

FERROS FUNDIDOS; TIPOS E PROPRIEDADES; FERROS FUNDIDOS LIGADOS

Referências Bibliográficas:

Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução.

William D. Callister Jr

Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns.

Colpaert



Introdução

- Ligas ferrosas contendo 1,7 a 4,0% C e 0,5 a 3,5% Si
- Composição torna excelente para fundição (fluidez)

Utilizados em geral quando se deseja:

- Elevada resistência ao desgaste e à abrasão;
- Amortecimento de vibrações;
- Componentes de grandes dimensões;
- Peças de geometria complicada;
- Peças onde a deformação plástica a frio é inadmissível.



Vantagens

- Baixo ponto de fusão;
- Elevada dureza e resistência ao desgaste;
- Boa resistência à corrosão;
- Baixo custo.

Desvantagens

- Grande fragilidade e baixa ductilidade;
- Deformação plástica impossível à temperatura ambiente;
- Soldadura muito limitada.

Definição

De forma similar aos aços, ferros fundidos podem ser **hipoeutéticos**, **eutéticos** ou **hipereutéticos**.

O valor **eutético** definido pelo ponto de **equilíbrio** entre a **austenita** e a **cementita** (aprox 4,3%, linha **G-5** no diagrama).

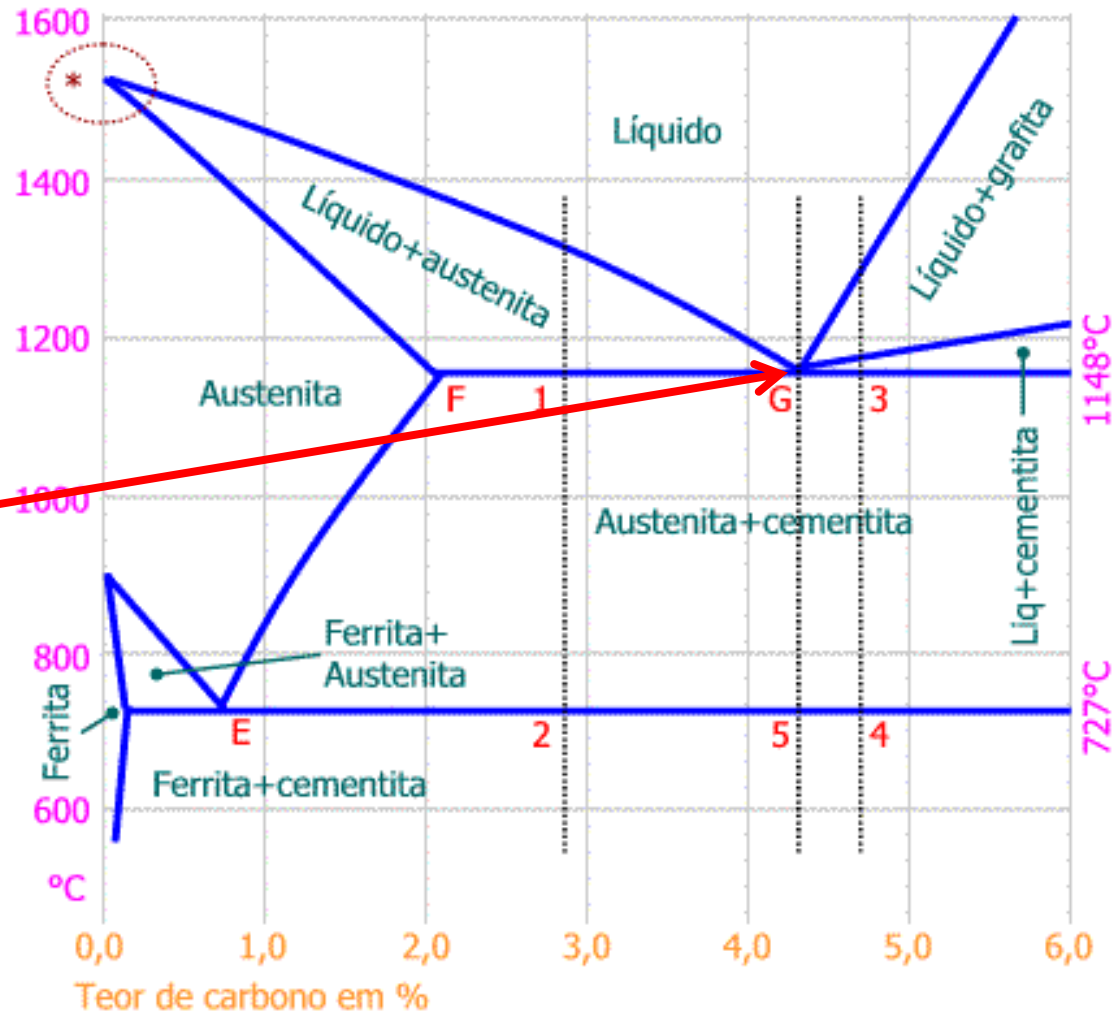
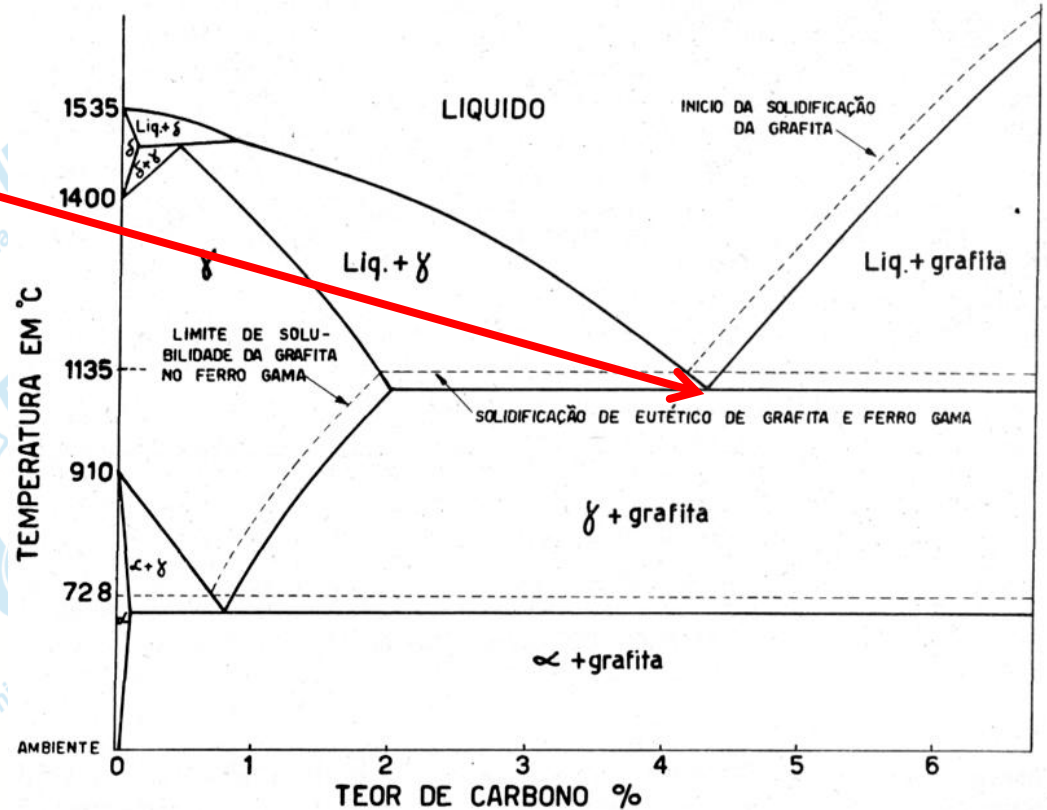


