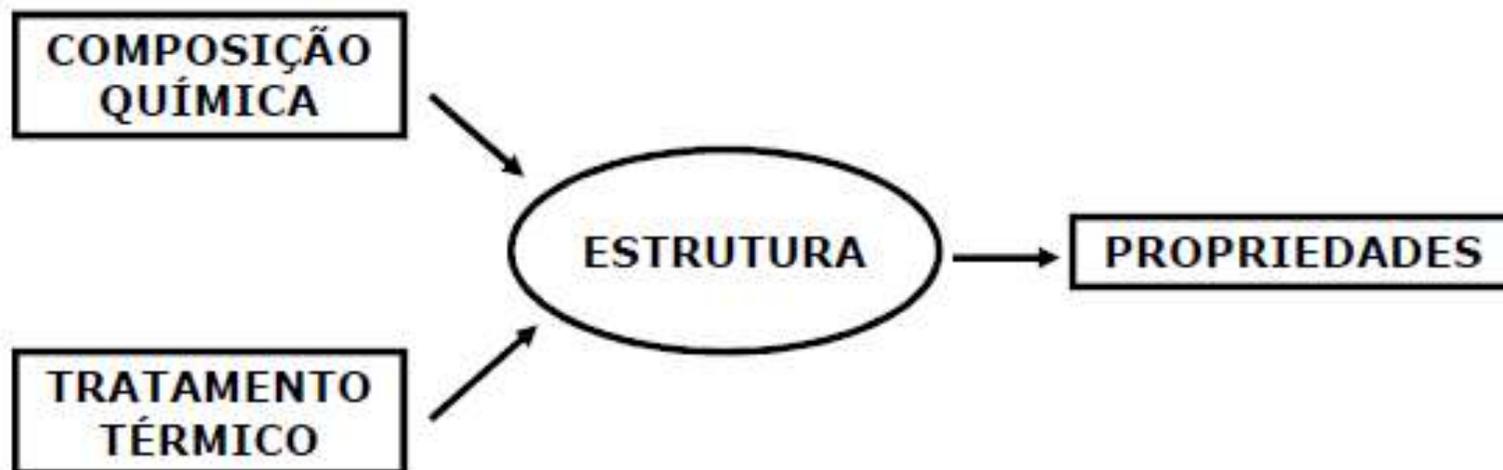




Transformação de fase em metais

Objetivos dos Tratamentos Térmicos



As alterações nas propriedades decorrentes de um dado tratamento térmico são uma consequência de mudanças na microestrutura do aço.

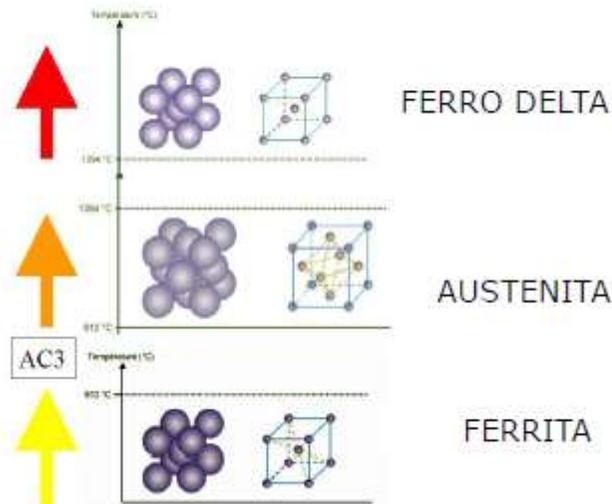
Transformação de fase em metais

- Dependente da difusão , sem modificações na composição de fase ou números de fase presentes: *solidificação de metal puro, transformações alotrópicas, recristalização, etc.*

- Dependente da difusão. composição e/ou número de fases: *tr*

Evolução com a temperatura

- Sem di
movimer
(transfor



*ável por
estrutura.*



Transformação de fase em metais

As transformações de fase dependentes da difusão não ocorrem instantaneamente.

A microestrutura final depende da taxa de aquecimento e resfriamento.

Muitas transformações de fase envolvem mudança em composição, assim é necessária uma redistribuição de átomos via difusão.



Transformação de fase em metais

- Fases metaestáveis podem ser formadas como um resultado de mudanças muito rápidas de temperatura. A microestrutura é fortemente afetada pela taxa de resfriamento.



Transformação de fase em metais

As condições de equilíbrio caracterizadas pelo diagrama de fases ocorrem apenas quando o resfriamento é dado em taxas extremamente lentas, o que para fins práticos é inviável



Transformação de fase em metais

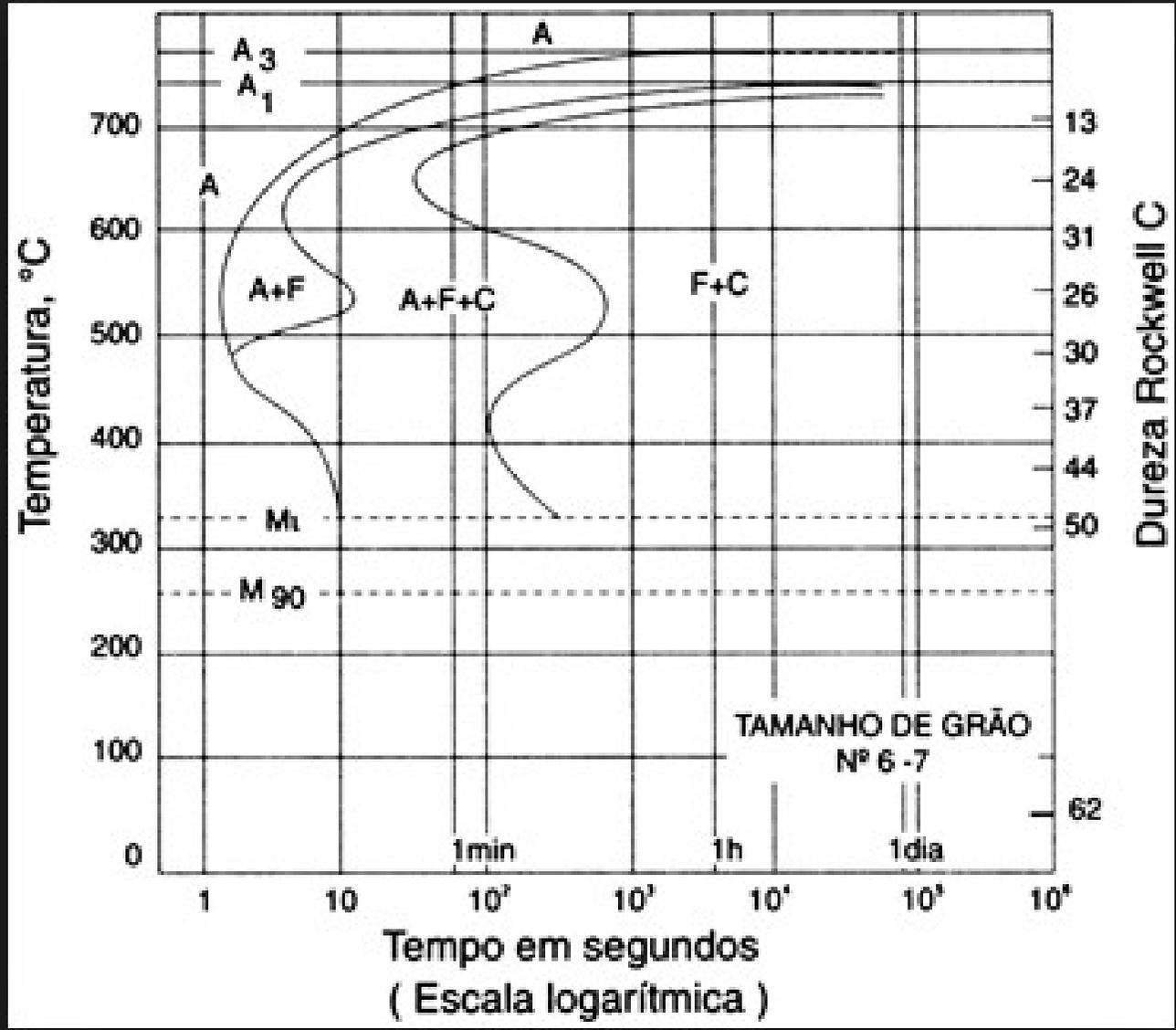
Um resfriamento fora do equilíbrio pode ocasionar:

- Ocorrências de fases ou transformações em temperaturas diferentes daquela prevista no diagrama
- Existência a temperatura ambiente de fases que não aparecem no diagrama (fases metaestáveis)



CURVAS TTT

- As curvas TTT estabelecem relações entre a temperatura em que ocorre a transformação da austenita e a estrutura e propriedades das fases produzidas com o tempo.
- As transformações se processam à temperatura constante

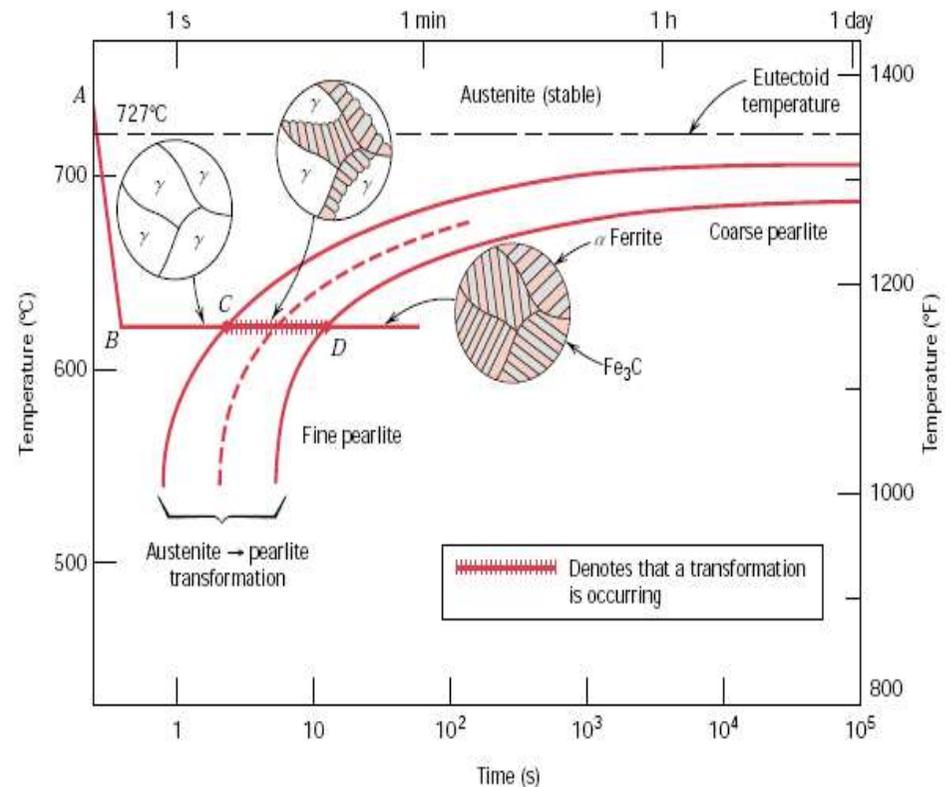


TRANSFORMAÇÕES ISOTÉRMICAS

A baixas temperaturas a transformação ocorre mais cedo (é controlada pela taxa de nucleação) e o crescimento de grão (que é controlado pela difusão) é reduzido.

Difusão lenta a baixas temperaturas leva a uma estrutura mais fina com espaçamento lamelar menor – perlita fina.

A altas temperaturas, altas taxas de difusão permitem um maior crescimento de grão e maior espaçamento lamelar – perlita grossa.

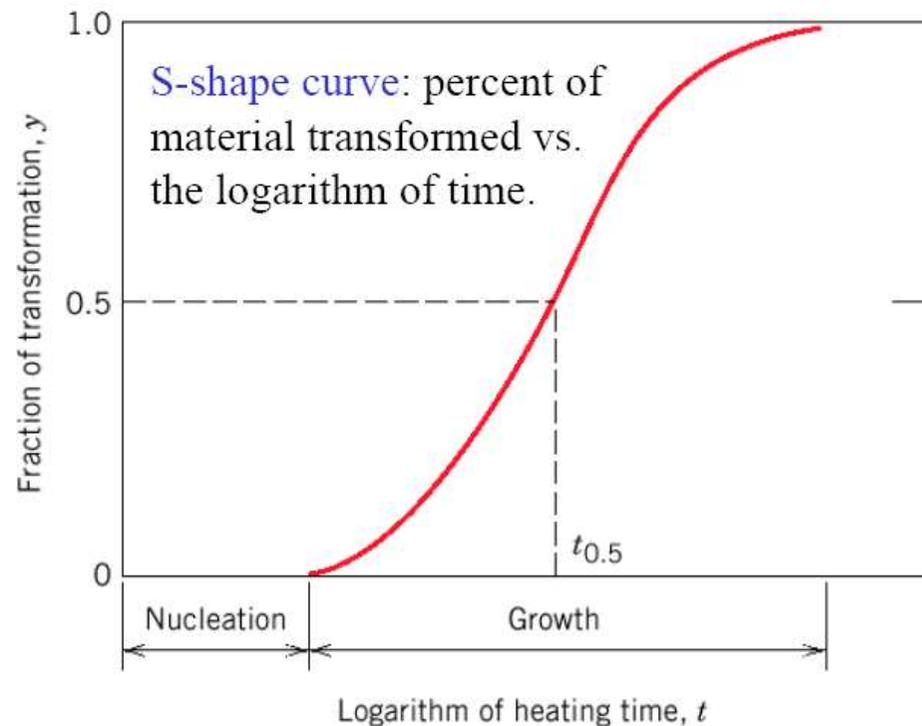


Transformação de fase em metais

O processo de transformação de fase envolve:

Nucleação de uma nova fase: *formação de pequenas partículas (núcleos) da nova fase. Esses núcleos são formados em contornos de grão e em outros defeitos.*

Crescimento de uma nova fase às expensas da original.



