



# Diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>C (aços ao carbono) (AISI/SAE 10xx)

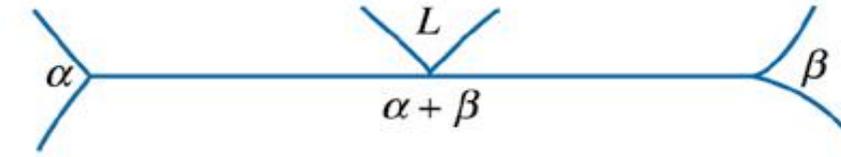
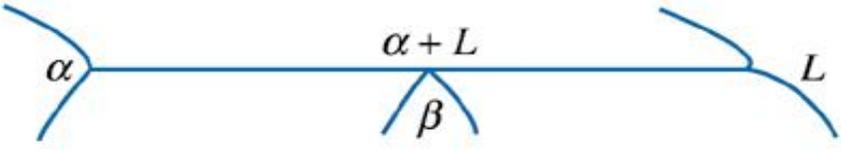
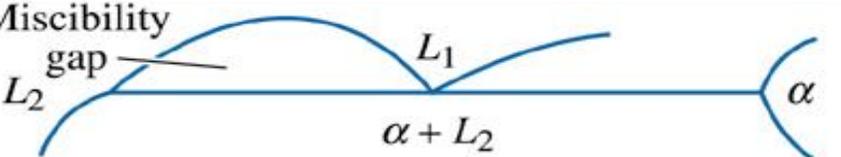
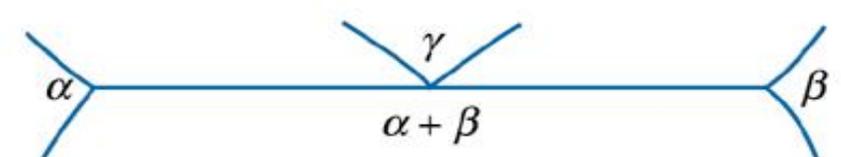
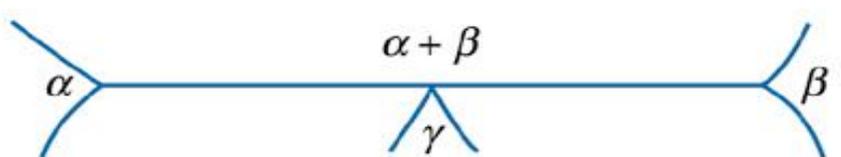
## Composição Química dos Aços:

**Fe: Base**

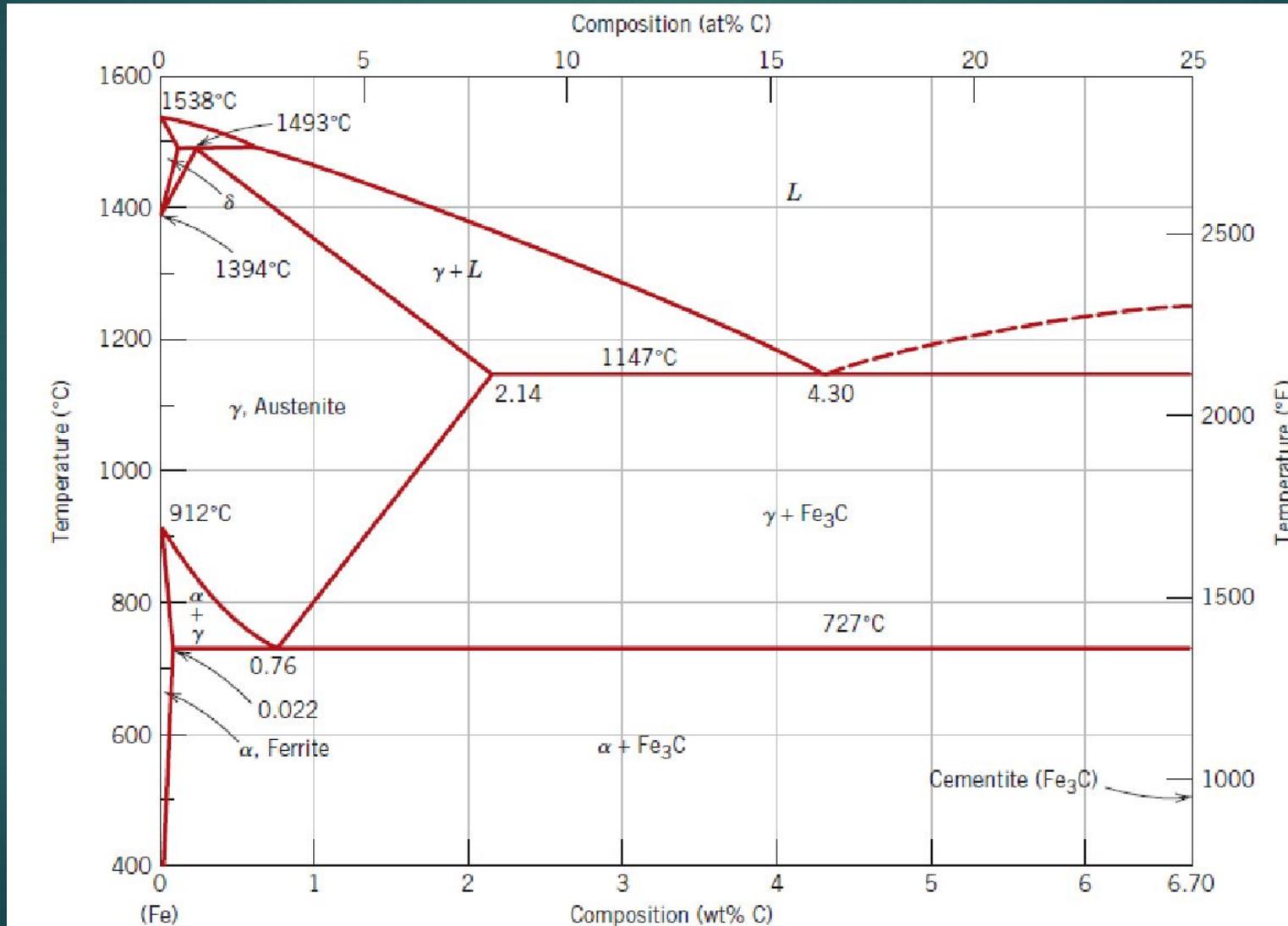
**+**

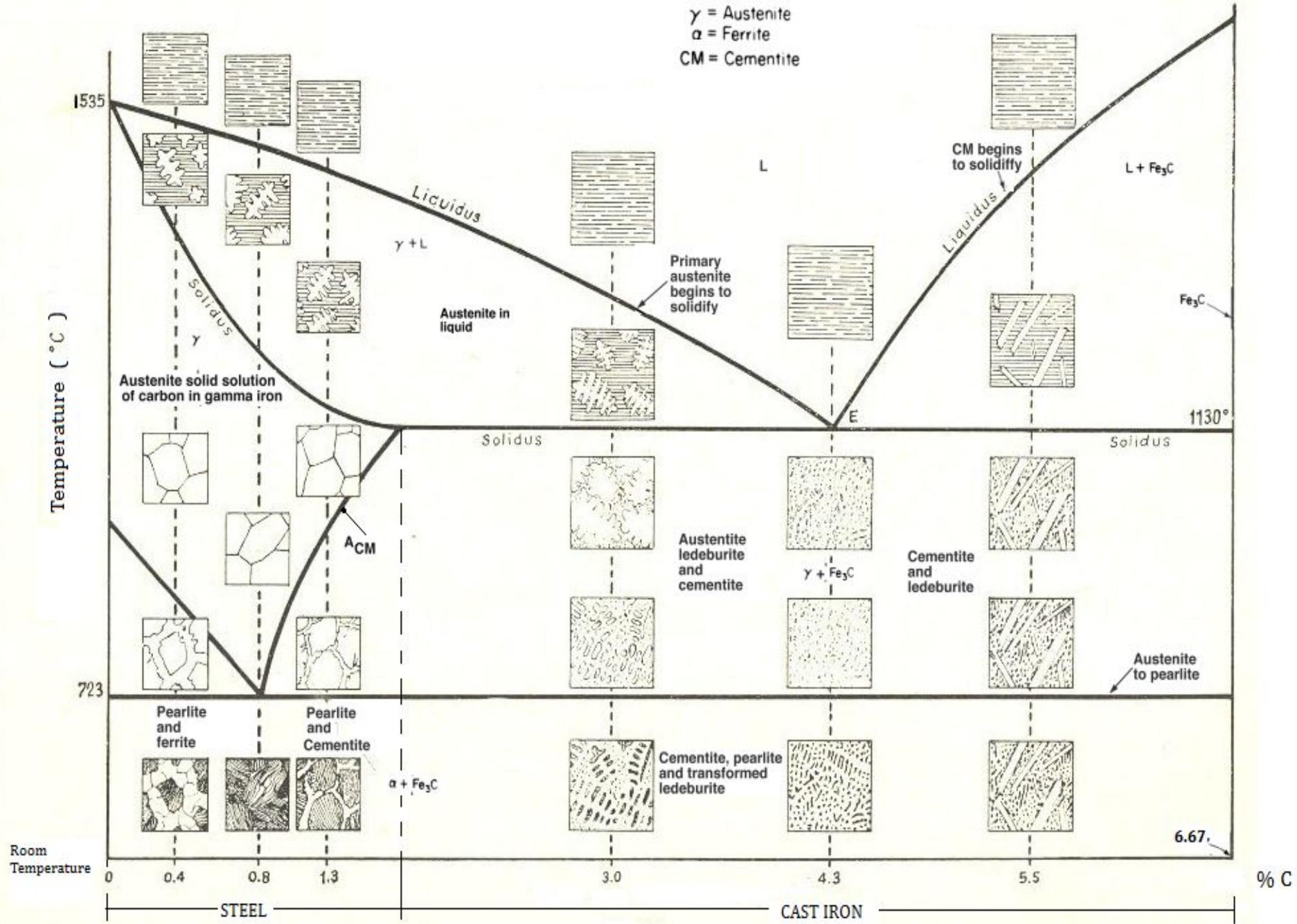
**Elementos de Liga:**

**C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo, W, V, Ti, Nb**

Eutectic	$L \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritectic	$\alpha + L \rightarrow \beta$	
Monotectic	$L_1 \rightarrow L_2 + \alpha$	<p>Miscibility gap</p> 
Eutectoid	$\gamma \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritectoid	$\alpha + \beta \rightarrow \gamma$	