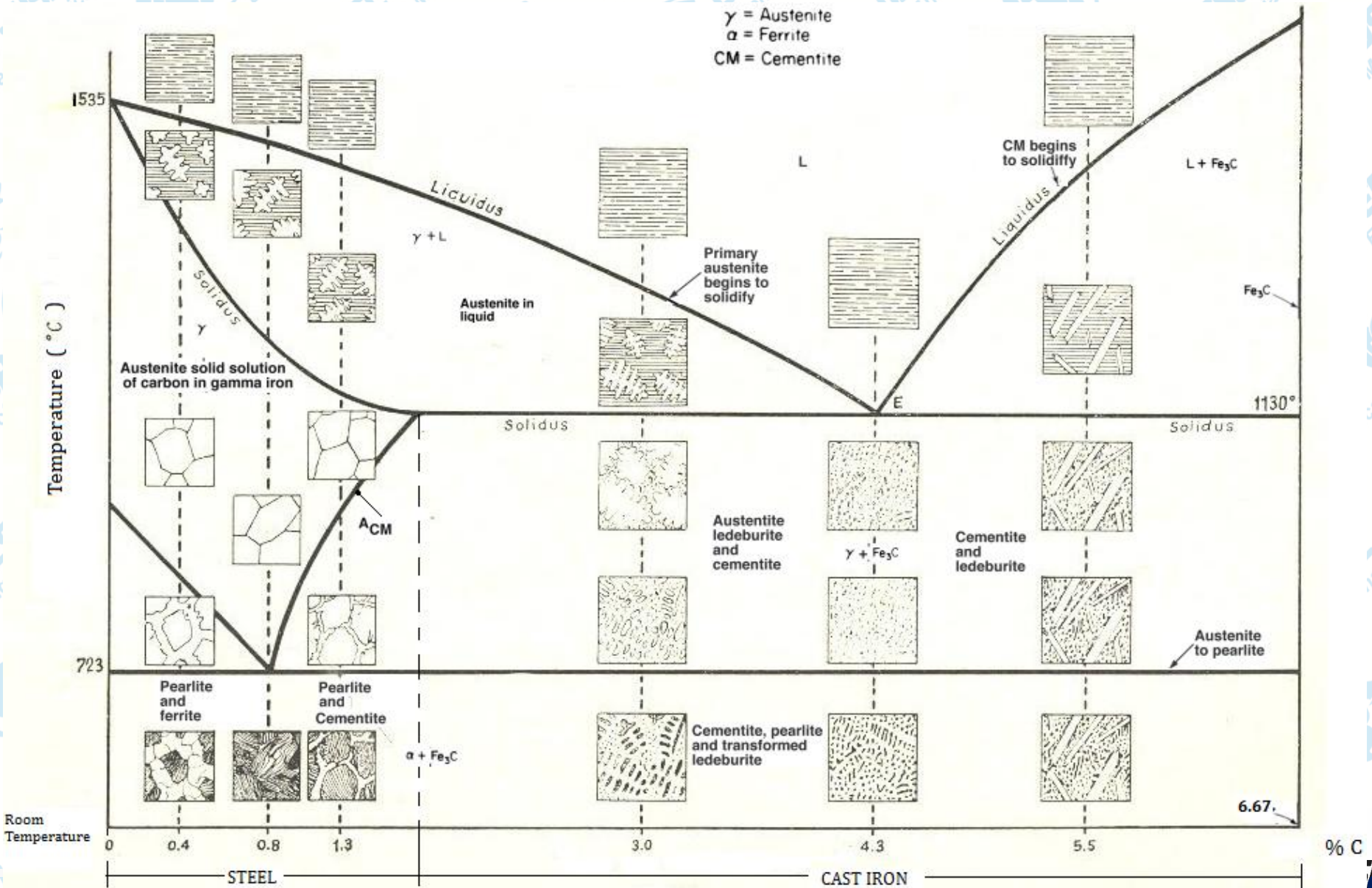
Diagrama Fe-C

O diagrama Fe-C apresenta dois eutéticos provenientes de dois equilíbrios: estável e metaestável. O eutético estável é formado pela austenita e grafita e o eutético metaestável por austenita e carbonetos (cementita)



No caso dos aços as estruturas provenientes do resfriamento lento podem ser relacionadas com o diagrama metaestável.

Diagrama Fe-C



Classificação

Os ferros fundidos apresentam uma extensa gama de **resistências mecânicas e de durezas**, e na maioria dos casos são de fácil usinagem.