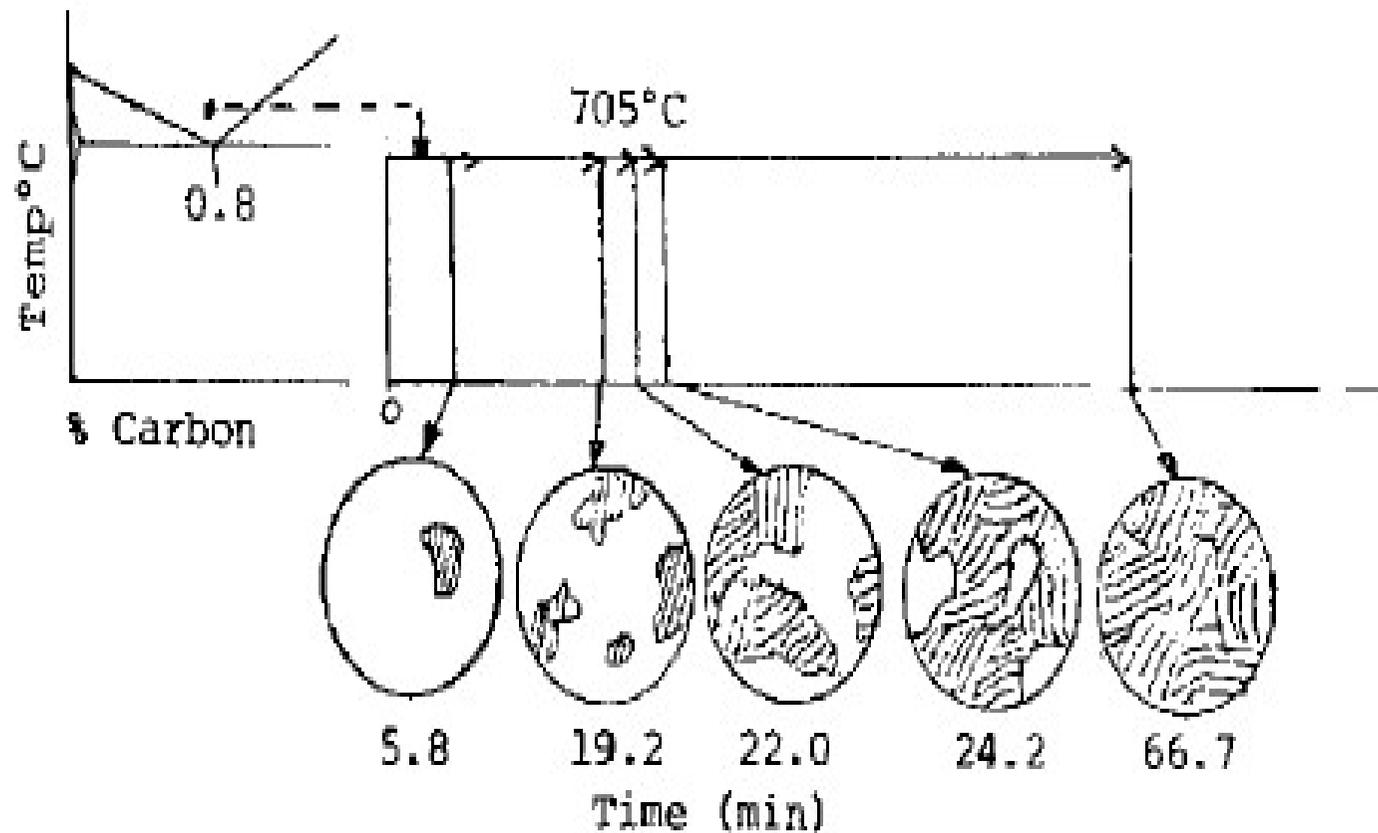
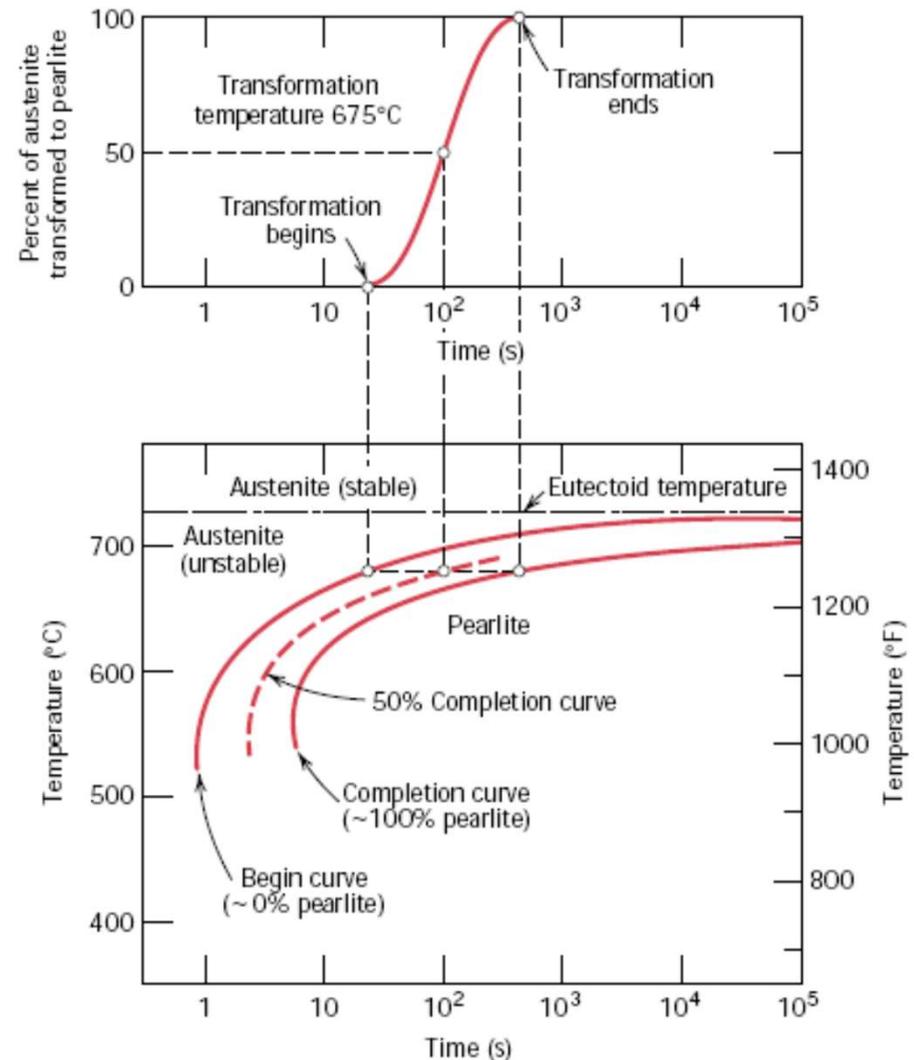


Figure 1-12 Experiment for following the microstructural changes which occur during the isothermal transformation of an eutectoid plain-carbon steel at 705°C. After austenitizing, samples are quenched in salt bath at 705°C, held for times indicated, and then quenched in water at room temperature.

TRANSFORMAÇÕES ISOTÉRMICAS

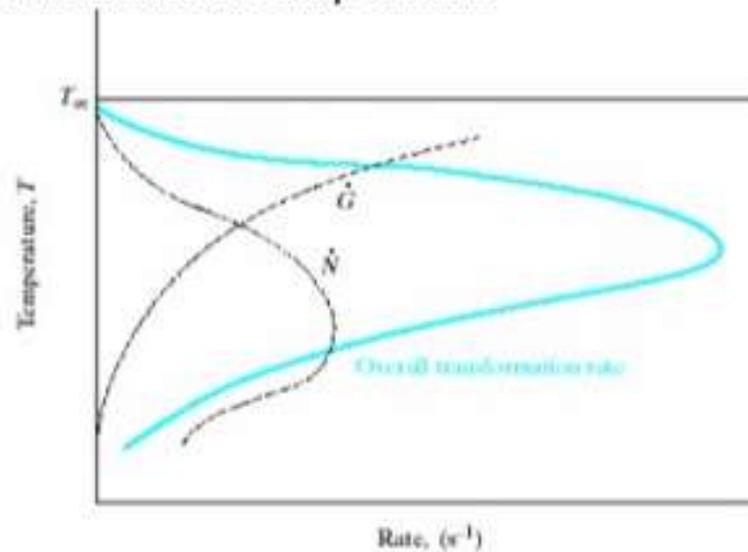
Diagrama de Transformação isotérmica para uma liga Fe-C de composição Eutetóide

- A transformação de austenita em perlita ocorre apenas se a liga for super resfriada até abaixo da temperatura do eutetóide
- À esquerda da curva do início de transformação apenas austenita estará presente, enquanto que a direita da curva do término de transformação apenas existirá perlita. Entre as duas curvas ambos estão presentes



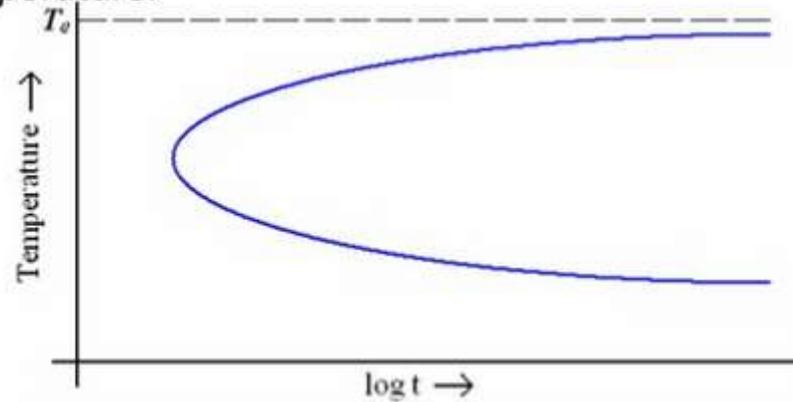
Transformation Rate

- Transformation rate of a phase : $\dot{N} \times \dot{G}$
- Transformation rate first increases, reaches a maximum and then starts decreasing with decrease in temperature



Time for Transformation

- *Time required for transformation as a function of temperature follows a reverse trend than the rate of transformation. Time required for transformation first decreases, reaches a minimum and then starts increasing with decrease in temperature.*

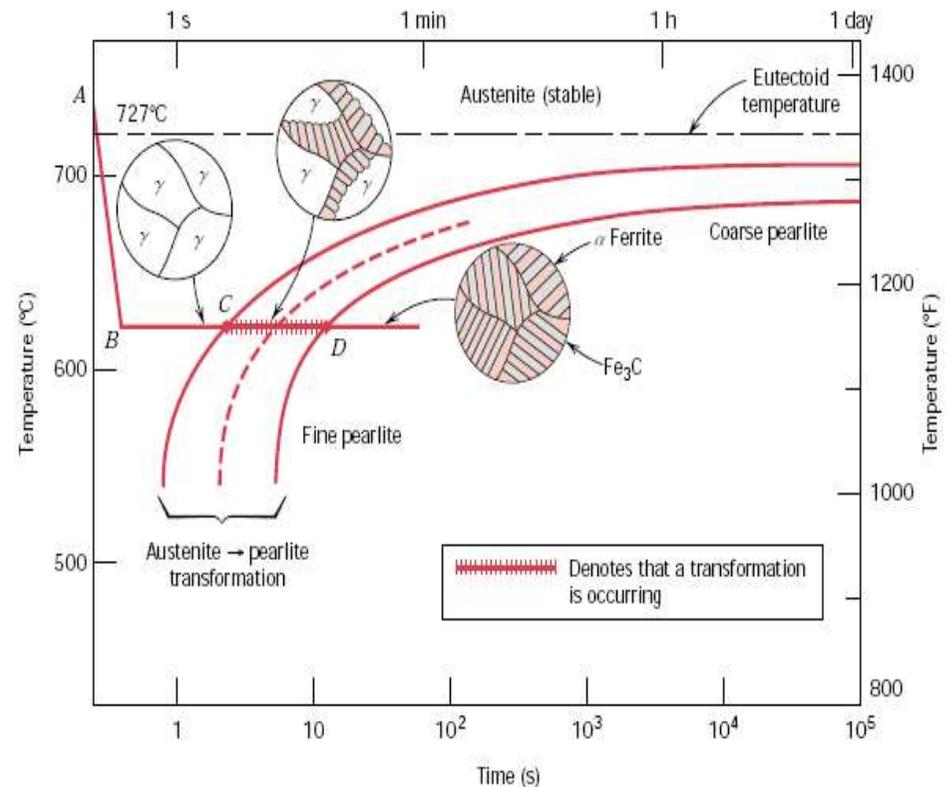


TRANSFORMAÇÕES ISOTÉRMICAS

A baixas temperaturas a transformação ocorre mais cedo (é controlada pela taxa de nucleação) e o crescimento de grão (que é controlado pela difusão) é reduzido.

Difusão lenta a baixas temperaturas leva a uma estrutura mais fina com espaçamento lamelar menor – perlita fina.

A altas temperaturas, altas taxas de difusão permitem um maior crescimento de grão e maior espaçamento lamelar – perlita grossa.



Isothermal Transformation

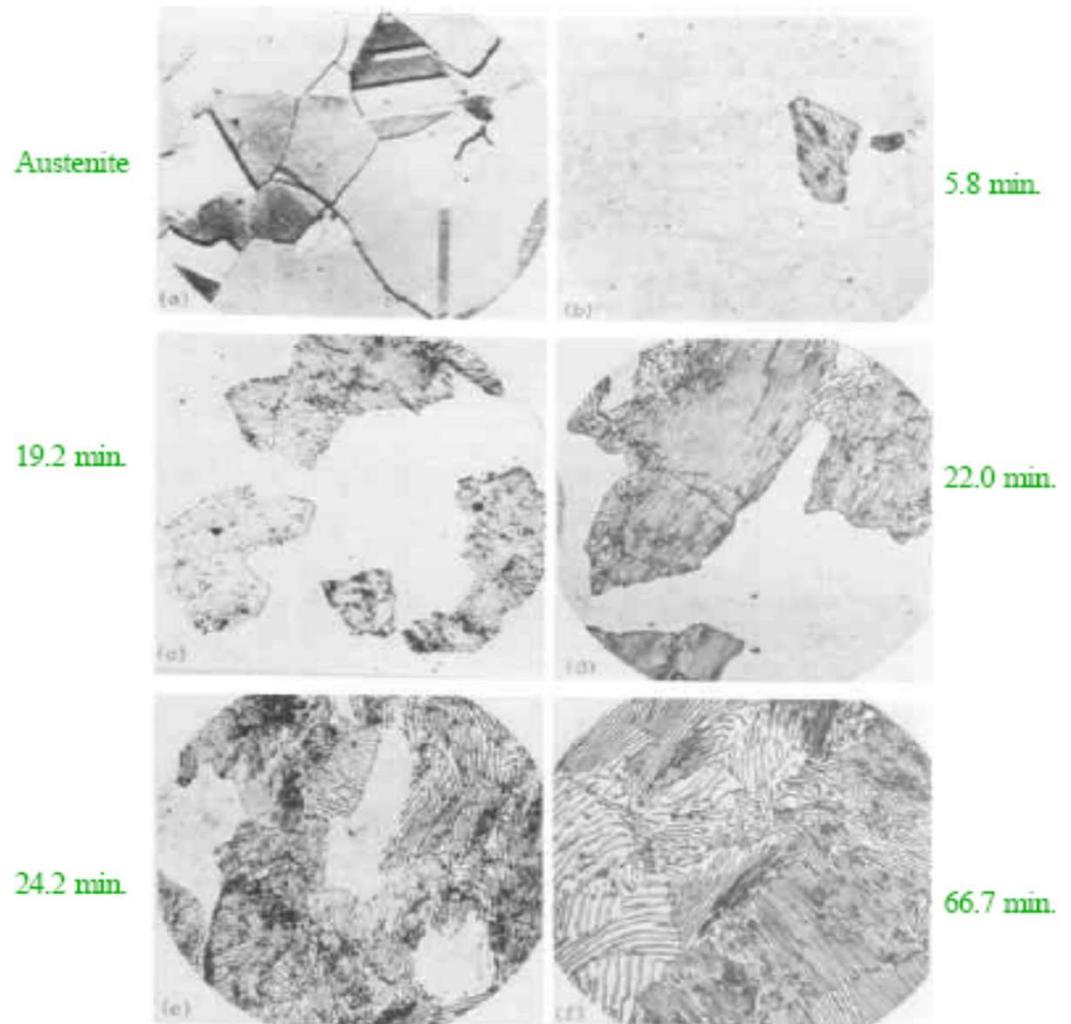
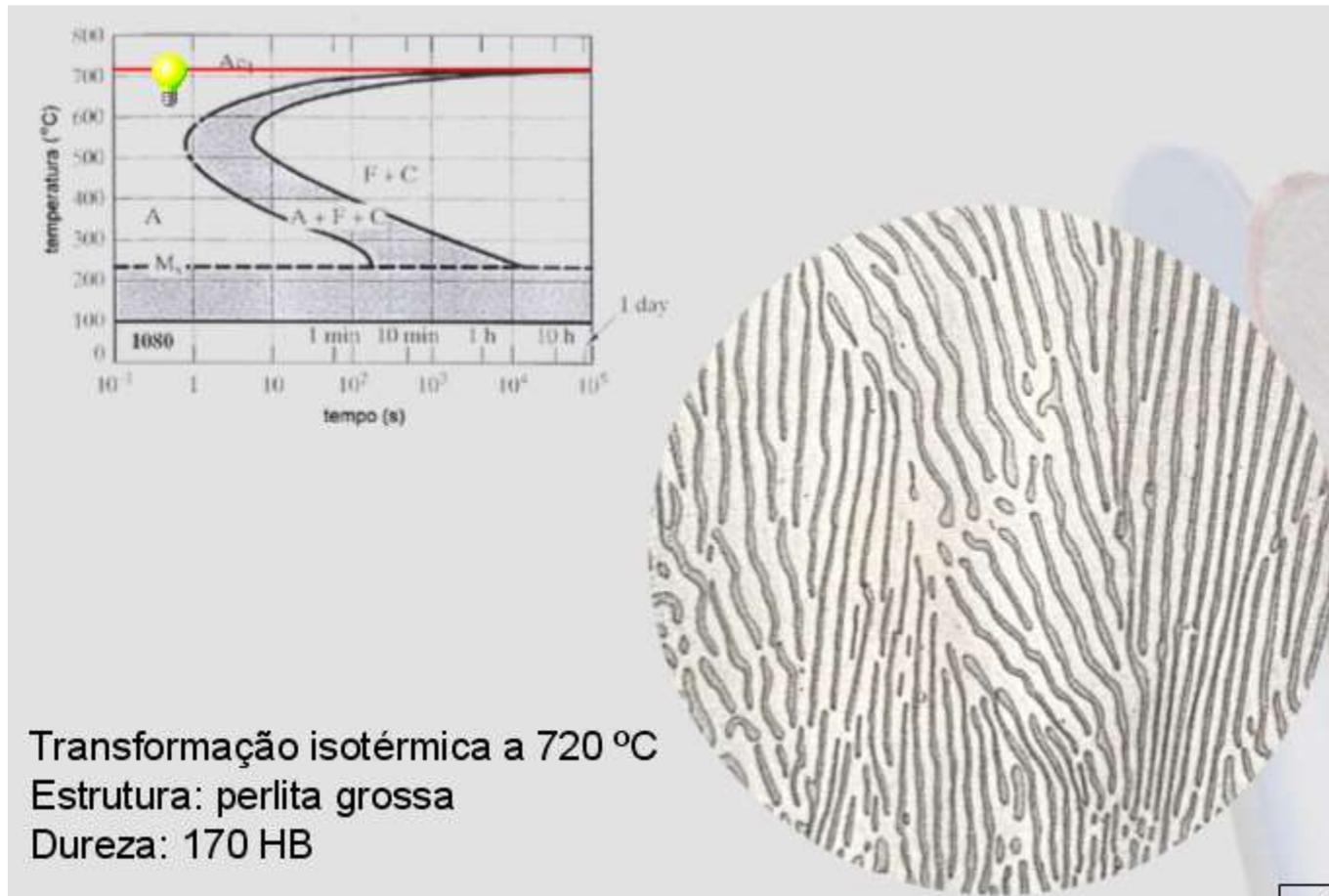
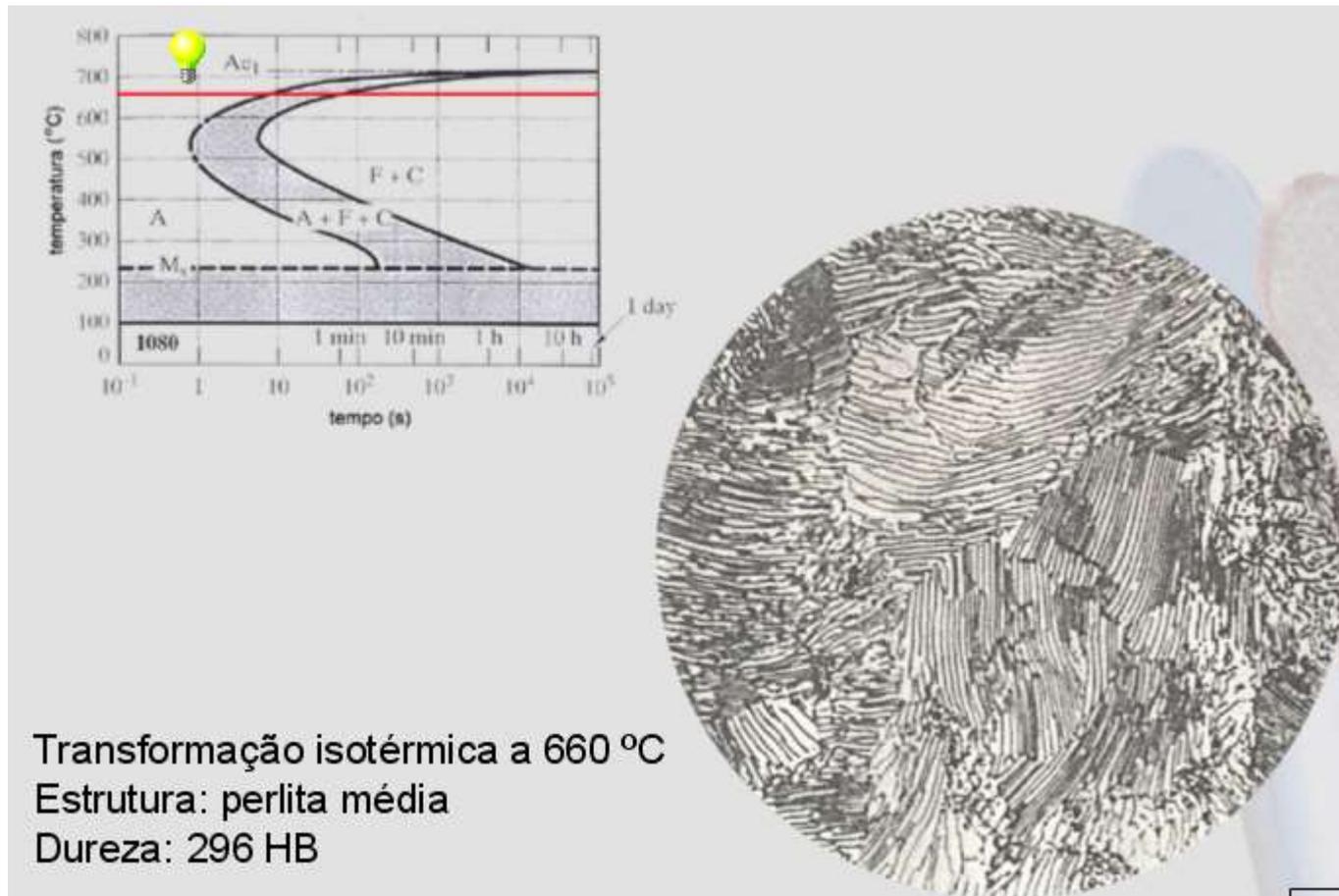