# O diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>C

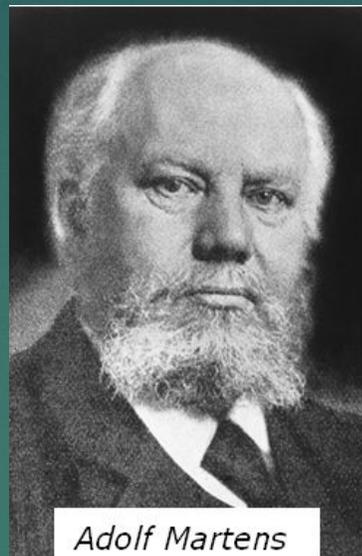






*Edgar C. Bain*

**Edgar Bain 1891-1971**

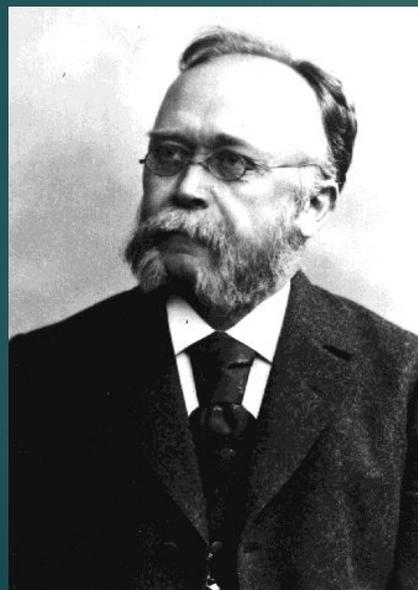


*Adolf Martens*

**1850-1914**



Sir William Chandler  
Roberts-Austen (1843-1902).

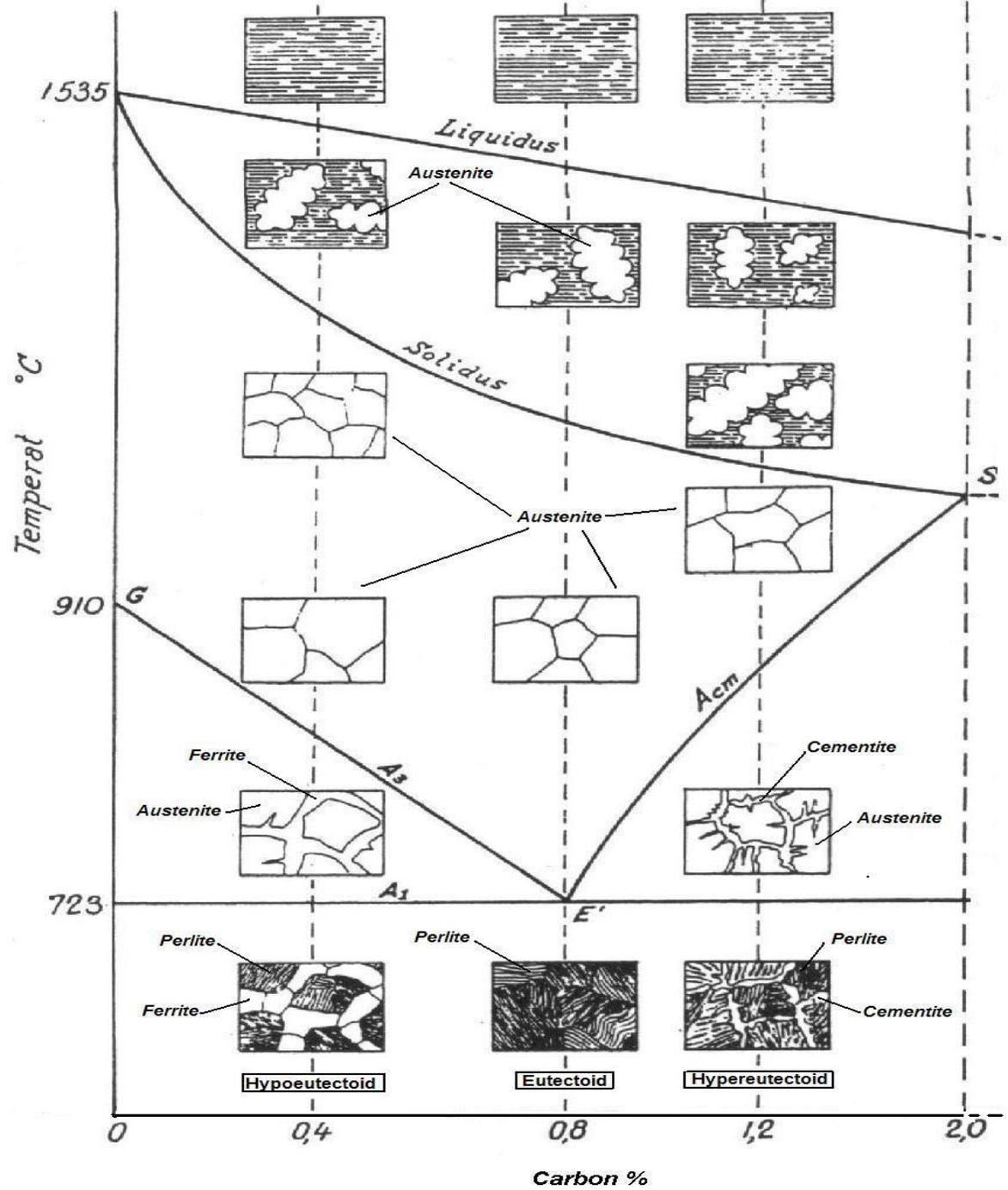


Adolf Ledebur (1837-1916).



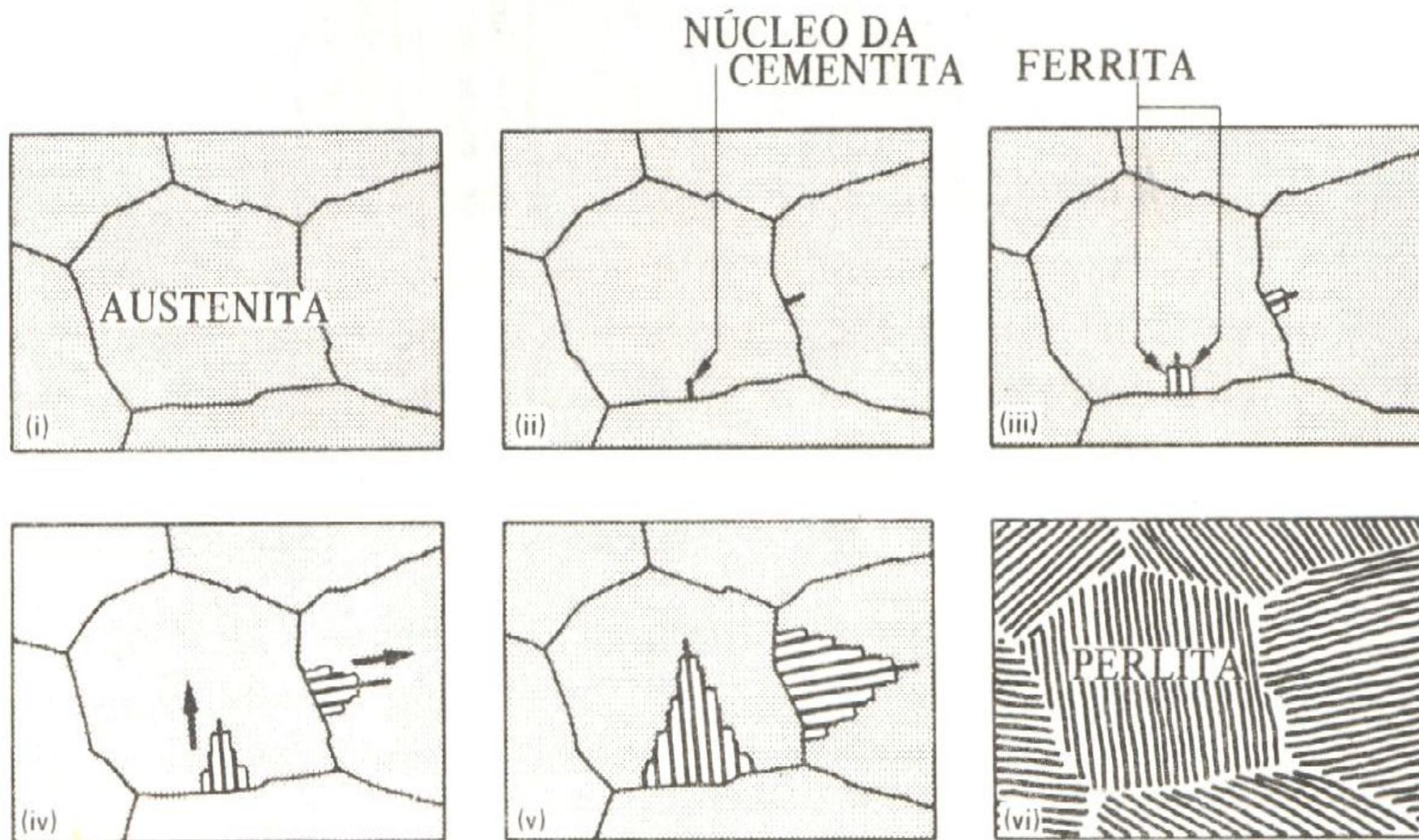
Laura

Lauralice



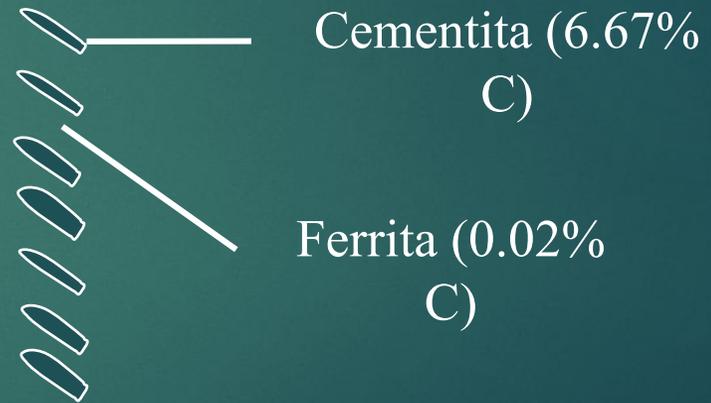
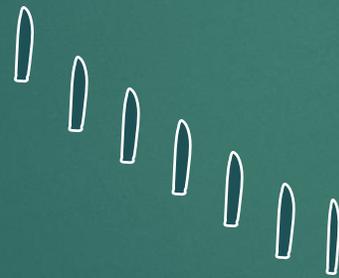
**A1:**  
 Temperatura de equilíbrio  
 de início de austenitização