Através da **adição de elementos de liga** é possível obter-se excelente **resistência ao desgaste, à abrasão e à corrosão**, porém em geral a resistência ao **impacto e a ductilidade** são **relativamente baixas**

De acordo com a **composição química** e com a **distribuição de carbono na sua microestrutura**, os ferros fundidos podem ser **classificados** em quatro grandes categorias:

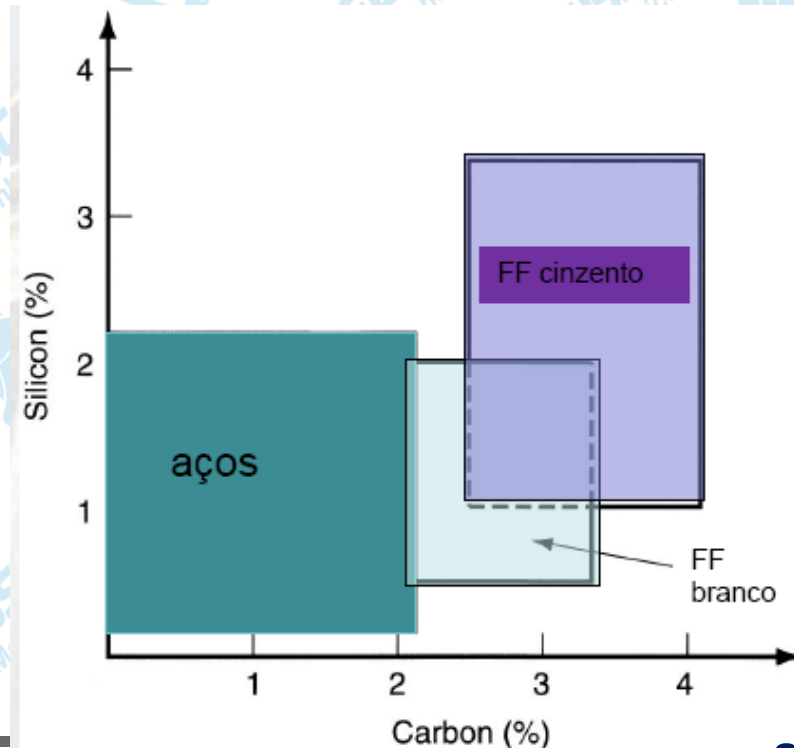
- Branco
- Cinzento
- Maleável
- Dúctil (nodular)

Classificação

	C	Si	Mn	S	P
Cinzento	2,5-4,0	1,0-3,0	0,25-1,0	0,02-0,25	0,05-1,0
Branco	1,8-3,6	0,5-1,9	0,25-0,80	0,06-0,20	0,06-0,18
Maleável	2,0-2,6	1,1-1,6	0,20-1,0	0,04-0,18	0,18 máx.
Dúctil	3,0-4,0	1,8-2,8	0,10-1,0	0,03 máx.	0,10 máx.

A **tabela** acima ilustra os intervalos de **composição química** dos ferros fundidos típicos, não ligados.

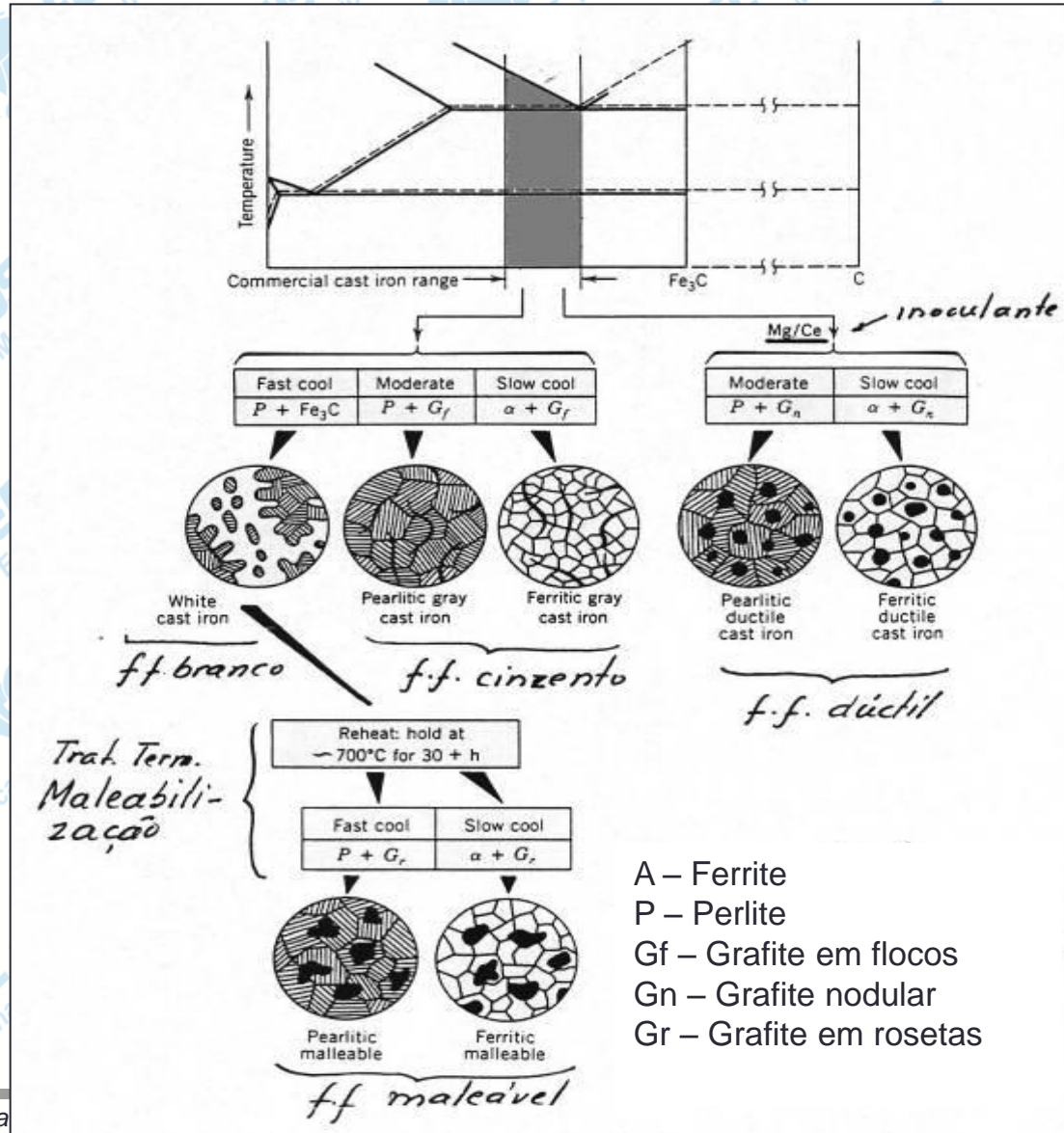
O **gráfico** ao lado ilustra a **relação** típica existente entre os **teores de Carbono e Silício** nas famílias de ferros fundidos.



