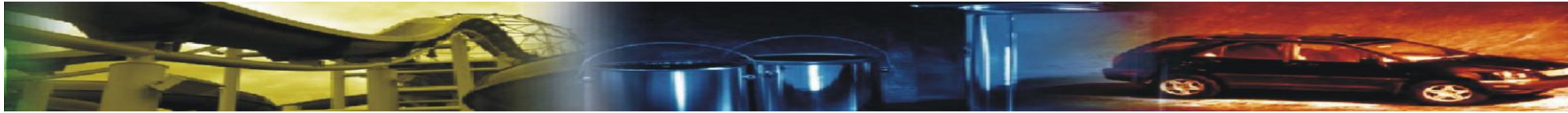




# **Ferros Fundidos**

**TM242 – Materiais de Materiais  
DEMEC**

**Prof. Scheid**



# Classificação

Designação Comercial	Fase Rica em C	Matriz	Fratura	Estrutura Final
Cinzento	Grafita Lamelar	P	Cinza	Solidificação
Nodular	Grafita Esferoidal	P, F, A, M	Prata-Cinzenta	Solidificação + Tratamento Térmico
Grafia Compacta	Grafita Vermicular	F, P	Cinza	Solidificação
Branco	Cementita	P, M	Branca	Solidificação
Mesclado	Grafita lamelar e cementita	P	Mesclada	Solidificação
Maleável	Grafita Coalescida	F, P	Prata-cinzenta	Tratamento Térmico
Nodular Bainítico	Grafita Esferoidal	B	Prata-cinzenta	Solidificação + Tratamento Térmico

## Usados em geral para:

- Resistência ao desgaste, Isolamento de vibrações, Componentes de grandes dimensões,
- Peças de geometria complicada, Peças onde a deformação plástica é inadmissível.



# **Metalurgia dos Ferros Fundidos**

Os aspectos mais importantes da fabricação dos Ferros Fundidos (focos) são:

- 1- Composição Química
- 2- Taxa de Resfriamento
- 3- Tratamento do Ferro Líquido
- 4- Tratamento Térmico

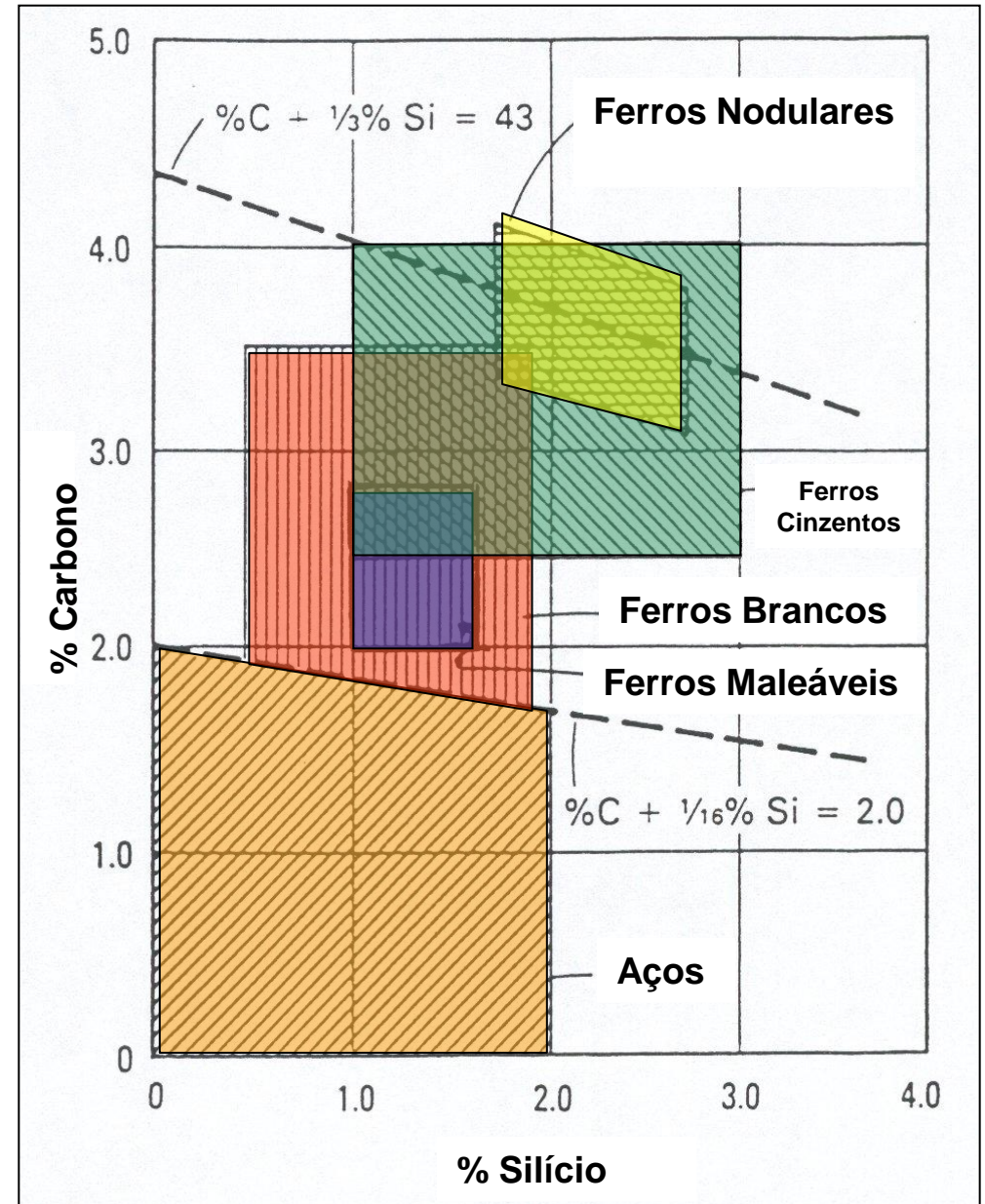


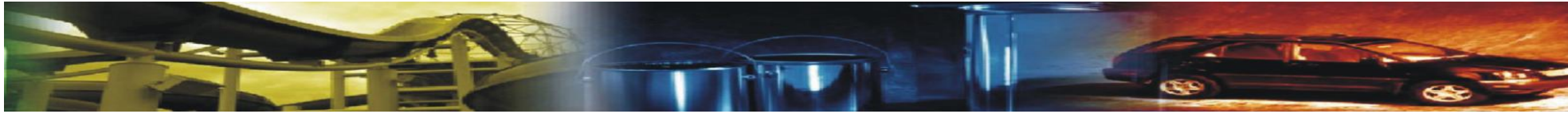
# Ferros Fundidos

Ligas ternárias  
Ferro-Carbono-Silício

Carbono Equivalente:  
 $C.E. = \%C + 1/3 (\%Si)$

Exemplo:  
%Carbono: 3,6  
%Silício: 2,3  
 $C.E. = 3,6 + 1/3 (2,3)$   
 **$C.E. = 4,3\%$**   
**Liga Eutética!!!**





## Metalurgia dos Ferros Fundidos Brancos

Recebem este nome devido à sua superfície de fratura (branca). Não apresentam grafita em sua microestrutura. O Carbono está presente na forma de Carbonetos  $(Fe,Cr)_3C$  e  $(Cr,Fe)_7C_3$ .

**São usualmente muito duros, o que resulta na excelente resistência ao desgaste abrasivo.**

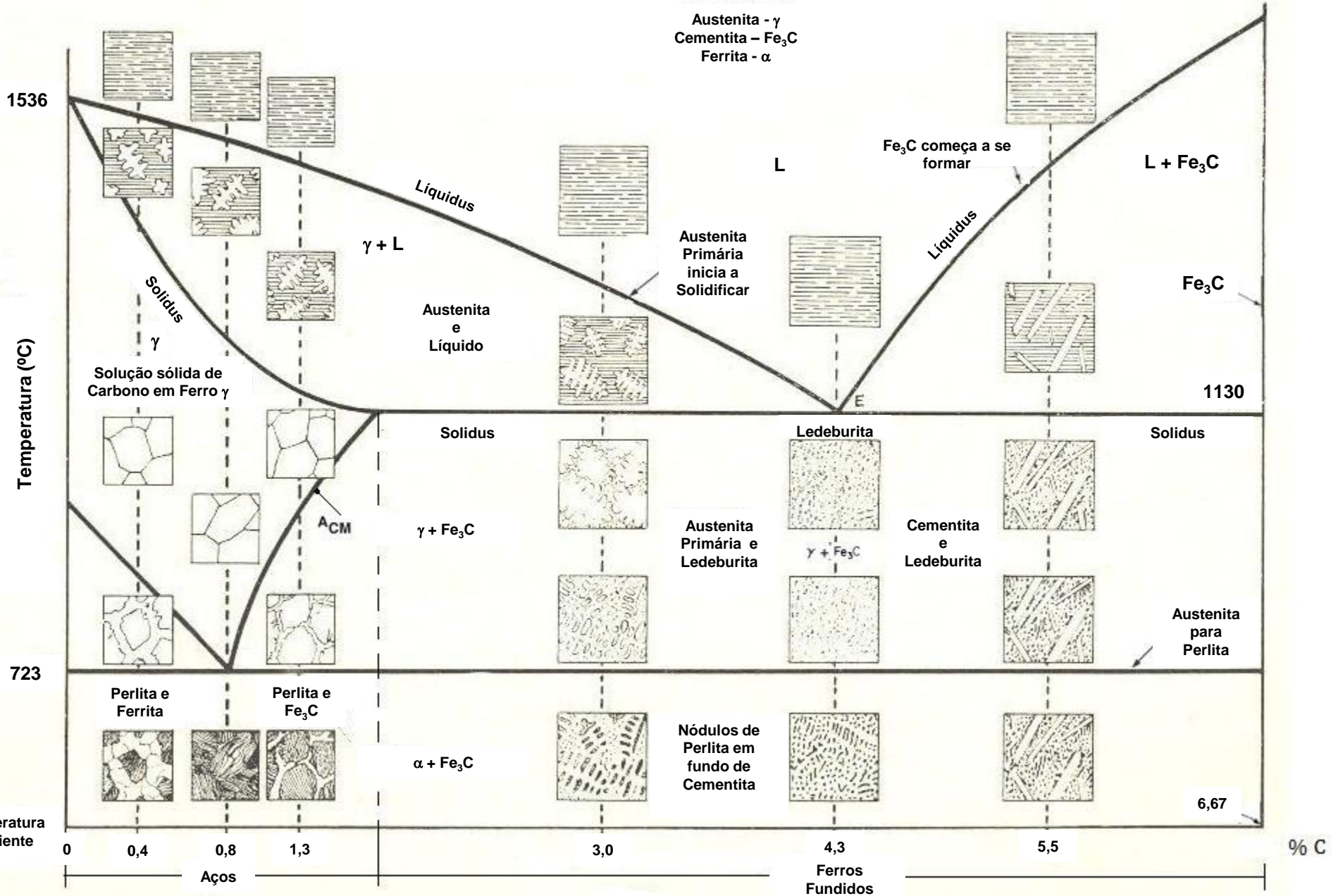
Podem ser ferros brancos em toda seção (obtidos assim por controle da composição) ou referidos como ferros coquilhados, ou de estrutura obtida por resfriamento rápido do tipo Martensita com carbonetos devido ao contato com o molde metálico ou de carbono.

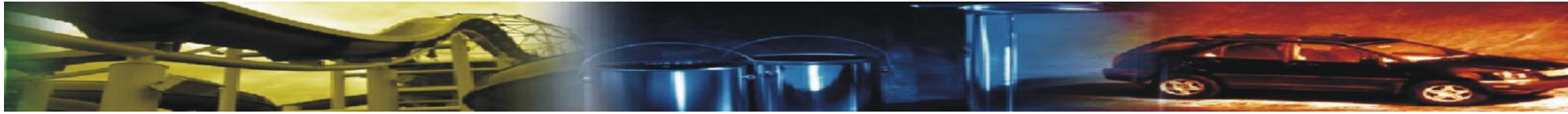
Existem diferenças entre a estrutura e composição para os dois tipos.





**Ledeburita:** Ao solidificar no eutético, ocorre a formação de um fundo de carbonetos ( $Fe_3C$ ) em dendritas de Austenita (com 2,0%C). Ao resfriar abaixo de 723°C, a austenita é transformada em Perlita, sendo a Ledeburita conceituada como: **Nódulos de Perlita em fundo de Cementita**.