Figure 1-13 Microstructures showing the change in the isothermal transformation of austenite to pearlite in an eutectoid plain-carbon steel at 705°C. (a) Austenite, (b) after 5.8 min, (c) after 19.2 min, (d) after 22 min, (e) after 24.2 min, (f) after 66.7 min. (Etching: picral; X1000.) (After J. Valiela, E. C. Bain and H. W. Paxton, in "Alloying Elements in Steel," 2nd ed., American Society for Metals, 1966, pp. 21-26.)

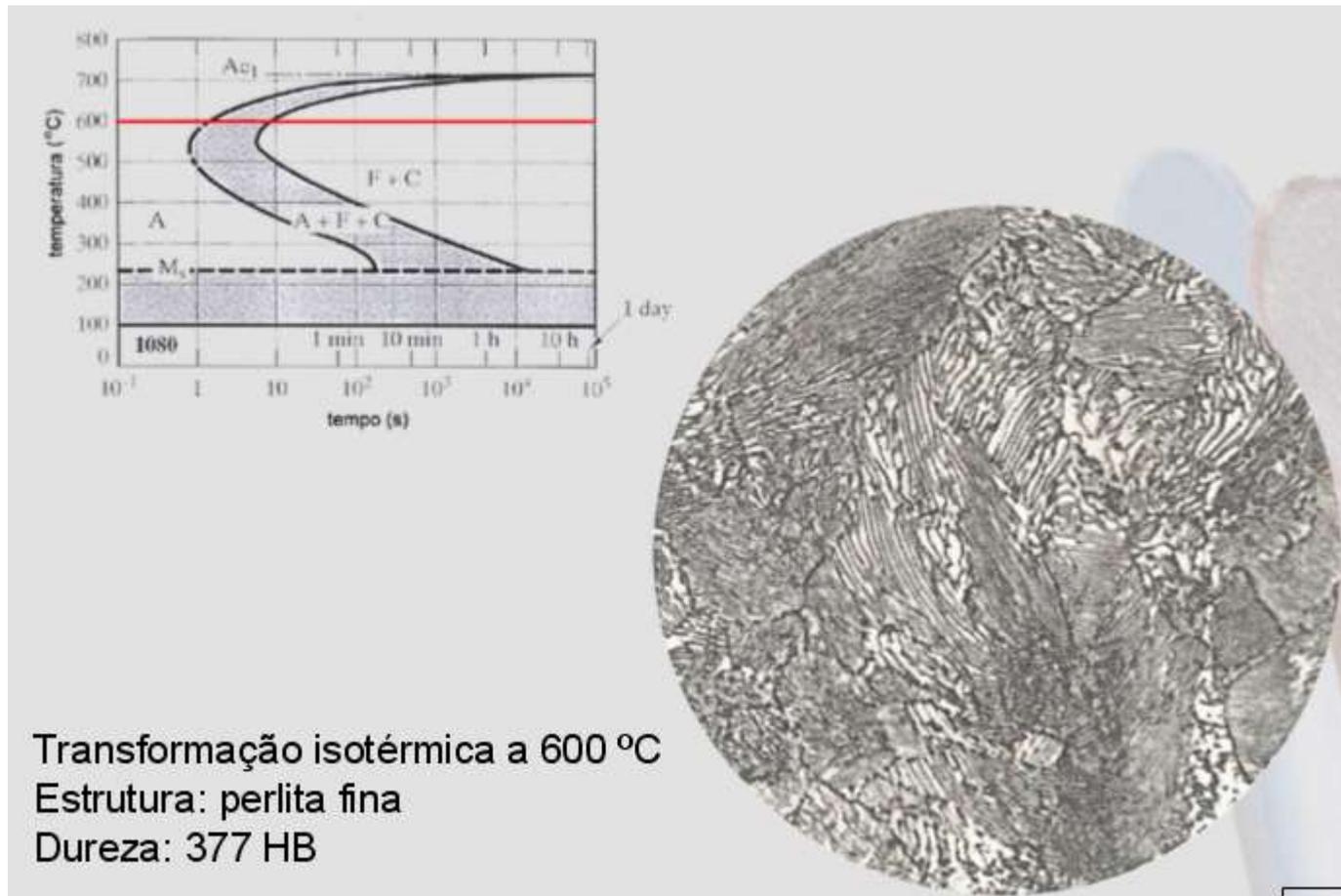
TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA DE LIGA FE-C



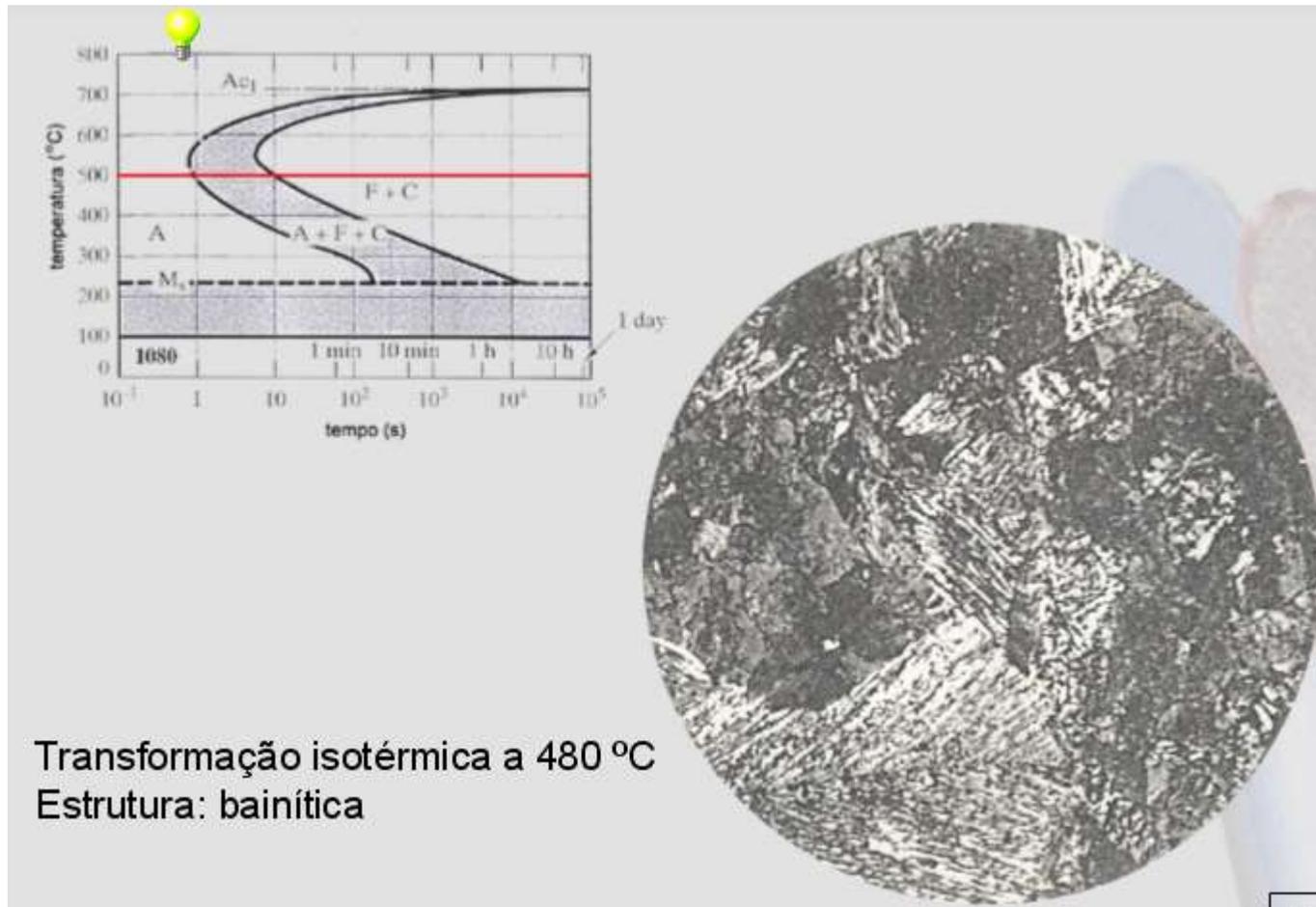
TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA DE LIGA FE-C



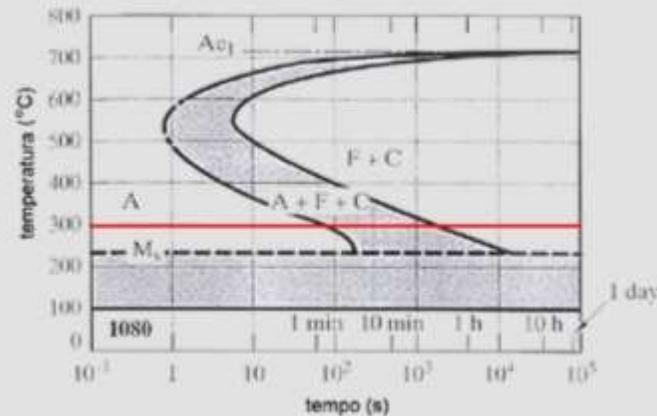
TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA DE LIGA FE-C



TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA DE LIGA FE-C



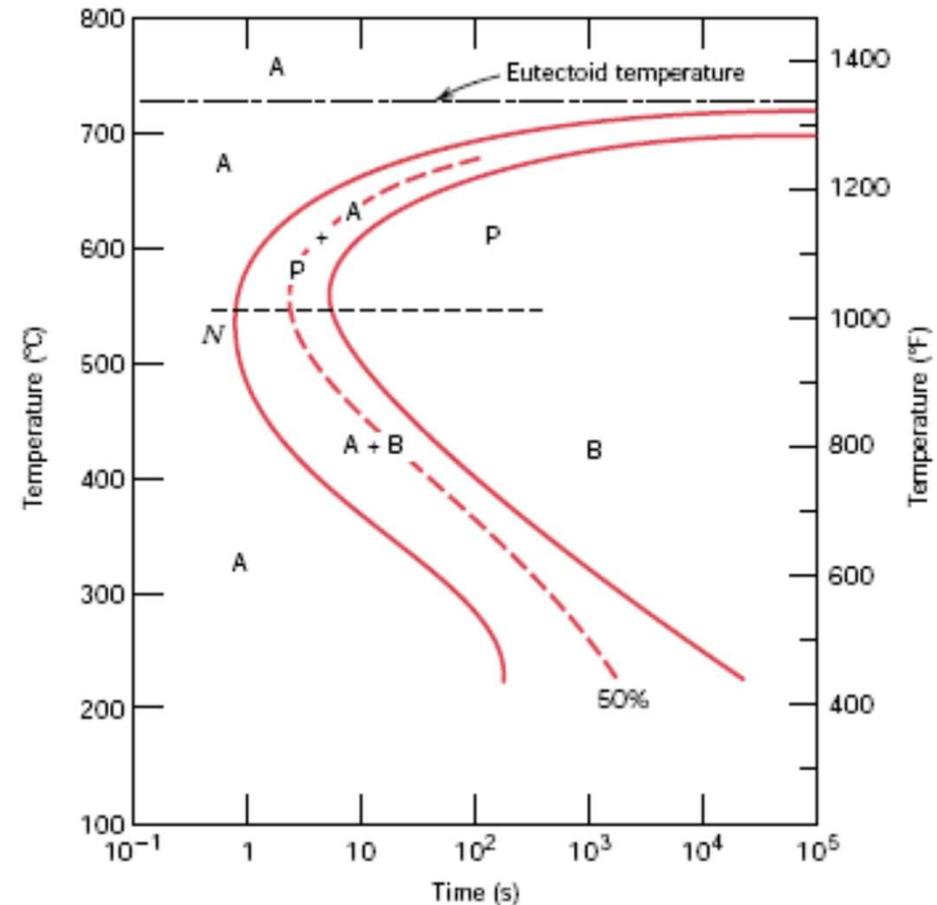
TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA DE LIGA FE-C



