

SMM 0193– ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS I

TEMPERABILIDADE

Prof. Dr. José Benedito Marcomini



**É A CAPACIDADE DE ENDURECER POR
TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA.
MATERIAIS TEMPERÁVEIS SÃO FÁCEIS
DE PROMOVER A TÊMPERA**

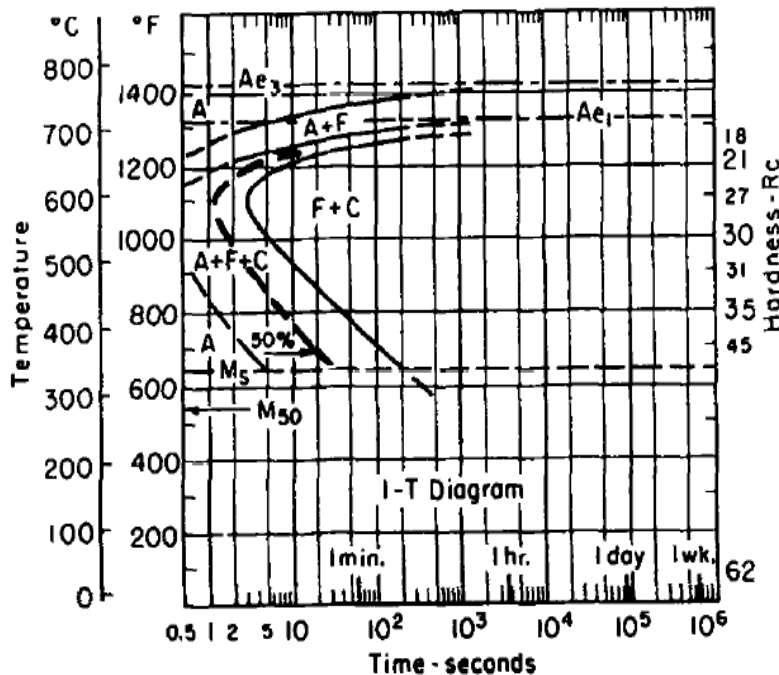
Temperabilidade

- Temperabilidade é um termo utilizado para descrever a habilidade de uma liga de ser endurecida pela formação de martensita
- Uma liga que possui alta temperabilidade forma martensita não apenas na sua superfície, mas em elevado grau também em todo o seu interior

ELEMENTOS DE LIGA ALTERAM AS CURVAS TTT/TRC

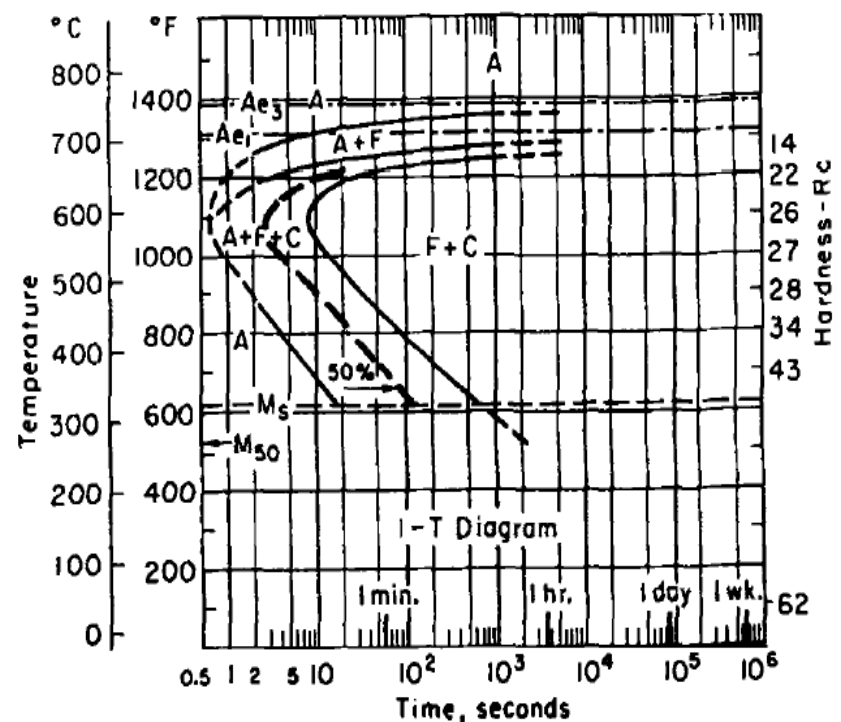
Type: 1045/1050

Composition: Fe - 0.47% C - 0.57% Mn - 0.06% Cu Grain size: 50% 8, 50% 5 Austenitized at 843°C (1550°F)



Type: 1045/1050 + Cu

Composition: Fe - 0.49% C - 0.54% Mn - 0.20% Si - 1.49% Cu Grain size: 50% 8, 50% 5 Austenitized at 843°C (1550°F)

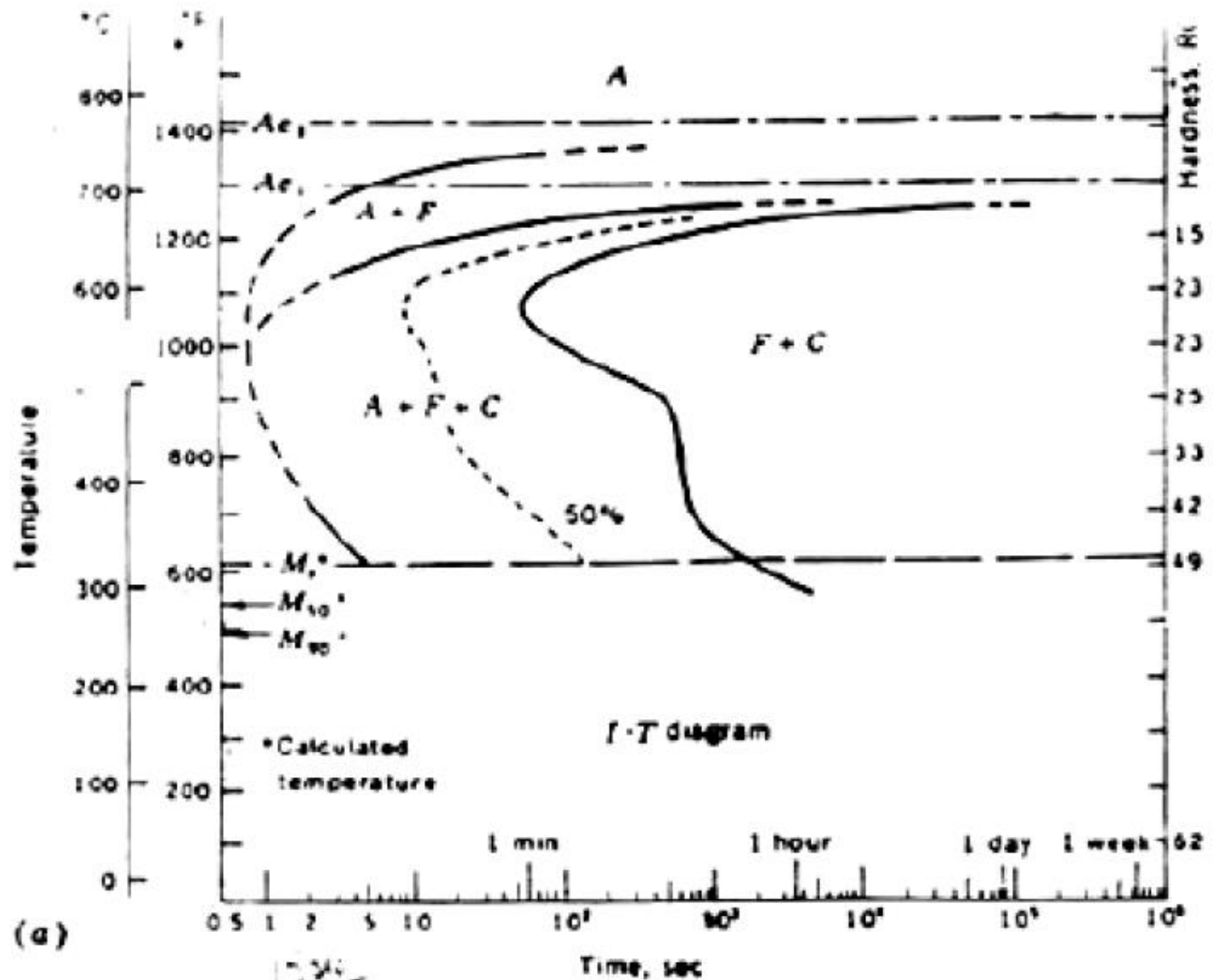


A adição de alguns elementos de liga deslocam as curvas TRC para a direita: aumentam a temperabilidade!