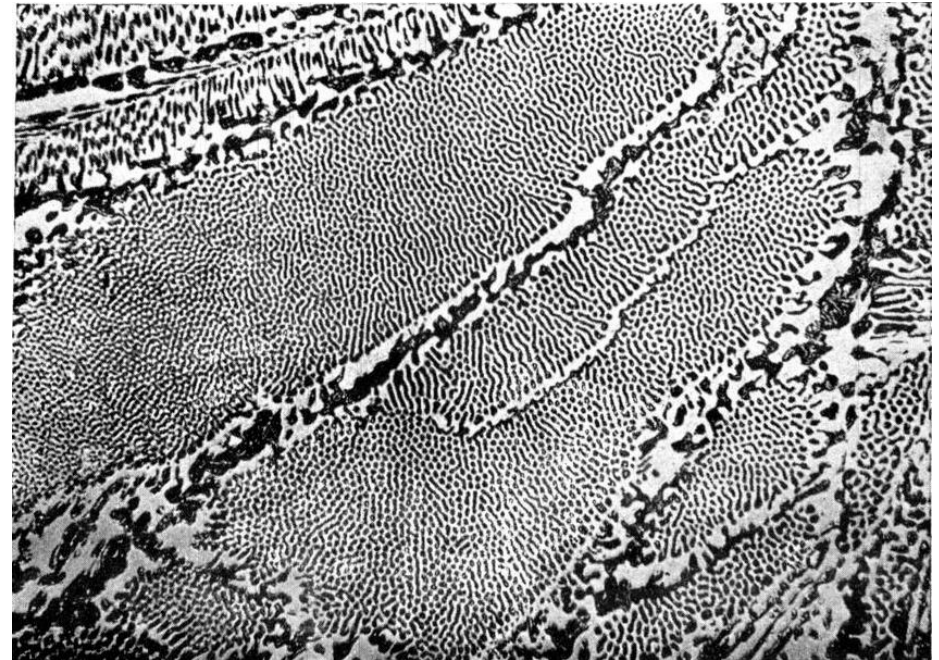
# Ferros Fundidos Brancos

## Aplicações

- Cilindros Coquilhados para Laminação de Polímeros
- Revestimentos de Moinhos
- Moinhos de bola
- Equipamentos de Mineração

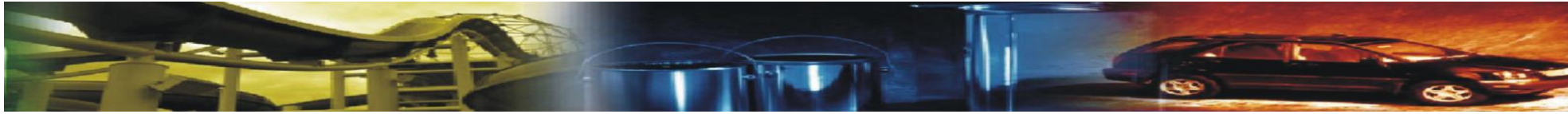
## - Características:

- Boa Fluidez (fundibilidade) e Baixo custo
- Elevada Resistência ao Desgaste Abrasivo
- Difícil Usinagem



Ferro Fundido Branco Eutético





# Ferros Fundidos Branco

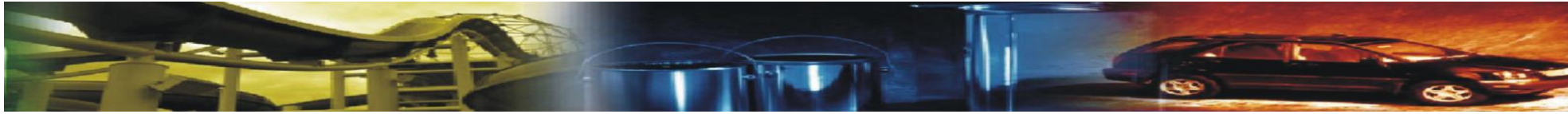


Ferro Fundido Branco Hipoeutético



Ferro Fundido Branco Hipereutético





# Metalurgia dos **Ferros Fundidos Cinzentos**

## 1- Composição Química

A escolha da composição do ferro fundido está baseada nos seguintes aspectos:

### 1- Forma e Distribuição requerida da Grafita

### 2- Estrutura de Carbonetos livres

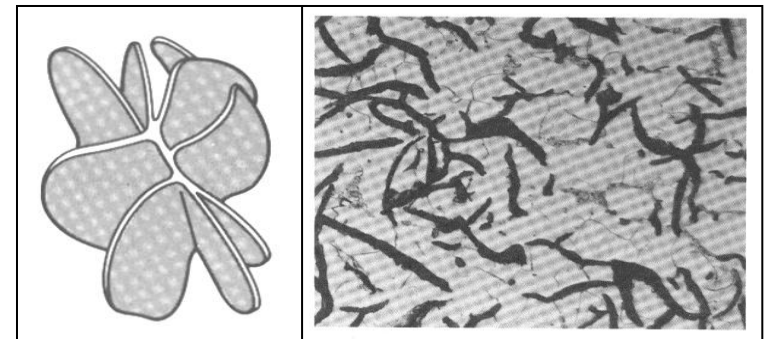
### 3- Matriz desejada

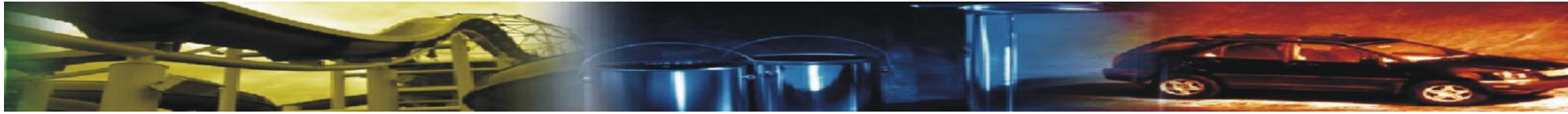
## Efeito dos Elementos de Liga:

**Potencial grafitizante altamente positivo:** Carbono, Chumbo, Fósforo, Silício, Alumínio, Cobre e Níquel

**Potencial grafitizante neutro:** Ferro

**Potencial grafitizante altamente negativo:** Manganês, Cromo, Molibdênio e Vanádio.





# Metalurgia dos Ferros Fundidos Cinzentos

## 2- Taxa de Resfriamento

O aumento da taxa de resfriamento resulta em:

- refino da grafita e da estrutura da matriz (maior dureza e resistência mecânica).
- eleva a tendência ao coquilhamento (maior dureza e resistência mecânica)

Deve-se acertar a composição química a fim de prover o adequado potencial grafitizante para uma dada taxa de resfriamento.

***Se considerarmos uma composição fixa, à medida que aumentamos a seção do componente, maior o coalescimento da grafita e a razão perlita/ferrita diminui.***



# Metalurgia dos Ferros Fundidos Cinzentos

## ➤ Classificação dos Veios de Grafita

- Tipo A
- Tipo B
- Tipo C
- Tipo D
- Tipo E



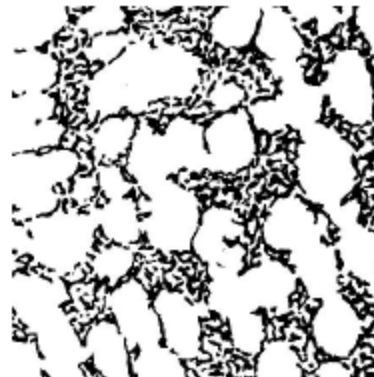
A – irregular desorientada



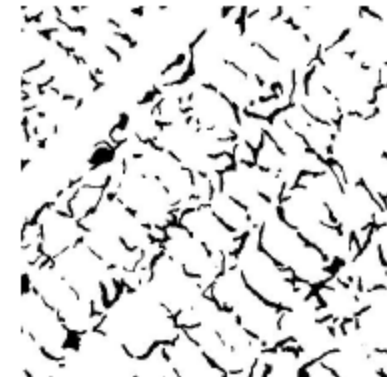
B – em roseta



C – desigual irregular

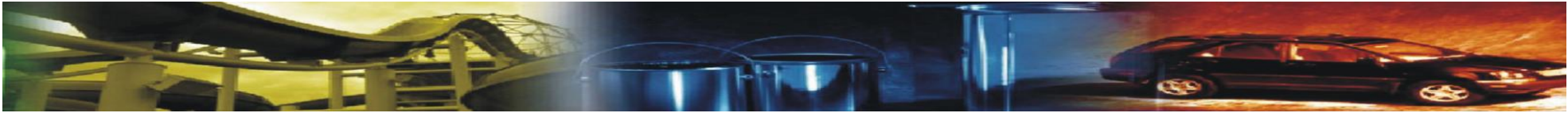


D – interdendrítica  
desorientada



E – interdendrítica  
orientada

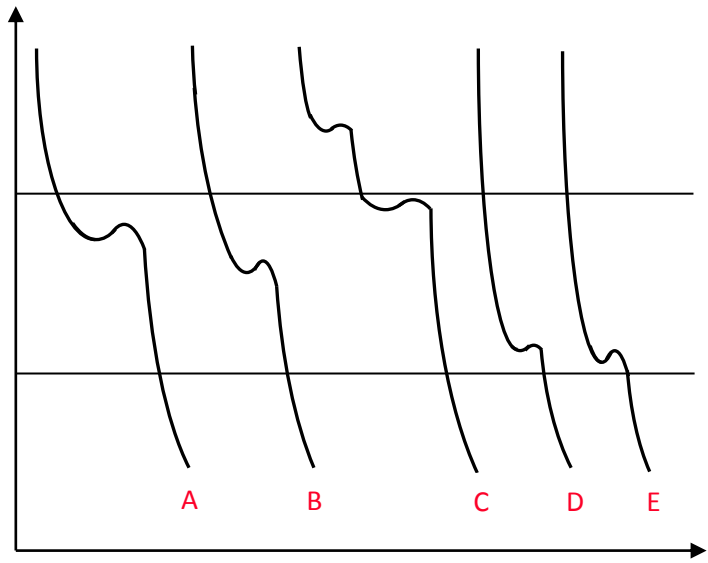




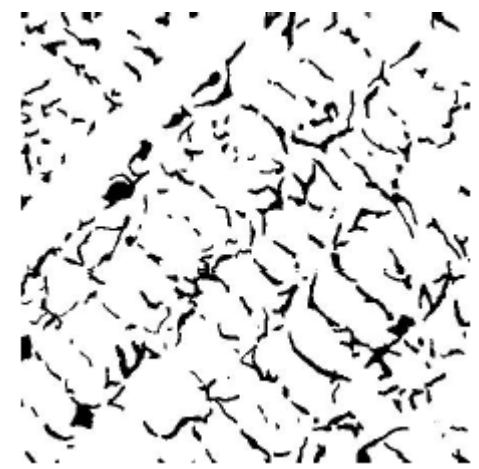
A



T



E



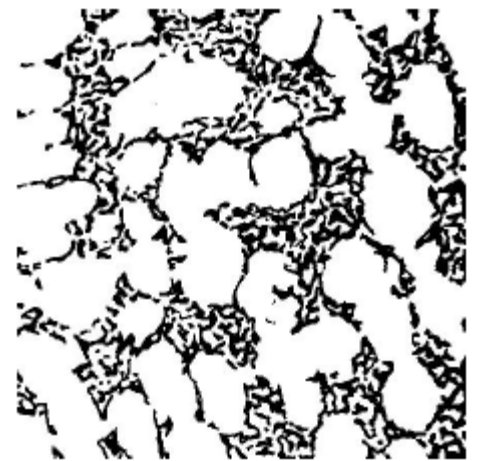
B



C



D



Tipo de Grafita

TEE

TEM



# Metalurgia dos **Ferros Fundidos Cinzentos**

## 3- Tratamento do Ferro Líquido

O tratamento do Ferro líquido influencia as condições de nucleação e crescimento durante a solidificação. A consequência é a alteração da morfologia da grafita, resultando em diferentes propriedades.

### **Tratamento do Ferro Líquido**

É realizado pela inoculação de mínimas adições de elementos de liga antes do vazamento. Os inoculantes são: Ferro-Silício, Alumínio e Cálcio. Como efeito observa-se:

- Aumento do potencial grafitizante, pela redução do super-resfriamento.
- Refino da estrutura pelo grande número de células eutéticas formadas, resultando em aumento da resistência.