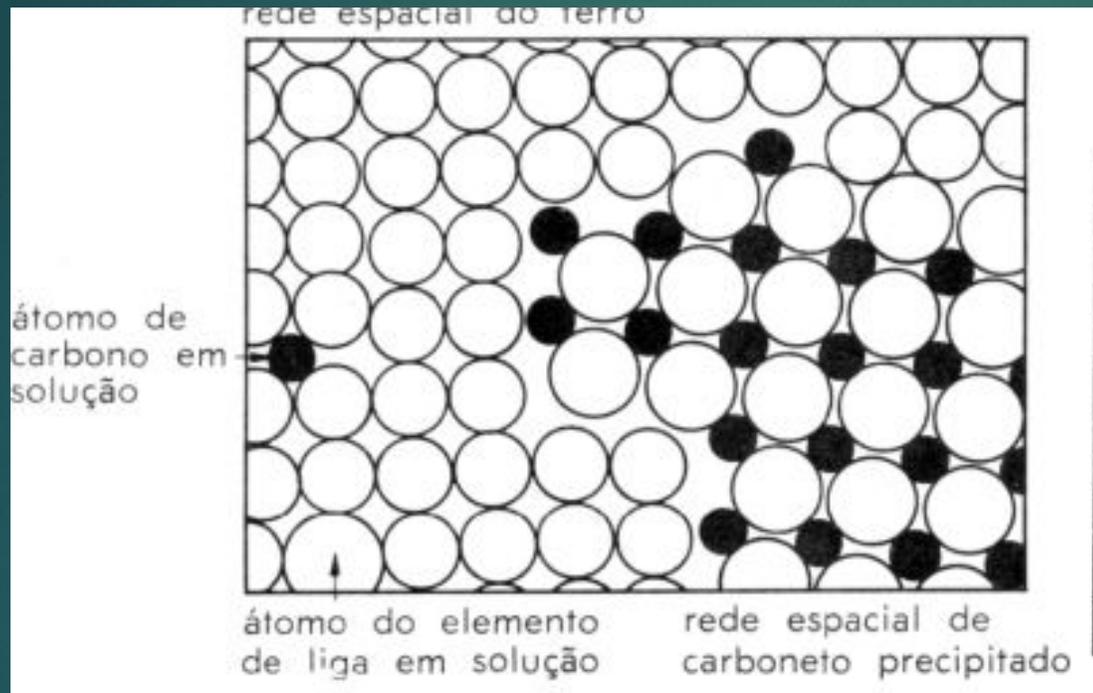
**A3:** Temperatura de  
 equilíbrio de fim de  
 austenitização



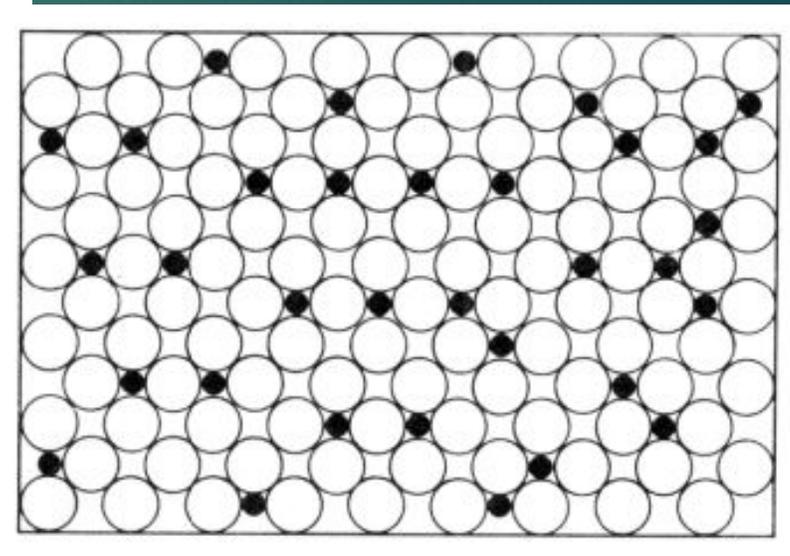
# Estrutura da perlita

Perlita (0.8% C em média)





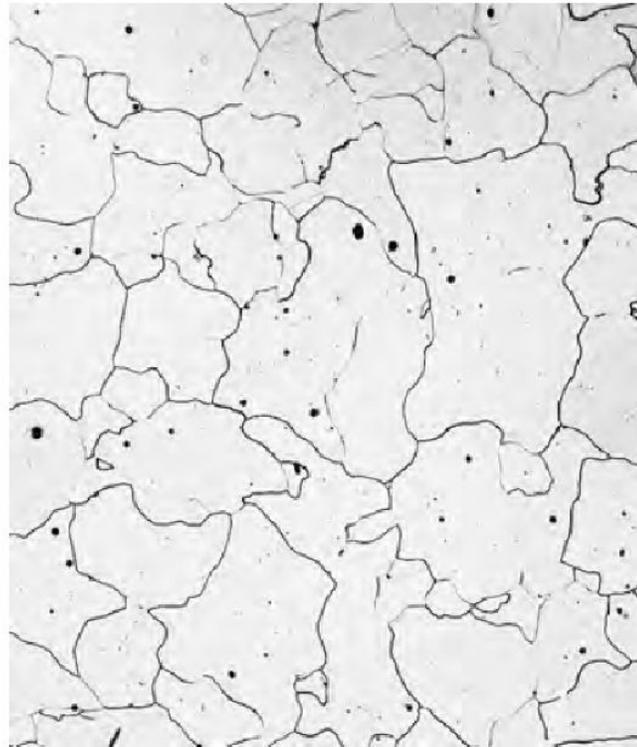
Solução sólida intersticial do carbono na ferrita e precipitação de carbonetos.



Solução sólida intersticial do carbono na austenita

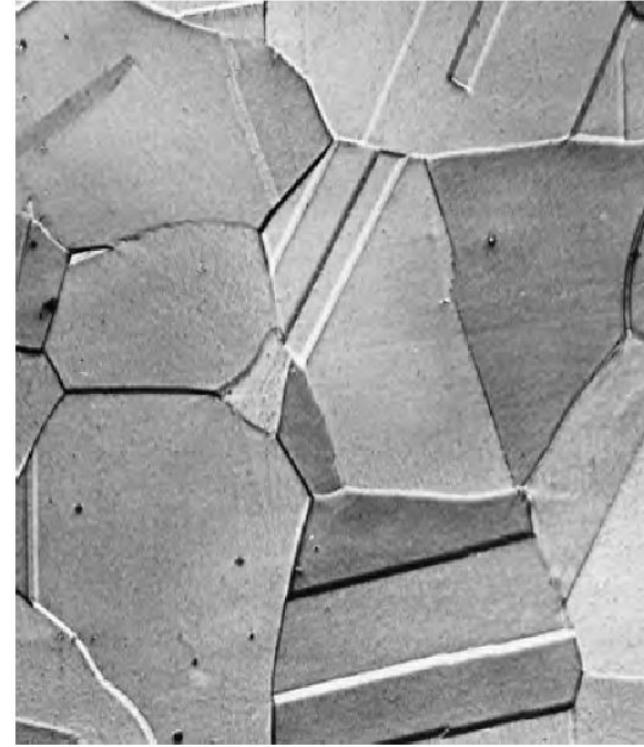
# Ferrita e Austenita

**Figure 9.25**  
Photomicrographs of  
(a)  $\alpha$  ferrite (90 $\times$ )  
and (b) austenite  
(325 $\times$ ). (Copyright  
1971 by United  
States Steel  
Corporation.)