Prof. Dr. José Benedito Marcomini

TTT curve - 1040

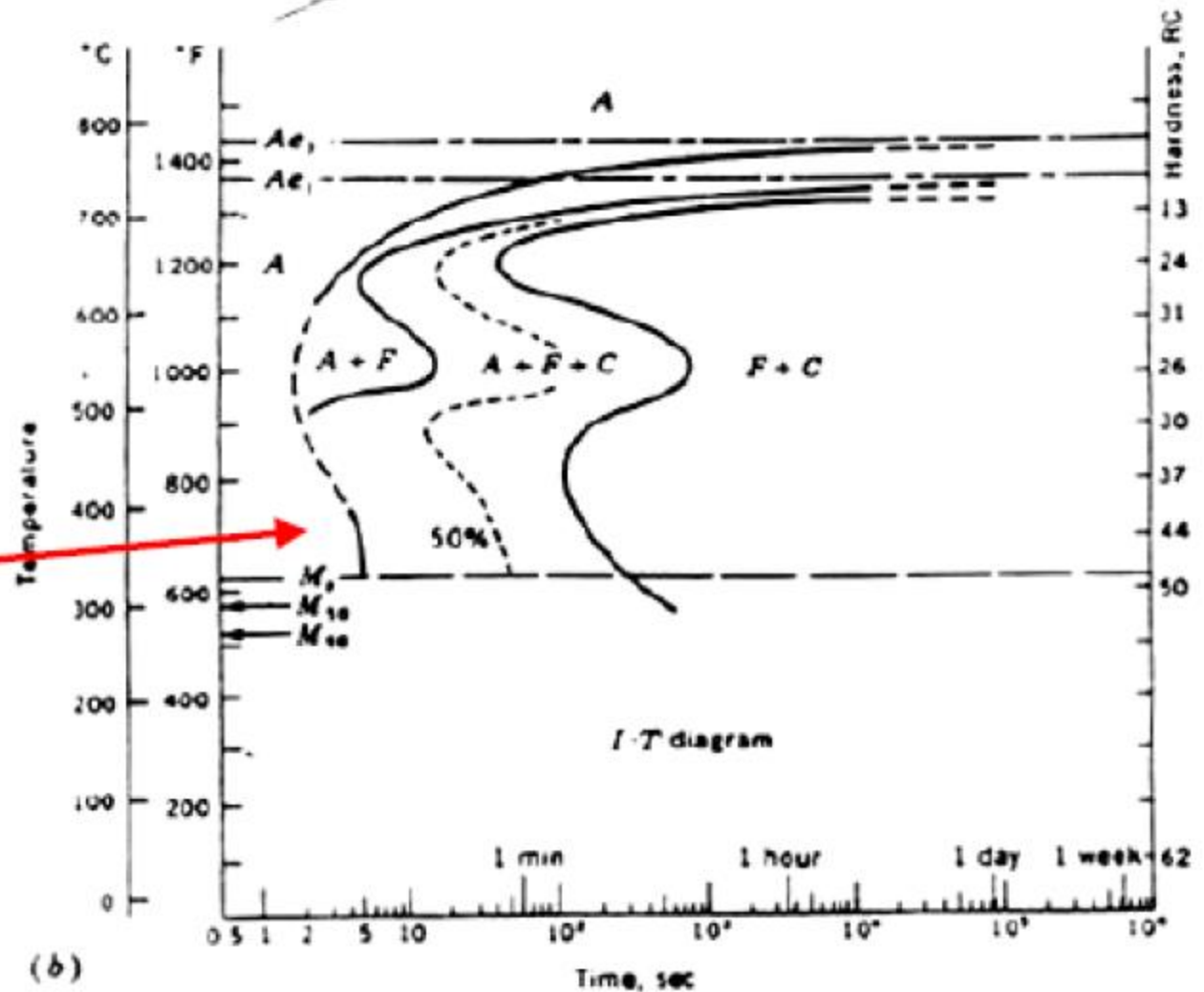
1040
C+Mn



TTT curve - 5140

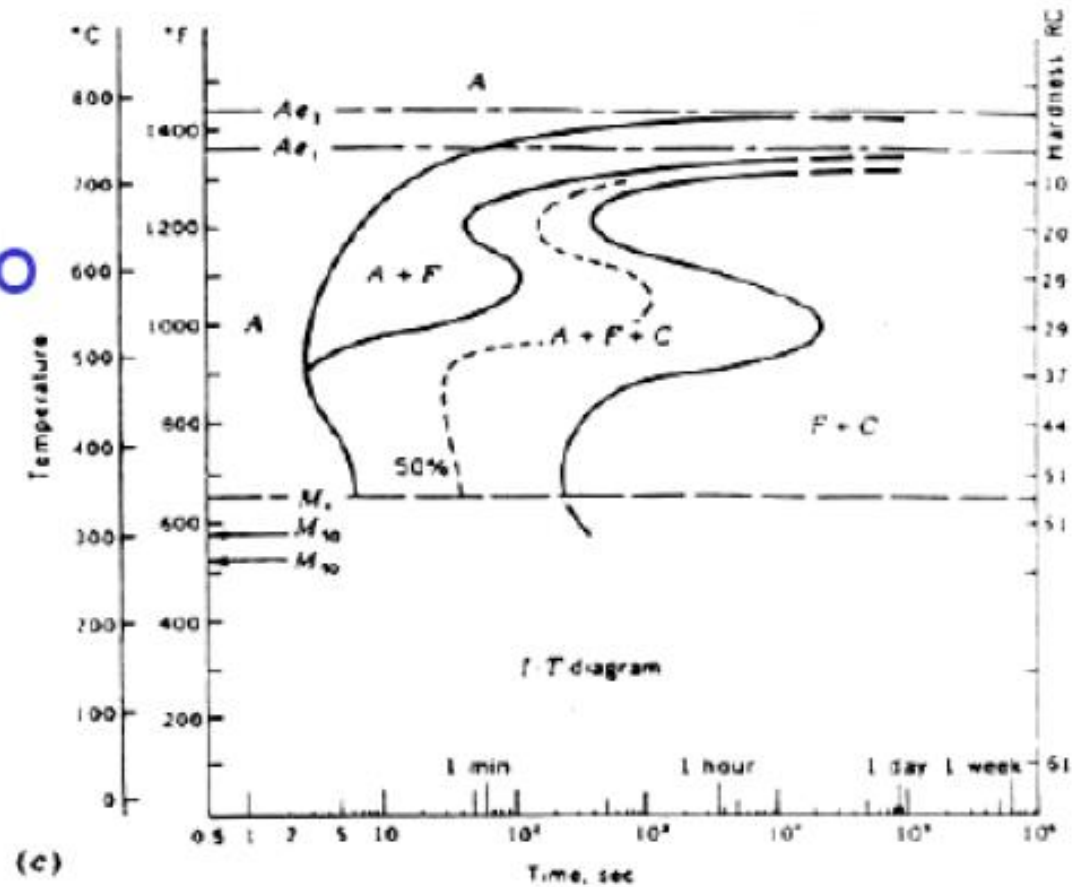
5140
C+Mn+Cr

Curve shifted
to right

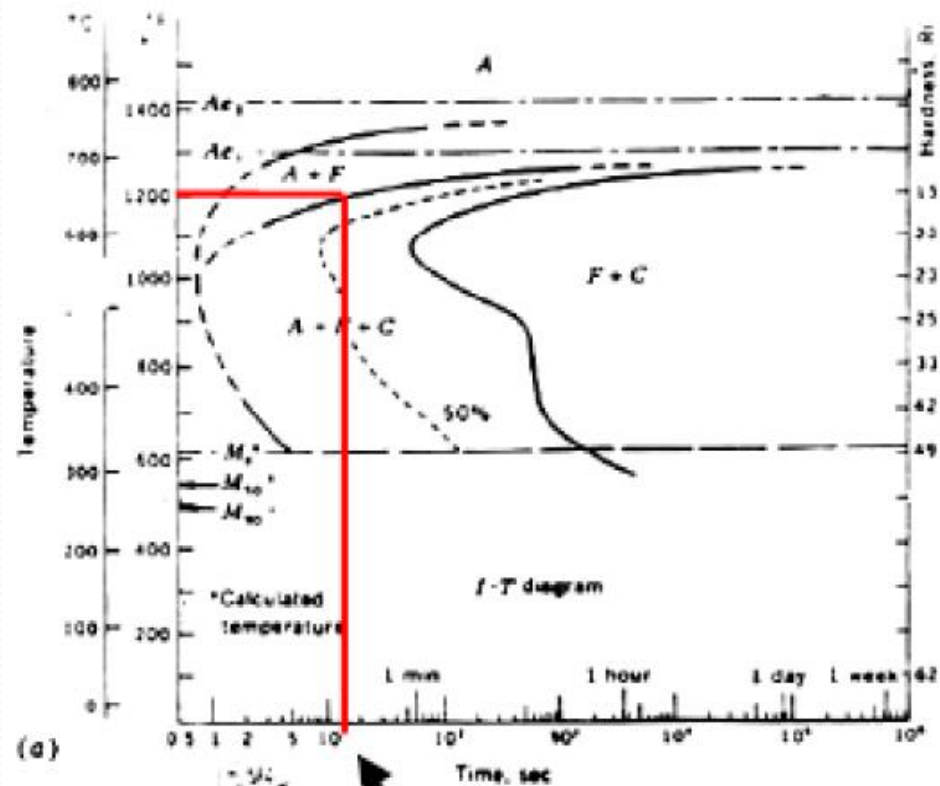


TTT curve - 4140

4140
C+Mn+Cr+Mo

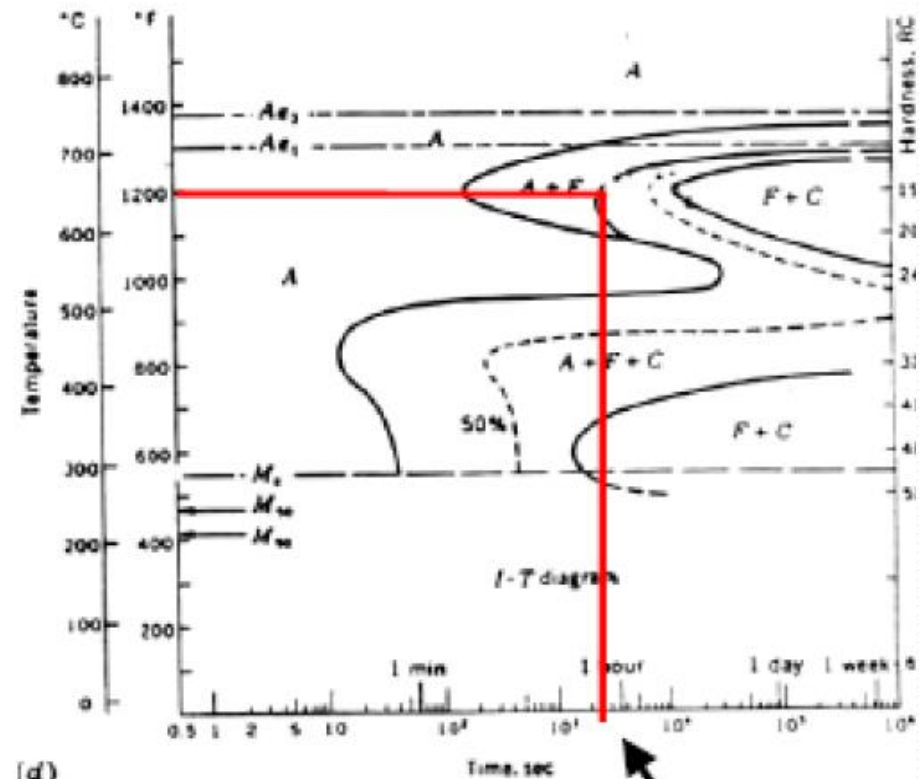


1040



15 sec

4340



1 hour

Temperabilidade

- Velocidade crítica de resfriamento

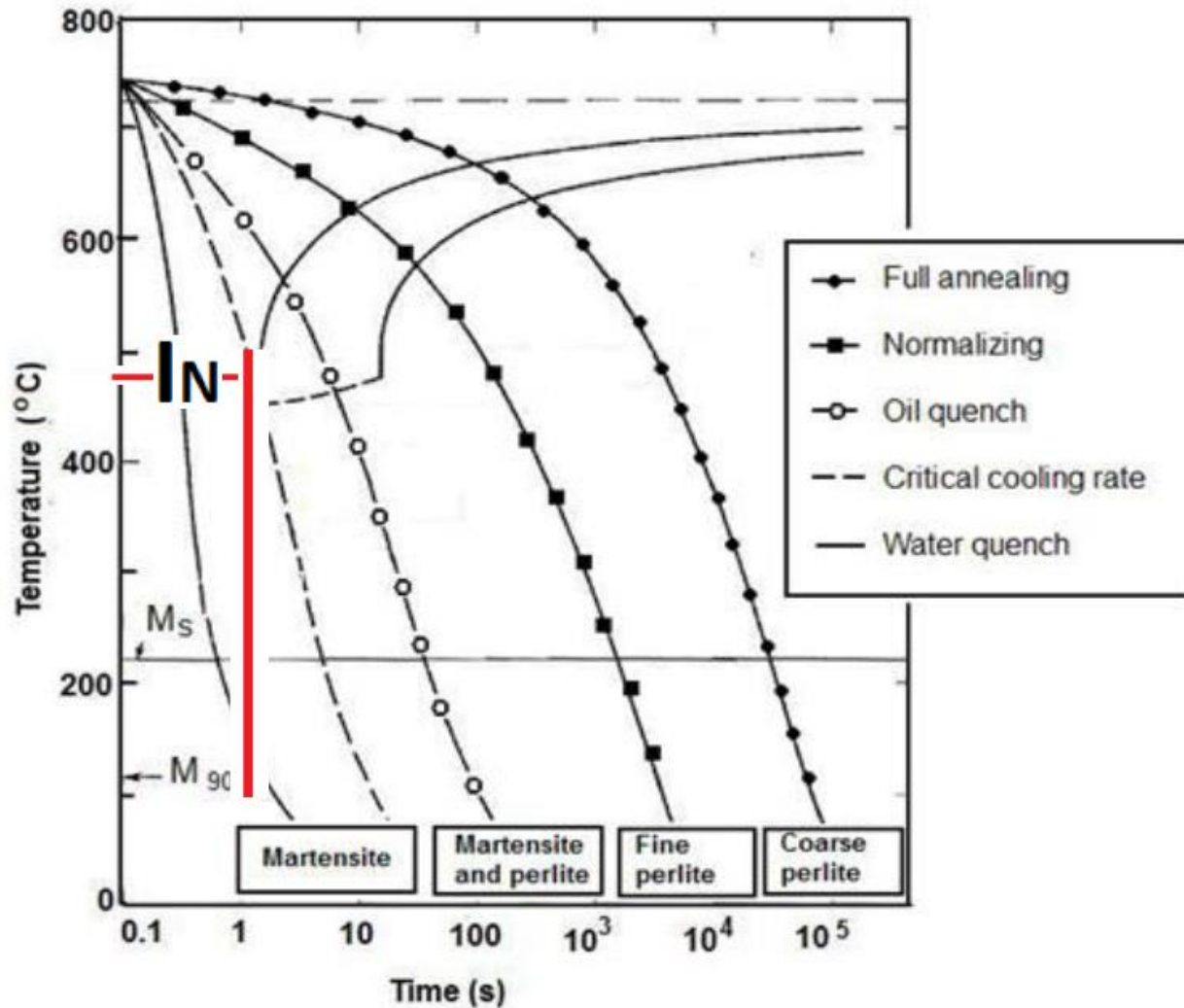
$$V_M = \frac{T_A - T_N}{I_N}$$

T_A is the austenitization temperature (°C),
 T_N is the corresponding temperature (°C) at the nose of the CCT curve (if there are two noses, use the temperature at the nose of the lower curve) and
 I_N is the incubation time(s).