Transformação isotérmica a 300 °C
Estrutura: bainítica

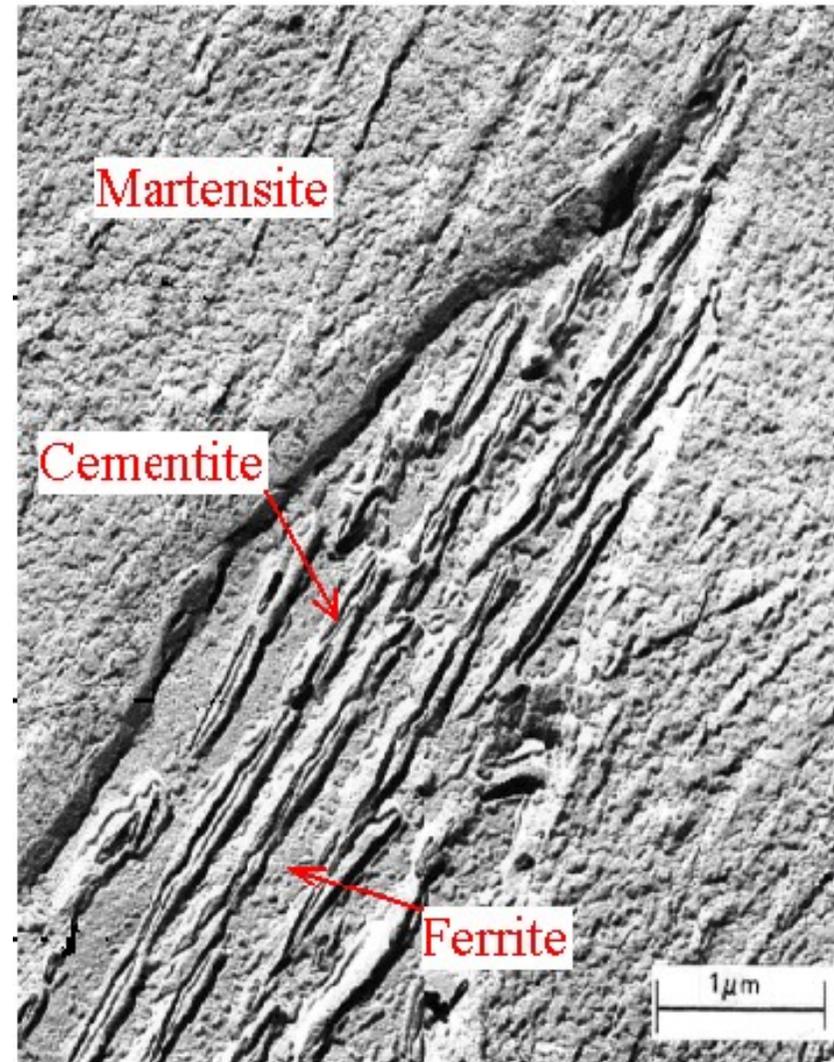
BAINITA

- À medida que a temperatura de transformação é reduzida após a formação de perlita fina, um novo microconstituente é formado: a bainita
- Como ocorre na perlita a microestrutura da bainita consiste nas fases ferrita e cementita, mas os arranjos são diferentes
- No diagrama de transformação isotérmica a bainita se forma abaixo do “joelho” enquanto a perlita se forma acima

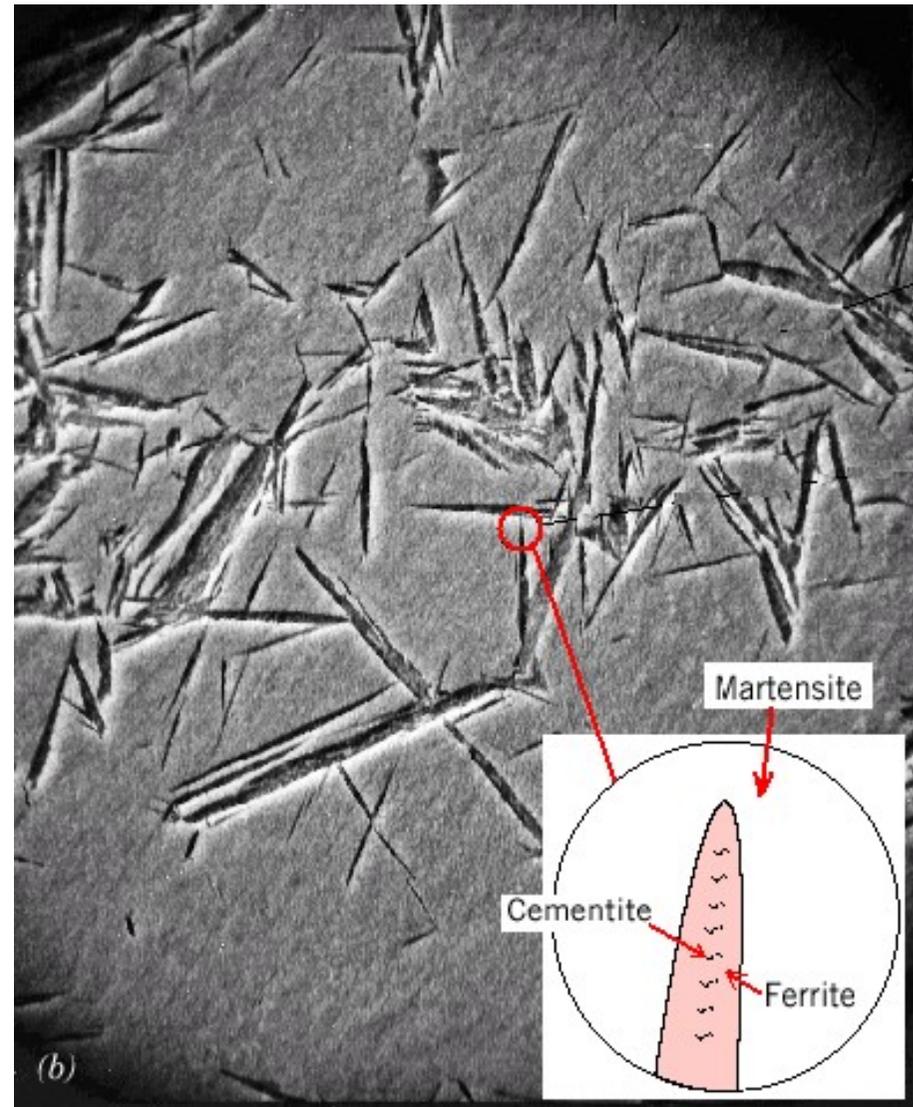


BAINITA

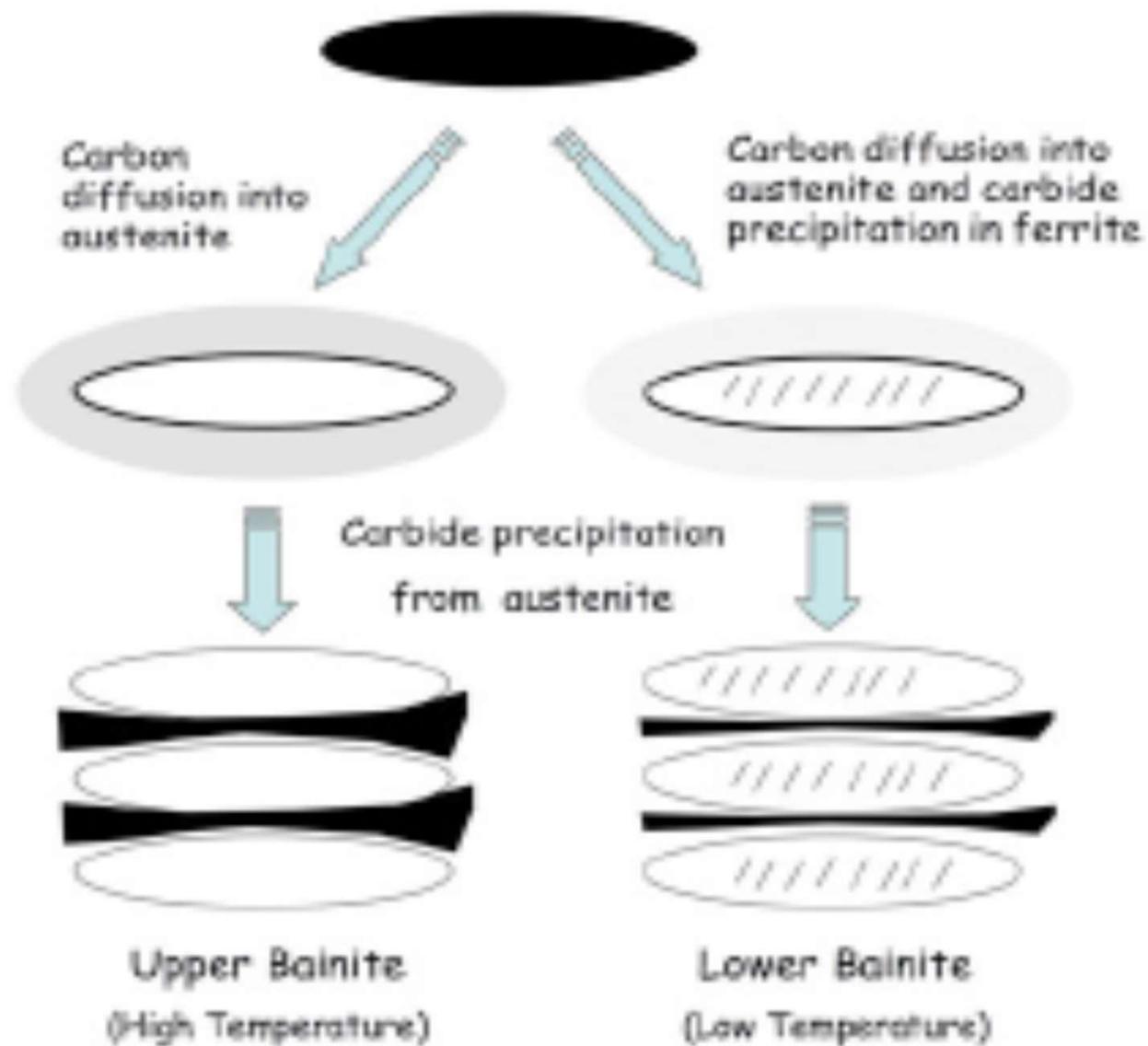
- Para temperaturas entre 300oC e 540oC a bainita se forma como uma série de agulhas de ferrita separadas por partículas alongadas de cementita (**bainita superior**)



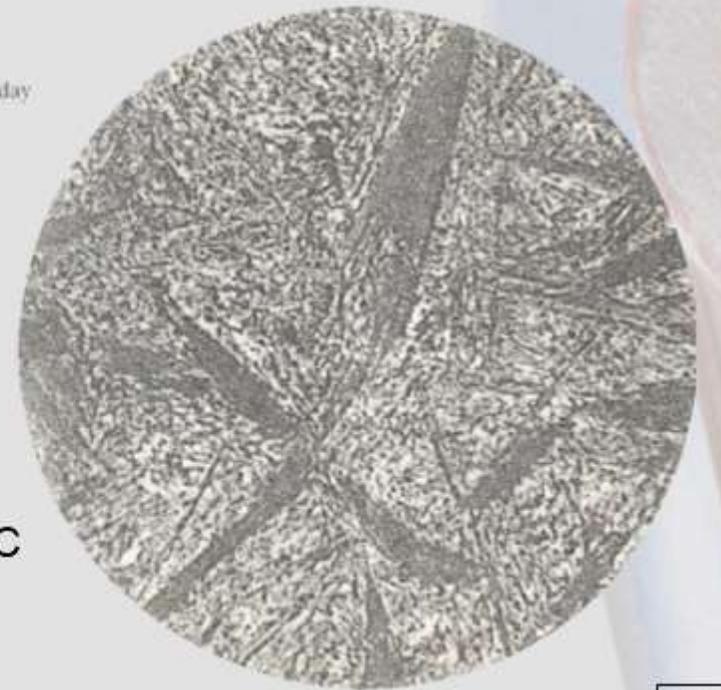
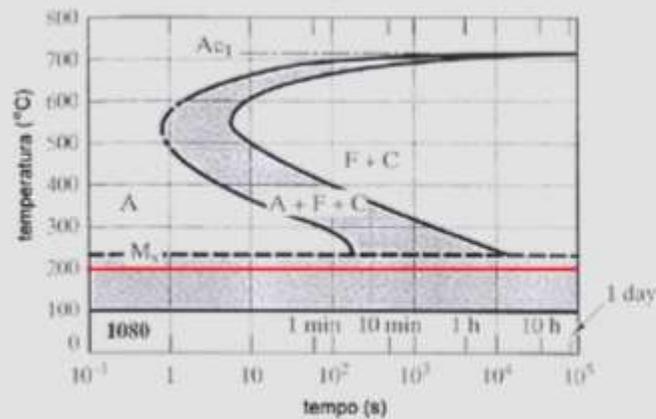
Para temperaturas entre 200C e 300C a ferrita encontra-se em placas e partículas finas de cementita se formam no interior dessas placas (**bainita inferior**)



Carbon supersaturated plate



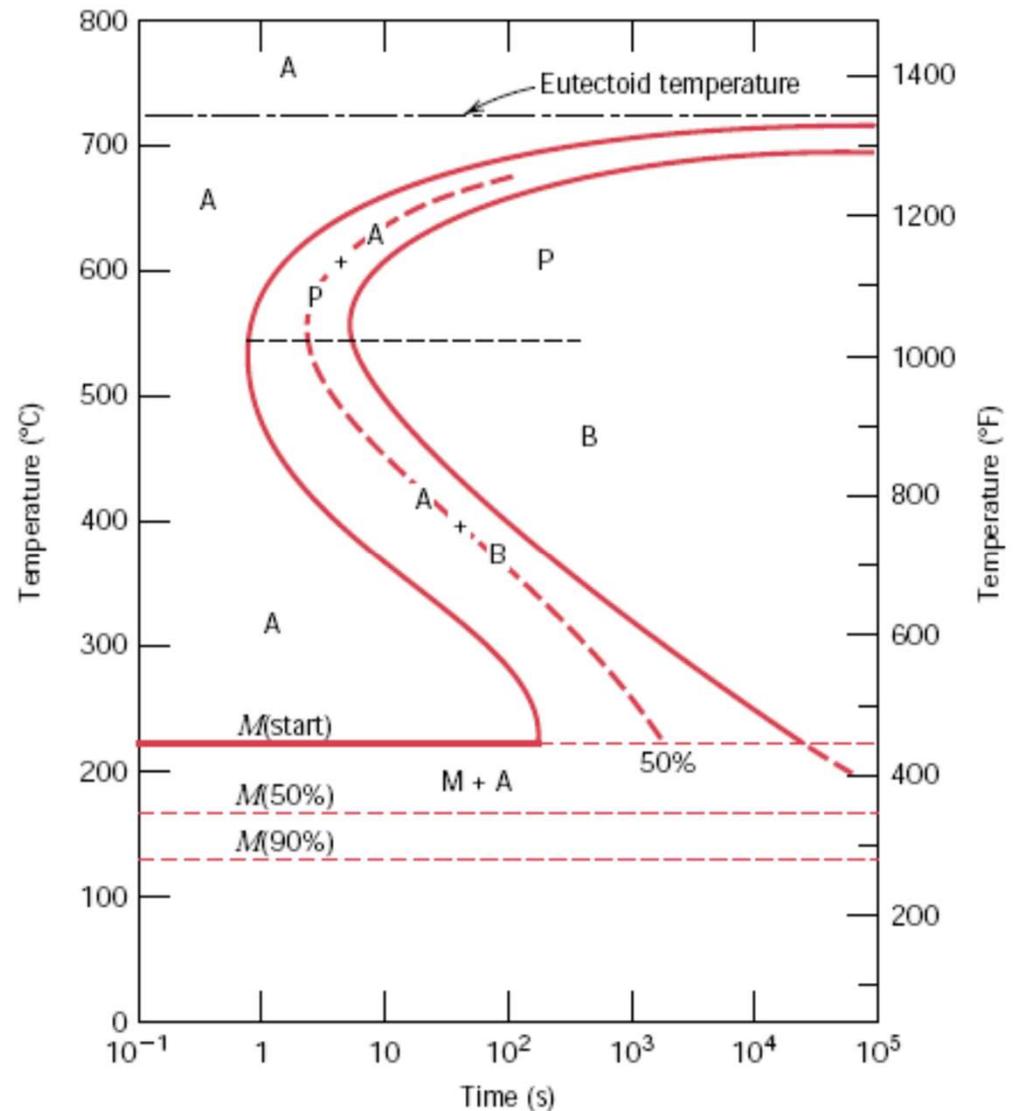
TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA DE LIGA FE-C

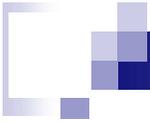


Transformação isotérmica a 200 °C
Estrutura: martensítica

CURVA TTT PARA AÇO EUTETÓIDE

- O início da transformação martensítica está representado por uma linha horizontal designada por M(start). Duas outras linhas horizontais e tracejadas representadas por M(50%) e M(90%) indicam os percentuais da transformação de austenita em martensita
- As temperaturas nas quais estão localizadas variam de acordo com o material, mas são relativamente baixas, pois a difusão de carbono deve ser inexistente





Jesus, vou ter que aprender isso????