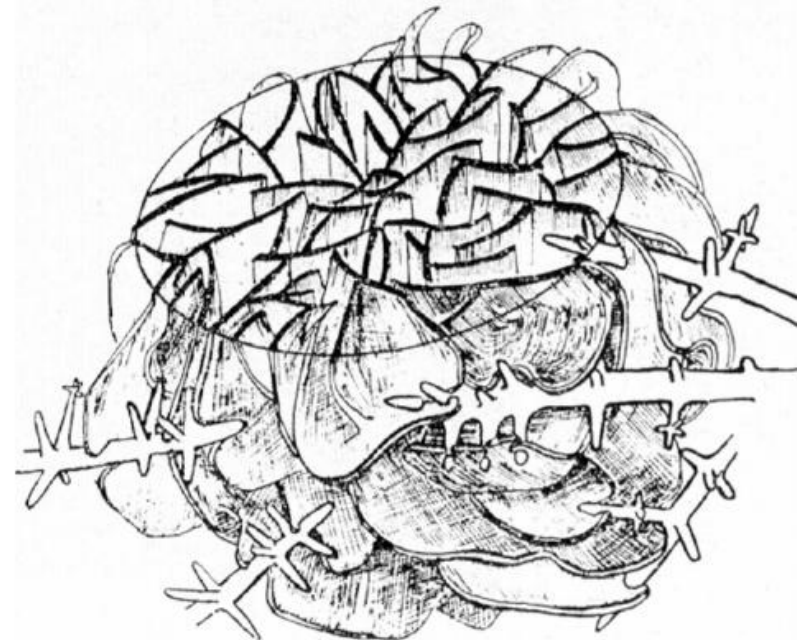
# Metalurgia dos Ferros Fundidos Cinzentos

## 4- Tratamento Térmico

Altera consideravelmente a estrutura da matriz, embora a forma e o tamanho da grafita permaneça inalterado.

Poucos ferros Cinzentos são tratados termicamente, sendo os tratamentos mais usuais:

- Reozimento para Alívio de Tensões,
- Reozimento para Redução da dureza.







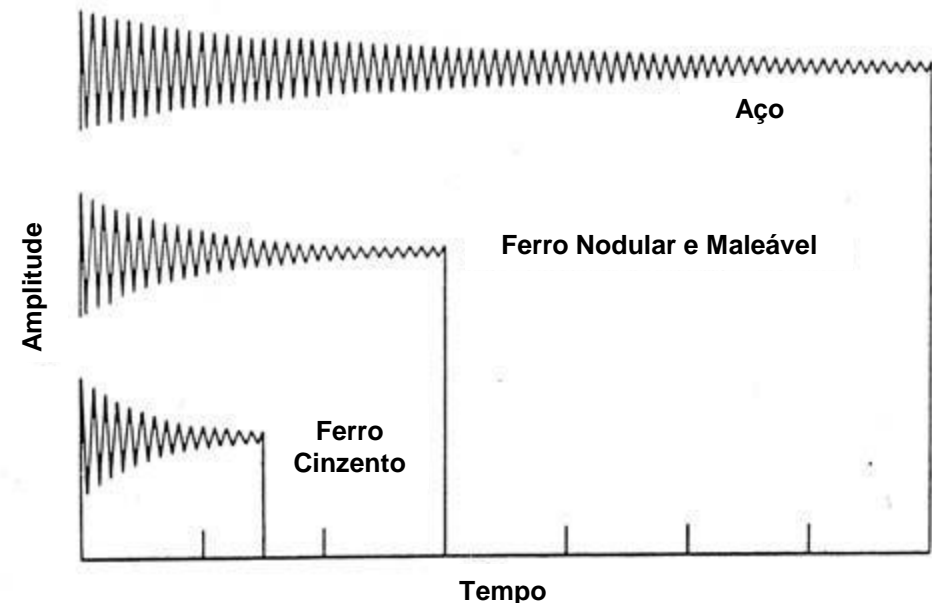
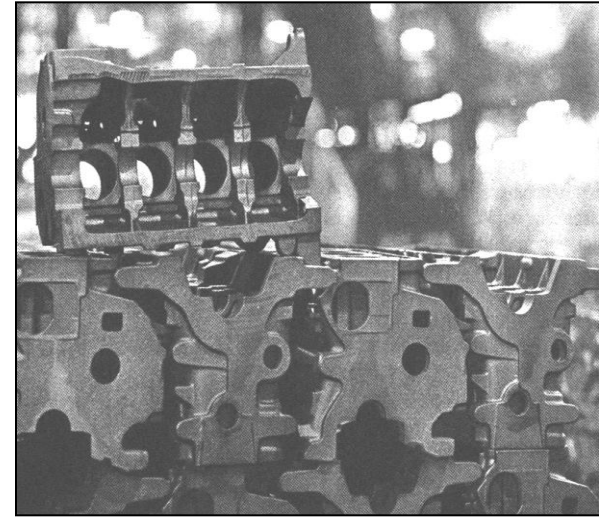
# Ferros Fundidos Cinzentos

## Aplicações

- Discos de Freio e Blocos de Motor
- Eixos de Comando de Válvulas
- Hidrantes de Bombeiro
- Carcaças de Bombas
- Bases de Máquinas

## Características:

- Boa Fluidiez (fundibilidade) e Baixo custo
- Usinabilidade
- Resistência ao Desgaste (efeito da Grafita)
- Amortecedor de Vibrações
- Elevada resistência à compressão e baixa à tração





# Metalurgia dos Ferros Fundidos Nodulares

Em 1940 foi descoberto que a adição de elementos como Magnésio, Níquel-Magnésio e Fe-Si-Mg poderiam esferoidizar a Grafita.

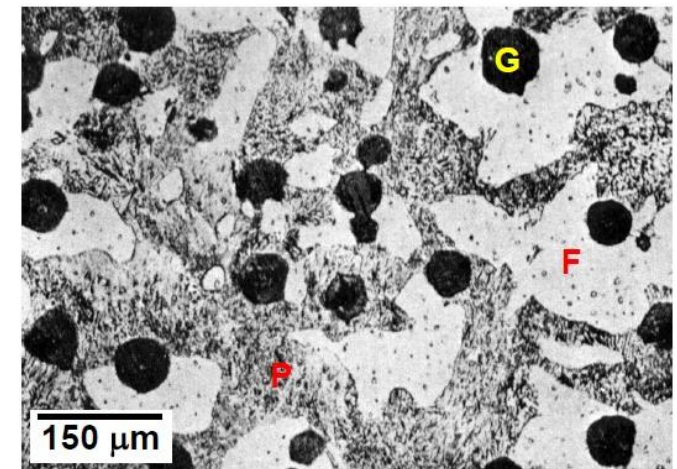
Entre 20 e 30% da produção mundial de Ferros Fundidos é de Nodular.

Os inoculantes utilizados são diferentes em relação aos Ferros Cinzentos, apresentando Magnésio na composição.

Nº Células/cm<sup>2</sup> na solidificação:

Ferro Cinzento: 8 - 10

Ferro Nodular: 200 – 600





# Metalurgia dos **Ferros Fundidos Nodulares**

## 1- Composição Química

A escolha da composição do ferro fundido está baseada nos mesmos aspectos apresentados para os Cinzentos, entretanto, o efeito da composição sobre a formação da Grafita é menor, haja visto que o tratamento do ferro líquido é dominante nesta classe de Ferros Fundidos.

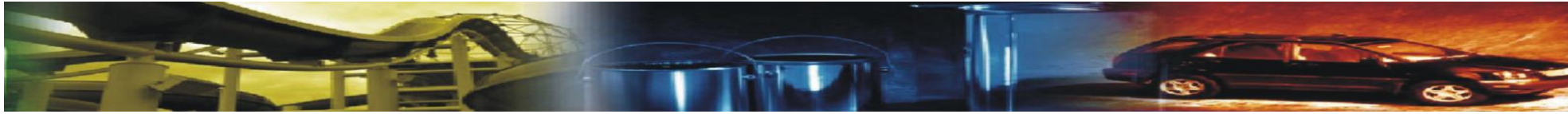
### **Efeito dos Elementos de Liga:**

**Elementos que promovem a Esferoidização:** Magnésio, Cálcio, Terras Raras, (Cério e Lantânio).

**Neutros:** Ferro, Carbono e Ligas

**Elementos Degeneradores da Grafita (Antiesferoidização):** Alumínio, Arsênio, Bismuto, Telúrio, Titânio, Estanho, Enxofre, Antimônio.





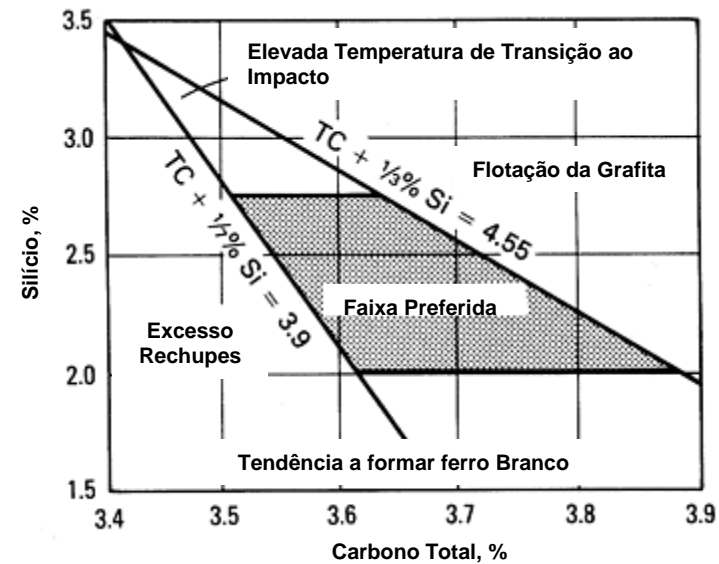
# Metalurgia dos Ferros Fundidos Nodulares

## 1- Composição Química

### Grafita Esferoidal



### Teores ideais de Carbono e Silício

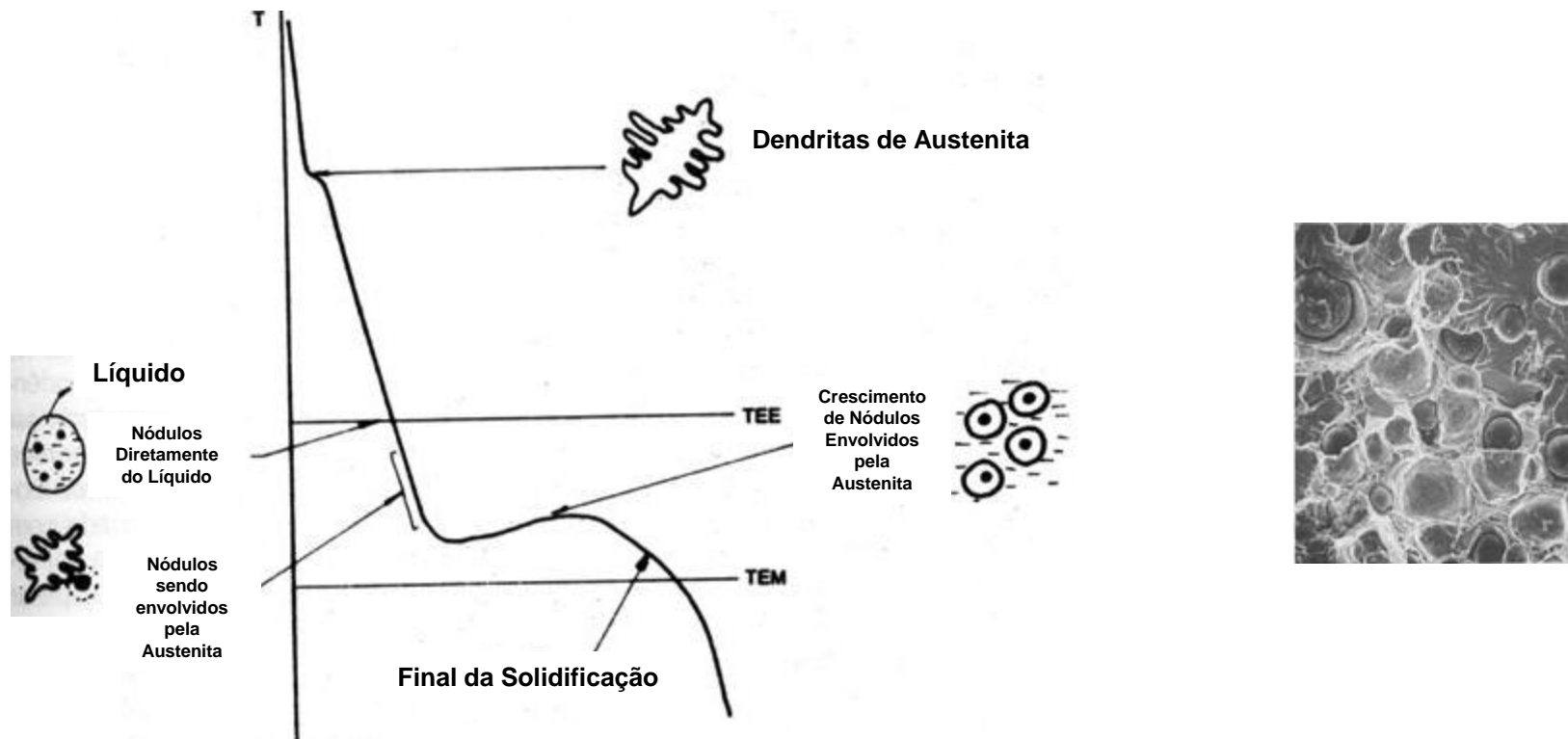




# Metalurgia dos Ferros Fundidos Nodulares

## 2- Taxa de Resfriamento

Os ferros Nodulares são menos sensíveis ao coquilhamento, tendo em vista o forte *Tratamento do Ferro Líquido* realizado para estas ligas.