Temperabilidade

T_A

T_N



FATORES QUE PROVOCAM ABAIXAMENTO DA FAIXA M_i / M_f

Basicamente os mesmos fatores que provocam deslocamento da curva TRC para a direita também provocam abaixamento da faixa M_i / M_f para menores temperaturas. Os principais fatores são:

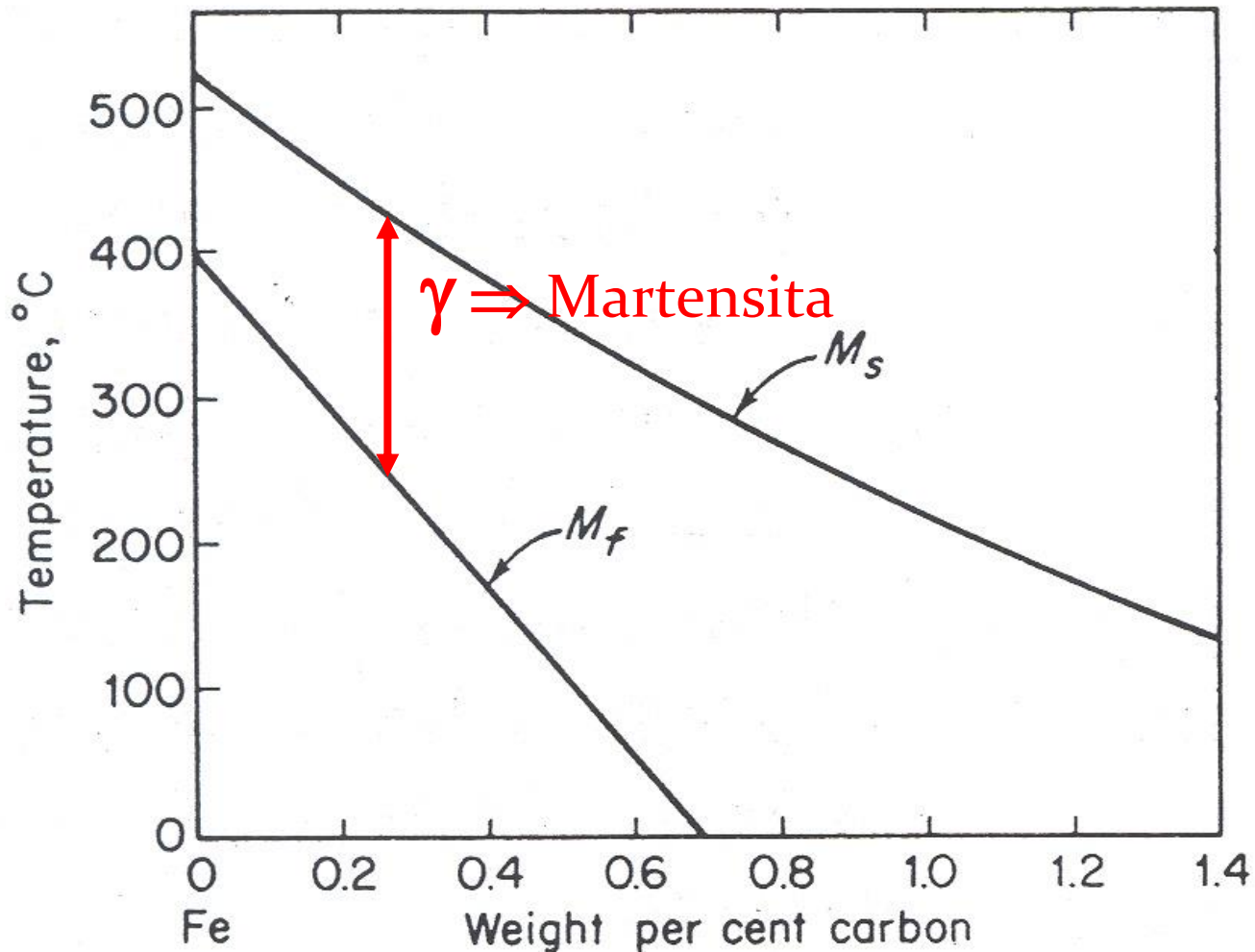
- ⇒ **%C em solução sólida na austenita.** Quanto maior a %C dissolvido na austenita, menor a temperatura de formação da martensita.
- ⇒ **%Elemento de Liga em solução sólida na austenita.** Os elementos de liga, com exceção do Co e do Al, provocam abaixamento da faixa M_i / M_f .
- ⇒ **Homogeneidade da austenita**

Problema:

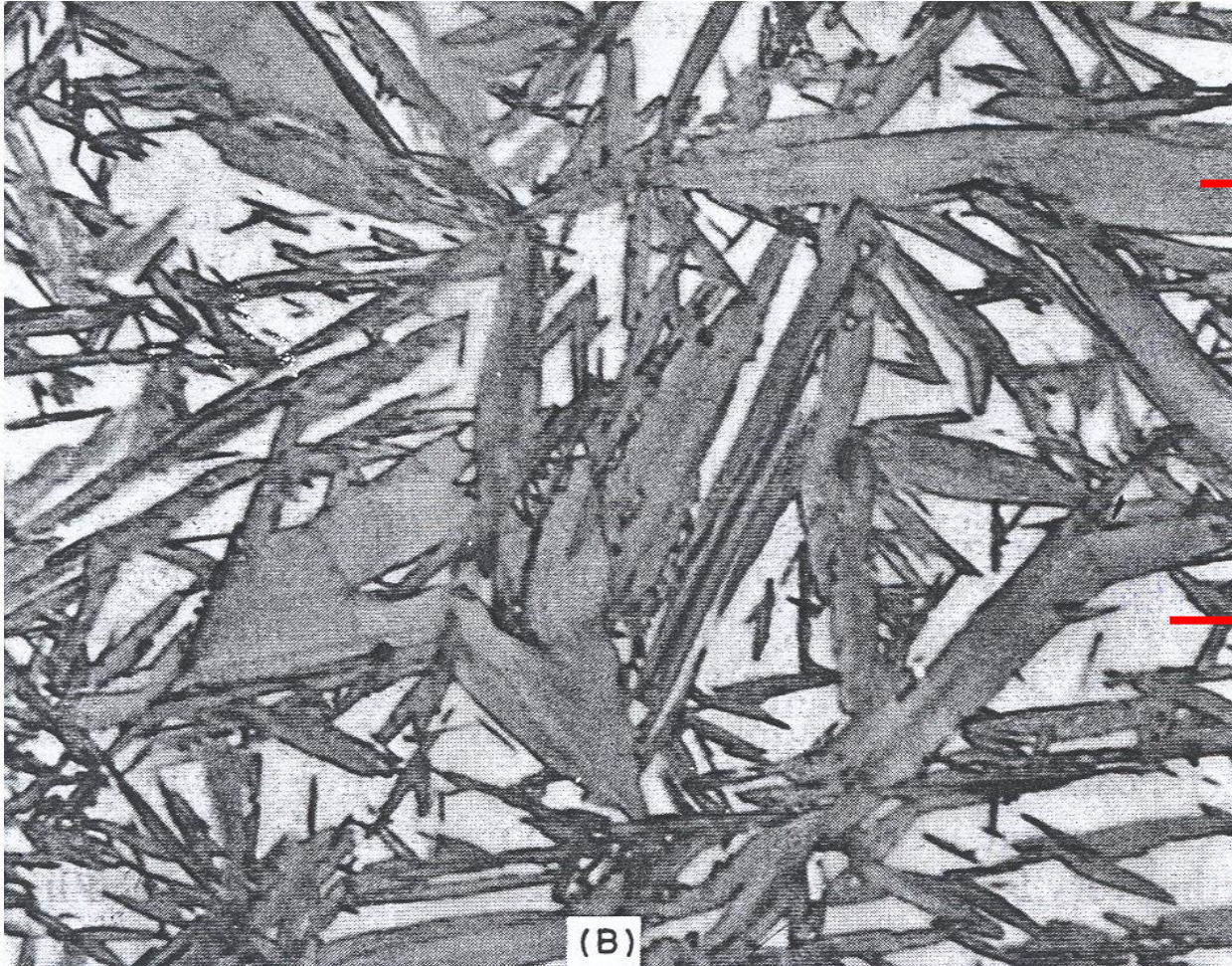
Quando a temperatura M_f estiver abaixo da temperatura do meio de têmpera, a transformação da austenita se dá de forma incompleta.

Estrutura obtida: **Martensita e austenita retida**

Efeito da **%C em solução sólida na austenita** sobre a posição da faixa de formação da martensita (linhas M_i e M_f)