Efeitos dos elementos de liga

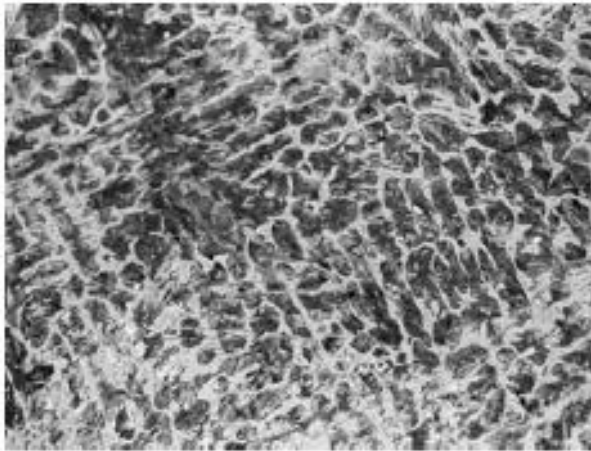
- **Carbono** – como nos aços, é o elemento de liga básico; determina obviamente, a **quantidade de grafita que pode se formar**;
- **Silício** – É o **elemento grafitizante** por excelência, ou seja, favorece a **decomposição do carboneto de ferro**; sua presença, independentemente do teor de carbono, pode **fazer o Fofu tender de fofu cinzento**
- **Enxofre** - nos **teores normais, não tem ação significativa.**

Tipos básicos de ferros fundidos, em relação à sua composição, microestrutura e processamento

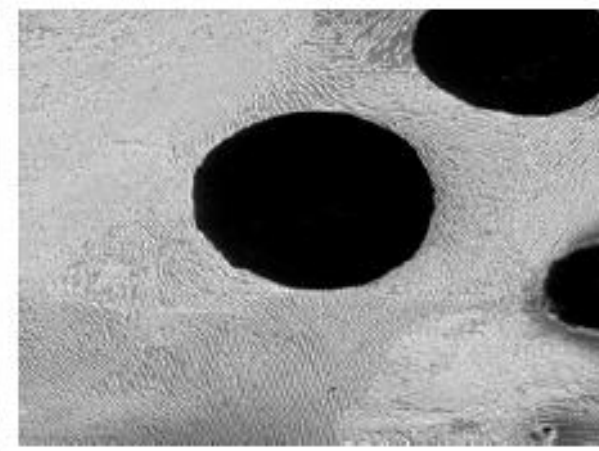
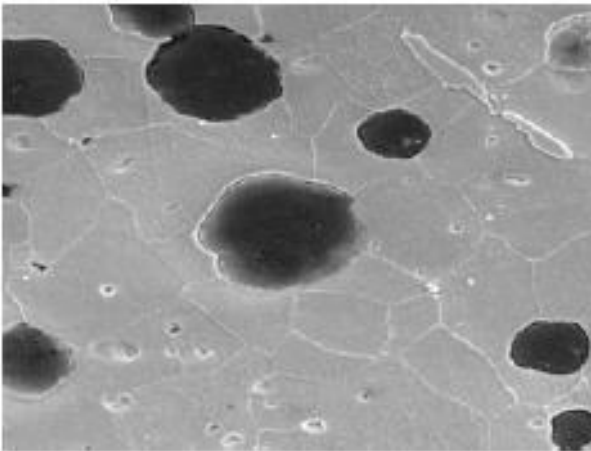
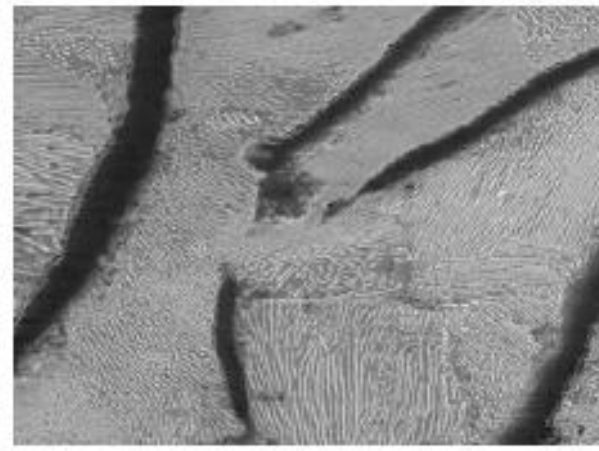


Estrutura

Branco
(perlita e ledeburita)



Cinzento
(veios grafita e perlita)



Nodular

Nodular

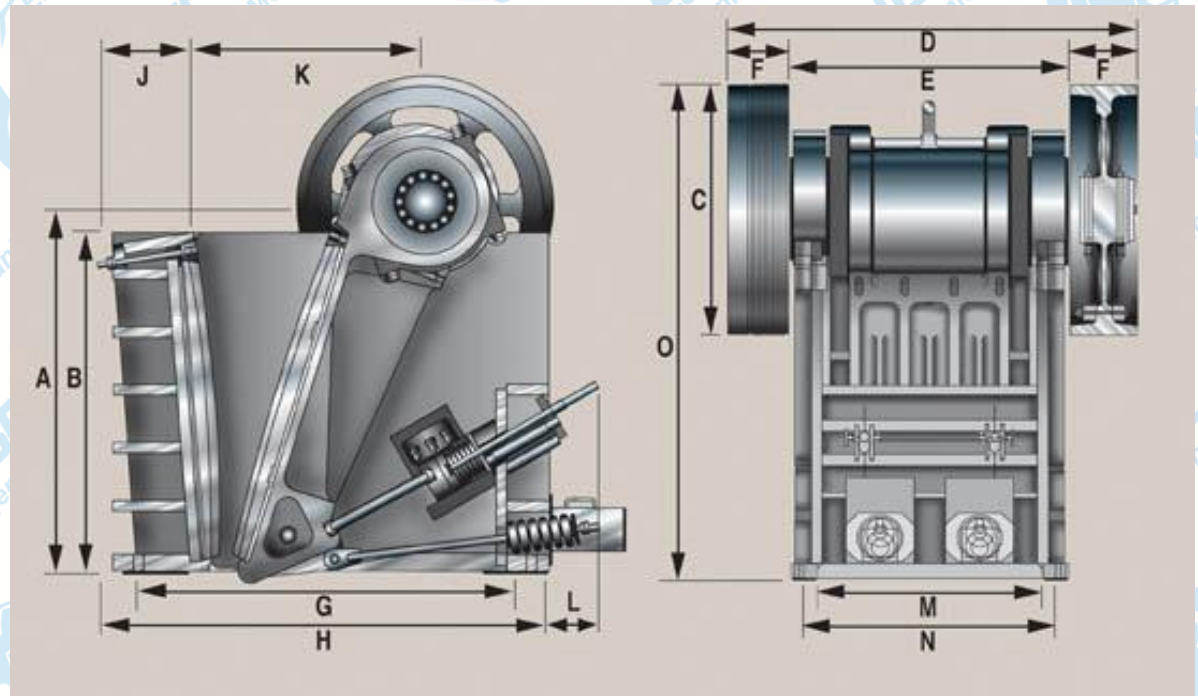
(ferrita e nódulos grafita) (perlita e nódulos grafita)