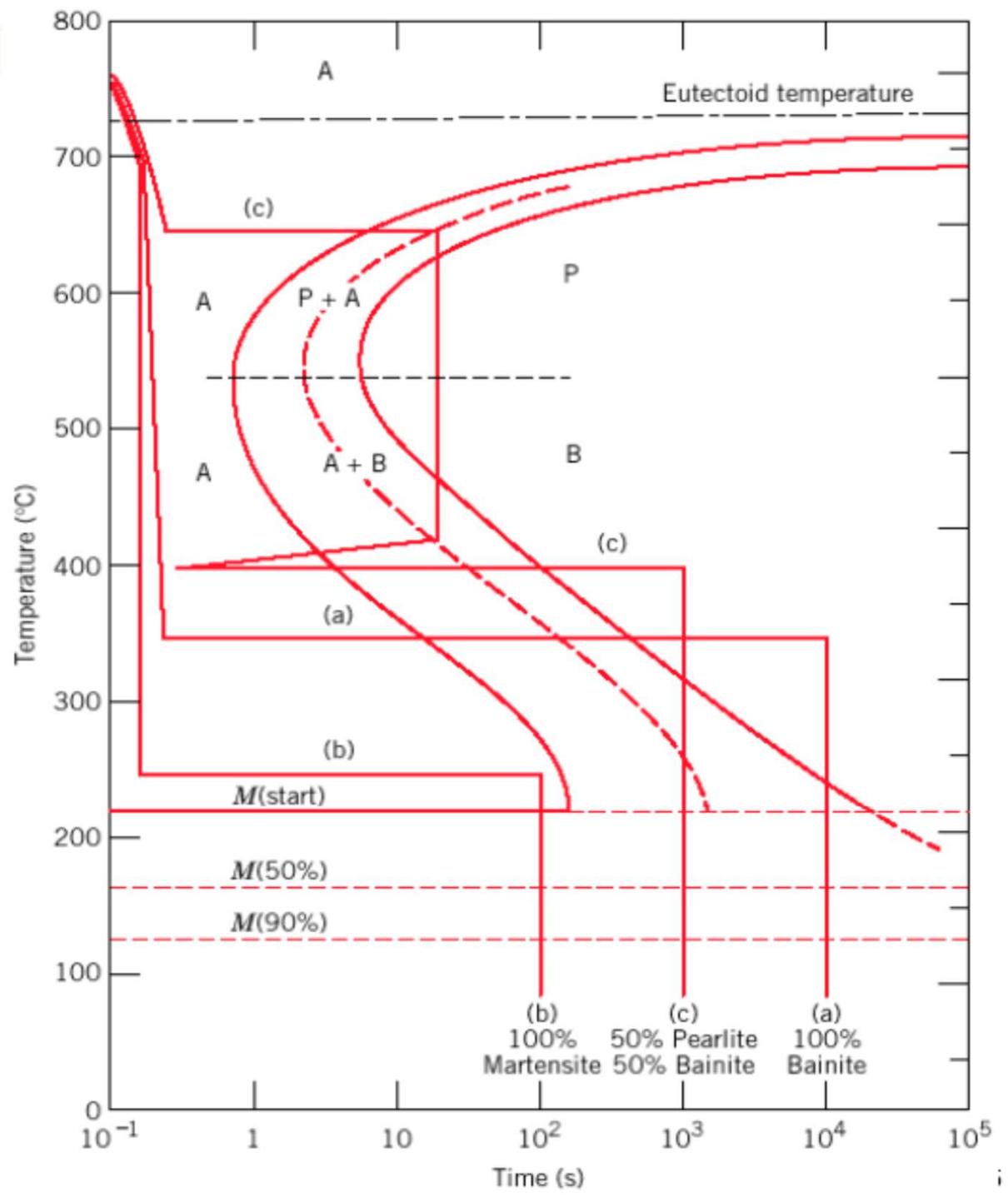


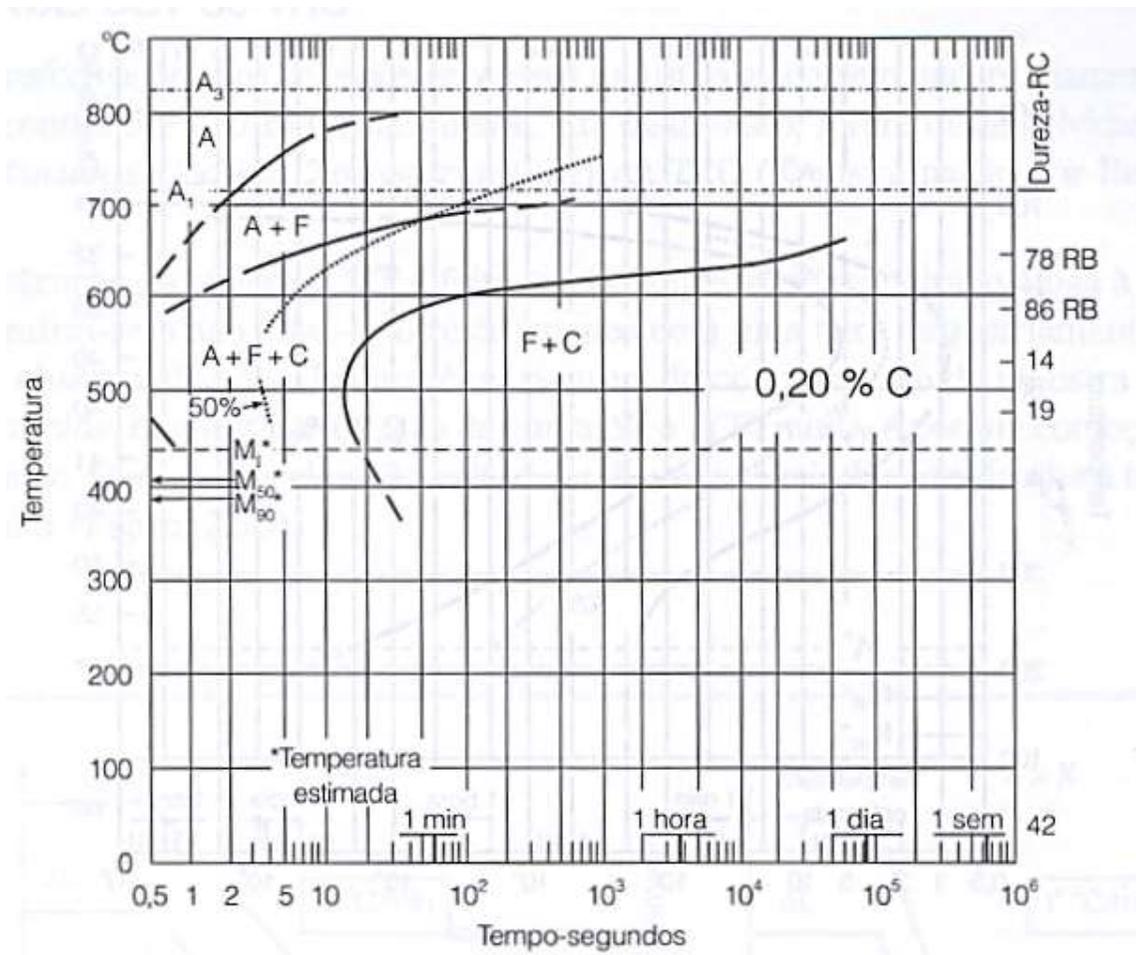
CURVA TTT para outros aços

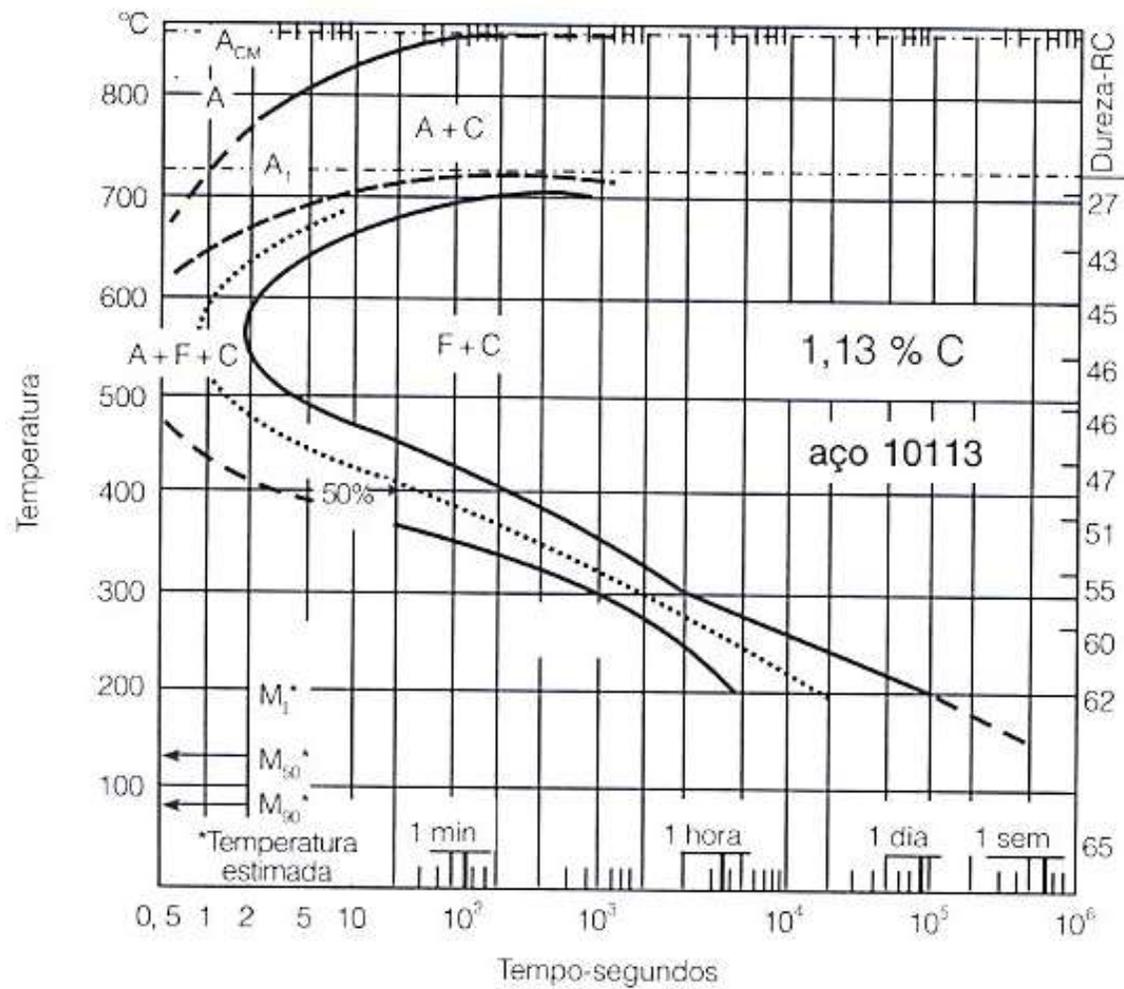
Para outras composições que não a eutetóide, fases pró eutetóides coexistem com a perlita.

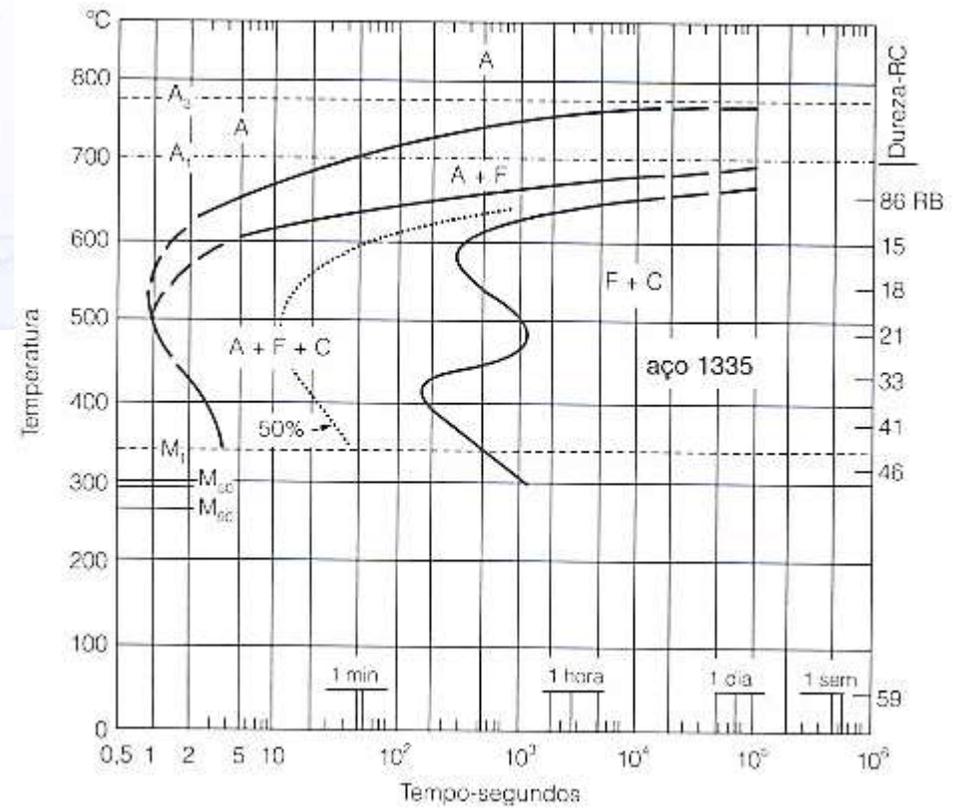
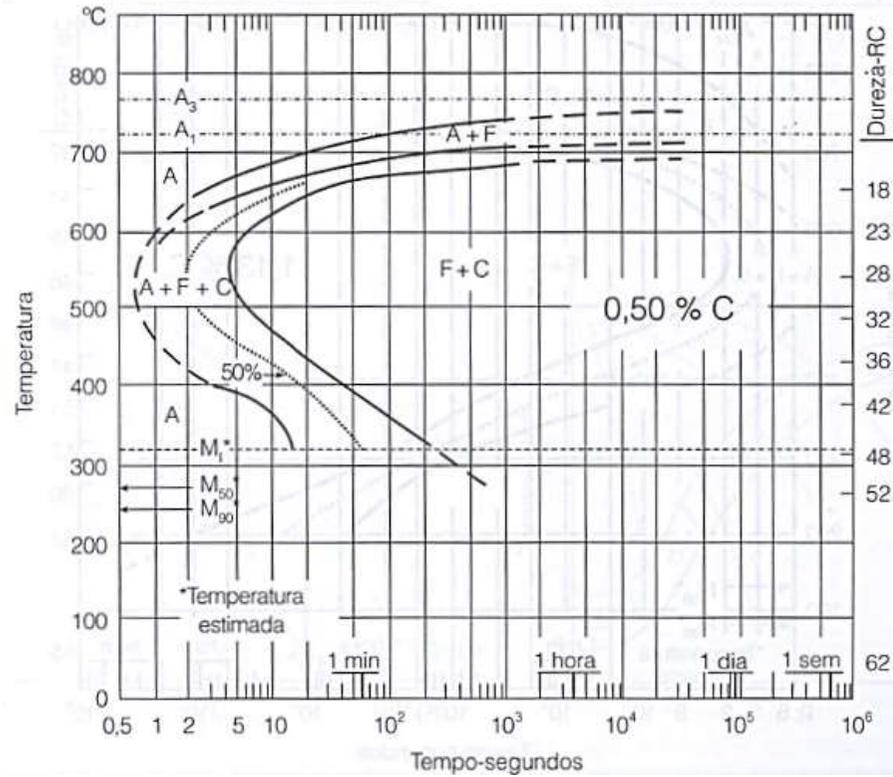
Para os aços hipoeutetóides há a ferrita.