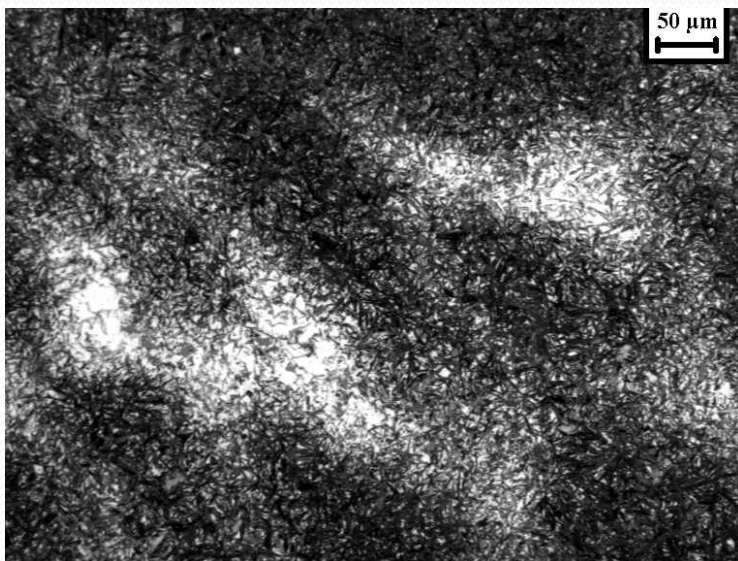


Martensita e Austenita Retida



→ Agulhas de
Martensita

→ Austenita
Retida

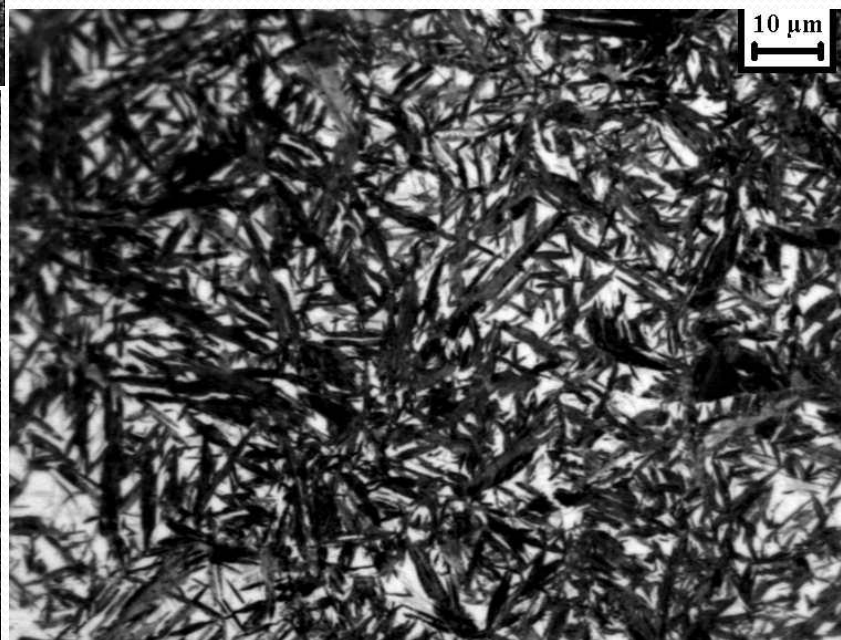
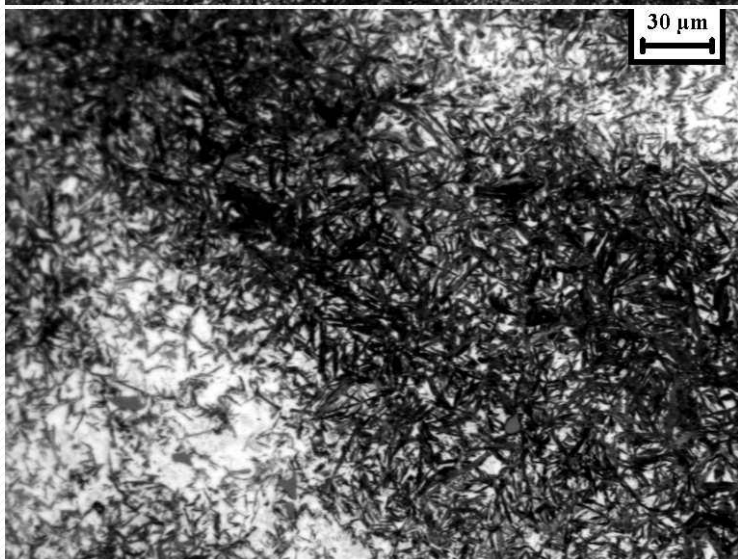


AÇO ALTA LIGA TEMPERADO

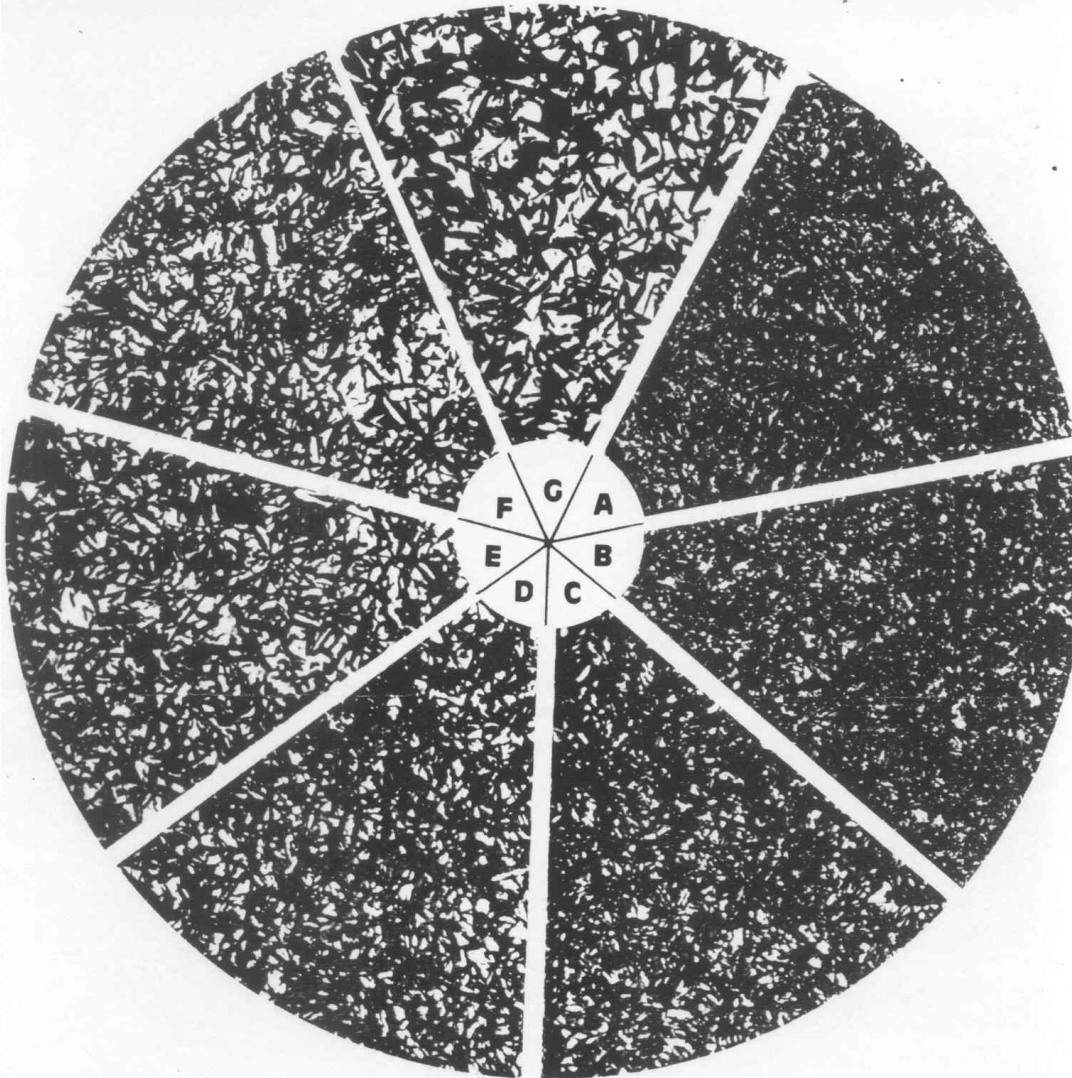
Estrutura:

martensita e austenita retida

A distribuição heterogênea dos elementos de liga provocou heterogeneidade microestrutural



MARTENSITA E AUSTENITA RETIDA



SETOR	% γ_R
A	10
B	15
C	20
D	25
E	30
F	35
G	40

TRATAMENTO SUBZERO

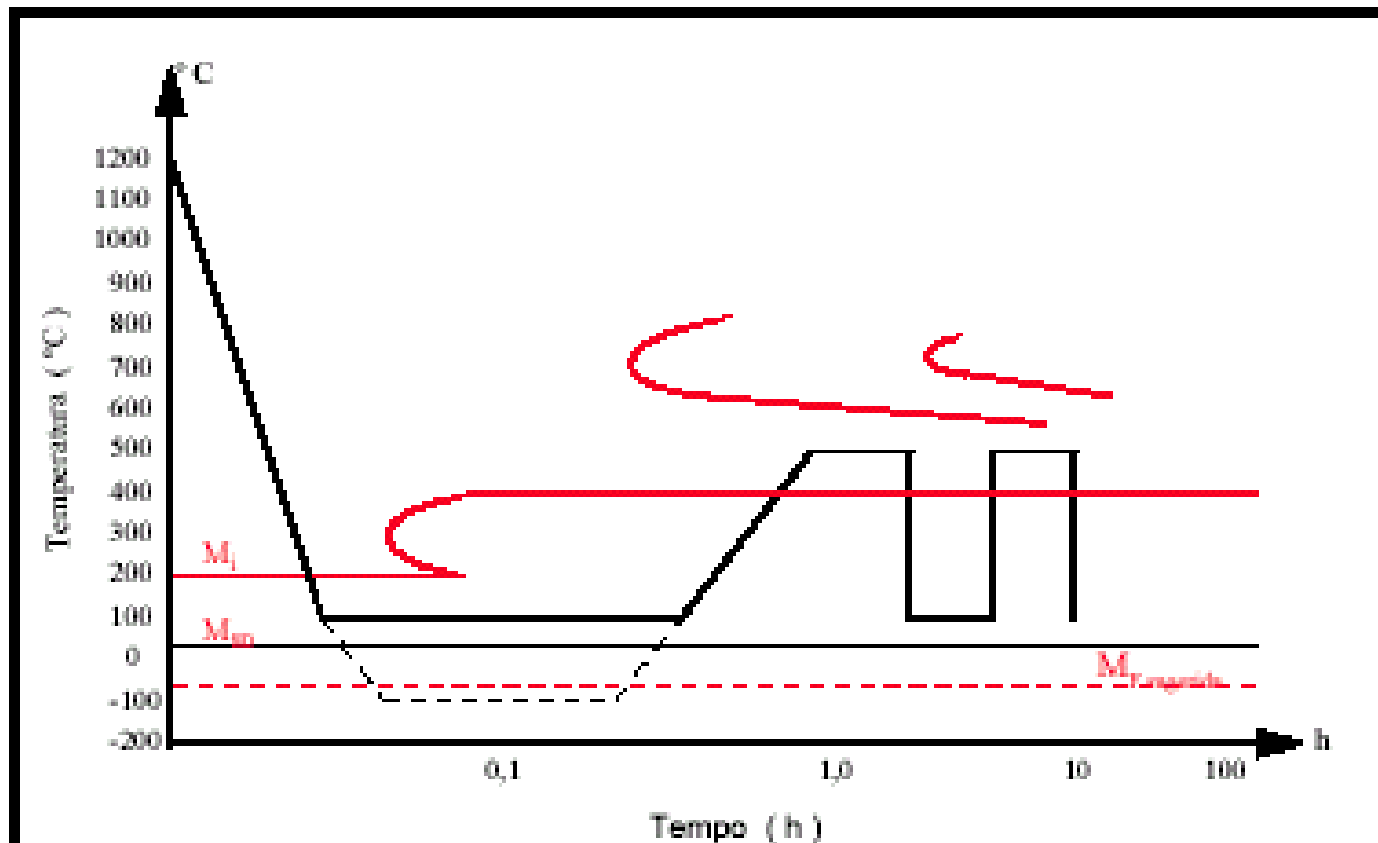


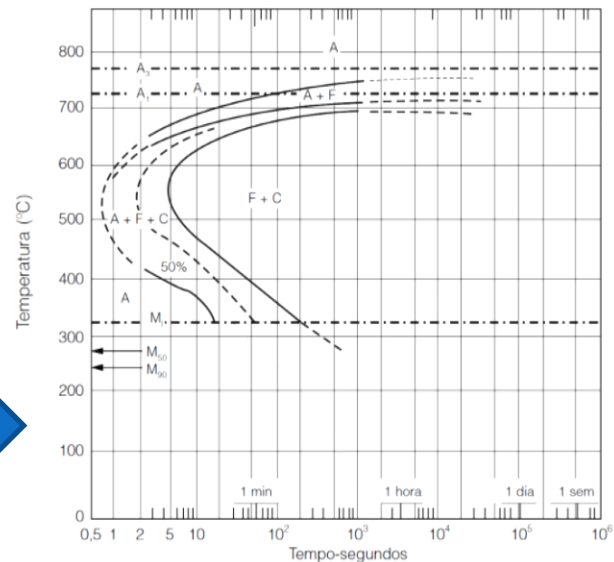
Figura _1_____

Representação esquemática do tratamento térmico convencional de têmpera e revenimento de um aço rápido com superposição de um processo sub-zero(2).