FERRO FUNDIDO BRANCO

Cilindros de laminação, rodas de vagões, peças empregadas em equipamentos para britamento de minério e moagem de cimento.



Britador de mandíbula



Ferro Fundido Branco

MICROESTRUTURA

- $2,0 \leq \%C \leq 3,5$; $0,5 \leq \%Si \leq 2,0$;
 $0,5\%Mn$ (anti-grafitizante) ;
- Alta veloc. resfriamento => Carb. solidifica sob a forma de cementita;
- A extrema dureza e fragilidade da cementita caracterizam este ff;
- Em peças de maior tamanho pode obter-se ff branco à superfície e ff cinzento no núcleo.



Ferro Fundido Branco

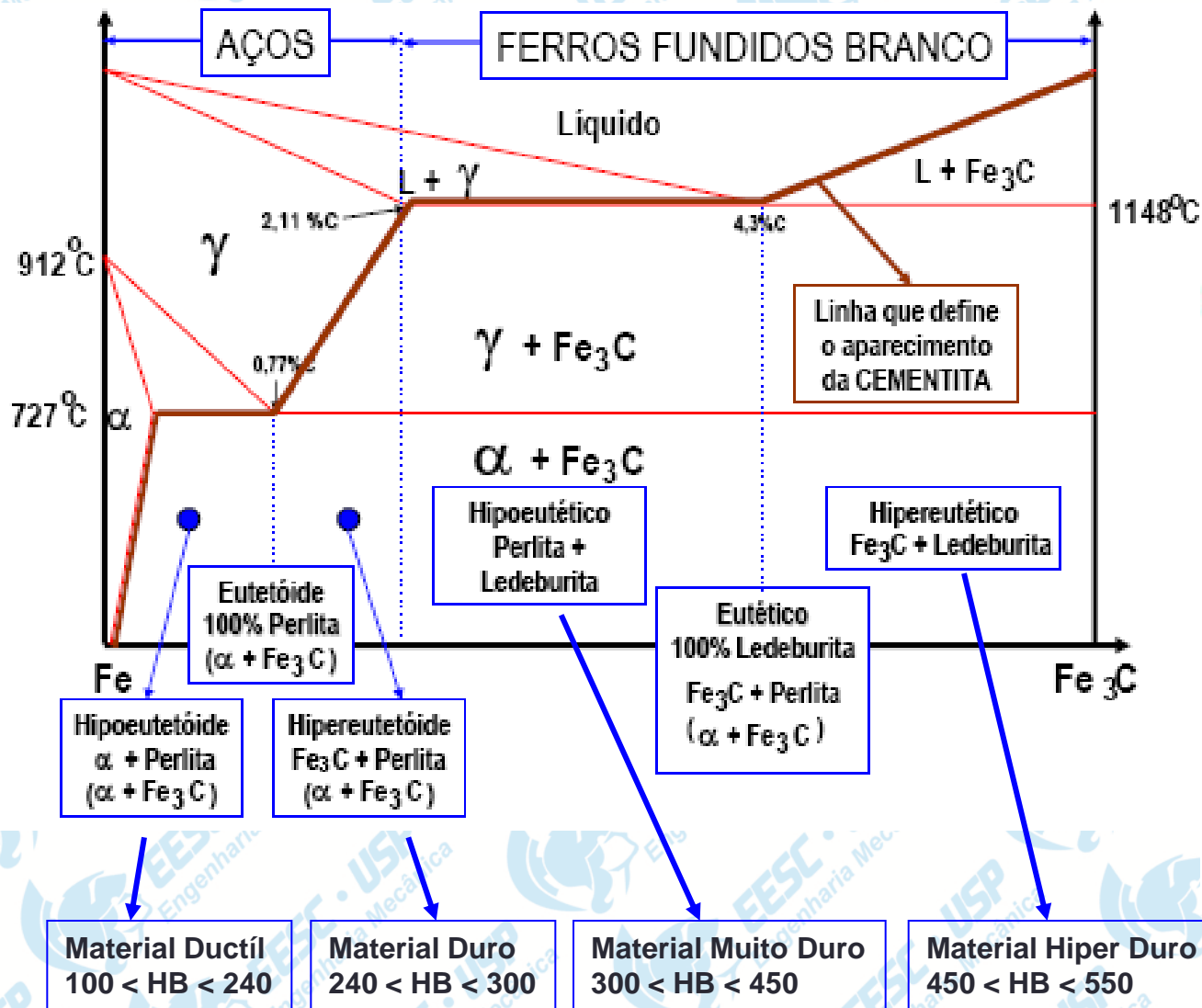
PROPRIEDADES

- Grande resist. à compressão e ao desgaste (cementita);
- Extremamente frágil;
- Não pode ser usinado;
- Soldagem impossível;
- Baixo custo.

