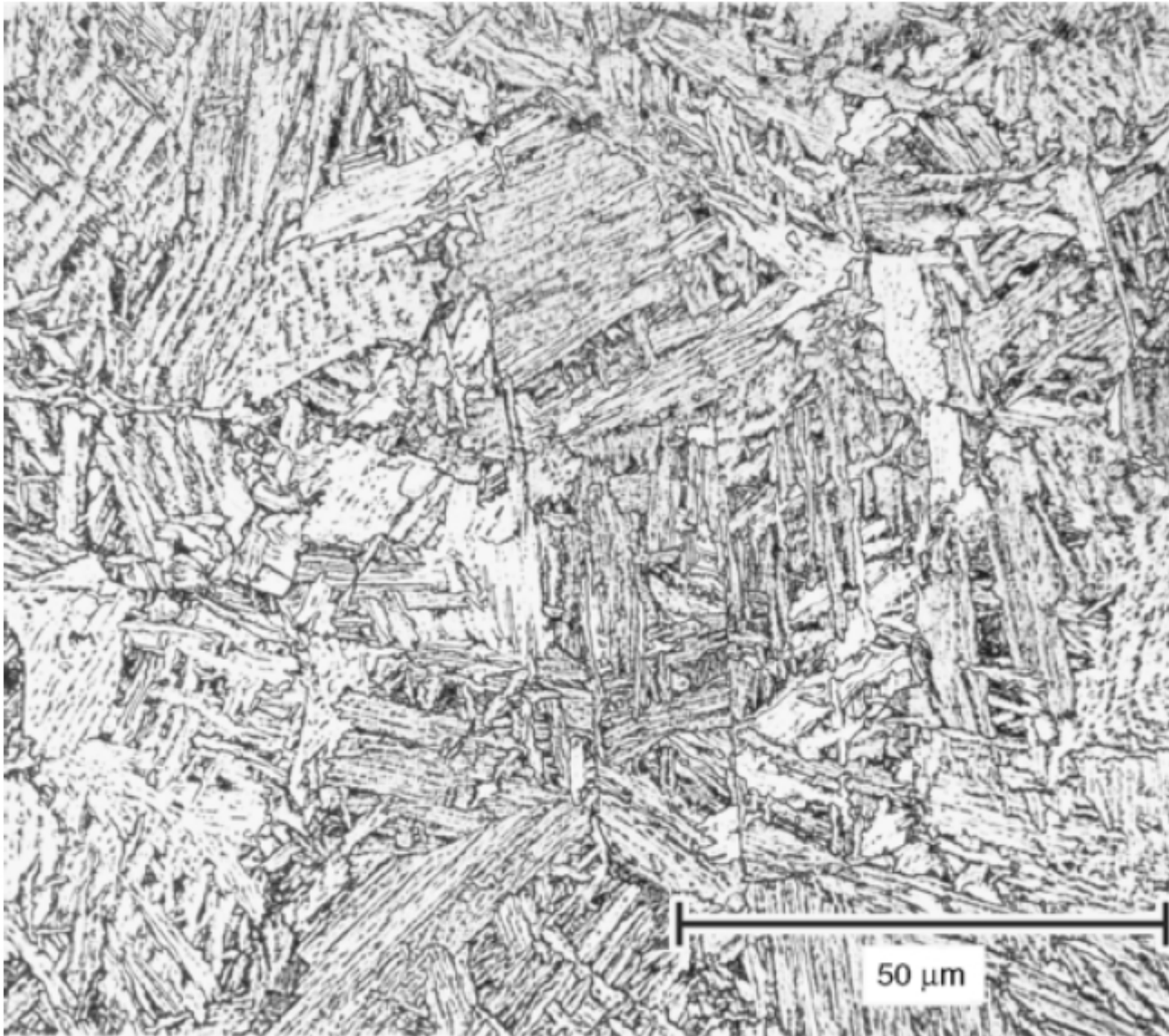


bainita inferior
(400 - 250°C)

A determinação exata do tipo de bainita é realizada por microscopia eletrônica de transmissão (MET) e medidas de dureza.