(a)

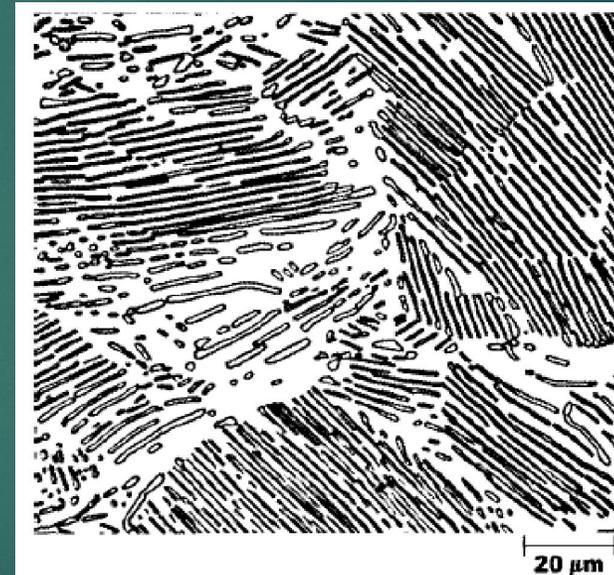
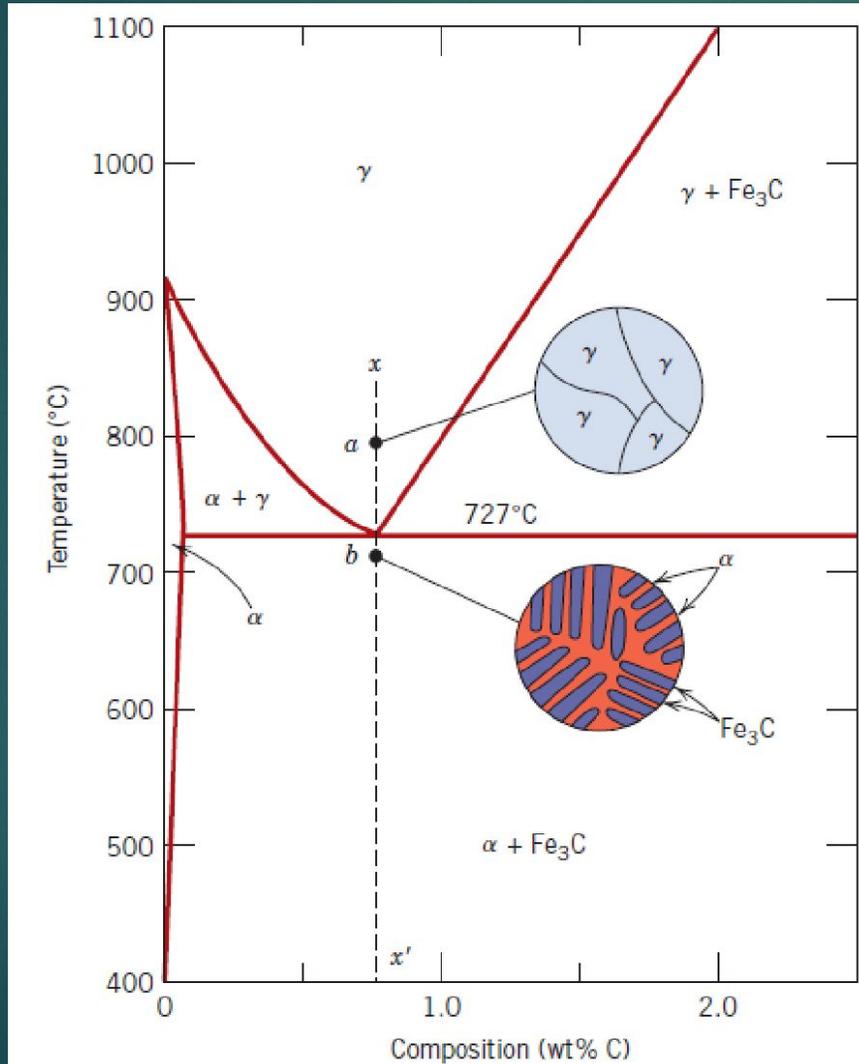
Ferrita ou Fe- $\alpha$  (CCC)



(b)

Austenita ou Fe- $\gamma$  (CFC)

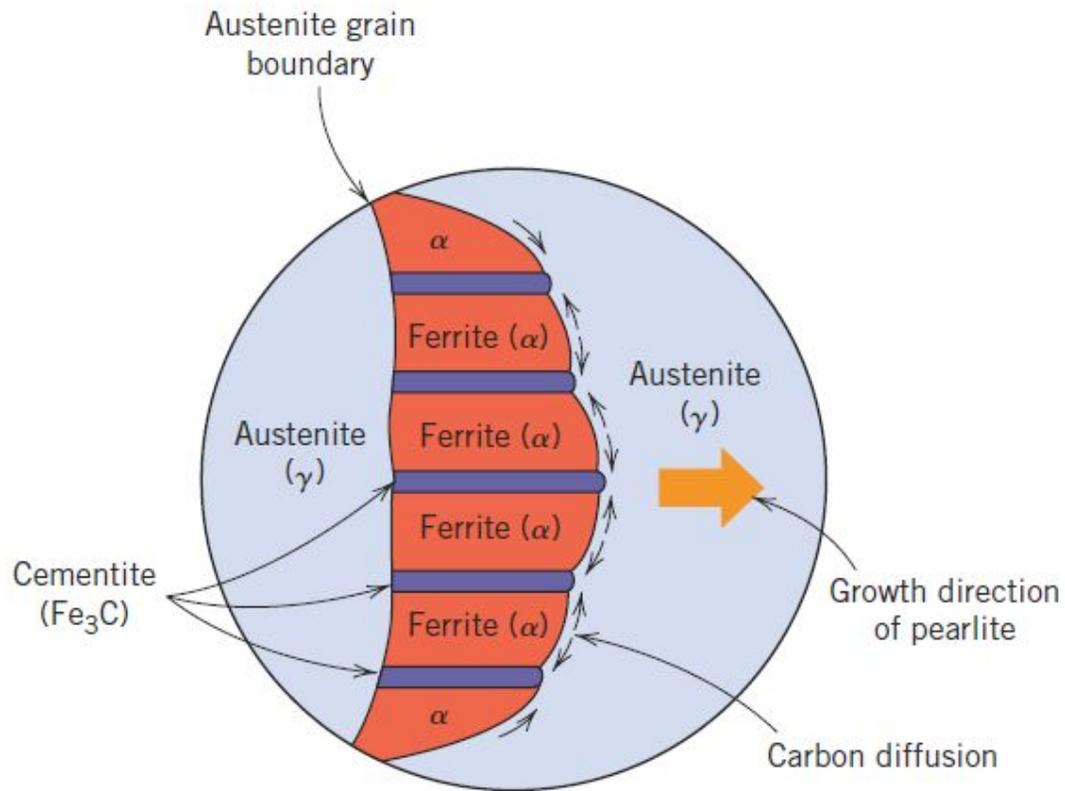
# O eutetóide Fe-Fe<sub>3</sub>C (perlita)



Lamelas de ferrita e cementita

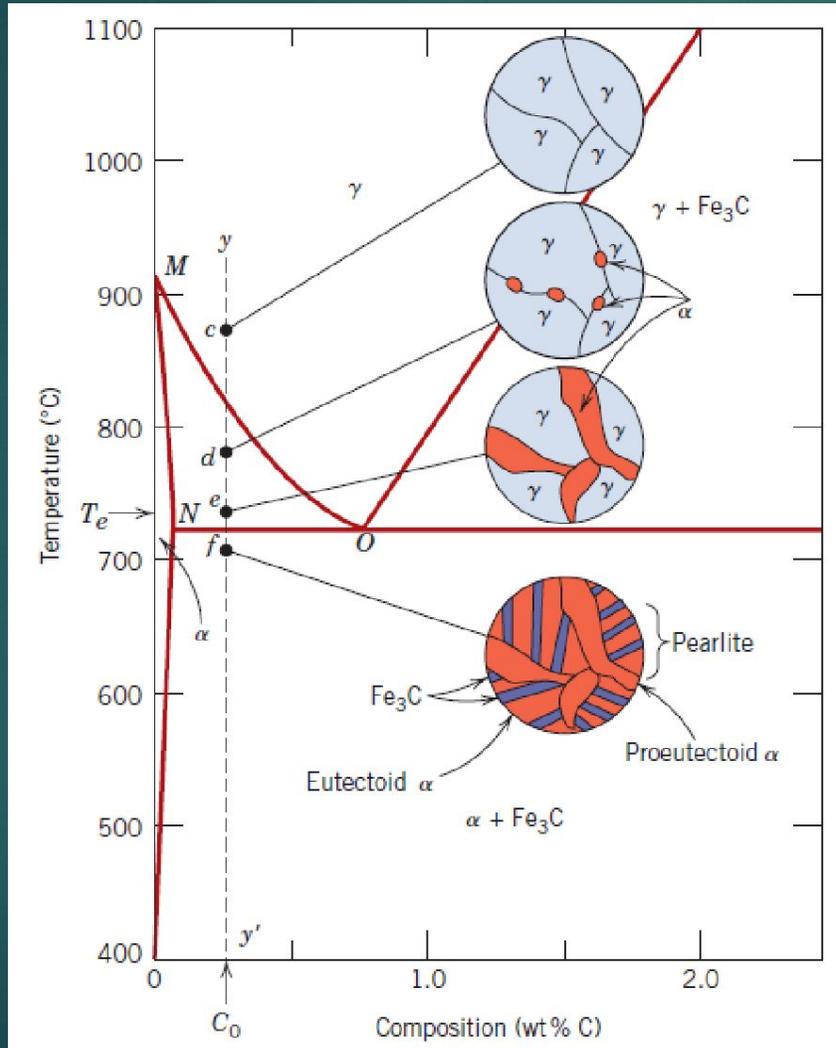
Aço AISI/SAE 1080

# Crescimento da perlita



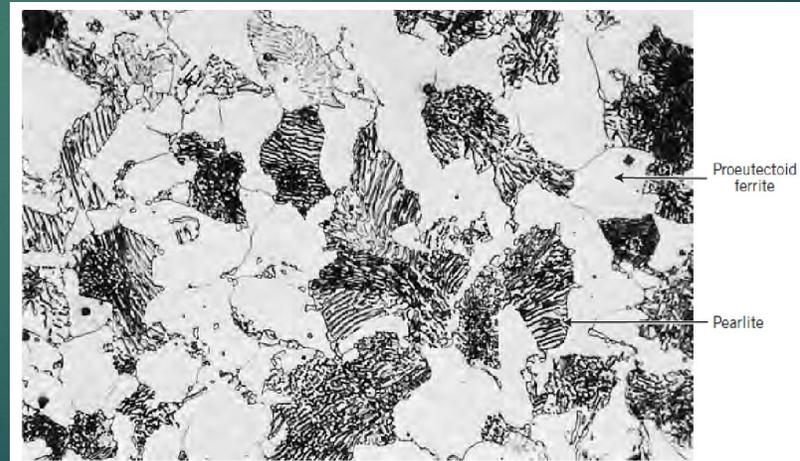
**Figure 9.28** Schematic representation of the formation of pearlite from austenite; direction of carbon diffusion indicated by arrows.