Para os aços hipereutetóides há a cementita.



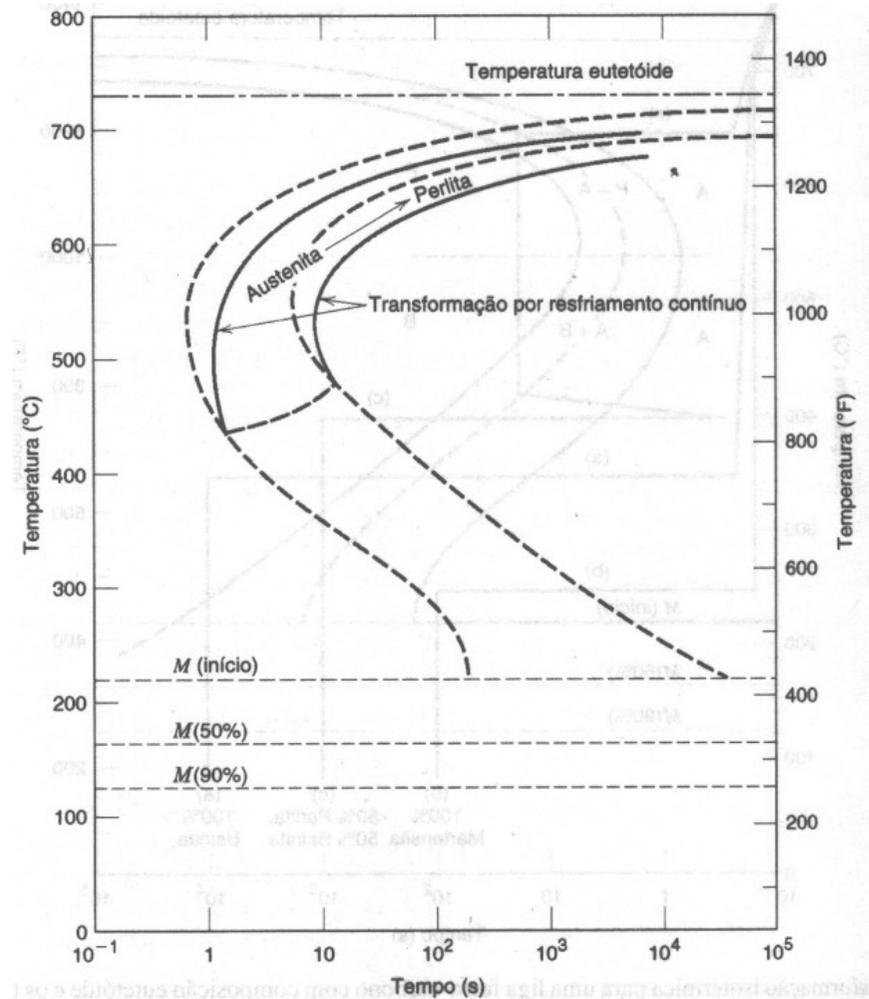






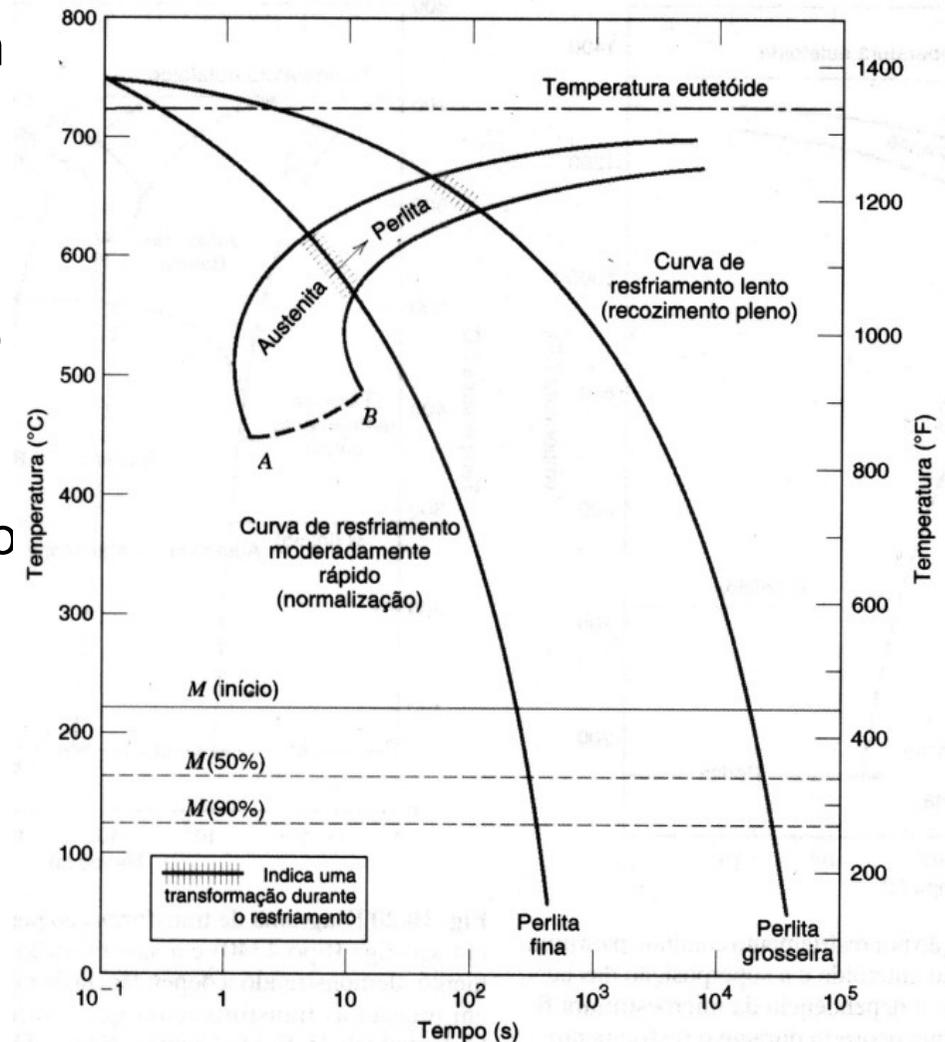
RESFRIAMENTO CONTÍNUO

- A maioria dos tratamentos térmicos para os aços envolve o resfriamento contínuo de uma amostra até a temperatura ambiente
- Um diagrama de transformação isotérmica só é válido para temperatura constante e tal diagrama deve ser modificado para transformações com mudanças constantes de temperaturas
- No resfriamento contínuo o tempo exigido para que uma reação tenha seu início e o seu término é retardado e as curvas são deslocadas para tempos mais longos e temperaturas menores



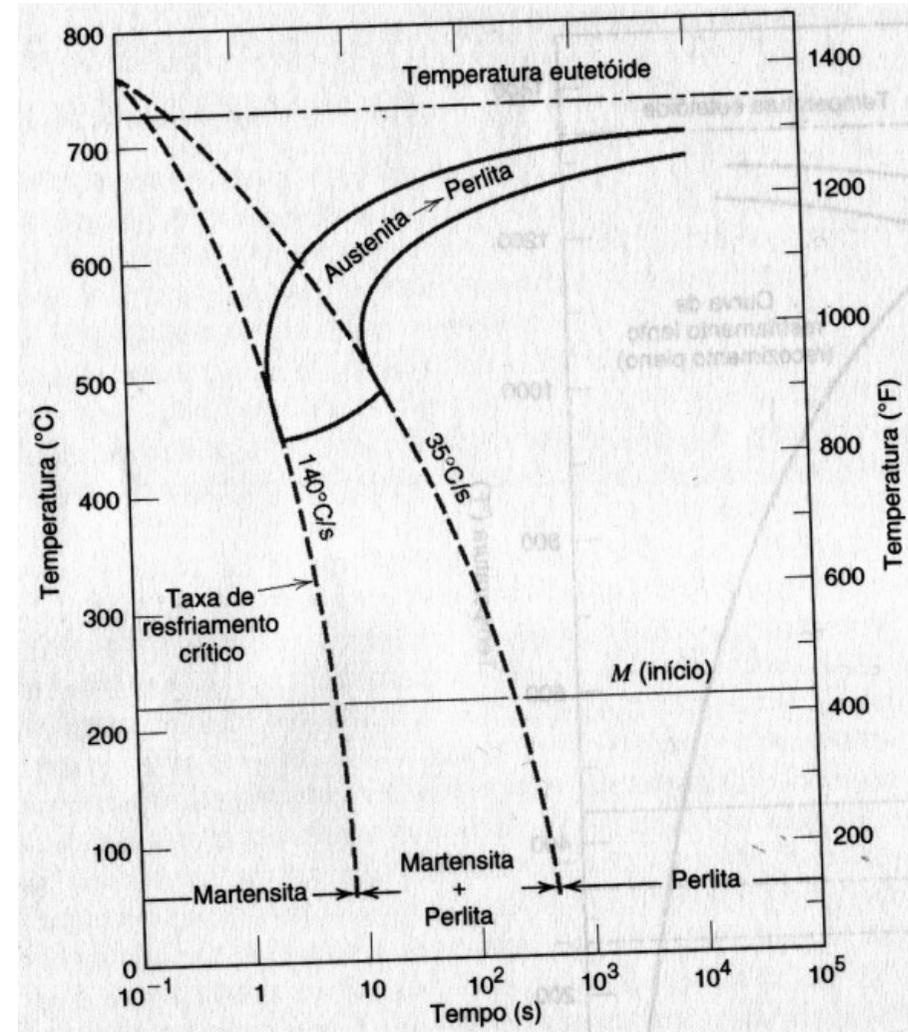
RESFRIAMENTO CONTÍNUO

- A transformação tem início após um período de tempo que corresponde à intersecção da curva de resfriamento com a curva de início da reação, e termina com o cruzamento da curva com o término da transformação
- Para qualquer curva de resfriamento que passe por AB a austenita não reagida transforma-se em martensita

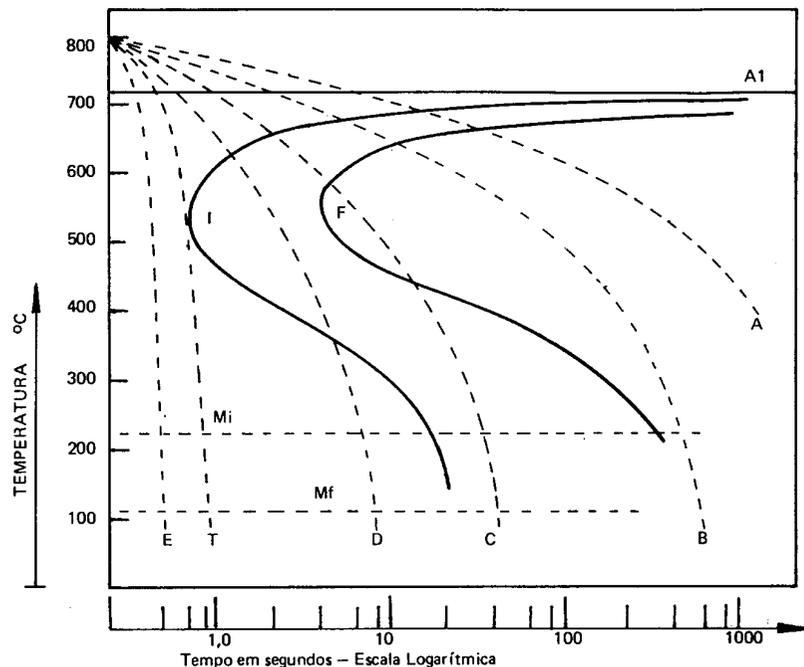


RESFRIAMENTO CONTÍNUO

- Para o resfriamento contínuo de uma liga de aço existe uma taxa de têmpera crítica que representa a taxa mínima de têmpera para se produzir uma estrutura totalmente martensítica
- Para taxas de resfriamento superiores à crítica existirá apenas martensita. Além disso existirá uma faixa de taxas em que perlita e martensita são produzidos e finalmente uma estrutura totalmente perlítica se desenvolve para baixas taxas de resfriamento



RESFRIAMENTO CONTÍNUO



A (FORNO)= Perlita grossa

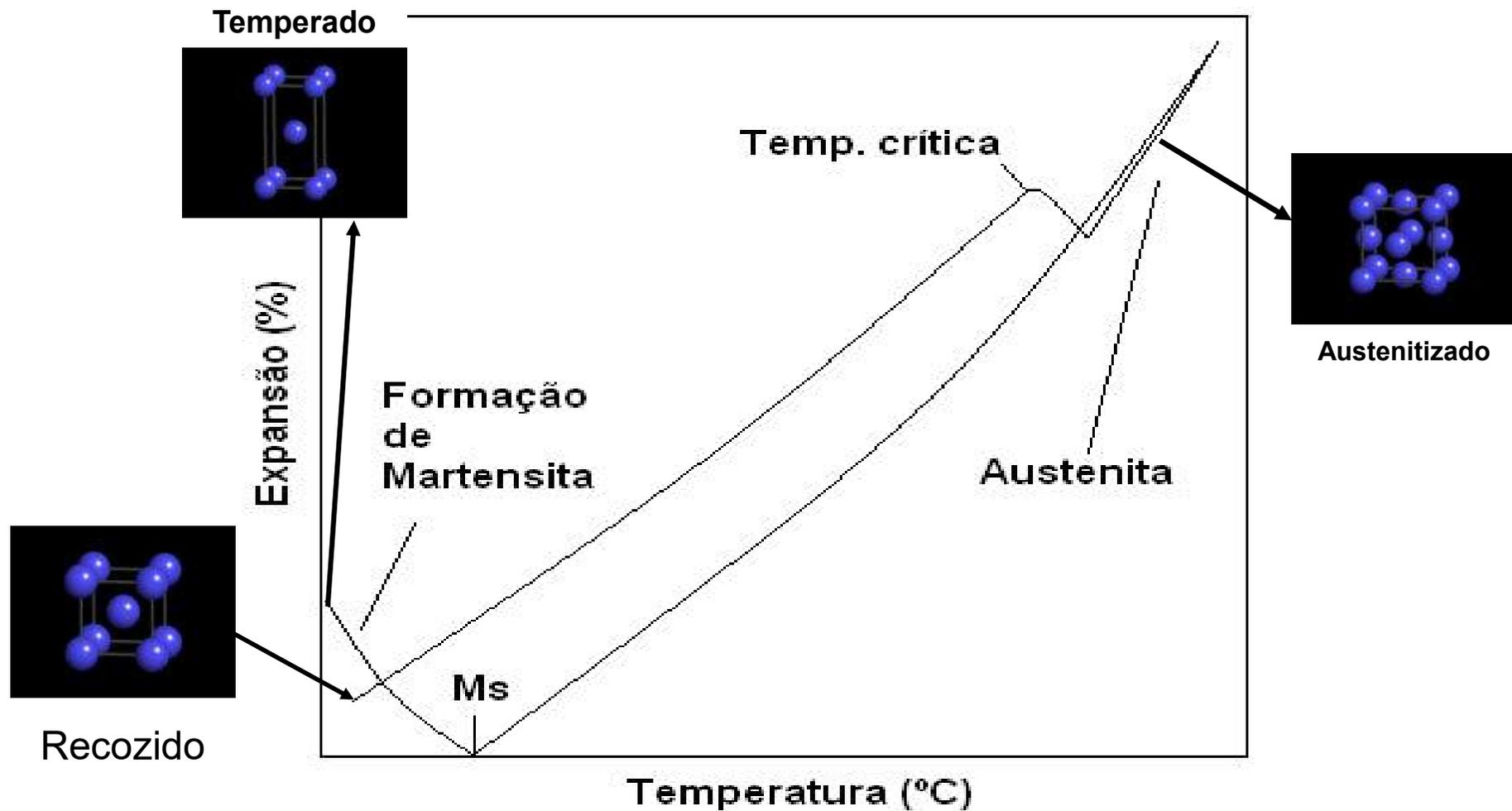
B (AR)= Perlita + fina (+
dura que a anterior)