Microestrutura dos aços

➤ MORFOLOGIA TÍPICA DA BAINITA:



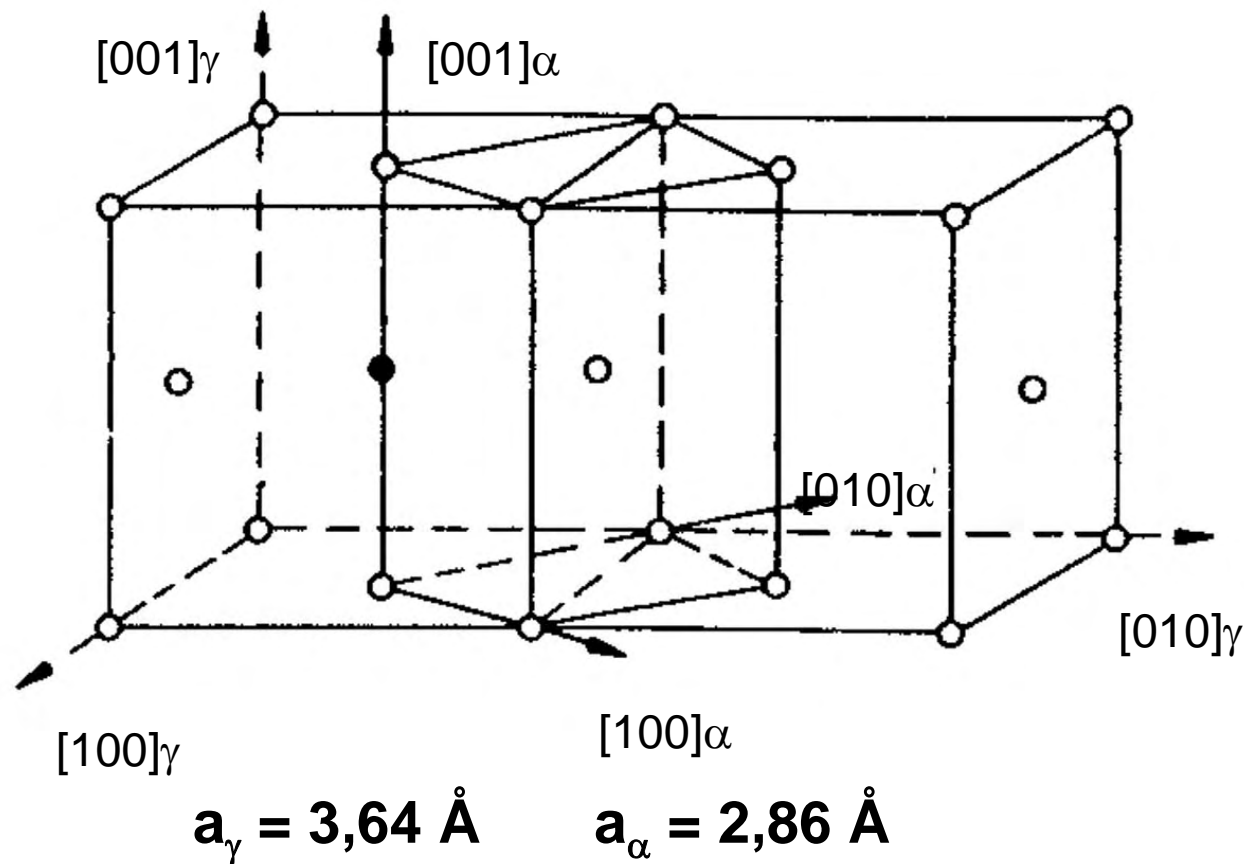
A morfologia acicular da Bainita é facilmente confundida com a Martensita na observação por Microscopia Ótica

Ataque: picral 4% + nital 2%

Microestrutura dos aços

➤ MARTENSITA:

Aspecto morfológico da martensita – reação promovida pelo cisalhamento de planos atômicos em temperaturas onde a difusão é menor, constitui-se de finas placas de ferrita supersaturada de carbono (tetragonal).