# Microestrutura hipoeutetóide

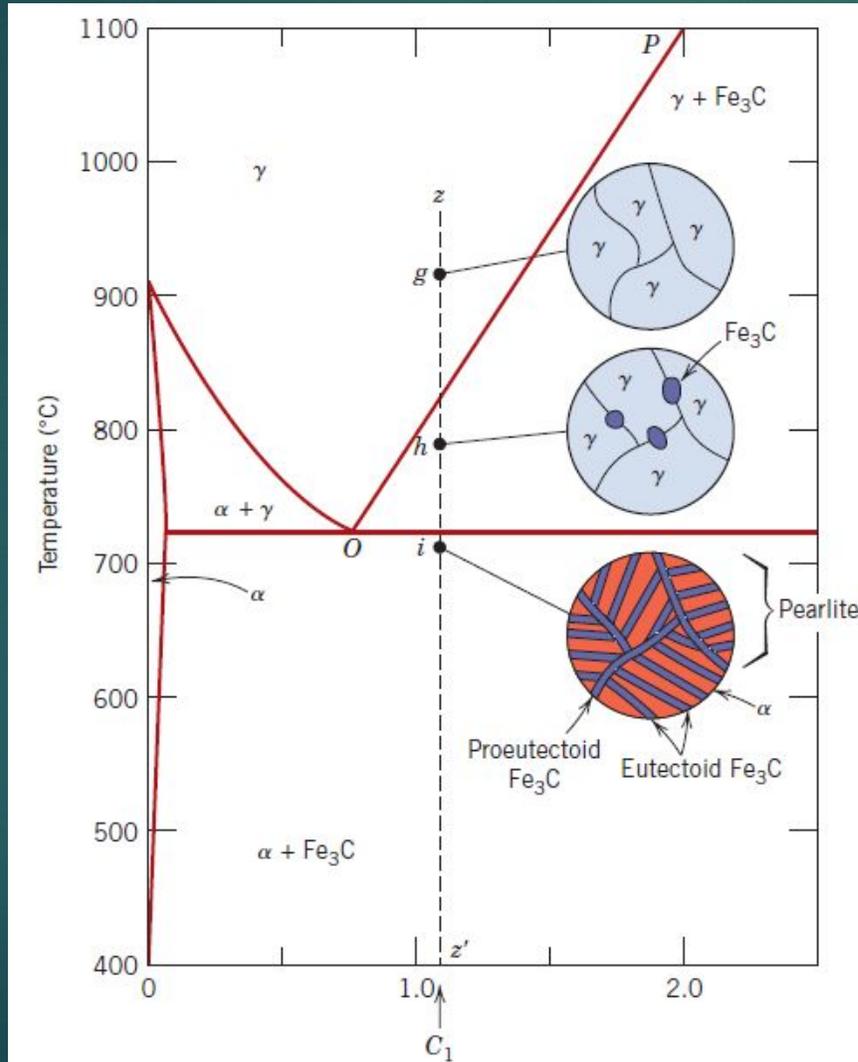


Aços hipoeutetóides

AISI/SAE 10xx com  $xx < 80$

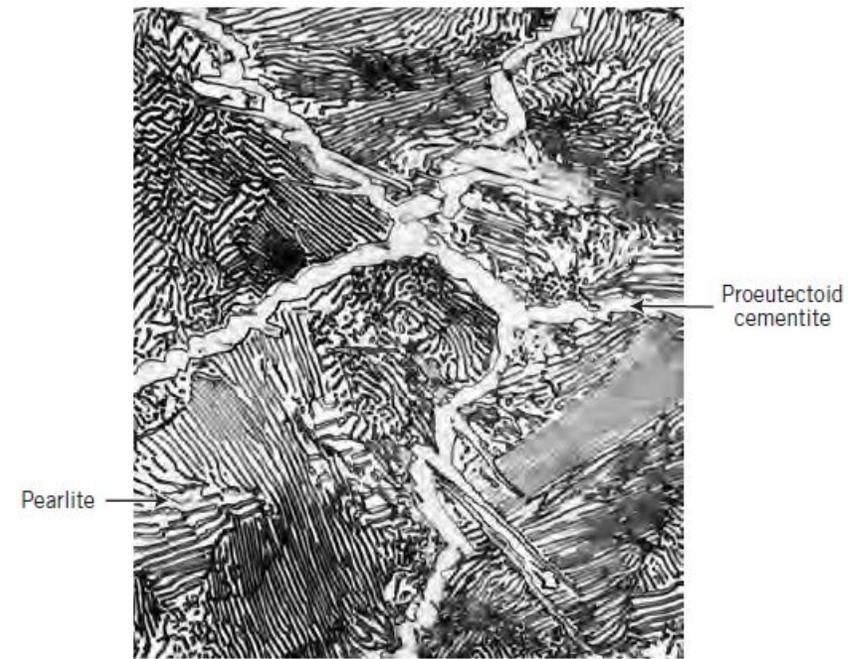


# Microestrutura Hipereutetóide

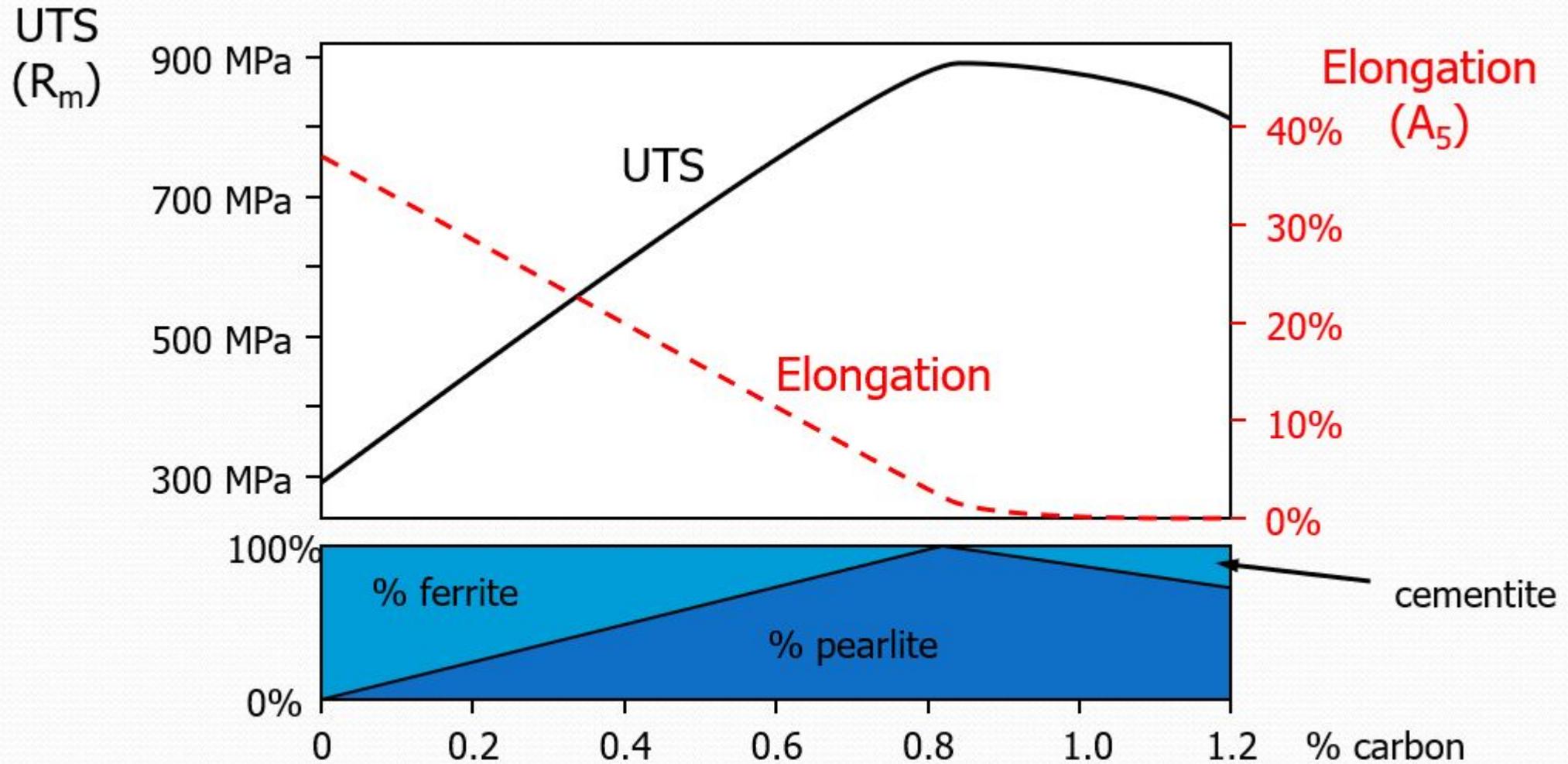


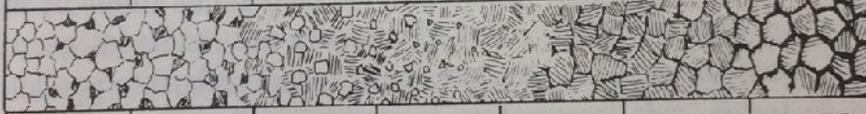
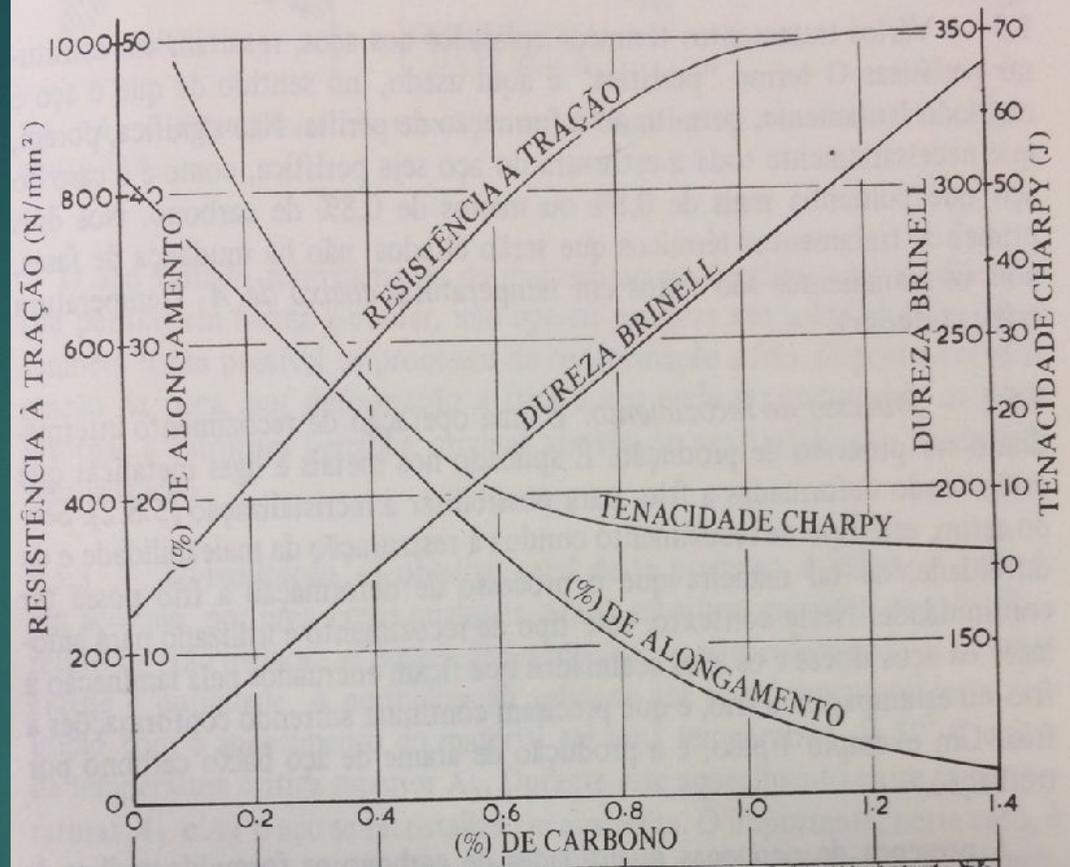
Aços hipereutetóides

AISI/SAE 10xx com xx > 80

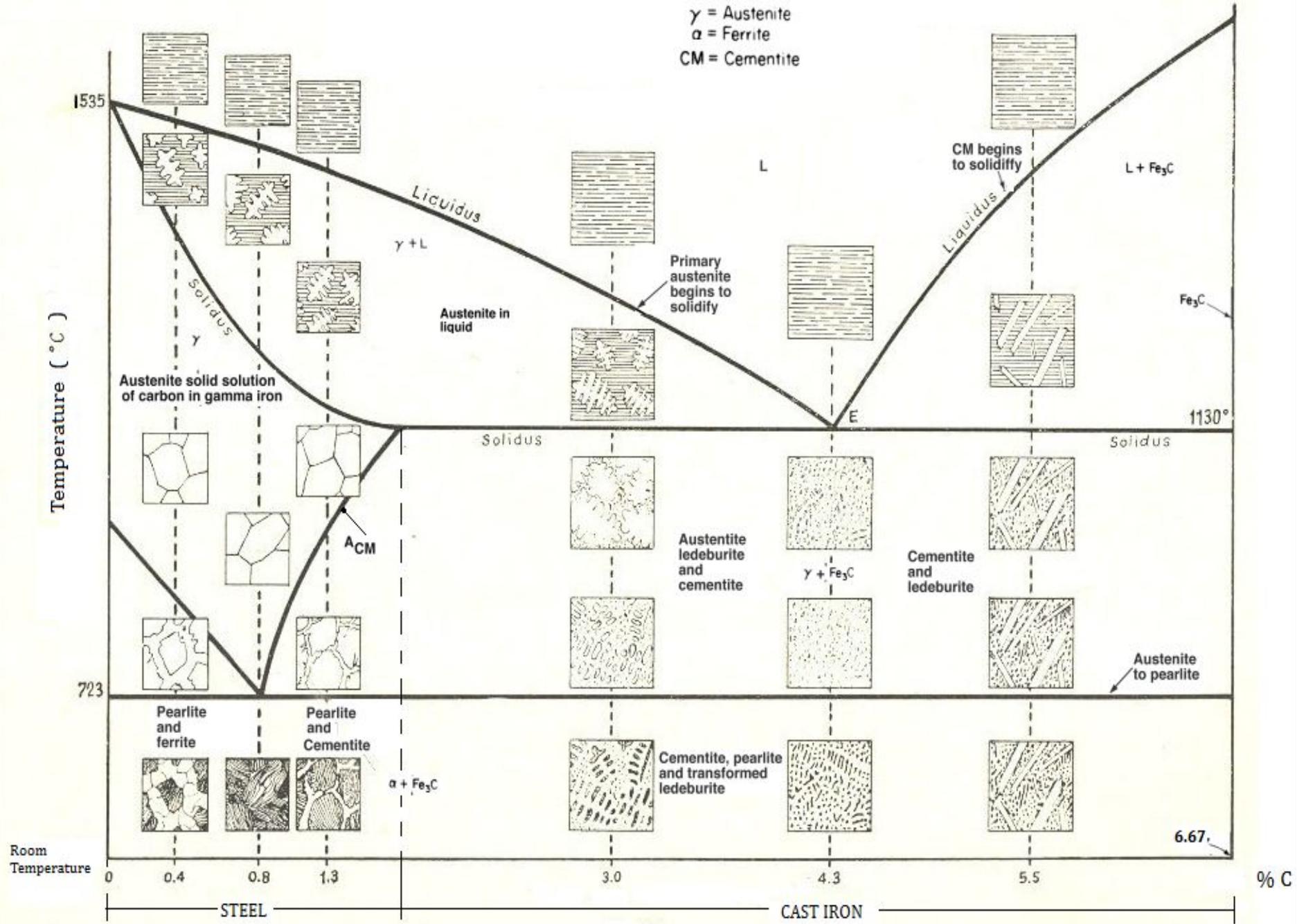


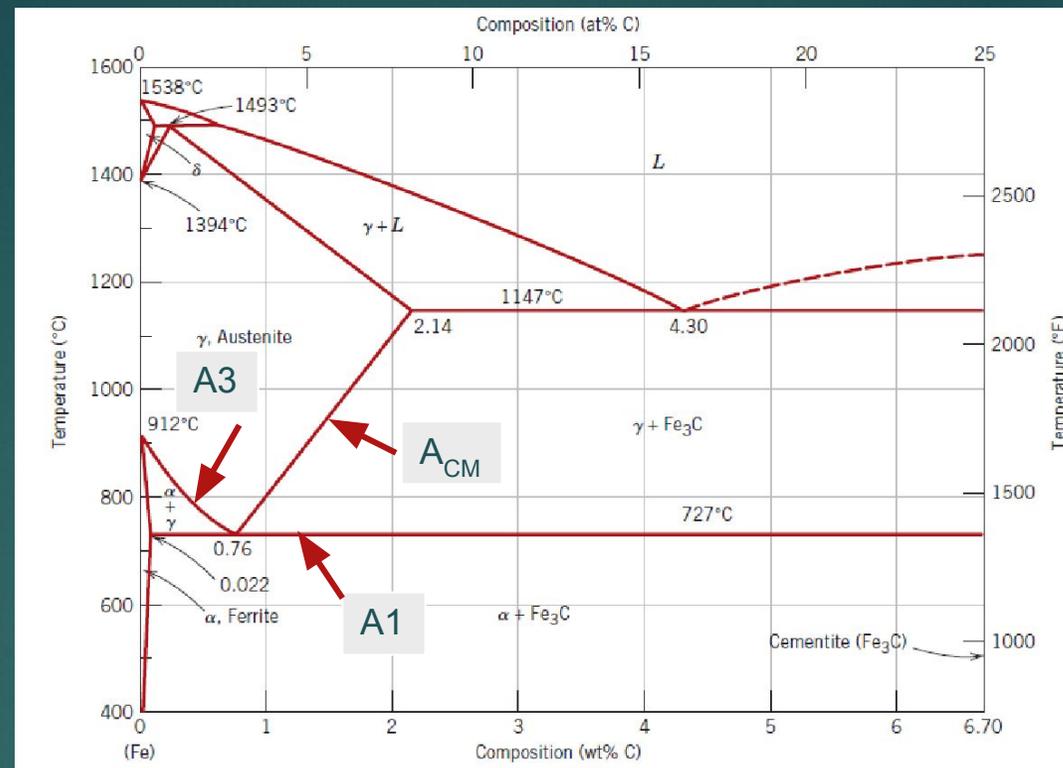
# Efeito da porcentagem de perlita





- |  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| <p>CARROCERIAS DE AUTOMÓVEIS</p> <p>REBITES</p> <p>PREGOS</p> <p>ARAME</p> | <p>CONEXÕES</p> <p>VERGALHÕES</p> <p>EIXOS</p> <p>HASTES</p> <p>ENGRENAGENS</p> | <p>TALHADEIRAS A FRIO</p> <p>FOLHAS DE TESOURA</p> <p>ALGUMAS FERRAMENTAS MANUAIS</p> | <p>ALARGADORES DE FUROS</p> <p>ESCAREADORES</p> <p>NAVALHAS</p> <p>LIMAS</p> |
| <p>FOLHAS DE FLANDRES</p> <p>PARAFUSOS</p> <p>R.S.J.</p>                   | <p>CHAVES DE FENDA</p> <p>TRILHOS</p>   | <p>MATRIZES</p> <p>TORNEIRAS</p> <p>BROCAS</p>  | <p>GUMES CORTANTES</p> <p>SERRAS</p>   |