APLICAÇÕES

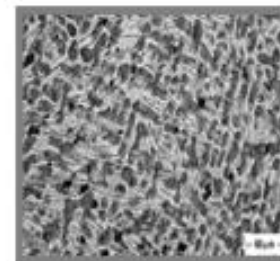
- Principal aplicação é a produção de ferro fundido maleável;
- Peças sujeitas a elevada compressão e atrito;
- Esferas de moinhos e rolos de laminadores;
- Elevada taxa de resfriamento necessária limita o tamanho das peças.

Ferro Fundido Branco

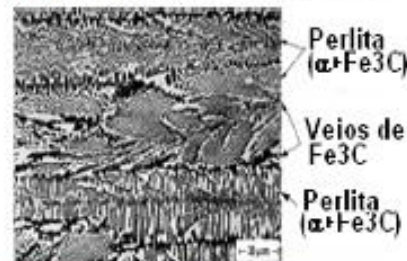


FoFo Branco Hipoeutético

Dentritas de Perlita com Contorno Ledeburítico

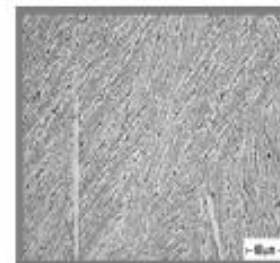


FoFo Branco Eutético 100% Ledeburítico



FoFo Branco Hipereutético

Agulhas de Cementita com Contorno Ledeburítico

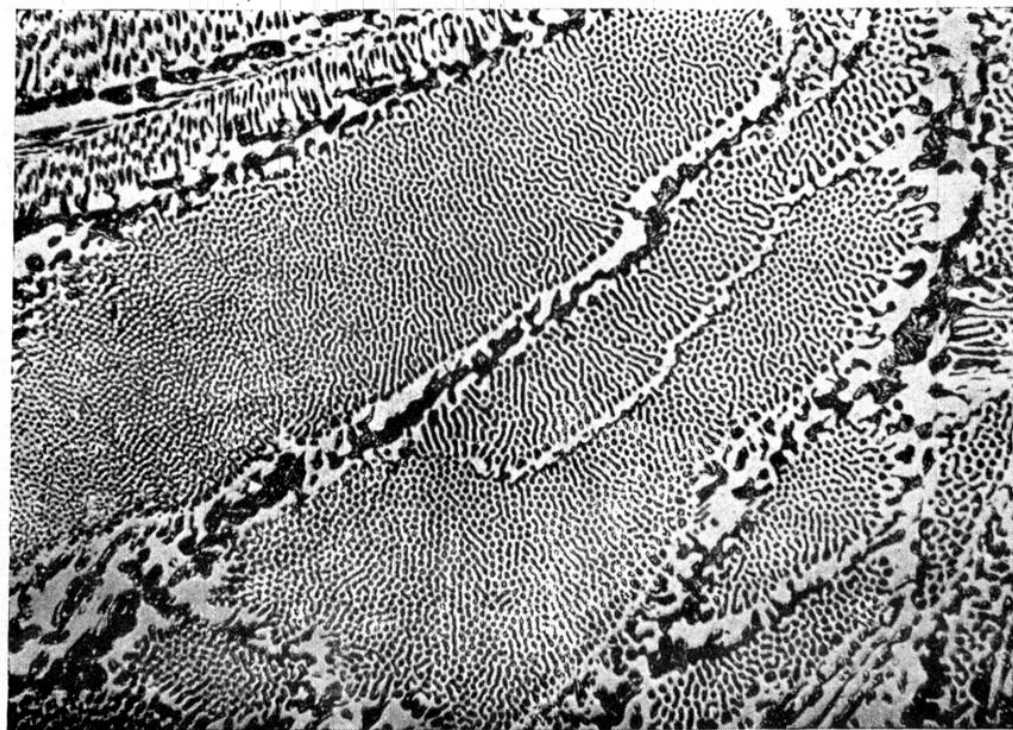


Para condições normais
de solidificação

Ferro Fundido Branco eutético

Abaixo de 727°C a microestrutura da **Ledeburita**: Fundo de cementita, com 6,67 % de C (Fe_3C) e cristais dendríticos (forma de glóbulos) de austenita contendo 2,11% de C.

Na solidificação esta austenita perderá carbono e na temperatura da linha “solidus” 727°C se transformará em perlita (com 0,77% C).



Glóbulos de perlita sobre um fundo de cementita.

- Durante seu **resfriamento** a liga começa a se solidificar formando cristais de **austenita**. Continuando o resfriamento e atingindo **1130° C**, tem-se austenita com **2,0% de C** e um líquido com composição eutética
- **Abaixo de 1130° C**, esse líquido transforma-se no eutético **ledeburita**
- **Abaixo de 727°C** a austenita isolada se transforma em **perlita** e à temperatura ambiente a microestrutura será : **cristais de perlita envolvidos por ledeburita**