C (AR SOPRADO)= Perlita +
fina que a anterior

D (ÓLEO)= Perlita +
martensita

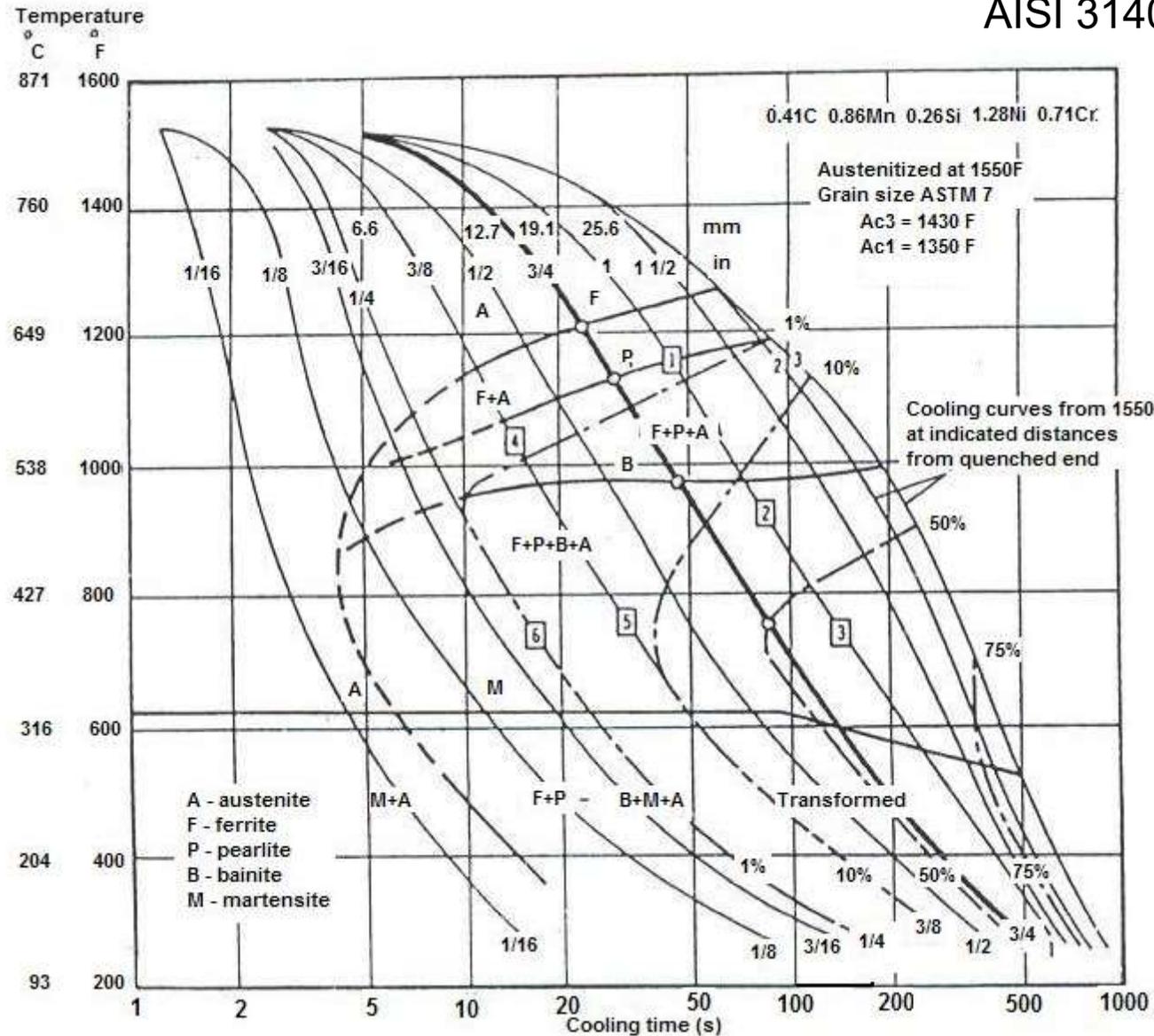
E (ÁGUA)= Martensita

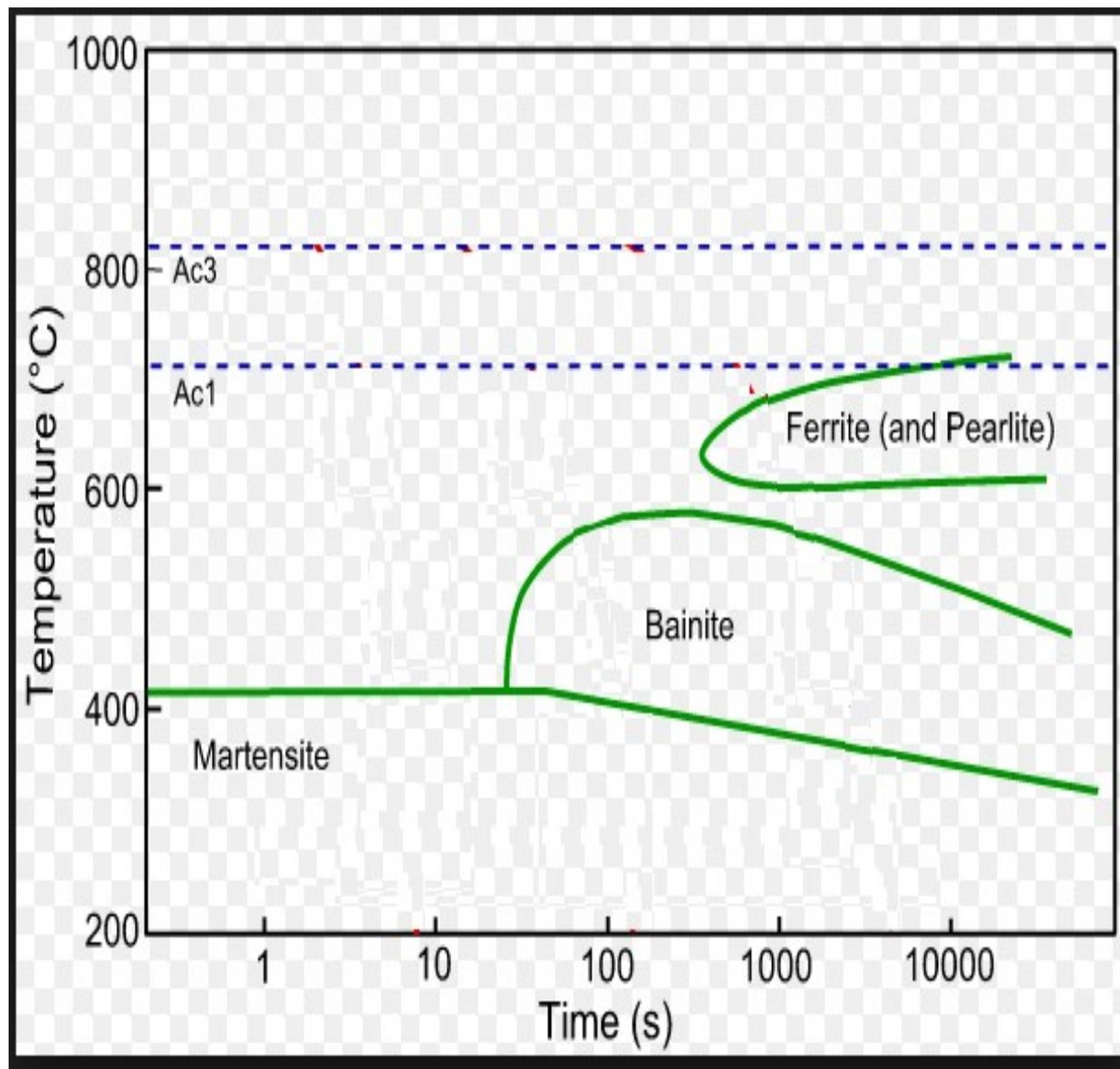
Estudo da dilatação de um aço no aquecimento e resfriamento