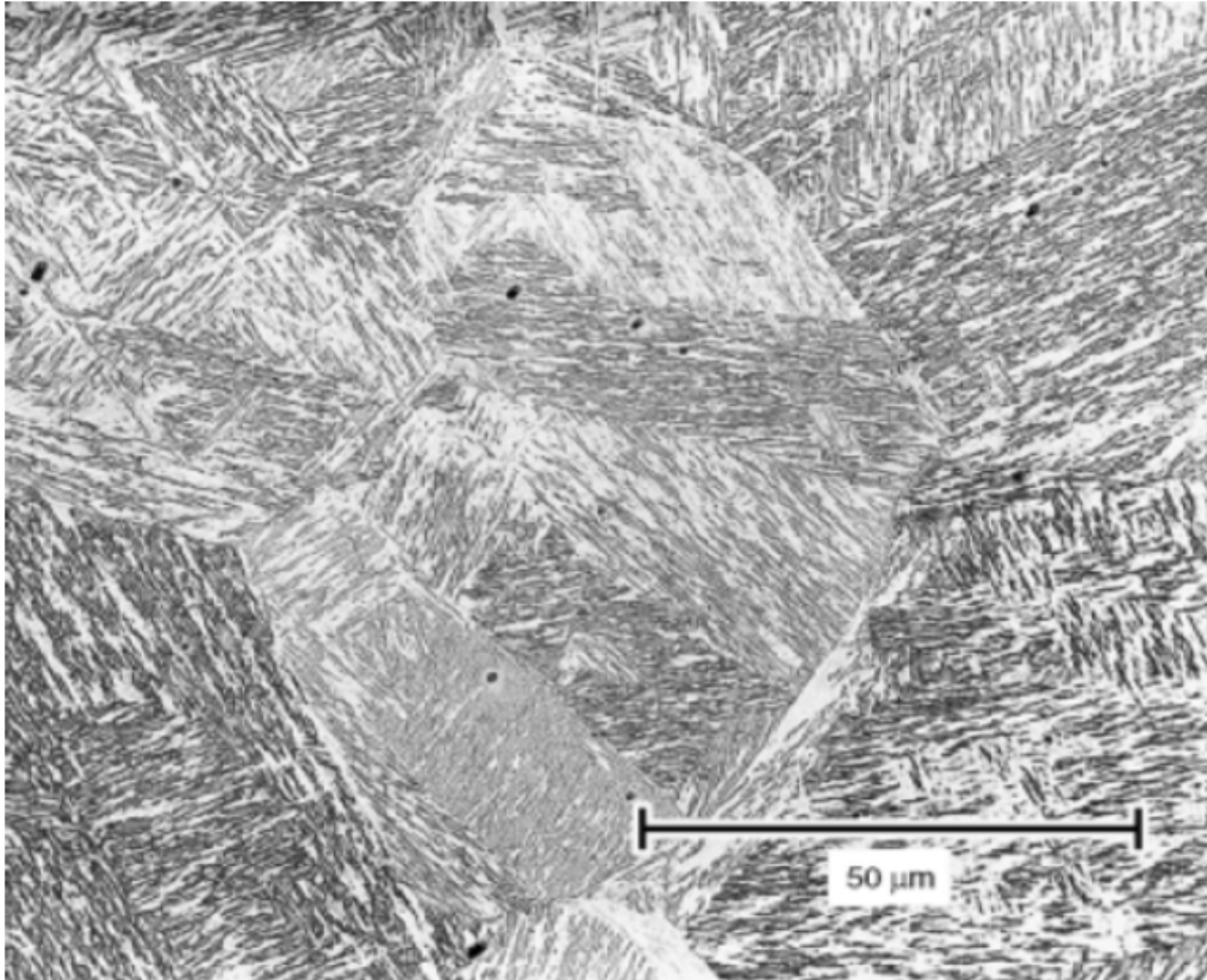
distorção da rede
CFC → TCC

$$\frac{c}{a} = 1 + 0,045 \cdot (\%pC)$$

**resistência
e fragilidade
elevadas**

Microestrutura dos aços

➤ MORFOLOGIA TÍPICA DA MARTENSITA:



Morfologia
de ripas (*lath*)
da
Martensita
em
aço de baixa
liga temperado
em água
observada por
Microscopia
Ótica

Ataque: nital 2%

Microestrutura dos aços

Bibliografia:

- **Chiaverini, V.** Tratamentos Térmicos das Ligas Ferrosas. ABM, São Paulo, 1987.
- **Colpaert, H.** Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1974.
- **ASM Handbook.** Metallography and Microstructures. Volume 9, G. F. Vander Voort (ed.), 2004.
- **ASM Handbook.** Heat Treating, Volume 4, 1991.
- **Van Vlack, L. H.** Princípios de Ciência dos Materiais. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1970.