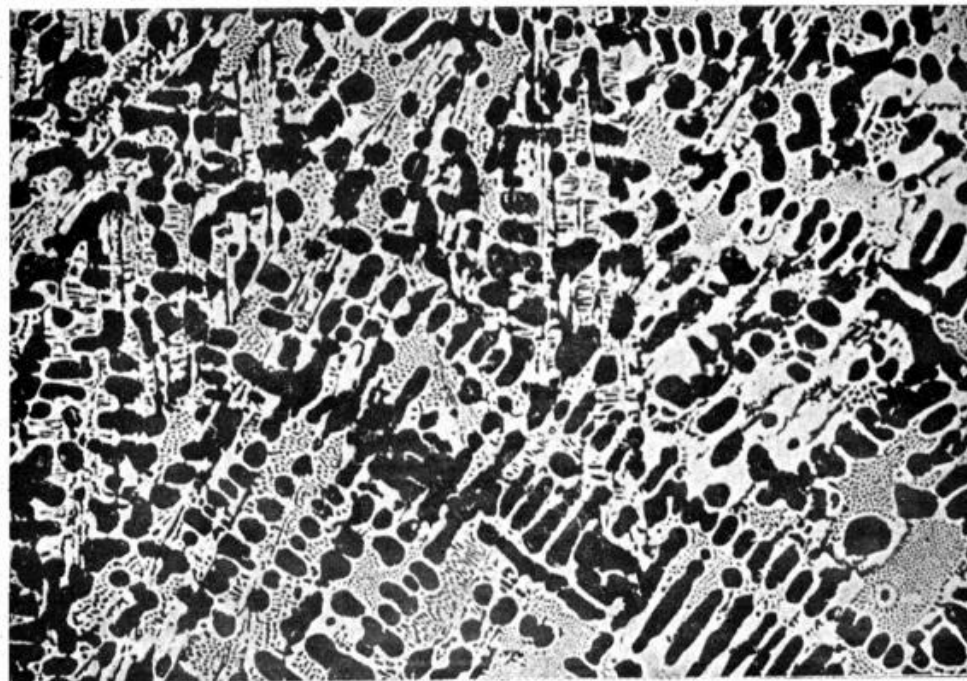
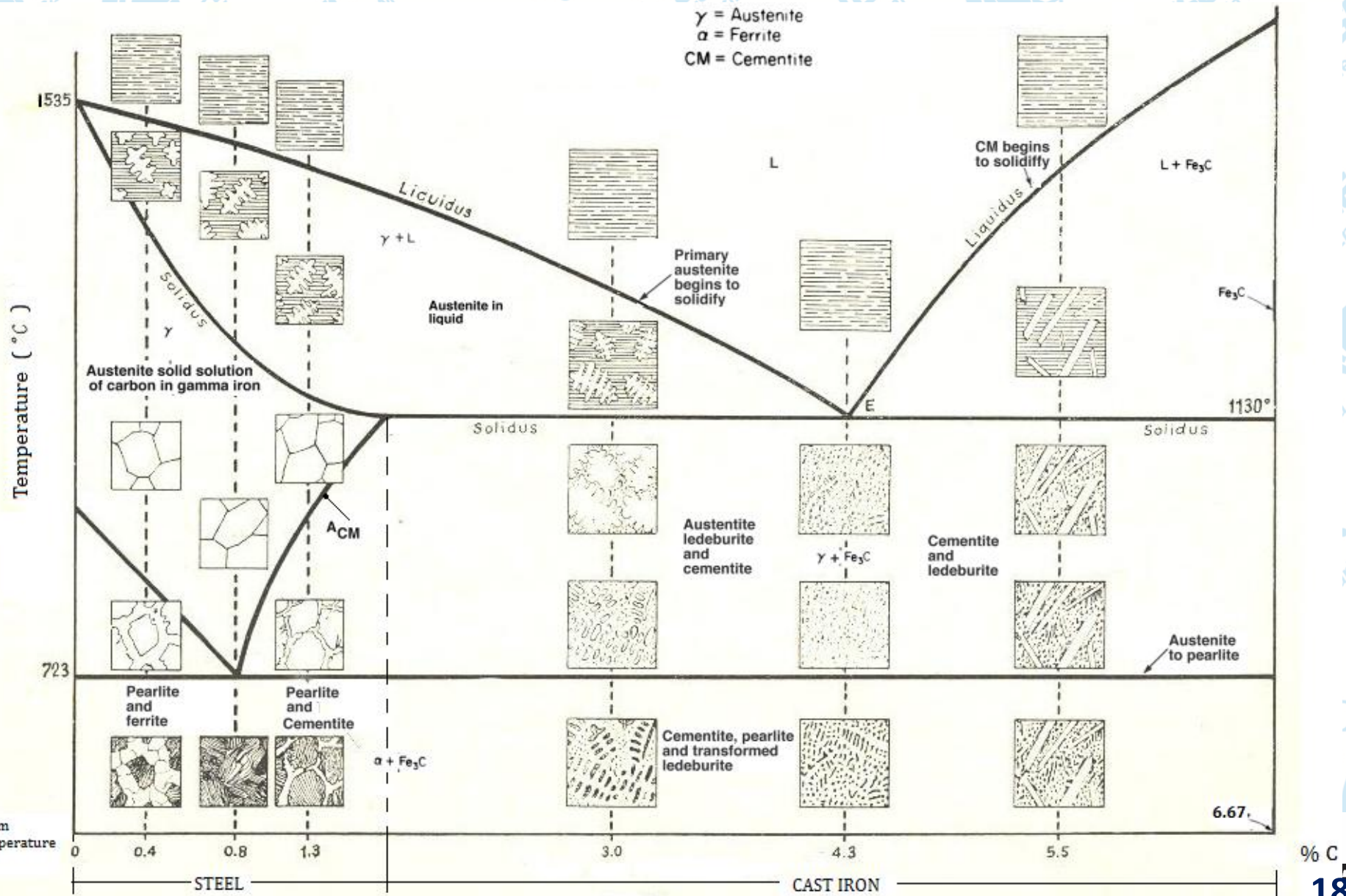


Fig. 523 — Ferro fundido branco hipoeutético. Dendritas de perlita, áreas pontilhadas de ledeburita, áreas brancas de cementita. Ataque: nítrico. 100 x.

Diagrama Fe-C – FoFo Branco



Branco hipereutético - 5,5% de C

- Durante seu **resfriamento** a liga começa a se solidificar formando **cristais de cementita**. Continuando o resfriamento até **1130° C** tem-se cristais alongados de **cementita e líquido de composição eutética**.
- **Abaixo de 1130° C** esse líquido transforma-se em **ledeburita**, mas não ocorre **nenhuma transformação com a cementita**.
- Assim a microestrutura será formada por **cristais de cementita sobre um fundo de ledeburita**.



Fig. 528 — Ferro fundido branco hipereutético. Longos cristais de cementita sobre um fundo de ledeburita. Ataque: pícrico. 150 x.

- Esta liga **Fe-C-Si**, pela sua **fácil fusão e moldagem**, excelente **usinabilidade**, **resistência mecânica satisfatória**, **boa resistência ao desgaste** e **boa capacidade de amortecimento**, é dentre os ferros fundidos os mais usados.
- **É caracterizado pelos fatores que favorecem a formação da grafita**
 - A fratura é de cor cinzenta
 - É barato
 - É o mais usado
 - É de boa resistência Mecânica (até 40 Kgf/mm^2) e ao desgaste
 - É de fácil usinagem e difícil soldagem
 - É obtido pelo resfriamento lento



Audi V8 direct-injection diesel engine.