# Metalurgia dos **Ferros Fundidos Nodulares**

## 3- Tratamento do Ferro Líquido

É realizado em dois estágios:

1- Modificação: consiste no tratamento do líquido com Magnésio ou Magnésio-ligas antes do vazamento.

2- Inoculação: consiste em induzir a formação de grande nº de núcleos de solidificação, promovendo a formação de inúmeros nódulos de grafita. Os inoculantes são: Mg, Fe-Si-Mg, Ni-Mg.

### **Parâmetros Importantes do controle da Grafita:**

Forma (grau de nodularização), Tamanho dos nódulos, Distribuição e N<sup>o</sup> nódulos/cm<sup>2</sup>.





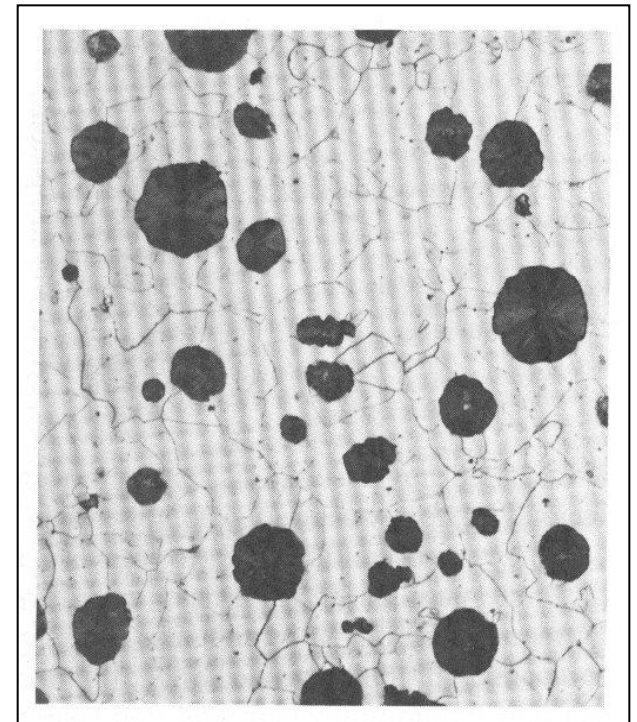
# Metalurgia dos Ferros Fundidos Nodulares

## 4- Tratamento Térmico

São extensamente aplicados aos ferros nodulares e alteram a estrutura da matriz.

Os tratamentos mais usuais:

- Recozimento para Alívio de Tensões
- Recozimento para gerar matriz Ferrítica
- Normalização para gerar matriz Perlítica
- Têmpera e Revenimento
- Austêmpera
- Têmpera Superficial.





# Ferros Fundidos Nodulares

## Aplicações

- Girabrequins e Mangas de Eixo
- Coletores de Escapamento
- Anéis de Pistão
- Rodas Dentadas
- Componentes de Bombas

## Características:

- Alta resistência, tenacidade e ductilidade
- Boa Usinabilidade
- Alta Resistência ao Desgaste
- Fluidez boa
- Soldabilidade melhorada
- Baixo custo (superior ao cinzento)



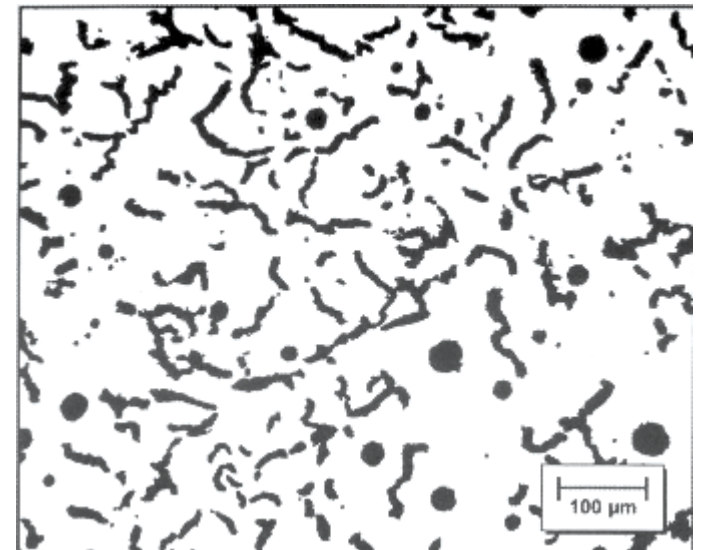


## Metalurgia dos **Ferros Fundidos Vermiculares**

Os Ferros Vermiculares (ou de Grafita Compacta) possuem a Grafita intermediária entre os ferros Cinzentos e Nodulares. Desta forma, as propriedades são também intermediárias entre os dois anteriores.

Desenvolvimento de motores Diesel de alto desempenho (mais eficientes e menos poluentes) indicam necessidade de altas pressões e temperaturas de trabalho, podendo levar os materiais normais (Cinzento) a falhas prematuras.

Ferro de Grafita Compacta ou Vermicular.



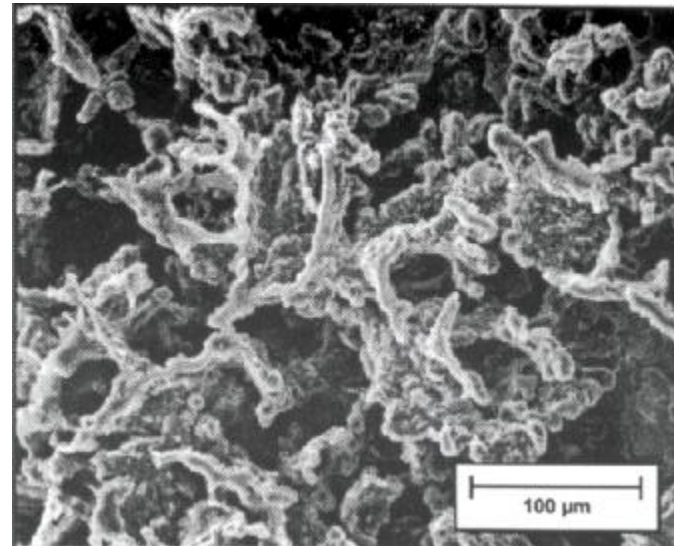




# Metalurgia dos **Ferros Fundidos Vermiculares**

## 1- Composição Química

A escolha da composição do ferro fundido está baseada nos mesmos aspectos apresentados para Cinzentos e Nodulares, entretanto, para a obtenção dos ferros Vermiculares é necessário combinar a adição de elementos Esferoidizantes (Magnésio, Cálcio e Terras Raras) com elementos Degeneradores da Grafita (Titânio e Alumínio).





# Metalurgia dos Ferros Fundidos Vermiculares

## 2- Taxa de Resfriamento

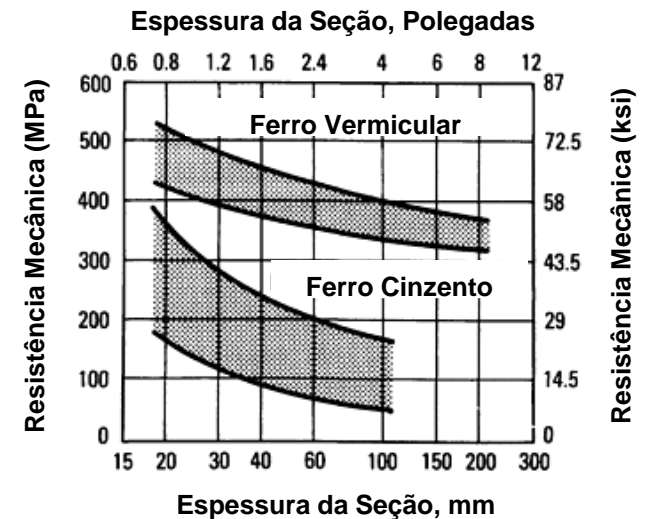
Elevadas taxas de resfriamento devem ser evitadas, pois há tendência ao coquilhamento.

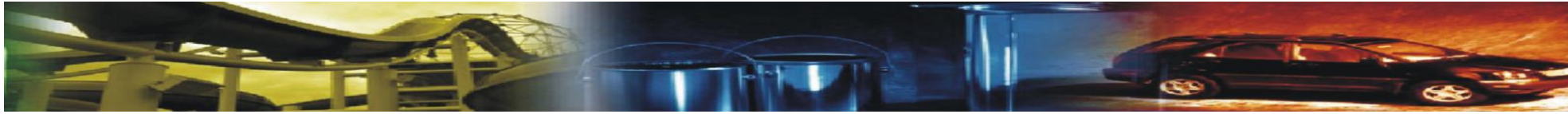
## 3- Tratamento do Ferro Líquido

É realizado em dois estágios:

1- Modificação: consiste no tratamento do líquido com Magnésio ou Magnésio-Titânio ou Cálcio-Cério antes do vazamento.

2- Inoculação: Deve ser menos intensa que nos nodulares, de maneira a evitar a excessiva nodularização.





# Metalurgia dos **Ferros Fundidos Vermiculares**

## 4- Tratamento Térmico

Não são comuns tratamentos térmicos nos ferros Vermiculares.

## Aplicações

- Peças para Motores Diesel, Carcaças de Caixas de Câmbio, Eixos Excêntricos, Rodas Dentadas, Blocos de Motor, Moldes de Ligoteiras, Coletores de Escapamento e Exaustores.

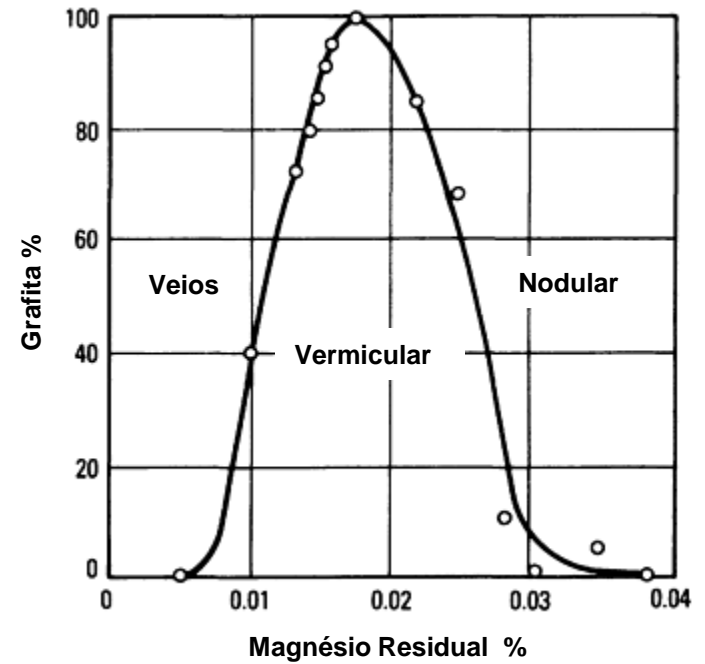
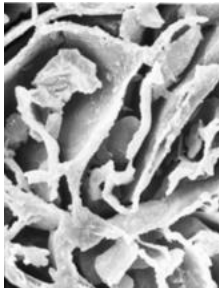
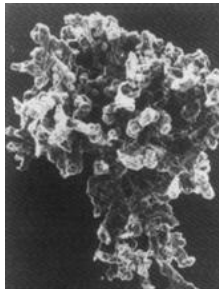
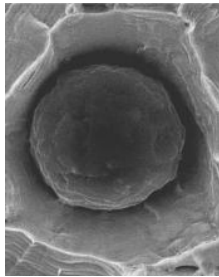
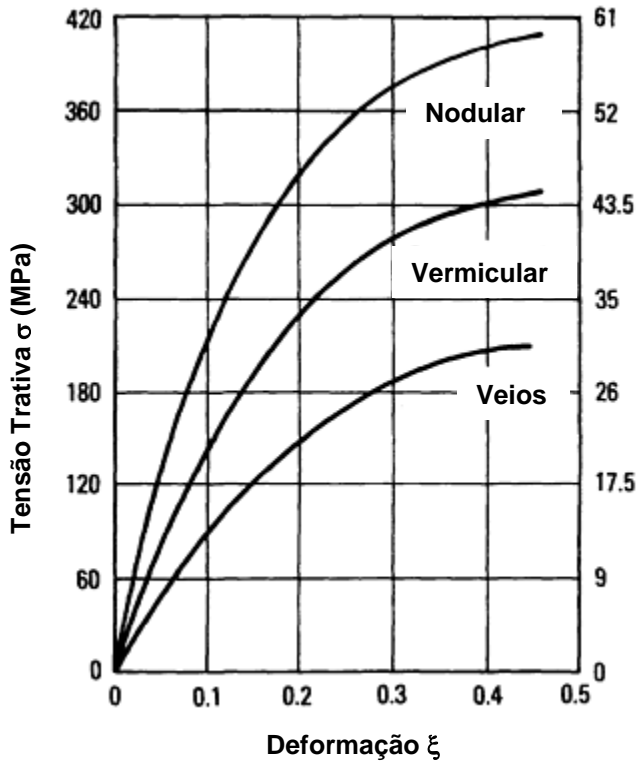
## Características:

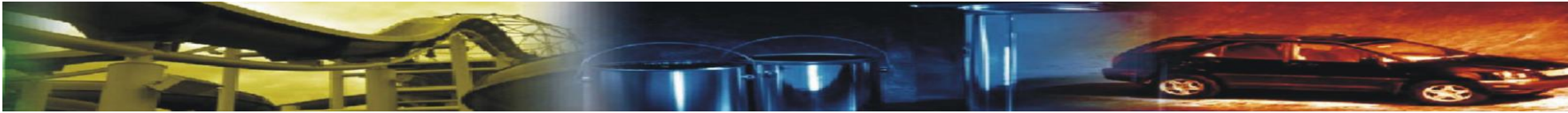
- Alta resistência,
- Tenacidade e Ductilidade superior aos Cinzentos
- Boa Usinabilidade
- Alta Resistência ao Desgaste
- Melhor resistência à Fadiga (em relação aos Cinzentos)



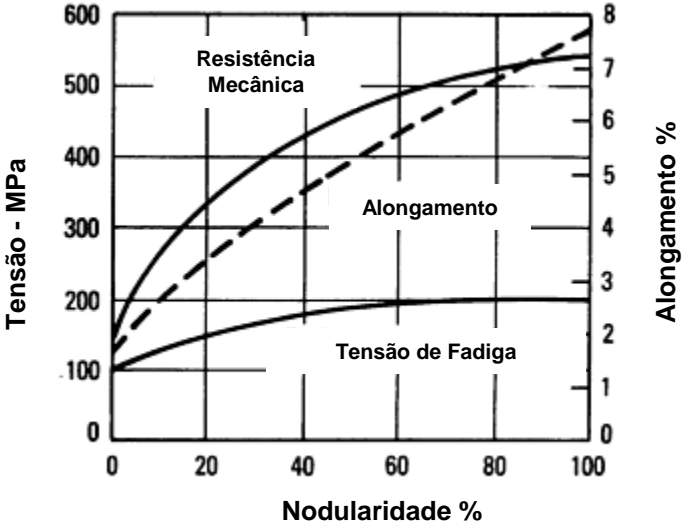
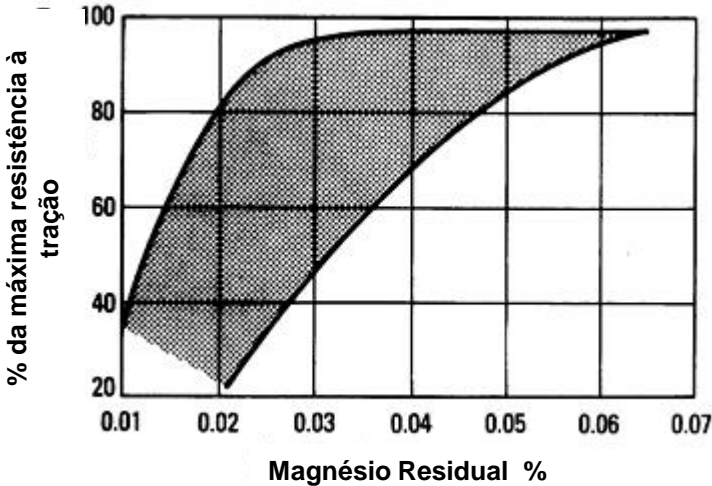


# Comparação entre Ferros Fundidos





# Comparação entre Ferros Fundidos

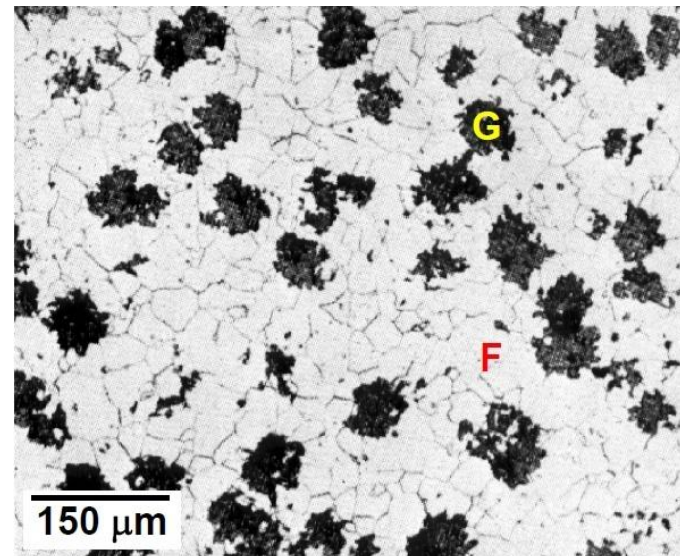




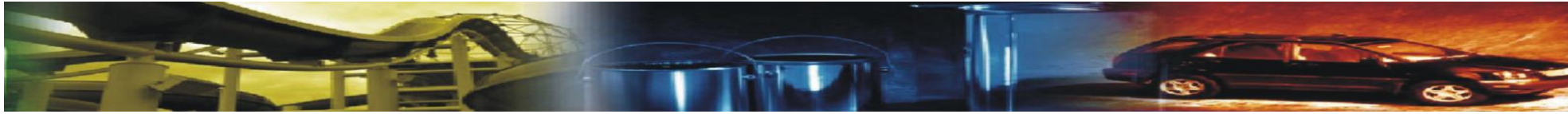
## Metalurgia dos **Ferros Fundidos Maleáveis**

Diferem dos anteriores pois apresentam estrutura do ferro fundido Branco no estado como fundido. A estrutura consiste de Carbonetos de Ferro em matriz Perlítica. Esta estrutura é então tratada termicamente, resultando na decomposição dos Carbonetos de Ferro e formação de Grafita.

A estrutura final é composta por Grafita e Perlita / Grafita, Perlita e Ferrita / Grafita e Ferrita.







# Metalurgia dos **Ferros Fundidos Maleáveis**

## 1- Composição Química

A escolha da composição do ferro fundido deve considerar a formação de estruturas que permitam a rápida transformação por tratamentos térmicos.

### **Efeito dos Elementos de Liga:**

A razão Carbono/Silício deve ser controlada a fim de evitar a formação de grafita diretamente da fundição. Por outro lado, esta razão influencia na decomposição durante tratamento térmico.

Deve-se cuidar com a adição de elementos de liga que são fortes formadores de Carbonetos como o Cromo, que resultará em dificuldade de decomposição na Maleabilização.



# **Metalurgia dos Ferros Fundidos Maleáveis**

## **2- Taxa de Resfriamento**

São menos sensíveis a taxas de resfriamento, uma vez que não são obtidos por fundição e sim, por tratamento térmico.

## **3- Tratamento do Ferro Líquido**

Visa o aumento dos números de núcleos disponíveis para a formação da grafita pela decomposição no estado sólido. Pode ser realizado de duas formas:

1- Adição de Magnésio, Telúrio, Bismuto e Cério, que induzem o aumento do super-resfriamento na solidificação, resultando em estrutura mais refinada (maior área entre fases Carboneto / Austenita) auxiliando a nucleação e decomposição.

2- Adição de elementos formadores de Nitretos, como Alumínio, Boro, Titânio e Zircônio.



# Metalurgia dos Ferros Fundidos Maleáveis

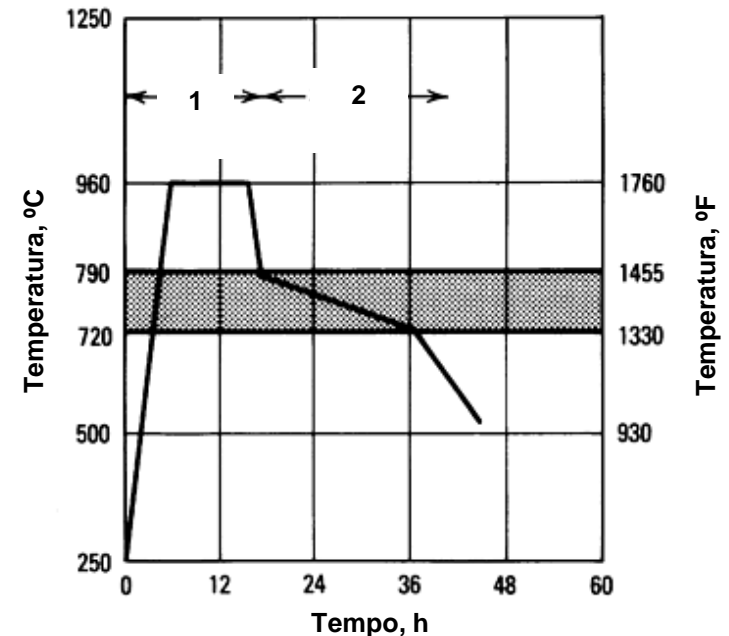
## 4- Tratamento Térmico

É o tratamento térmico que define a estrutura final dos ferros Maleáveis. O tratamento é composto por dois estágios:

1- Decomposição dos Carbonetos em Grafita e Austenita,

2- Transformação da Austenita em Perlita, Ferrita ou misturas destas.

• Alguns ferros Maleáveis podem ser Temperados e Revenidos.





# Ferros Fundidos Maleáveis

## Aplicações

- Bielas
- Diferenciais (transmissão)
- “Yokes” – Juntas e Mangas Universais

## - Características:

- Alta resistência, tenacidade e ductilidade
- Boa Usinabilidade
- Fluidez (fundibilidade)







## Metalurgia dos Ferros Fundidos Especiais

São ferros fundidos que apresentam mudanças drásticas na microestrutura pela adição de elevado teor de elementos de liga. A diferenciada **Resistência ao Desgaste ABRASIVO** é obtida pela formação de Carbonetos de elevada dureza associados algumas vezes a estruturas Martensíticas. À seguir algumas composições:

- Adições de 3,0 a 5,0% de Níquel e 1,5 – 2,5% de Cromo podem resultar em Carbonetos  $(Fe,Cr)_3C$  e estruturas mertensíticas diretamente de fundição.

- Adições de 11,0 – 13,0% de Cromo podem resultar em Carbonetos  $(Cr,Fe)_7C_3$  de maior dureza em relação aos carbonetos tipo Cementita. Adições de 4,0 – 16,0% de Manganês resultam na formação de  $(Fe,Mn)_3C$ , Martensita e Austenita Endurecível por Deformação.



## **Metalurgia dos Ferros Fundidos Especiais**

- Ferros Especiais Ligados para Alta Temperatura (Resistência a Quente) são produzidos com diversas possibilidades:

Adições de 5,0% de Silício geram estruturas com **Ferrita e Grafita**,

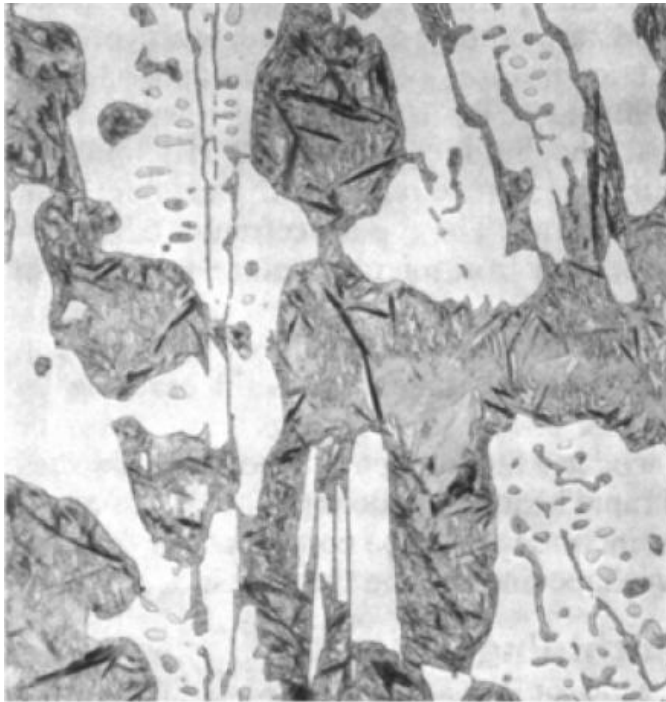
Adições de 11 – 28% de Cromo pode gerar estrutura com **Ferrita e Carbonetos**

Adições de 18% de Níquel e 5% de Silício resultam em estrutura com **Austenita e Grafita Esferoidal ou em Veios**.