TEMPERABILIDADE

ELEMENTOS DE LIGA
ALTERAM AS
CURVAS TTT/TRC

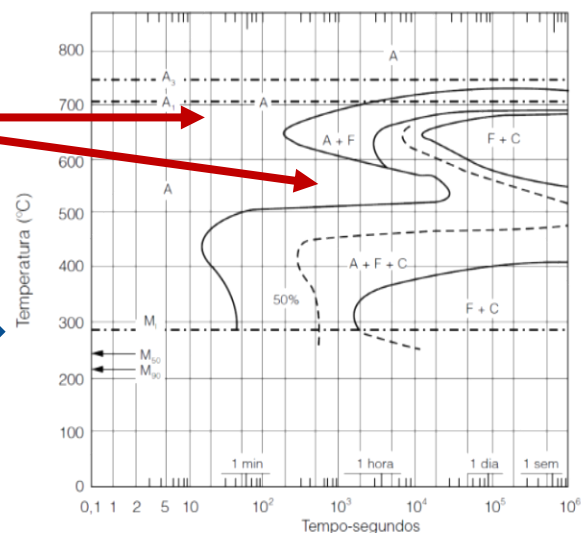
AISI 1050



(a) Curva ITT do aço AISI/ABNT 1050.

POSSIBILITA TRABALHO
MECÂNICO ANTES DA
TRANSFORMAÇÃO DE FASE

AISI 4340



(b) Curva ITT do aço AISI/ABNT 4340.

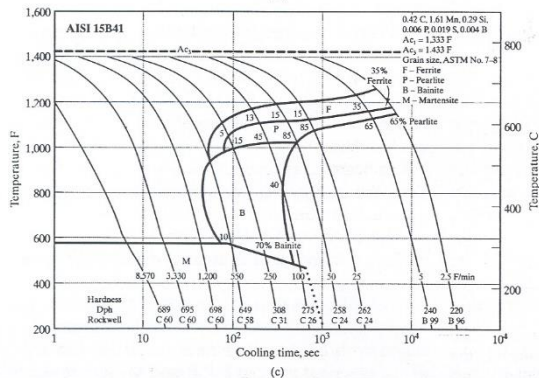
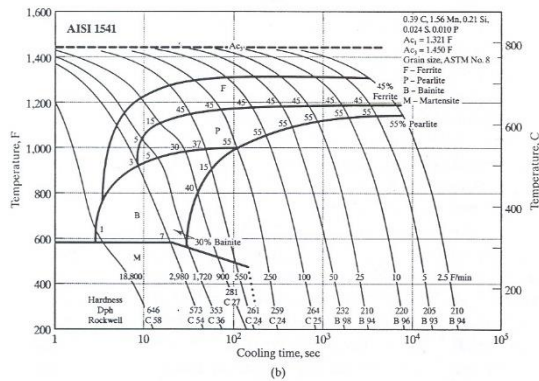
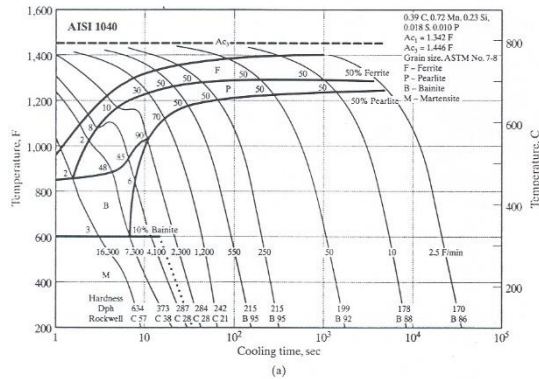
(Costa e Silva & Mei)

Prof. Dr. José Be

Figura 3.8 No aço ligado (b), é mais fácil a têmpera (formação da martensita) do que no aço carbono (a) [8].

TEMPERABILIDADE

Efeito da %Elemento de Liga do aço sobre a temperabilidade



CURVAS TRC DOS AÇOS

- ABNT 1040 (0,40 %C)
- ABNT 1541 (0,40 %C + 1,5%Mn)
- ABNT 15B41 (0,40 %C + 1,6%Mn + B)

Prof. Dr. José Benedito Marcomini

TEMPERABILIDADE

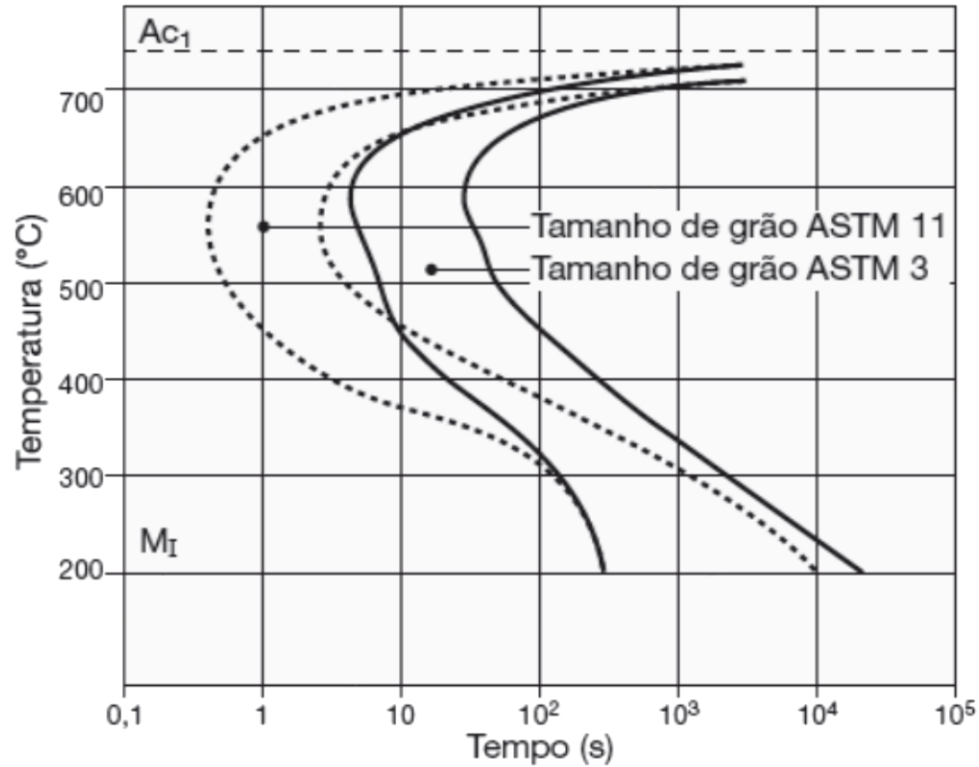


Figura 9.47

Influência do tamanho de grão austenítico no diagrama TTT de um aço com C = 0,87%, Mn = 0,30% e V = 0,27%. Adaptado de [42].

(Colpaert)



ENSAIOS DE TEMPERABILIDADE

TEMPERABILIDADE

TEMPERABILIDADE É A CAPACIDADE DE ENDURECIMENTO POR TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA

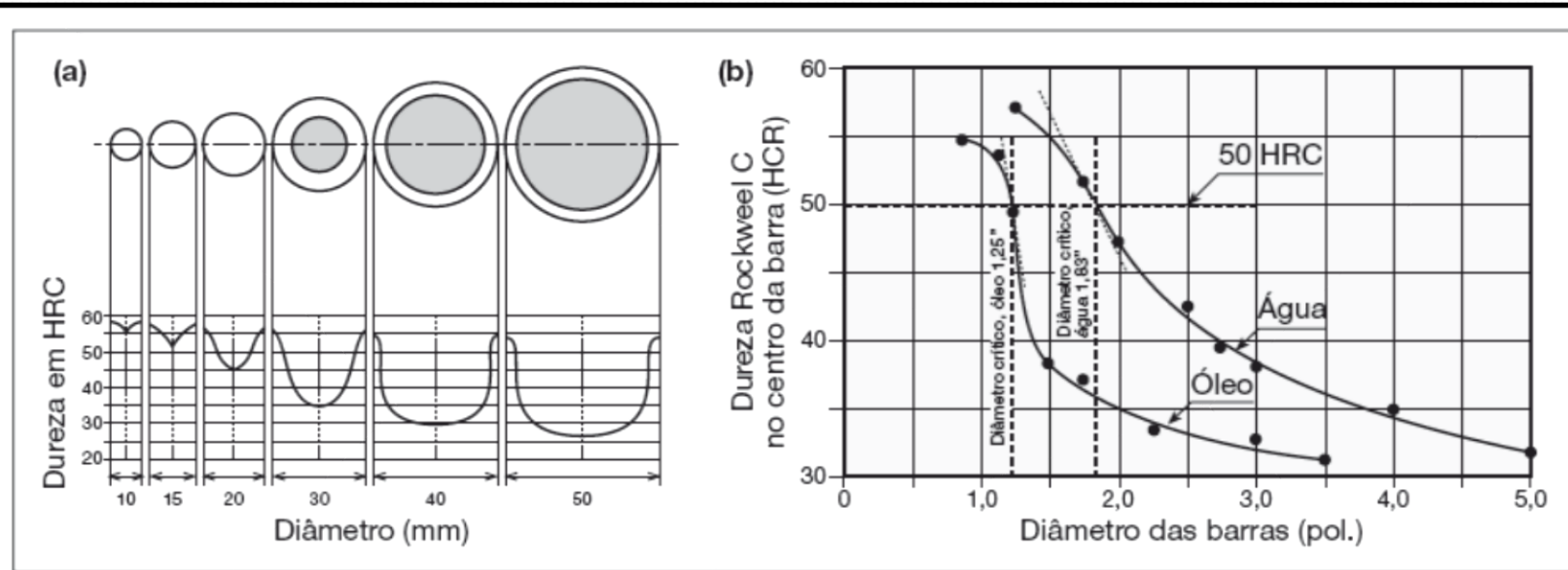


Figura 10.42

Ensaio Grossmann. (a) Barras de diferentes diâmetros são temperadas e o perfil de dureza ao longo do diâmetro da barra é medido. (b) A dureza no centro das barras pode ser apresentada em um único gráfico onde o diâmetro crítico é determinado, para um determinado meio de tempera. No exemplo, resultados para AISI 3140, Adaptado de [20] e [17].