Temperaturas críticas mais importantes no diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>C

$$Ac_1 = 742 - 29 \cdot C - 14 \cdot Mn + 13 \cdot Si + \\ + 16 \cdot Cr - 17 \cdot Ni - 16 \cdot Mo + 45 \cdot V + 36 \cdot Cu$$

$$Ac_3 = 925 - 219 \cdot \sqrt{C} - 7 \cdot Mn + \\ + 39 \cdot Si - 16 \cdot Ni + 13 \cdot Mo + 97 \cdot V$$

$$B_s = 771 - 231.5 \cdot C - 69 \cdot Mn - 23 \cdot Si \\ - 58,5 \cdot Cr - 31 \cdot Ni - 55 \cdot Mo - 41 \cdot V$$

$$M_s = 541 - 401 \cdot C - 36 \cdot Mn \\ - 10,5 \cdot Si - 14 \cdot Cr - 18 \cdot Ni - 17 \cdot Mo$$

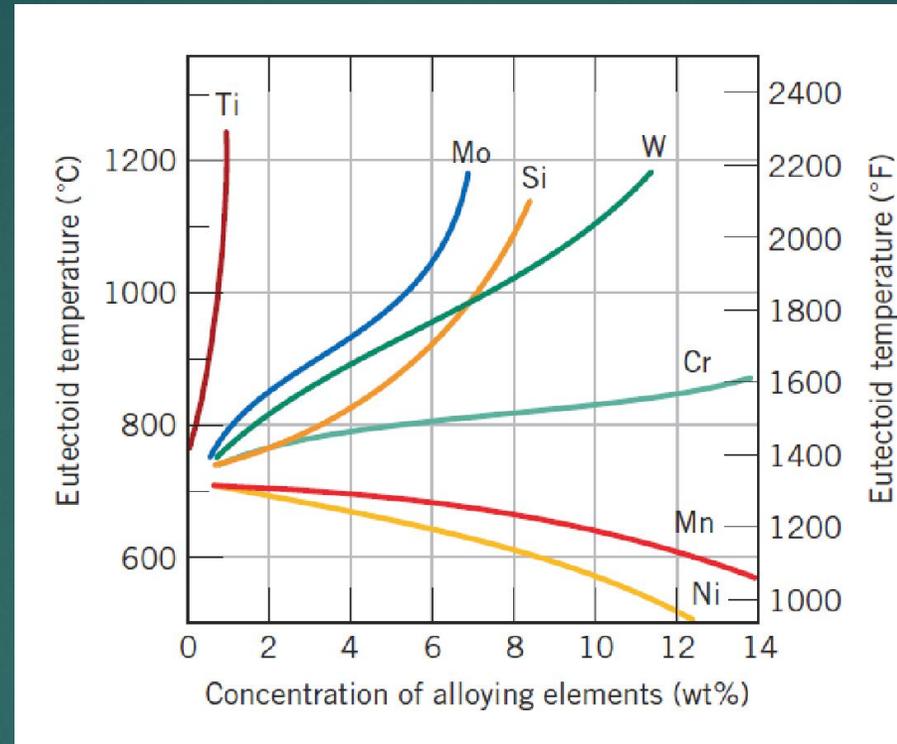
Arch. Metall. Mater., Vol. 61 (2016), No 2B, p. 981–986

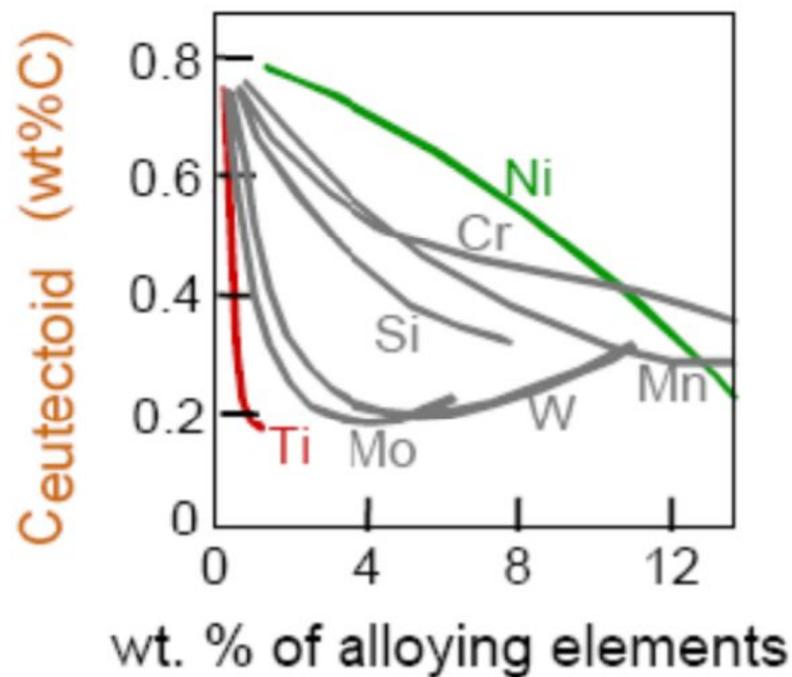
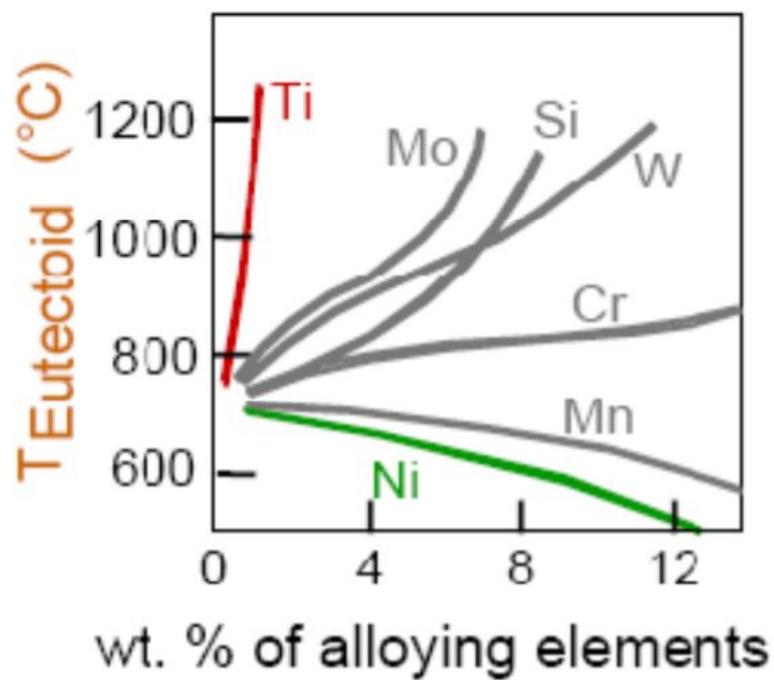
DOI: 10.1515/amm-2016-0167

J. TRZASKA\*\*

CALCULATION OF CRITICAL TEMPERATURES BY EMPIRICAL FORMULAE

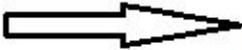
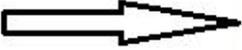
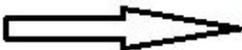
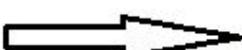
# Influência dos elementos de liga no diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>C

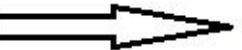


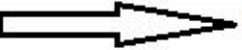


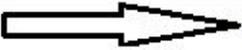
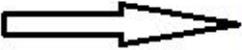
SAE/AISI/ABNT

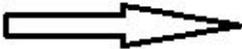
XXXX

1XXX  Aço -carbono  
10XX  Aço-carbono comum  
11XX  Teores diferenciados de S  
12XX  Teores diferenciados de S e P  
13XX  Alto teor de Mn (1,6 a 1,9%)