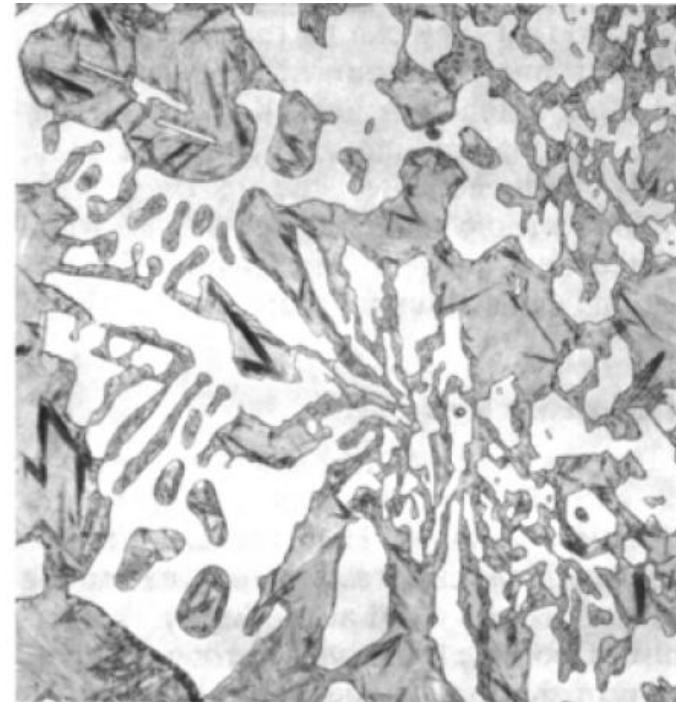
- Ferros Especiais Ligados Resistentes à Corrosão: São produzidos a partir de ligas com elevados teores de elementos de liga, como: Cromo > 28%, Níquel > 18% e Silício > 15%.



# Metalurgia dos Ferros Fundidos Especiais



(a)

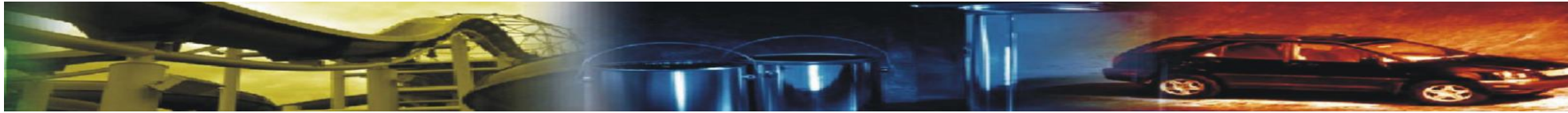


(b)

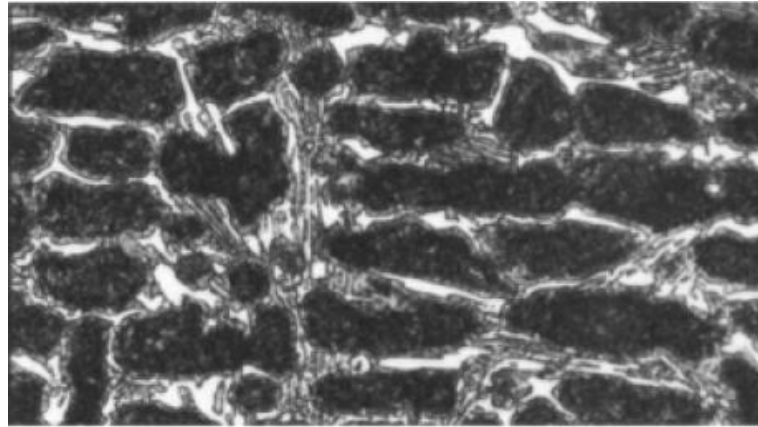
50  $\mu\text{m}$

(a) Ferro fundido Cromo-Níquel Resistente ao Desgaste Abrasivo (Cr: 1,1 – 4%)

(b) Ferro fundido Cromo-Níquel Resistente ao Desgaste Abrasivo (Cr: 7,0 – 11,0%)

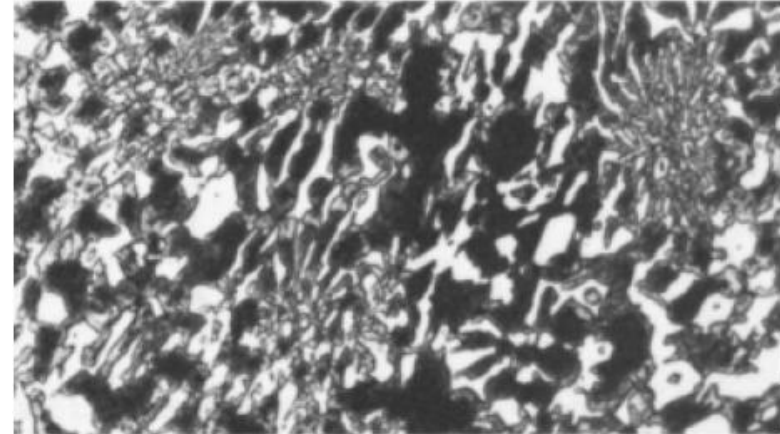


# Metalurgia dos Ferros Fundidos Especiais



(a)

200 μm



(b)

200 μm



(c)

200 μm

(a), (b) e (c) - Ferros fundidos Alto Cromo, Resistentes ao Desgaste Abrasivo (Cr: 15 – 25%)





# Ferros Fundidos Especiais

## Aplicações

- Mineração (brocas para escavação)
- Moedores e Britadores
- Termoelétricas (moagem de carvão mineral)

## - Características:

- Alta Resistência ao Desgaste Abrasivo
- Fluidéz (fundibilidade)
- Elevada Resistência à Corrosão
- Estabilidade em Alta Temperatura.

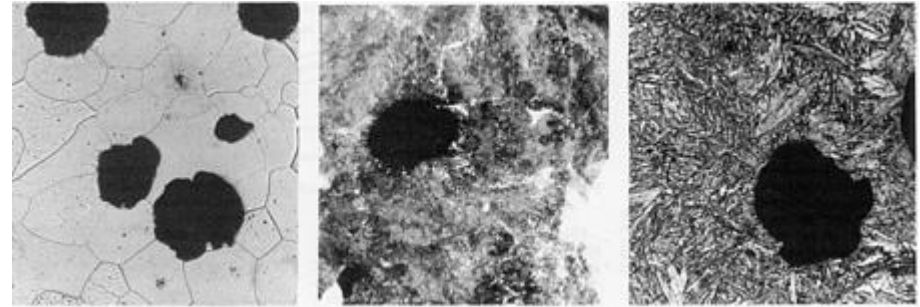




# Tratamentos Térmicos dos Ferros Fundidos

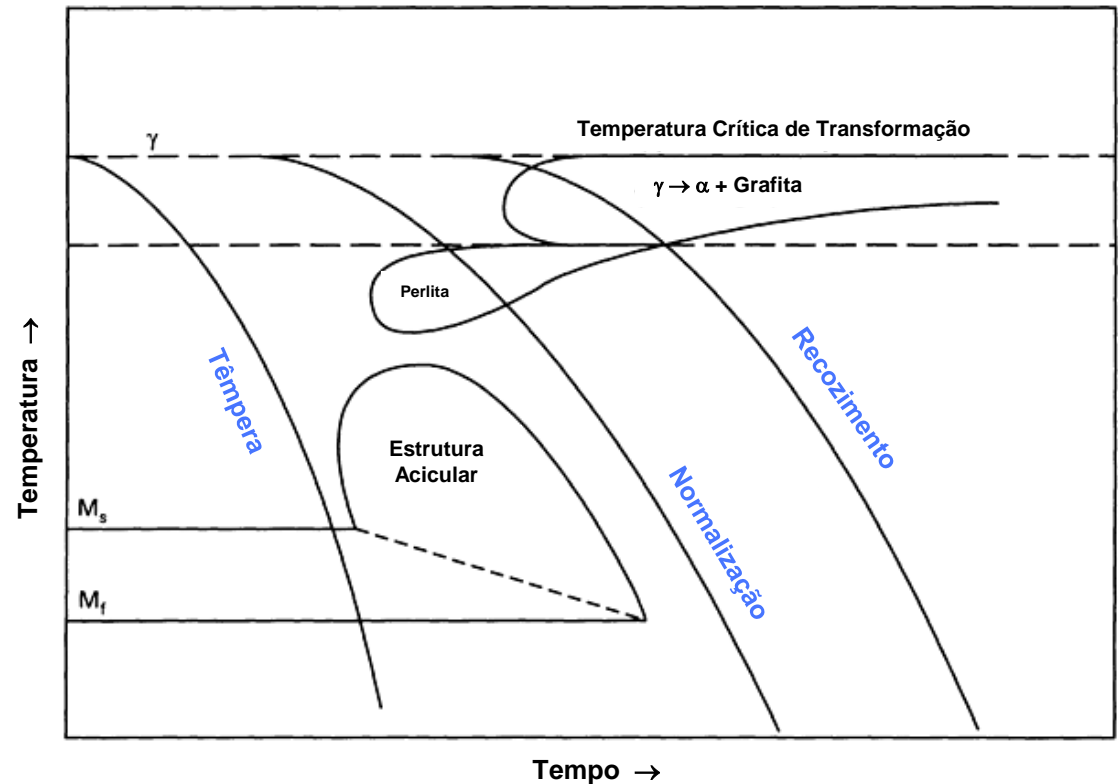
## Objetivos:

- Alívio de tensões provocadas pela solidificação
- Obtenção de maior ductilidade e maior usinabilidade
- Melhorar as propriedades mecânicas (resistência)
- Promover a decomposição de carbonetos
- Endurecimento



## Principais Tratamentos:

- Recozimento
- Alívio de Tensões
- Normalização
- Têmpera e Revenimento
- Endurecimento Superficial
- Martêmpera
- Austêmpera.





# Tratamentos Térmicos dos Ferros Fundidos

## Recozimento de Ferros Cinzentos

É aplicado quando for desejada maior ductilidade e usinabilidade e, ao mesmo tempo, não há necessidade de elevada resistência mecânica.

A *microestrutura final da matriz é Ferrita*, obtida pela decomposição dos carbonetos da perlita obtida originalmente na solidificação.

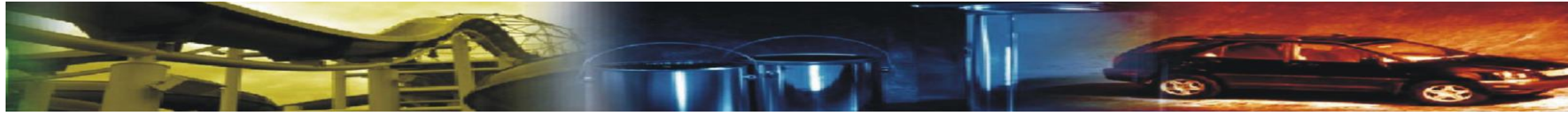
Empregam-se **dois diferentes ciclos de recozimento** para os ferros fundidos Cinzentos:

1- Recozimento subcrítico: Consiste no aquecimento na faixa de 700 – 760°C, encharque de duas horas (+1h / 25 mm de seção) e resfriamento lento até a faixa de 300°C em taxas de resfriamento não superiores a 100°C/h.

2- Recozimento Pleno: Consiste na austenitização entre 800 e 900°C, encharque de duas horas (+1h / 25mm de seção) e resfriamento até 700°C em taxa de resfriamento que não deve exceder 40°C/h. O ferro fundido permanece a 700°C por uma hora a cada 25mm de espessura. Resfria-se o foyo até 300°C em taxas de resfriamento não superiores a 100°C/h. É usado quando elementos de liga estabilizadores da perlita estiverem presentes, dificultando a obtenção de ferrita e decomposição dos carbonetos.

OBS: Quando estruturas coquilhadas estiverem presentes, pode ser necessário utilizar temperatura de austenitização entre 900 e 950°C.