(Colpaert)

TEMPERABILIDADE

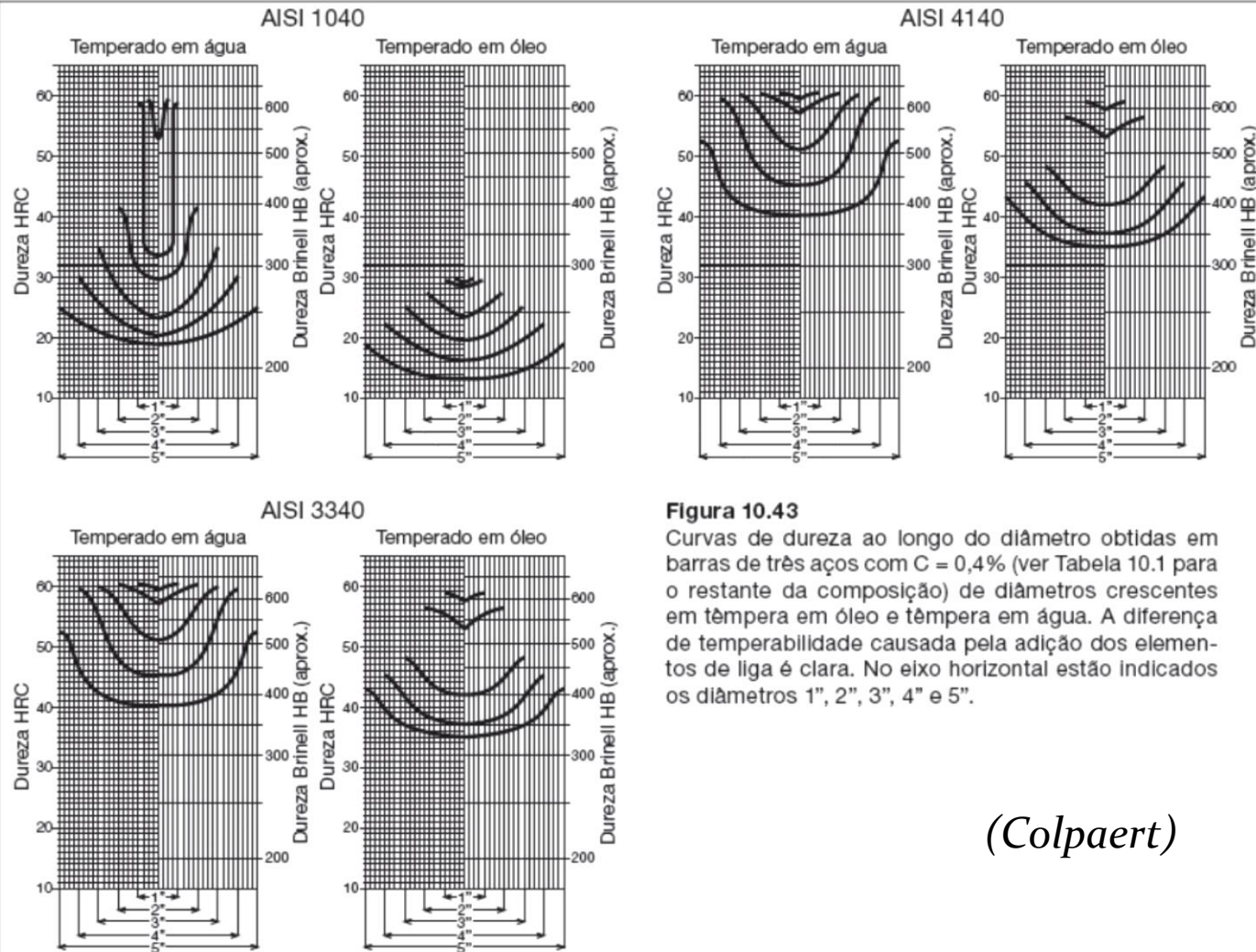


Figura 10.43

Curvas de dureza ao longo do diâmetro obtidas em barras de três aços com $C = 0,4\%$ (ver Tabela 10.1 para o restante da composição) de diâmetros crescentes em tempera em óleo e tempera em água. A diferença de temperabilidade causada pela adição dos elementos de liga é clara. No eixo horizontal estão indicados os diâmetros 1", 2", 3", 4" e 5".

(Colpaert)

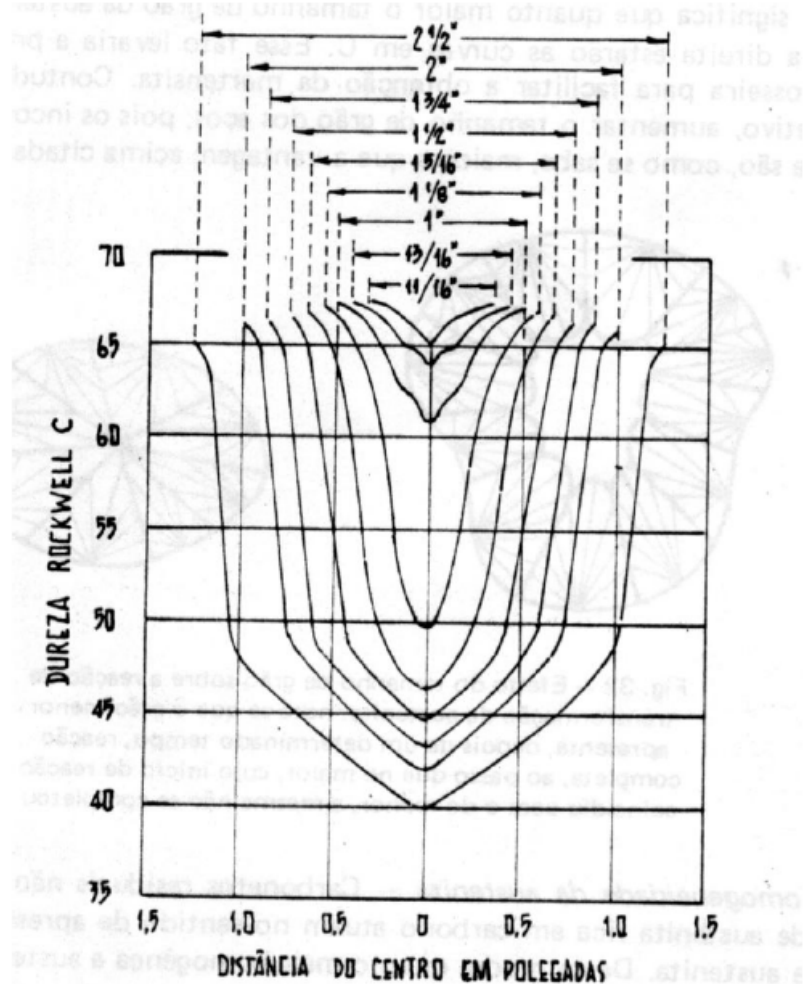
Diâmetro Ideal

Diâmetro de um dado aço que produziria 50% de martensita no centro quando temperado em severidade de têmpera H^∞

H^∞ indica um meio de têmpera hipotético que reduz a temperatura da superfície do aço à temperatura do banho instantaneamente (tempo zero)

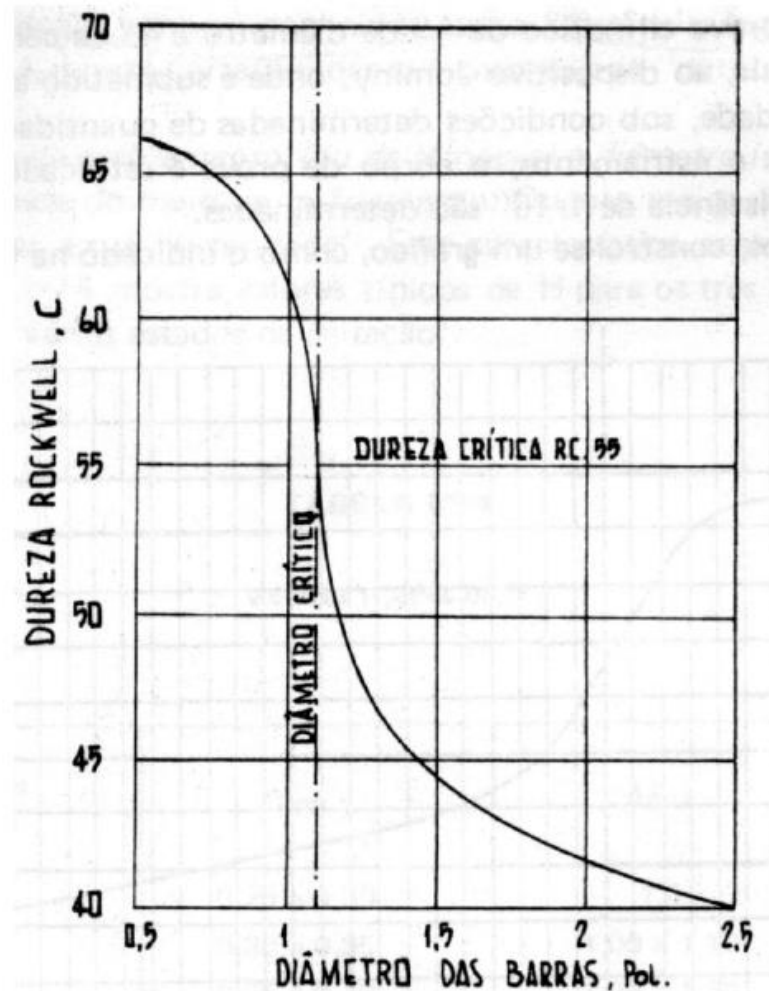
Método de Grossman (Diâmetro crítico)

- Para o aço considerado as barras mais finas são as que apresentam uma distribuição de dureza mais uniforme ao longo de toda a seção.
- Devido à dificuldade em se conseguir uma estrutura martensítica total em toda a seção, costuma-se considerar um aço temperado quando seu centro apresentar no mínimo 50% de martensita.



Método de Grossman(Diâmetro crítico)

- Diâmetro crítico corresponde as diâmetro da barra que mostrará no centro 50% de martensita
- O diâmetro crítico pode ser determinado graficamente, sendo o diâmetro da barra para a qual se verifica a mais brusca queda de dureza em um gráfico dos diâmetros das barras por durezas dos centros das barras
- Quanto maior o diâmetro crítico, maior a temperabilidade



MEIO DE TÊMPERA - SEVERIDADE

Tabela 10.2

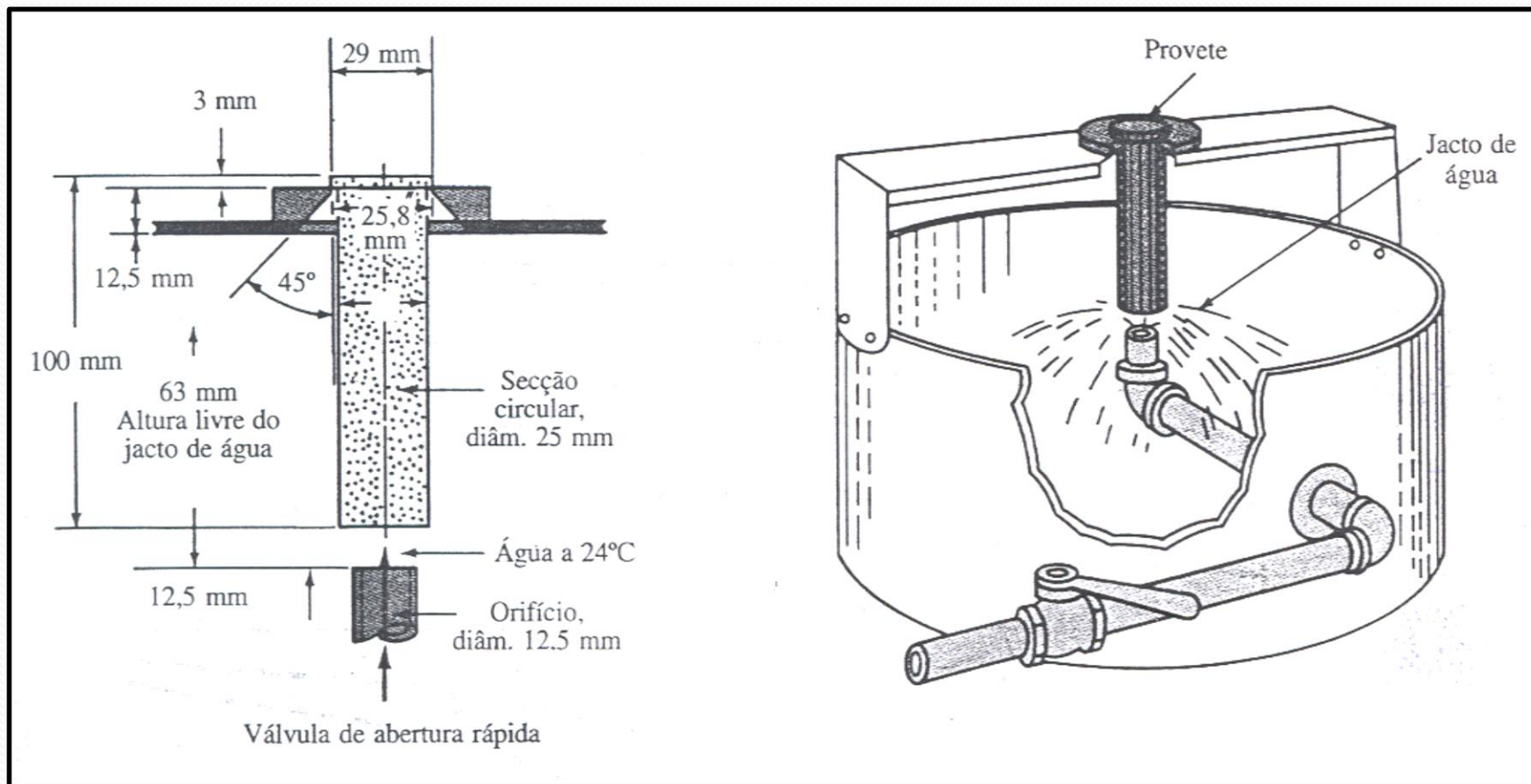
Severidade de têmpera de diferentes meios comparados com a água.