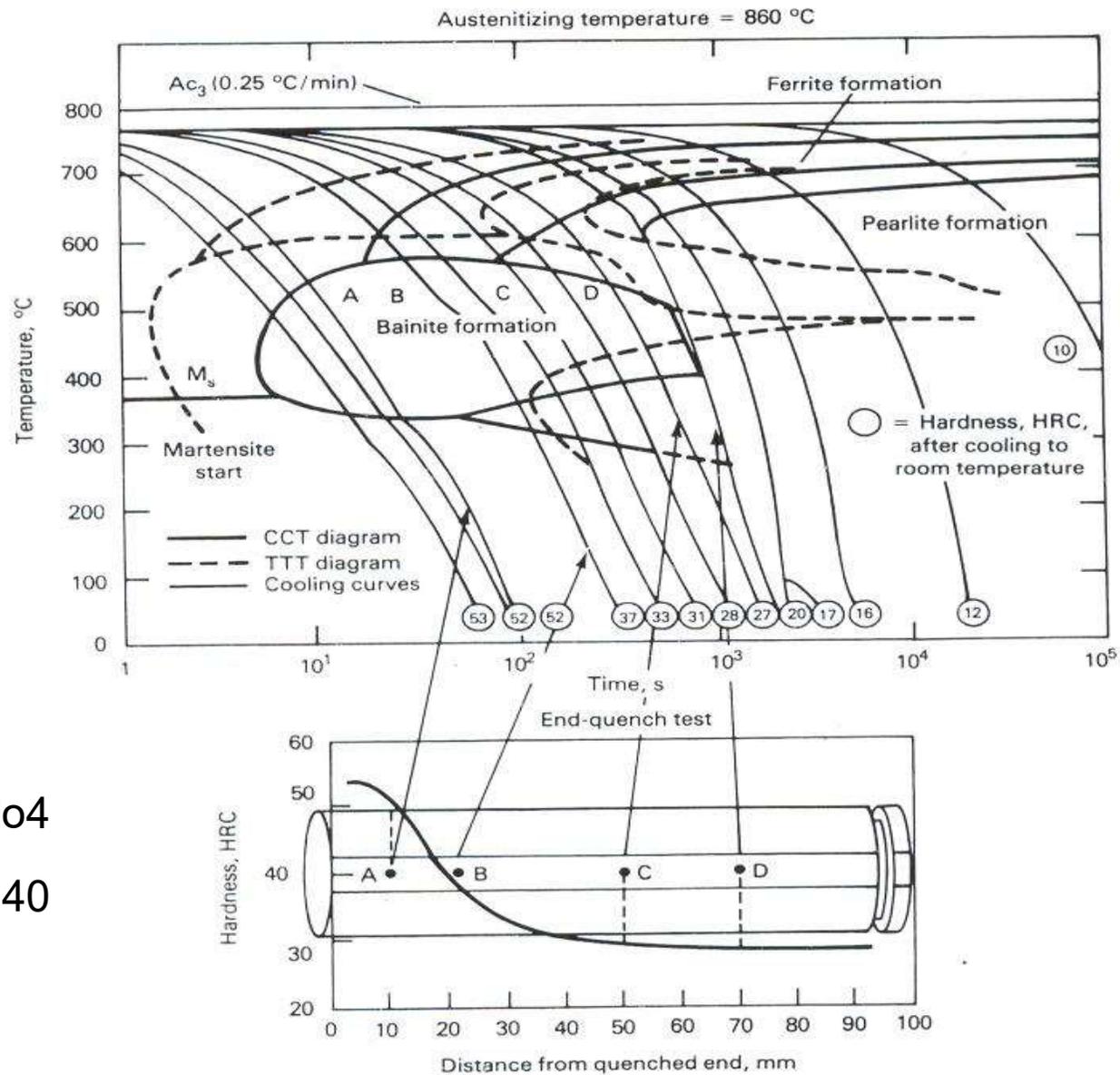
Curva CCT

AISI 3140





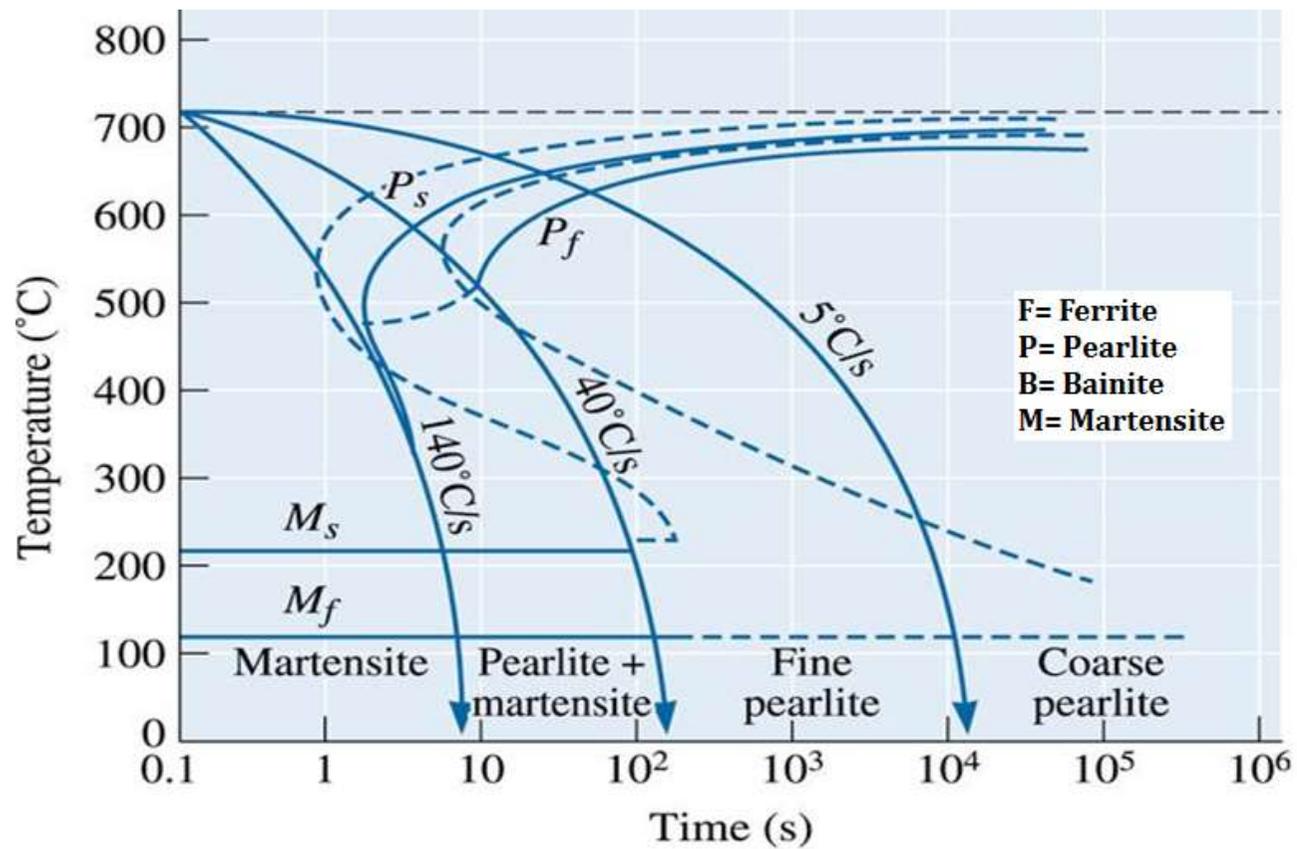
TTTxCCT



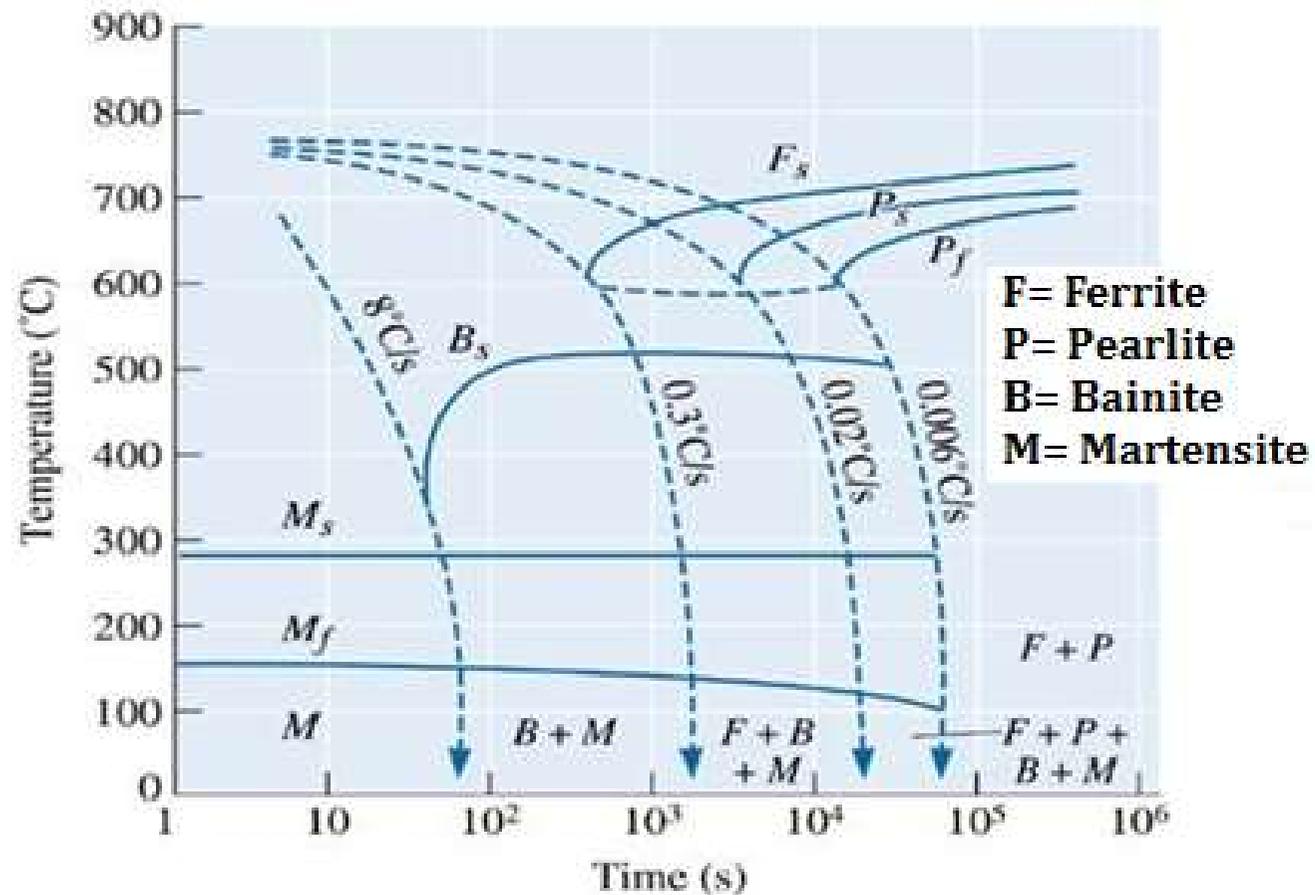
DIN 42CrMo4

SAE4140

ITXCCT SAE 1080



CCT SAE 4340



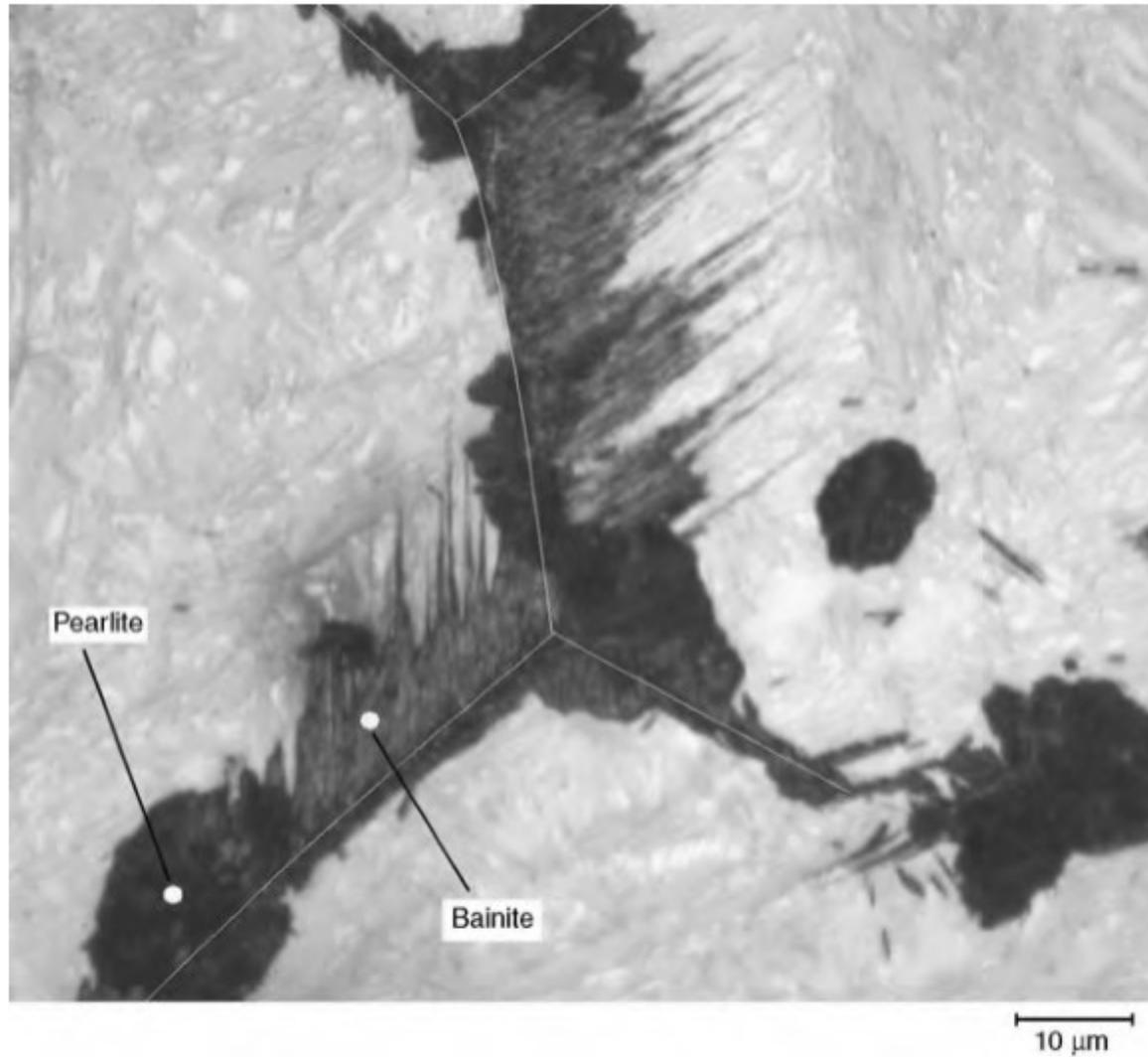
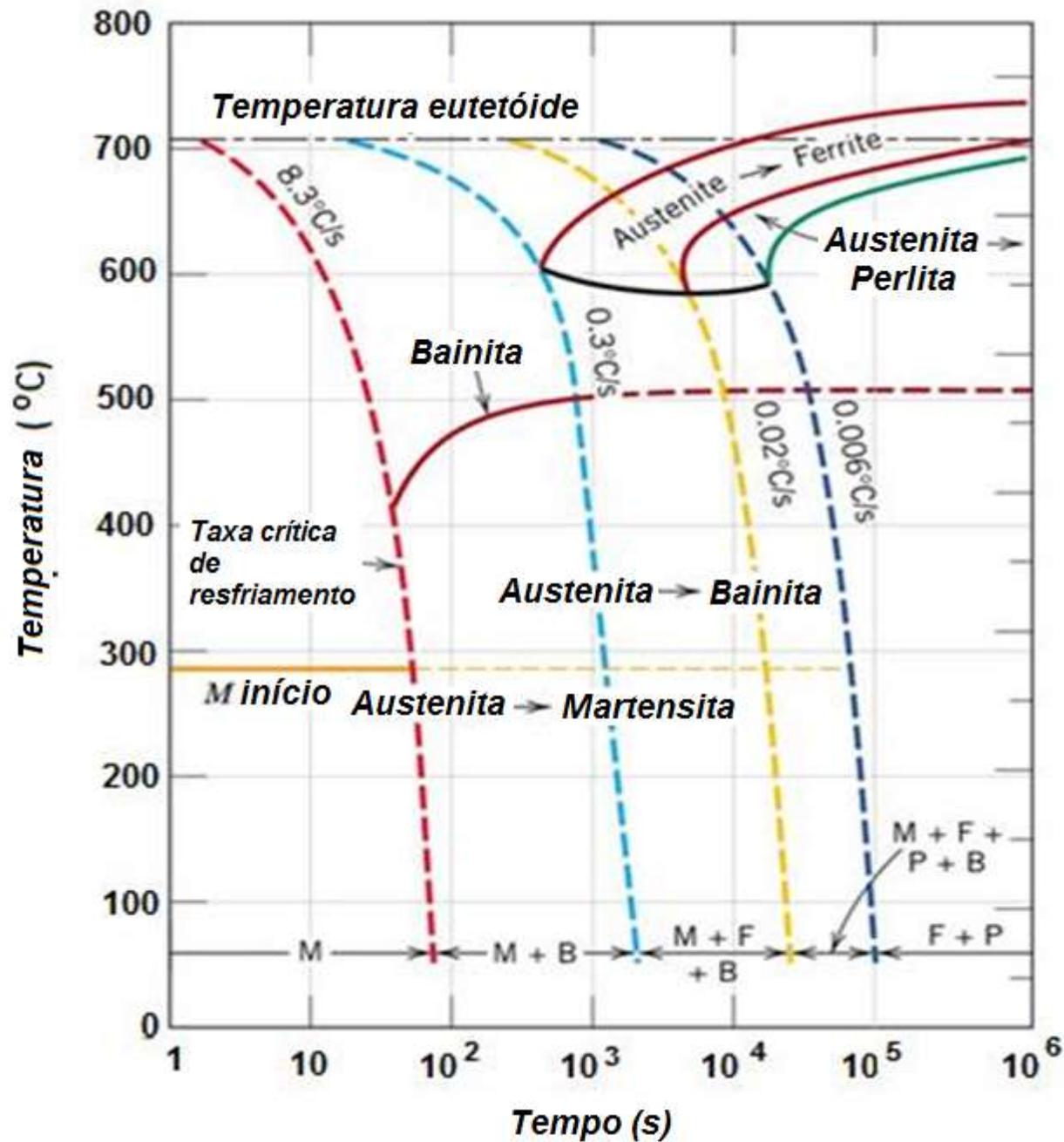


Fig. 9.18 Mixed pearlite and bainite structures formed on prior-austenite grain boundaries, indicated by white lines. Faster-quenched 1095 steel. Mixed nital-picral etch. Original magnification 1000 \times . Source: Ref 9.2





FATORES QUE AFETAM A POSIÇÃO DAS CURVAS TTT NOS AÇOS

- Teor de carbono
- Tamanho do grão da austenita
- Composição química (elementos de liga)



ELEMENTOS DE LIGA

Quanto maior o teor e o número dos elementos de liga, mais numerosas e complexas são as reações

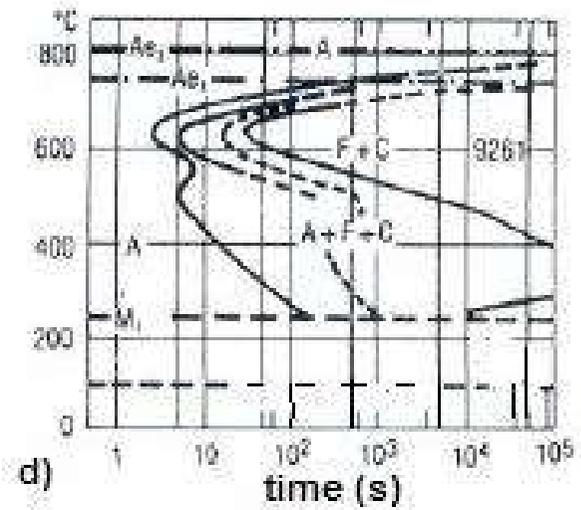
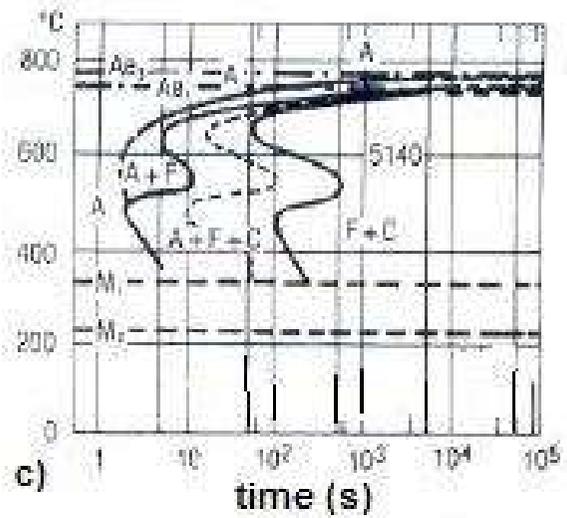
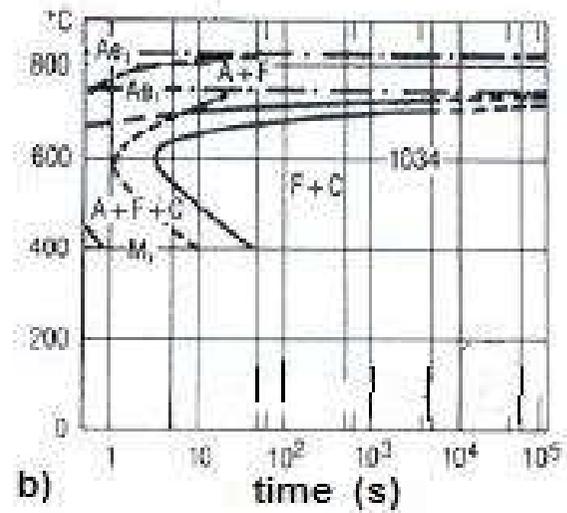
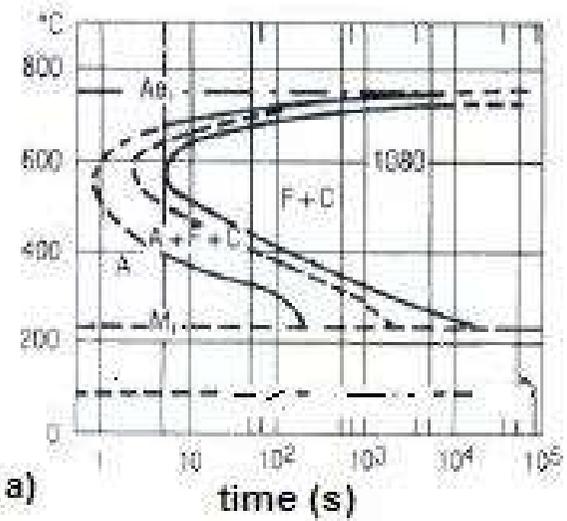
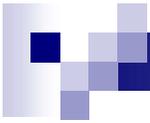


Todos os elementos de liga (**exceto o Cobalto**) deslocam as curvas para a direita, retardando as transformações e promovem a formação de um Joelho separado para a bainita



Facilitam a formação da martensita

**** Conseqüência: em determinados aços pode-se obter martensita mesmo com resfriamento lento*





TAMANHO DE GRÃO DA AUSTENITA

Quanto maior o tamanho de grão mais para a direita deslocam-se as curvas TTT



Tamanho de grão grande dificulta a formação da perlita, já que a mesma inicia-se no contorno de grão



Então, tamanho de grão grande favorece a formação da martensita



TAMANHO DE GRÃO DA AUSTENITA

No entanto deve-se evitar tamanho de grão da austenita muito grande porque:

- Diminui a tenacidade
- Gera tensões residuais
- É mais fácil de empenar
- É mais fácil de ocorrer fissuras



HOMOGENEIDADE DA AUSTENITA

Quanto homogênea a austenita mais para a direita deslocam-se as curvas TTT



Os carbonetos residuais ou regiões ricas em C atuam como núcleos para a formação da perlita



Então, uma maior homogeneidade favorece a formação da martensita