# Tratamentos Térmicos dos Ferros Fundidos

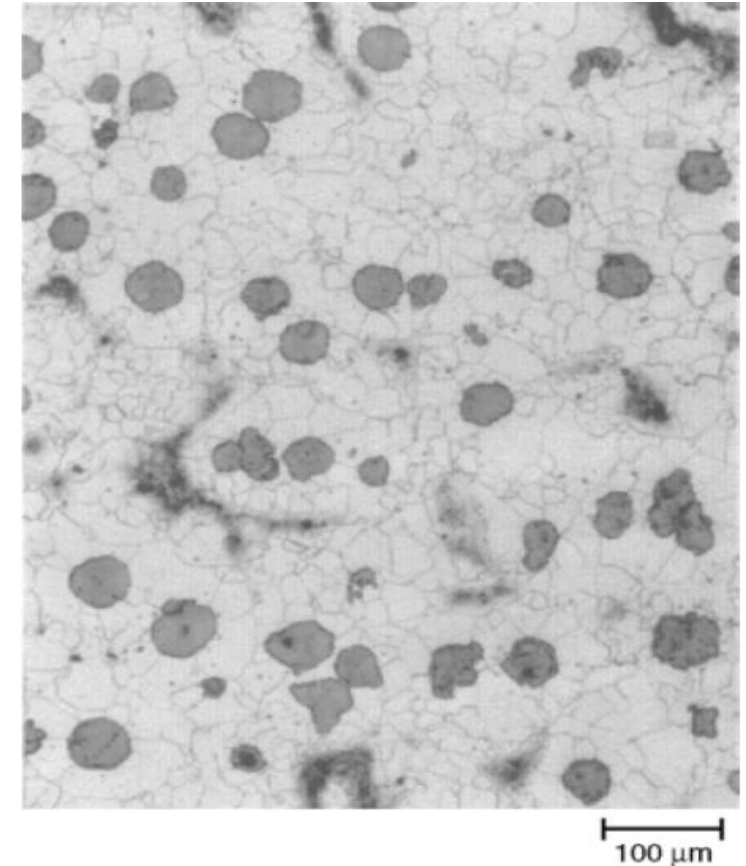
## Recozimento de Ferros Nodulares

Empregam-se *três diferentes ciclos de recozimento* para os ferros fundidos nodulares:

1- Consiste no aquecimento na faixa de  $900 - 950^{\circ}\text{C}$ , encharque de uma hora (+1h / 25mm de seção) e resfriamento até  $690^{\circ}\text{C}$  permanecendo nesta por cinco horas, mais uma hora a cada 25mm de espessura. As taxas de resfriamento no forno não devem ser superiores a  $40^{\circ}\text{C}/\text{h}$ .

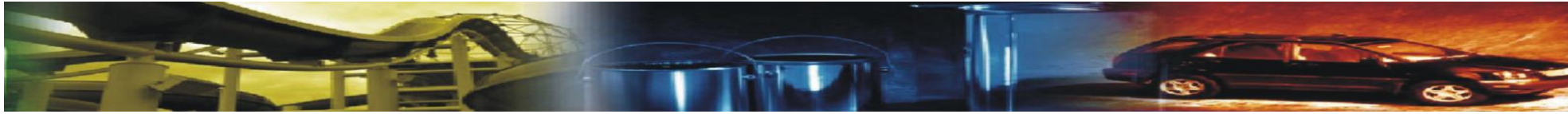
2- Consiste na austenitização entre  $800$  e  $950^{\circ}\text{C}$  e resfriamento até  $650^{\circ}\text{C}$  com taxa de resfriamento não superiores a  $19^{\circ}\text{C}/\text{h}$ , seguido de resfriamento até a temperatura ambiente.

3- Consiste no aquecimento até  $700^{\circ}\text{C}$  (subcrítico), encharque por cinco horas (+1h / 25mm de seção). O resfriamento deve ser no forno até  $300^{\circ}\text{C}$ , com taxa de resfriamento inferior a  $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ .



Ferro Fundido Nodular Ferrítico





# Tratamentos Térmicos dos Ferros Fundidos

## Alívio de Tensões em Ferros Cinzentos e Nodulares

Emprega-se o alívio de tensões para minimizar as tensões surgidas no material em decorrência da solidificação.

São utilizadas temperaturas entre 510 e 680°C, resultando em pequenas alterações microestruturais e, em consequência, pequena alteração nas propriedades. Quanto mais próxima de 680°C for a temperatura, maior a influência sobre as propriedades sendo, algumas vezes, indesejada a perda de resistência mecânica.

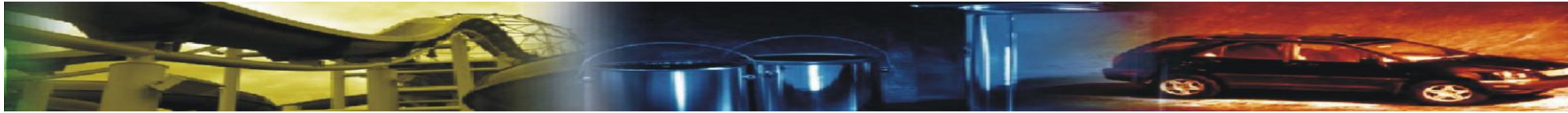
Tempo de encharque: 1h + 1h/25mm de seção.

OBS: Para evitar o surgimento de novas tensões térmicas, recomenda-se o resfriamento lento até cerca de 300°C.

## Normalização de Ferros Cinzentos e Nodulares

Emprega-se a normalização para aumentar a resistência mecânica ou restaurar propriedades similares ao estado como fundido, uma vez que podem ter perdido resistência mecânica como resultado de outros tratamentos térmicos anteriores. **Microestrutura usualmente obtida é a perlita fina.**

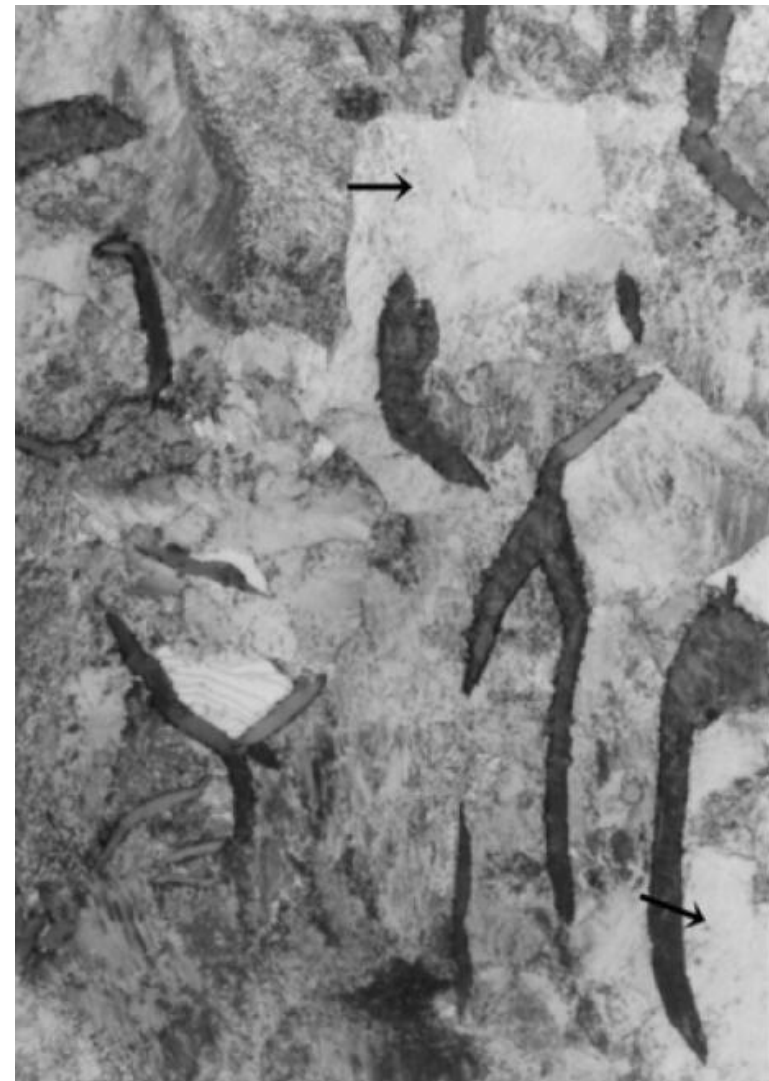
Consiste no aquecimento para austenitização entre 870 e 950°C por 1h + 1h a cada 25mm de espessura (solubilização do carbono), seguido de resfriamento ao ar até a temperatura ambiente.



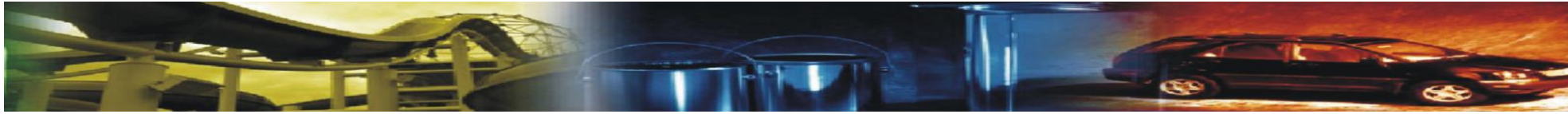
# Tratamentos Térmicos dos Ferros Fundidos



20 μm



20 μm



# Tratamentos Térmicos dos Ferros Fundidos

## Têmpera e Revenimento em Ferros Cinzentos e Nodulares

Emprega-se a têmpera e revenimento para elevar a dureza e a resistência dos ferros fundidos.

Consiste no aquecimento para austenitização (850 – 930°C), manutenção por 30 a 60 minutos a cada 25mm de seção e resfriamento rápido (em óleo) para obter microestrutura martensítica, seguido de revenimento em temperatura mais baixa.

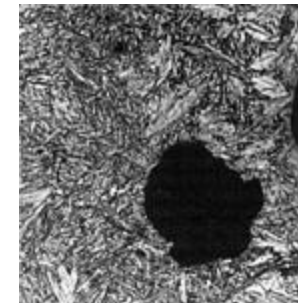
OBS: O tratamento de têmpera e revenimento em ferros cinzentos é mais crítico tendo em vista o efeito de entalhe dos veios da grafita sobre a matriz.

## Endurecimento superficial

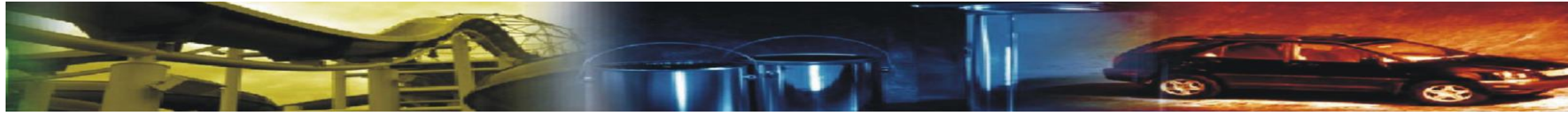
O objetivo do endurecimento superficial visa o desenvolvimento de uma camada periférica de elevada dureza, associada a um núcleo relativamente dúctil.

O aquecimento pode ser realizado por chama ou por indução e deve levar a região aquecida a temperatura cima da zona crítica. Normalmente é subdividido em:

- “Spot Hardening” – Superfícies planas
- “Spin Hardening” – Superfícies cilíndricas
- “Endurecimento Progressivo” – Superfície cilíndrica ou plana.