Meio de têmpera	Severidade de têmpera (H)	 Crescem: Velocidade de resfriamento Trincas Distorção (Colpaert)
Óleo sem agitação	0,2	
Óleo moderadamente agitado	0,5	
Óleo violentamente agitado	0,7	
Água sem agitação	1,0	
Água fortemente agitada	1,5	
Salmoura sem agitação	2,0	
Salmoura fortemente agitada	5,0	

Prof. Dr. Jose Benedito Marcomini

Ensaio para determinação da temperabilidade do aço

Ensaio Jominy: Corpo de provas e tanque

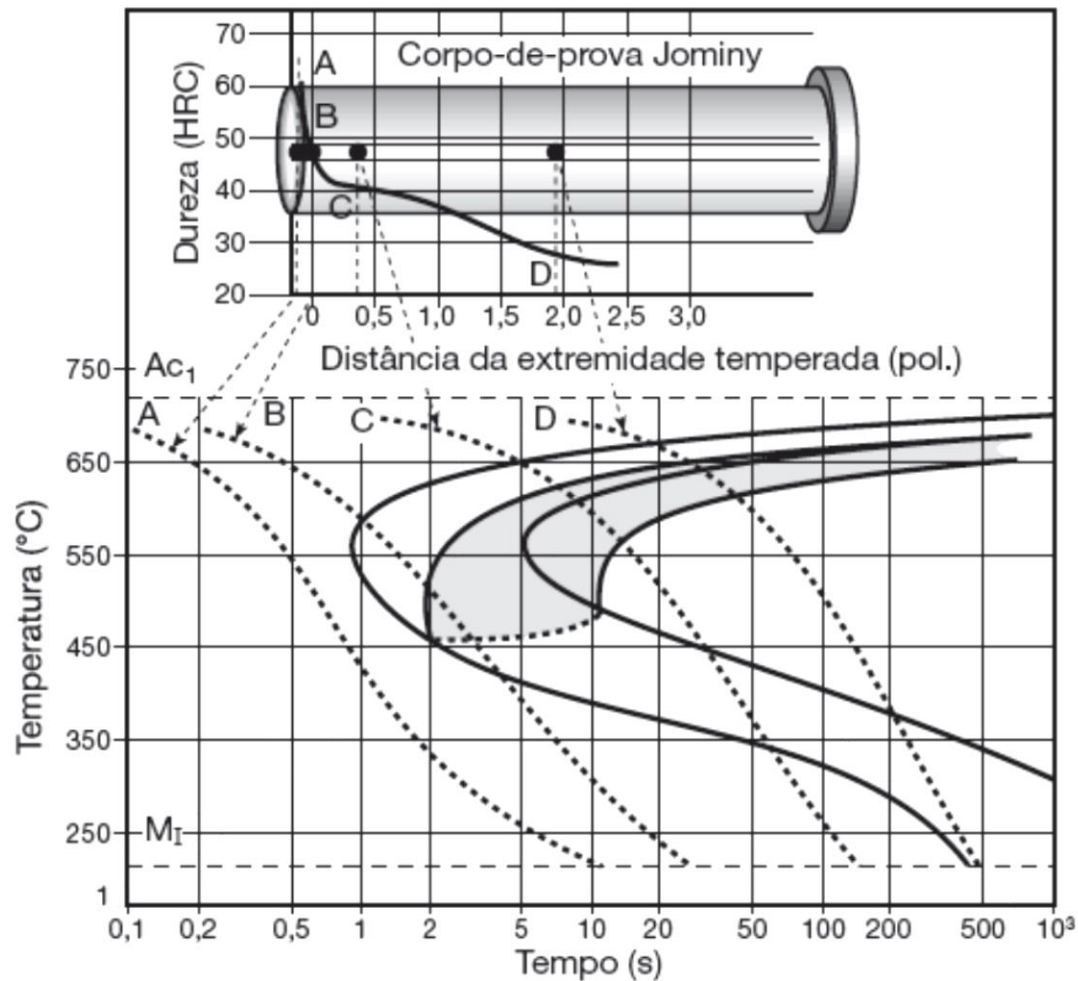


JOMINY

Resfriamento do corpo de provas no ensaio Jominy

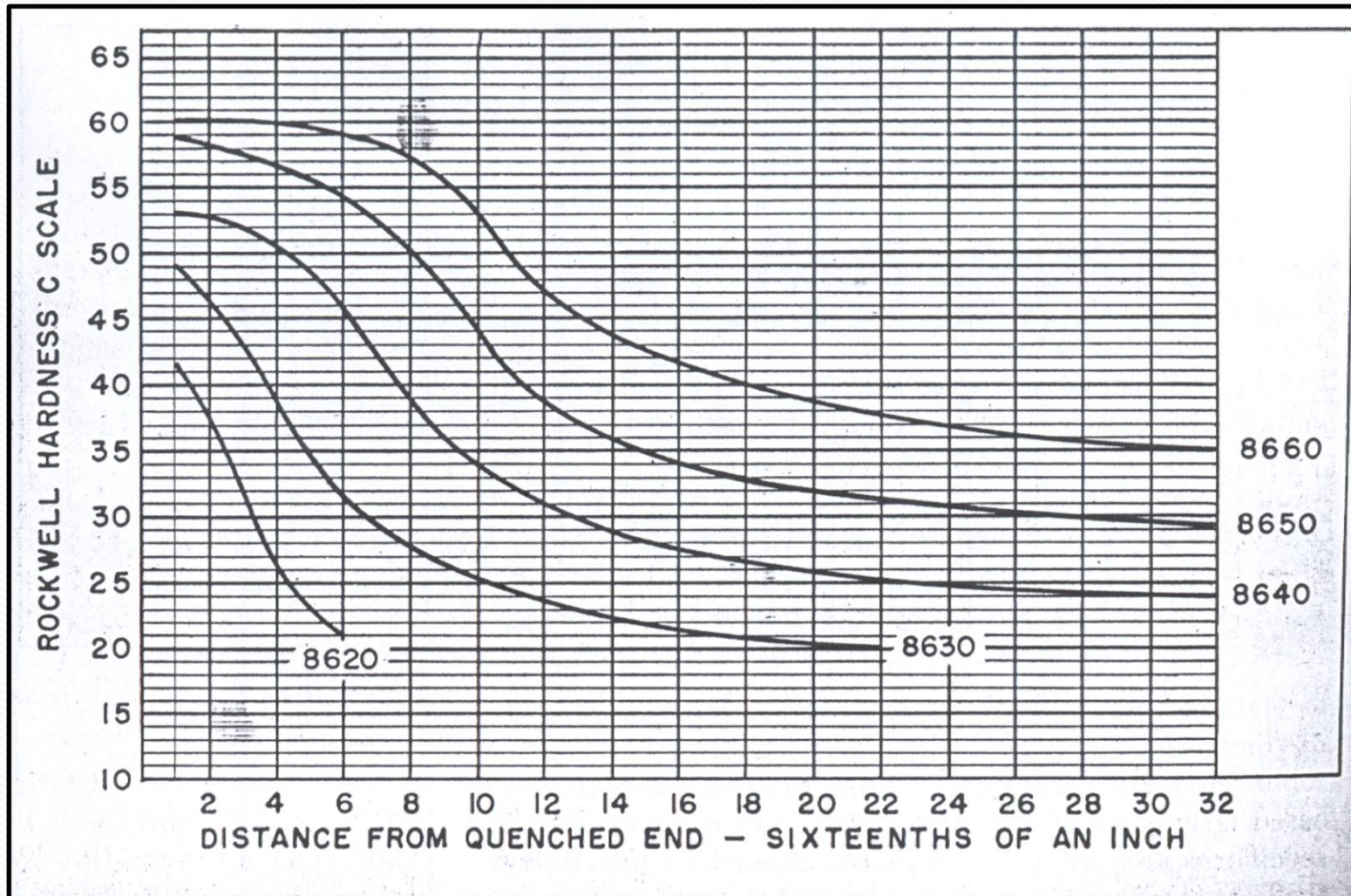


JOMINY



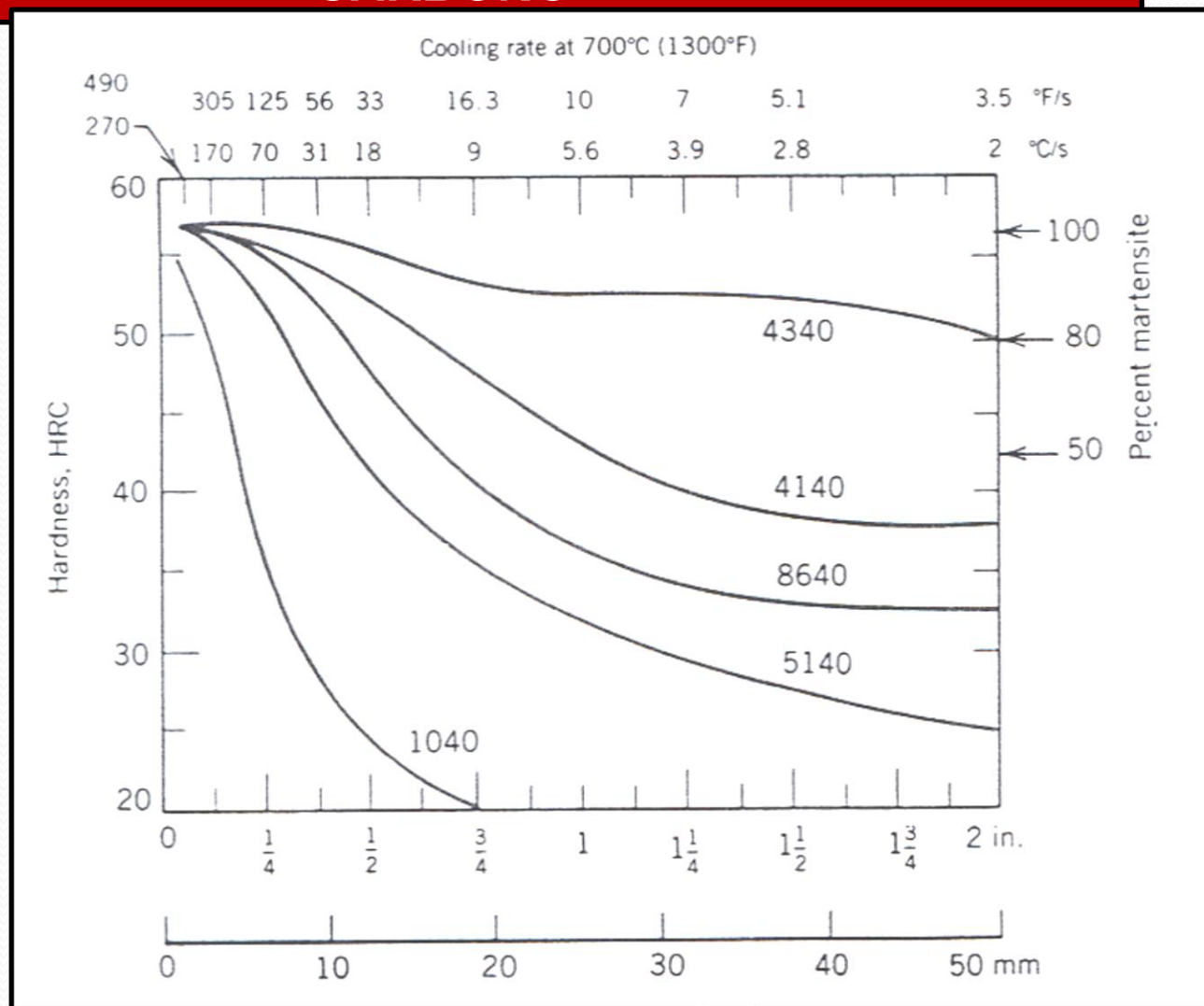
Prof. Dr. José Benedito Marcomini (Colpaert)