2XXX  Aços ao Ni

3XXX  Aços ao Cr-Ni

4XXX  Aços ao Mo  
40XX  Mo 0,15 a 0,3%  
41XX  Mo-Cr  
43XX  Mo, Cr, Ni

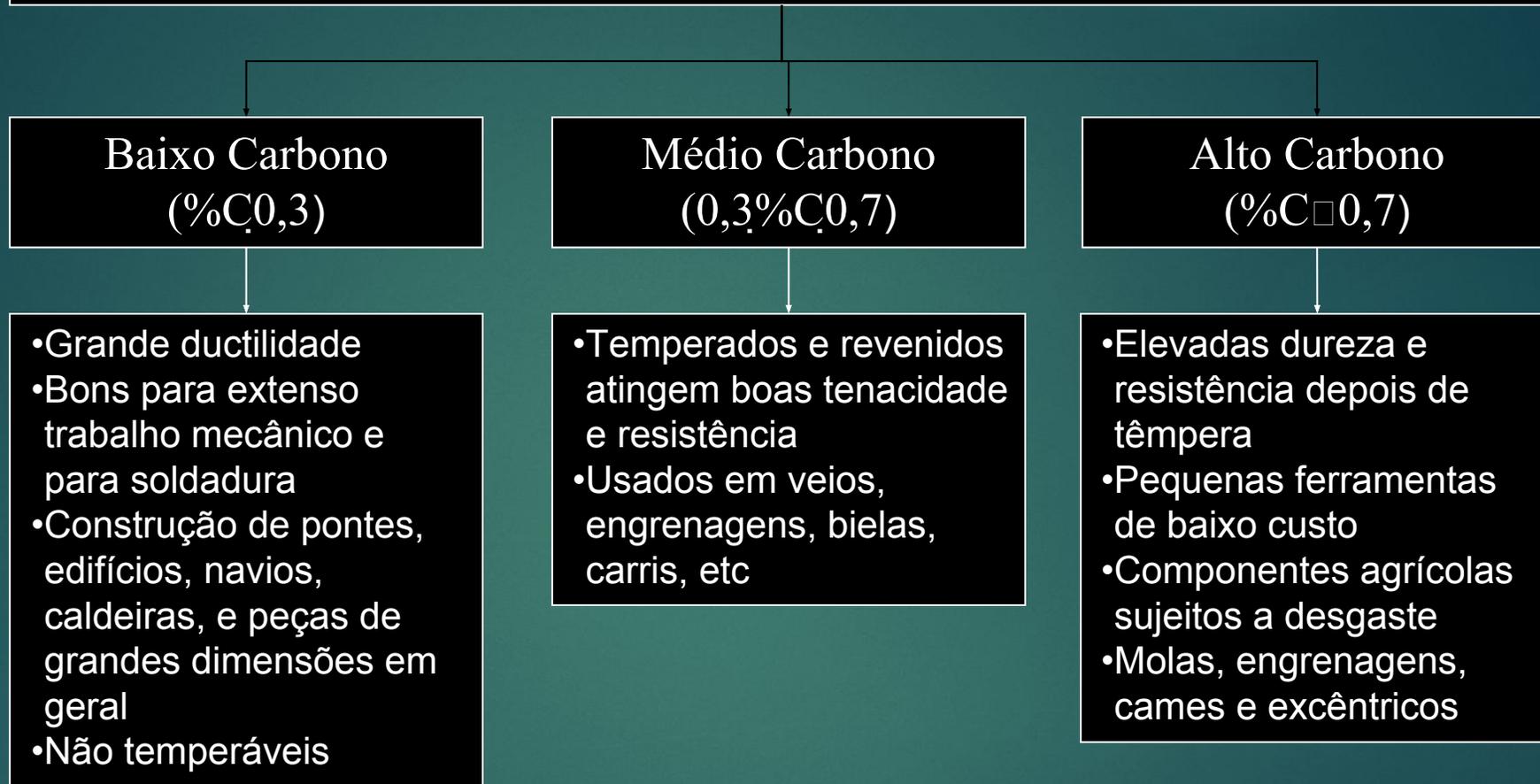
5XXX  Aços ao Cr

6XXX  Aços ao Cr -V

8XXX  Aços ao Ni-Cr-Mo

9XXX  Outros

# AÇOS AO CARBONO



Os aços ao carbono podem ainda ser obtidos no estado de “laminado a frio” (cold finished) ou de “laminado a quente” (hot finished), este último para %C 0,25.

# APLICAÇÕES DOS AÇOS AO CARBONO

## AERONAVES

- Apenas no trem de aterragem (AISI 4340)

## NAVIO

S

- Aço “doce” com %C entre 0,18 e 0,23 para facilitar a soldagem

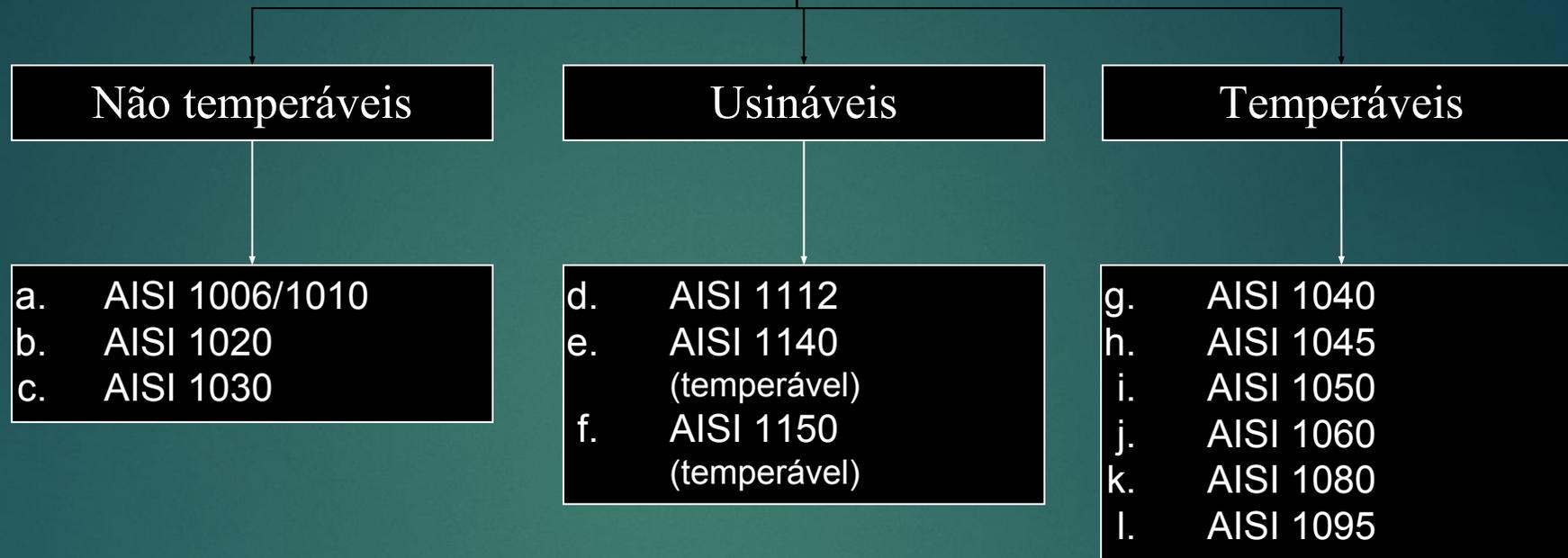
## AUTOMÓVEIS

- Casca: 1006, 1008
- Suspensão e direção: 1021~1046
- Motor:
- Transmissão:

## MOLAS

- 5160, 1050, 1070, 1095 temp. e revenidos

# REPERTÓRIO DE AÇOS AO CARBONO



## *Algumas recomendações na seleção de aços ao carbono*

- a e b devem ser usados para peças que levarão extensa deformação plástica
- NUNCA SOLDAR AÇOS COM %C SUPERIORES A 0,3
- c e j são por vezes usados para obter melhor resist. sem t.t.
- Peças laminadas a frio devem ser encomendadas com recozido
- d~f devem usar-se quando peças requerem usinagem
- g~j usam-se para endurecimento superficial
- k~l são para têmpera total

# PROPRIEDADES DOS AÇOS-CARBONO

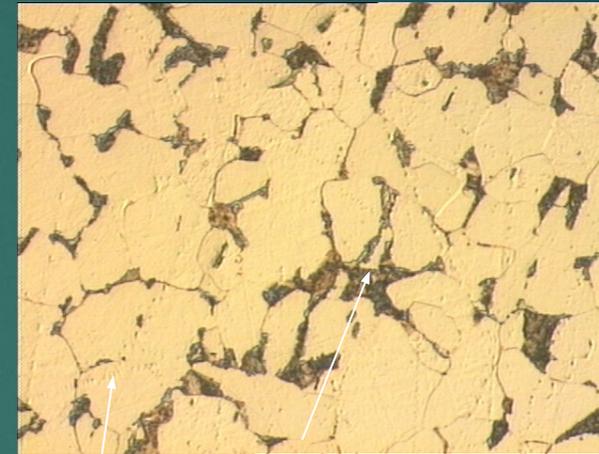
- ▶ **A resistência aumenta com o teor de Carbono**
- ▶ **A ductilidade diminui com o teor de Carbono**
- ▶ **São aços de relativa baixa dureza**
- ▶ **Oxidam-se facilmente**
- ▶ **Suas propriedades deterioram-se a baixas e altas temperaturas**
- ▶ **São os mais usados e de mais baixo custo**

# PROPRIEDADES DOS AÇOS BAIXO CARBONO

## AÇO BAIXO CARBONO $\square < 0,35\% \text{ C}$

- ▶ Estrutura é usualmente ferrítica e perlítica
- ▶ São fáceis de conformar e soldar
- ▶ São aços de baixa dureza e alta ductilidade

# MICROESTRUTURA DOS AÇOS BAIXO TEOR DE CARBONO



Ferrita

Perlita

# APLICAÇÕES TÍPICAS DOS AÇOS BAIXO CARBONO

30

- ▶ Entre as suas aplicações típicas estão as chapas automobilística, perfis estruturais e placas utilizadas na fabricação de tubos, construção civil, pontes e latas de folhas-de-flandres.



- ▶ Geralmente é utilizado na fabricação de latas para acondicionamento de certos alimentos e de óleos, além de utensílios domésticos e industriais devido à sua alta resistência à corrosão, mas também tem aplicações para embalagens de tintas e outros produtos químicos.
- ▶ Antigamente também eram empregadas em latas de refrigerantes e cervejas, mas o material foi substituído pelo alumínio.<sup>[1]</sup>

## AÇO MÉDIO CARBONO □ 0,3-0,6% C

- ▶ São aços de boa temperabilidade em água
- ▶ Apresentam a melhor combinação de tenacidade e ductilidade e resistência mecânica e dureza
- ▶ São os aços mais comuns, tendo inúmeras aplicações em construção :

rodas e equipamentos ferroviários, engrenagens, virabrequins e outras peças de máquinas que necessitam de elevadas resistências mecânica e tenacidade.

PROPRIEDADES DOS AÇOS MÉDIO

CARBONO RESFRIADOS LENTAMENTE

# MICROESTRUTURA DOS AÇOS MÉDIO TEOR DE CARBONO RESFRIADOS LENTAMENTE



Ferrita

Perlita

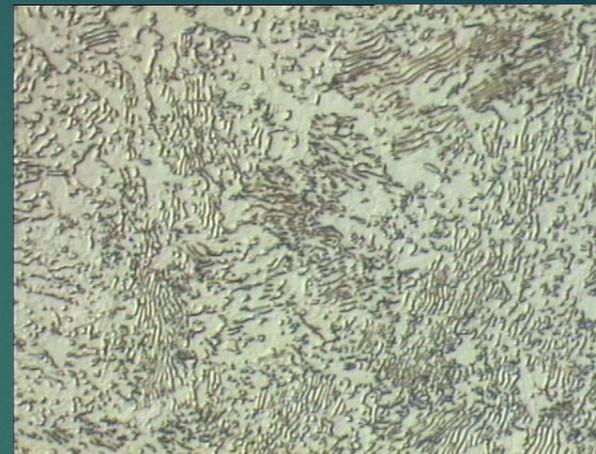
## AÇO ALTO CARBONO $\square > 0,6\% \text{ C}$

34

- ▶ Apresentam baixa conformabilidade e tenacidade
- ▶ Apresentam alta dureza e elevada resistência ao desgaste
- ▶ Quando temperados são frágeis

## PROPRIEDADES DOS AÇOS ALTO CARBONO





**Somente Perlita**

MICROESTRUTURA DOS AÇOS ALTO TEOR  
DE CARBONO RESFRIADOS LENTAMENTE