# Tratamentos Térmicos dos Ferros Fundidos

## Martêmpera em Ferros Cinzentos e Nodulares

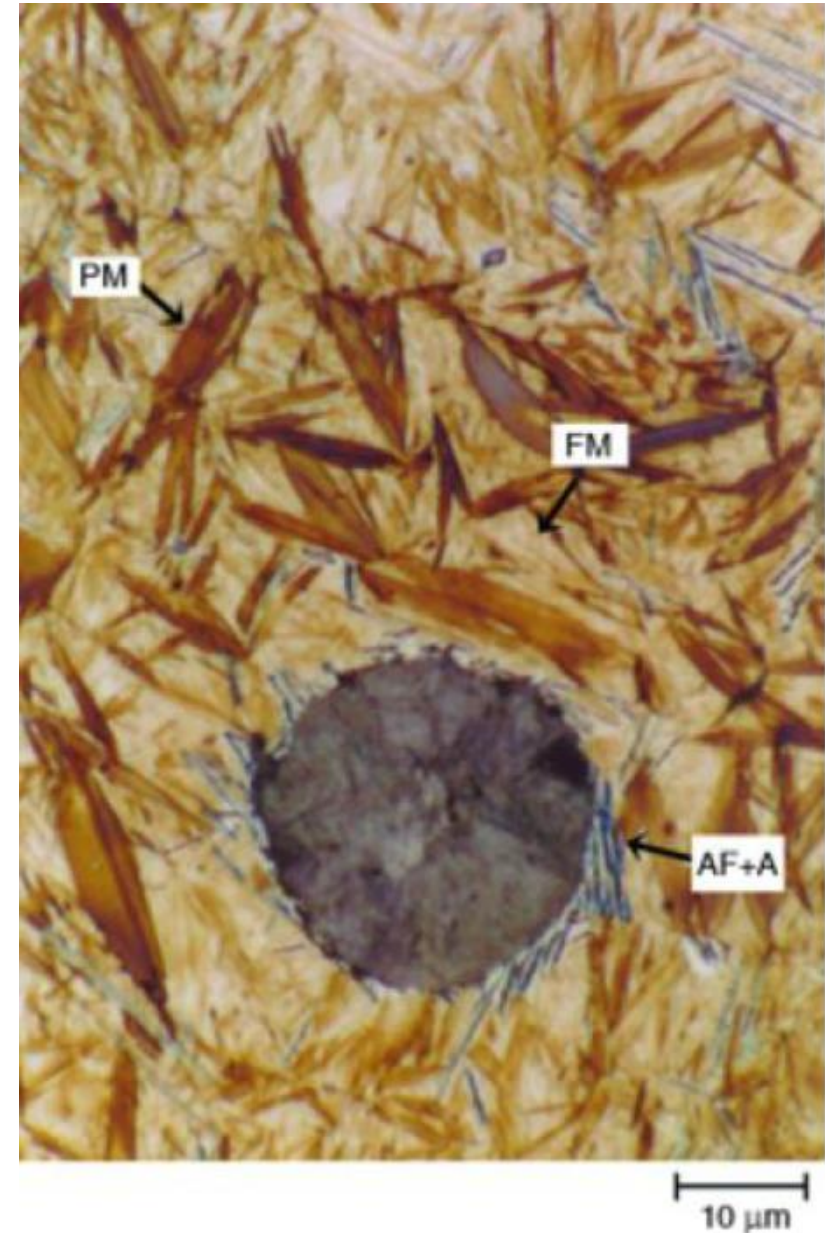
A Martêmpera tem como objetivo a obtenção de microestrutura martensítica associada a um mínimo de distorção.

Consiste no aquecimento para austenitização (800 – 930°C), manutenção por 20 a 60 minutos a cada 25mm de seção. O resfriamento é realizado em banho de sal na faixa de 200 a 260°C (acima do início da transformação martensítica), permanecendo no patamar até a homogeneização da temperatura e sem atingir a curva de início de formação de bainita, sendo então resfriada até a temperatura ambiente.

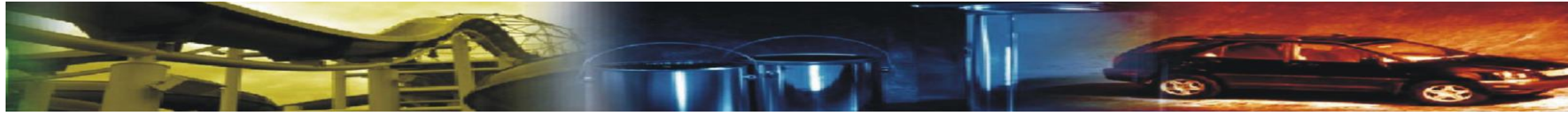
Placas de Martensita – PM

Martensita Fina – FM

Austenita e Ferrita Acicular – AF + A







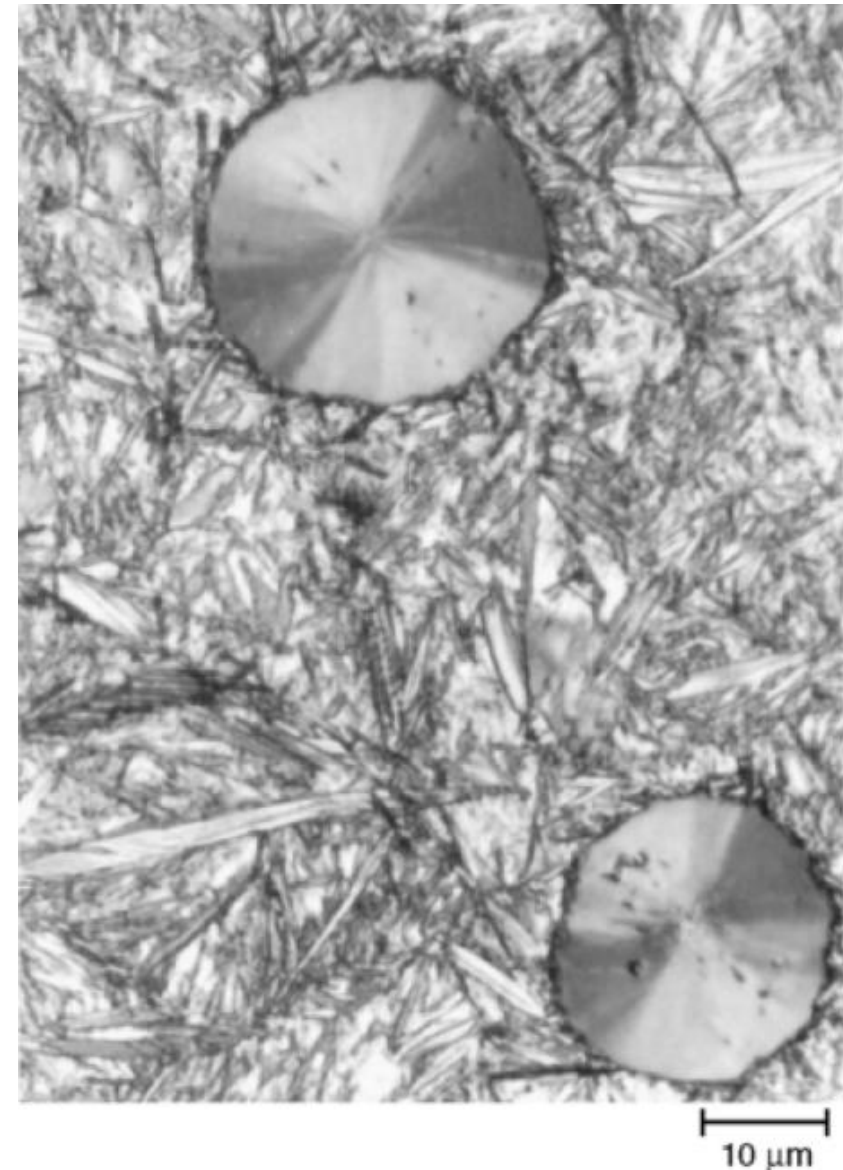
# Tratamentos Térmicos dos Ferros Fundidos

## Austêmpera em Ferros Cinzentos e Nodulares

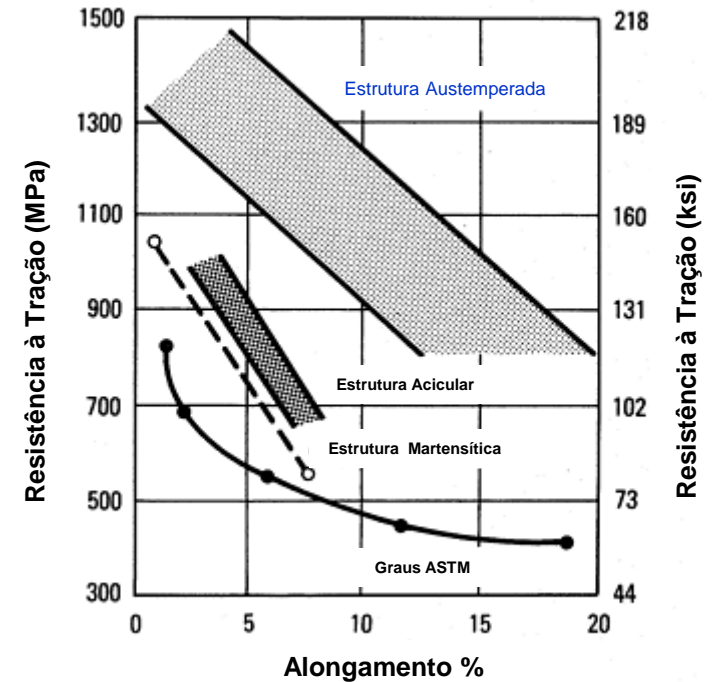
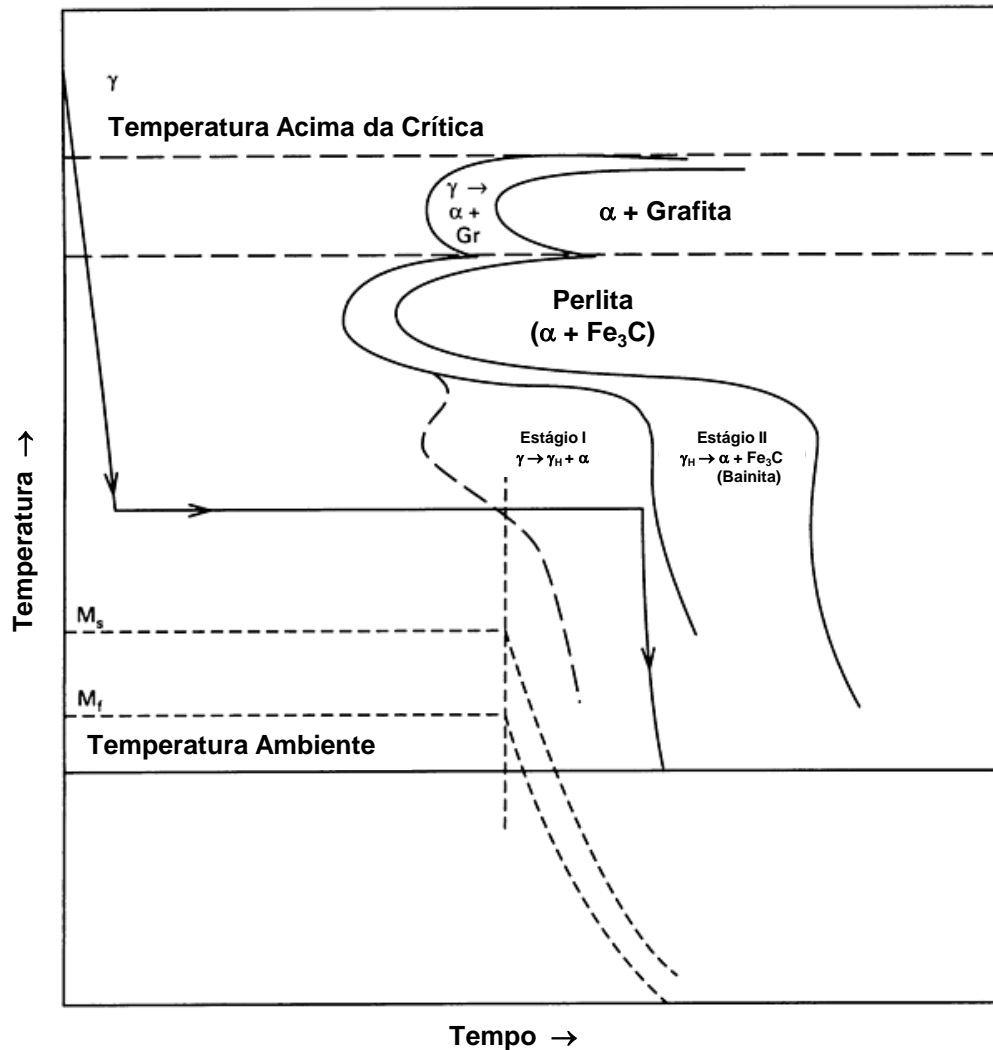
A Austêmpera não é realizado nos Cinzentos, sendo usual nos Nodulares. Tem como objetivo a obtenção de elevada dureza associada a resistência mais elevada ao impacto.

Consiste no aquecimento para austenitização (800 – 930°C), manutenção por 20 a 60 minutos a cada 25mm de seção. O resfriamento é realizado em banho de sal na faixa de 230 a 450°C, permanecendo no patamar até a transformação parcial em Ferrita, resultando em estrutura composta por Austenita e Ferrita, conhecida como “Ausferrita”.

Estes ferros fundidos são conhecidos como ADI, Austempered Ductile Iron ou Ferro Fundido Nodular Austemperado.



# Tratamentos Térmicos dos Ferros Fundidos



A estrutura formada nos nodulares austemperados é controlada pela transformação no estágio I do dia grama TTT. A austenita transforma-se parcialmente em ferrita, que faz com que a **austenita não transformada ( $\gamma_H$ )** seja enriquecida em Carbono. O Carbono estabiliza esta fase e evita a transformação Martensítica ao final do resfriamento. O Silício em teor elevado ajuda a evitar a formação de Carbonetos, mesmo com teor maior que 2,0% na austenita ( $\gamma_H$ ).