JOMINY- TEOR DE CARBONO



Prof. Dr. Jose Benedito Marcomini

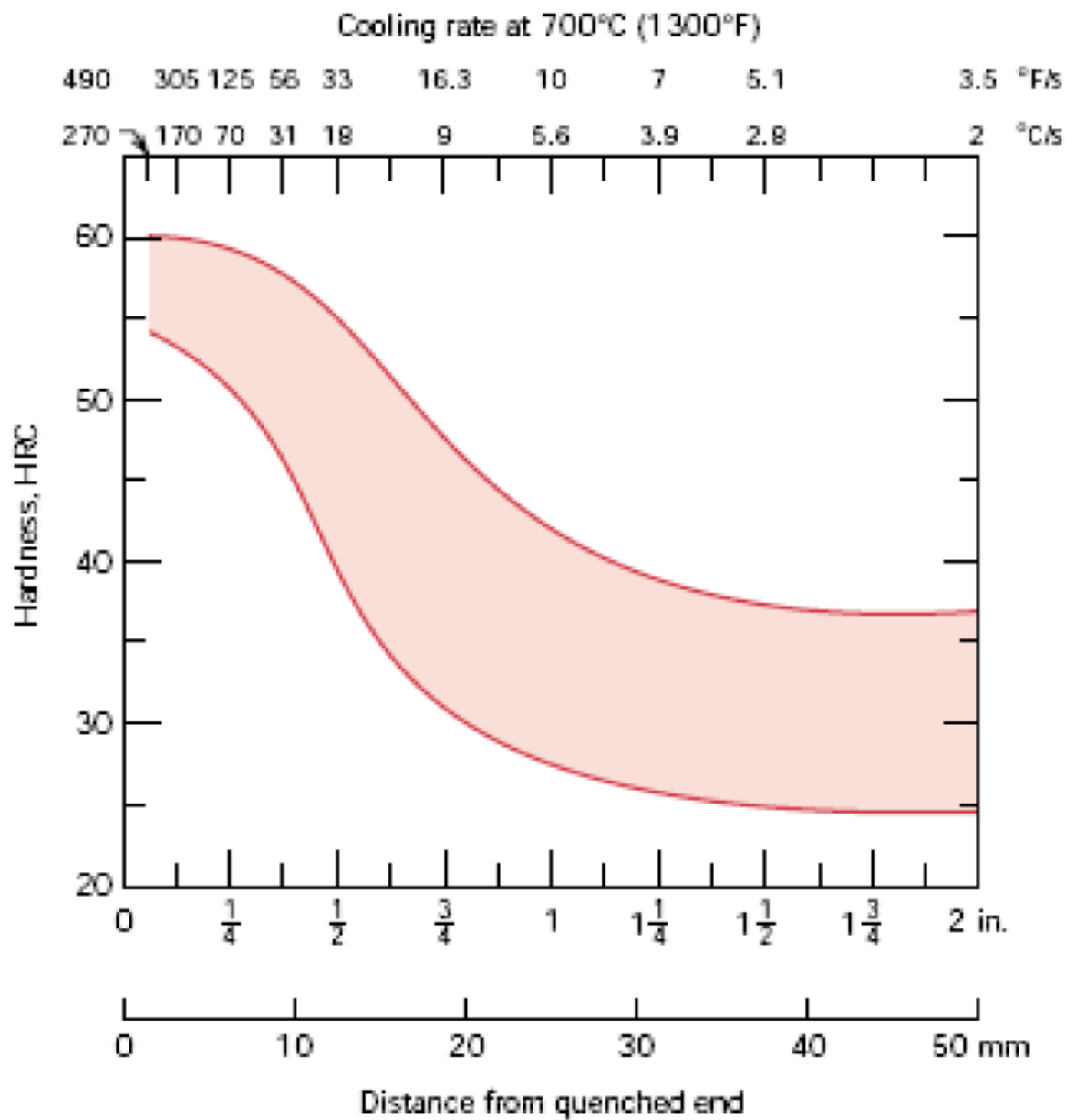
JOMINY-ELEMENTOS DE LIGA-MESMO TEOR DE CARBONO



Prof. Dr. Jose Benedito Marcomini

Banda de temperabilidade

- Durante a produção industrial existe sempre uma ligeira e inevitável variação na composição e no tamanho médio do grão.
- Isso resulta em um espalhamento dos dados de medição de temperabilidade que são plotados na forma de uma banda ou faixa que representam os valores mínimos e máximos esperados para uma liga

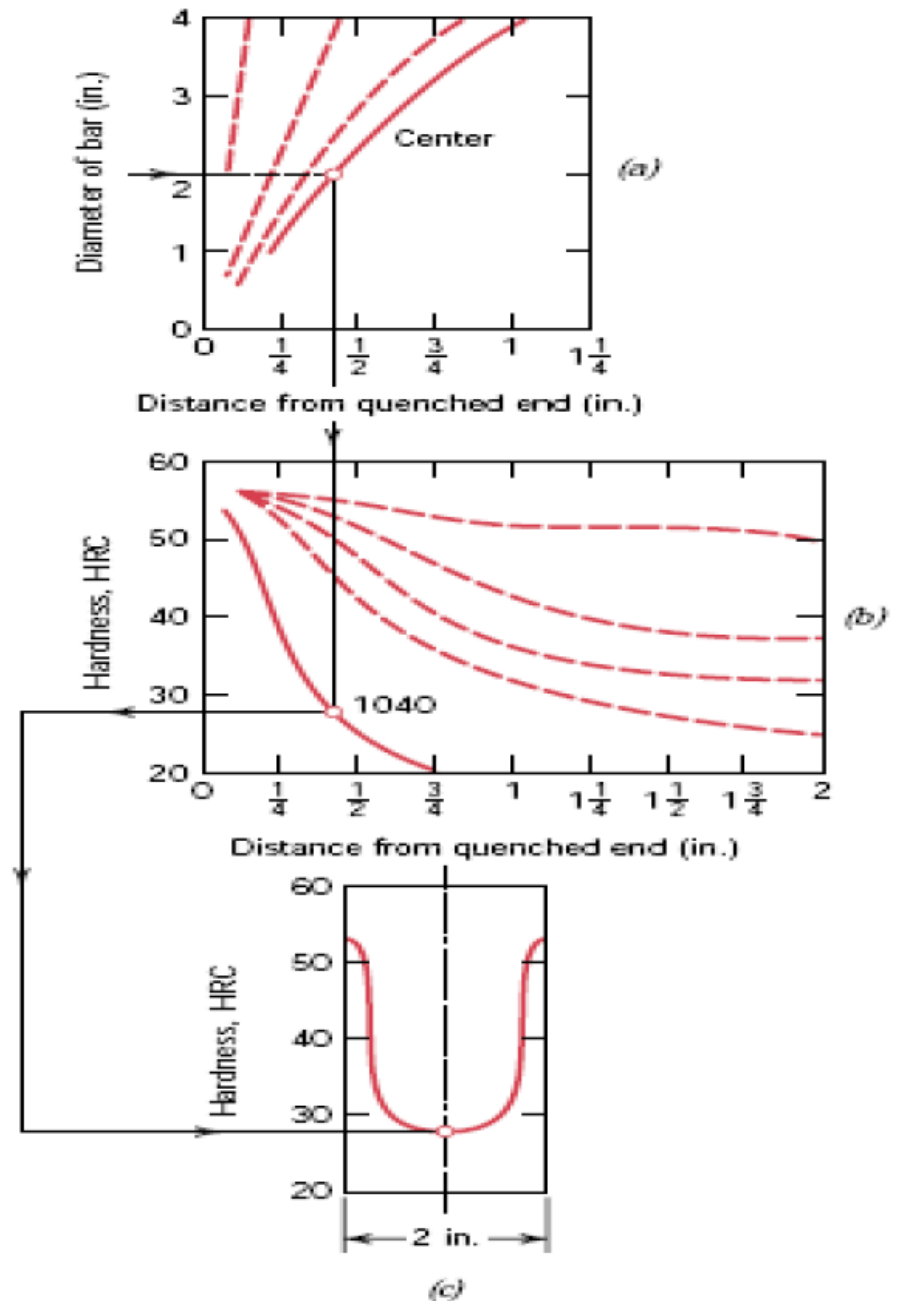


Determinação de dureza por meio do Ensaio Jominy

- Através do Ensaio Jominy é possível plotar o perfil de dureza em uma curva em U.
- Pode-se então determinar as durezas no centro, na superfície, na metade do raio e a $\frac{3}{4}$ do raio

Nesse caso:

- Centro = 28HRC
- Metade do raio = 30 HRC
- $\frac{3}{4}$ do raio = 39 HRC
- Superfície = 54 HRC



SIMBOLOGIA DAS NORMAS DE TEMPERABILIDADE

1. NORMA SAE J 1268

Na norma SAE 1268 , a simbologia H significa “HARDENABILITY” ,potencial de endurecimento ou temperabilidade . Desse modo , existe uma faixa de composição química , descrita nesta norma que , conseqüentemente , garante uma faixa de dureza obtida no ensaio Jominy , também descrita na norma.

Desse modo, o aço SAE 4140 , com garantia de temperabilidade , seria chamado de SAE 4140 H.

2.NORMA DIN EN 10083-1 , DIN EN 10083-3 E DIN EN 10084.

As normas DIN antigas utilizavam a mesma simbologia da norma SAE J 1268 . Com o intuito de diferenciar a simbologia , as novas normas adotaram o símbolo +H.

Nestas normas , a garantia de temperabilidade é sinalizada com o símbolo +H , , tendo ainda as variações +HH e +HL.

O símbolo +HH significa “ Hardenability – High” , sendo que o segundo H (High) significa que a faixa de composição química seria mais alta que a faixa de composição do +H , garantindo uma faixa de dureza maior no ensaio Jominy. O símbolo +HL significa “ Hardenability – Low” , sendo que o L(Low) , significa que a faixa de composição química é menor que a faixa do +H. Consequentemente , a faixa de dureza do ensaio Jominy deverá ser menor que a do aço +H.

Existe uma diferença entre a faixa de composição química e , consequentemente de dureza da norma SAE e norma DIN, como mostra a tabela 1 do exemplo abaixo.

Exemplo: Aço DIN 41Cr4 - equivalente – Aço SAE 5140.

TABELA 1 – VALORES JOMINY

	DIN EN 10083-1			SAE J 1268
DISTÂNCIA JOMINY(mm) J 1,5	DIN 41Cr4			SAE 5140
	+H(HRc)	+HH(HRc)	+HL(HRc)	H(HRc)
	53-61	56-61	53-58	54-59



FIM

Prof. Dr. José Benedito Marcomini