Ferro fundido cinzento - Aplicações

- Ferro fundido mais usado (75%);
- Fundição de componentes mecânicos em geral;
- Blocos de motores;
- Engrenagens de grandes dimensões;
- Máquinas agrícolas;
- Carcaças e suportes de máquinas



Ferro fundido cinzento

**Alto teor de Si
melhora**

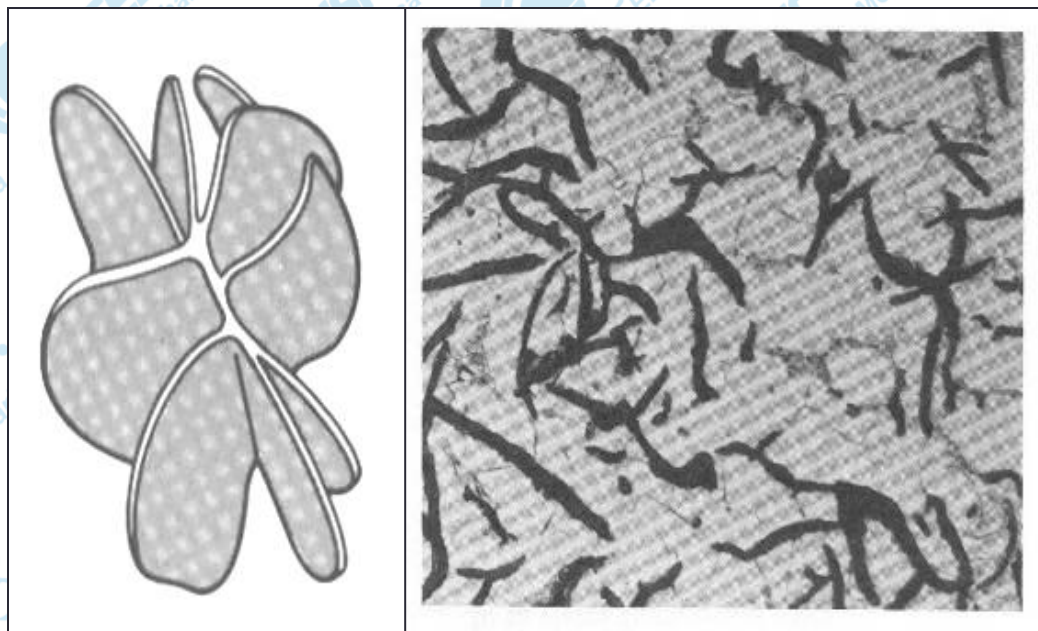
Composição típica

C →	2,5-4%
Si →	1-3%
Mn →	0,4 -1%

- Resistência à corrosão
- Fluidez

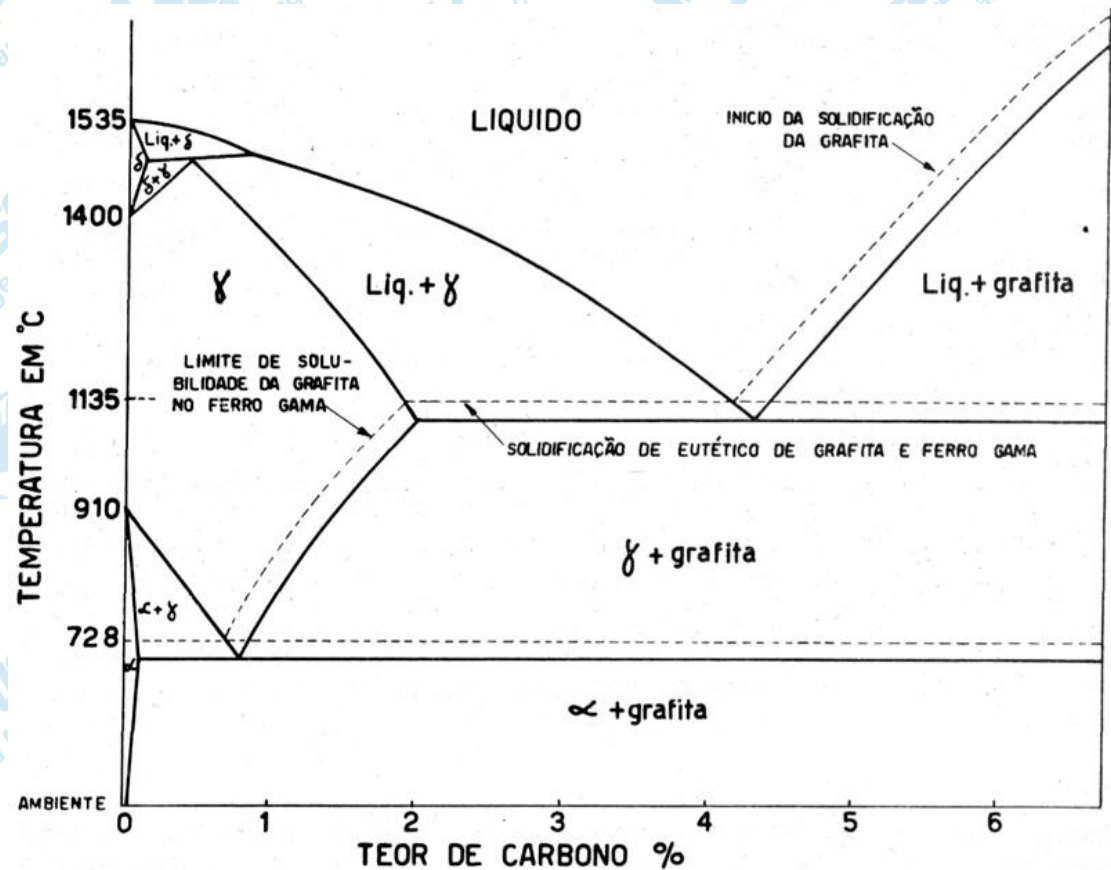
Estrutura

- Grafita lamelar devido ao C livre na matriz de ferrita, perlita ou outra estrutura proveniente da austenita.



Ferro fundido cinzento

- Nos ferros fundidos cinzentos, o teor de silício está acima de 1%, o que leva a algumas alterações no diagrama Fe-C
- Uma das alterações é o deslocamento do eutético para a esquerda (uma diminuição da porcentagem de carbono do eutético) na proporção de 0,3% de C para cada 1% de silício
- O estudo da liga Fe-C-Si deveria ser apoiado em um diagrama ternário, mas como é muito complexo, utiliza-se o diagrama binário com carbono equivalente



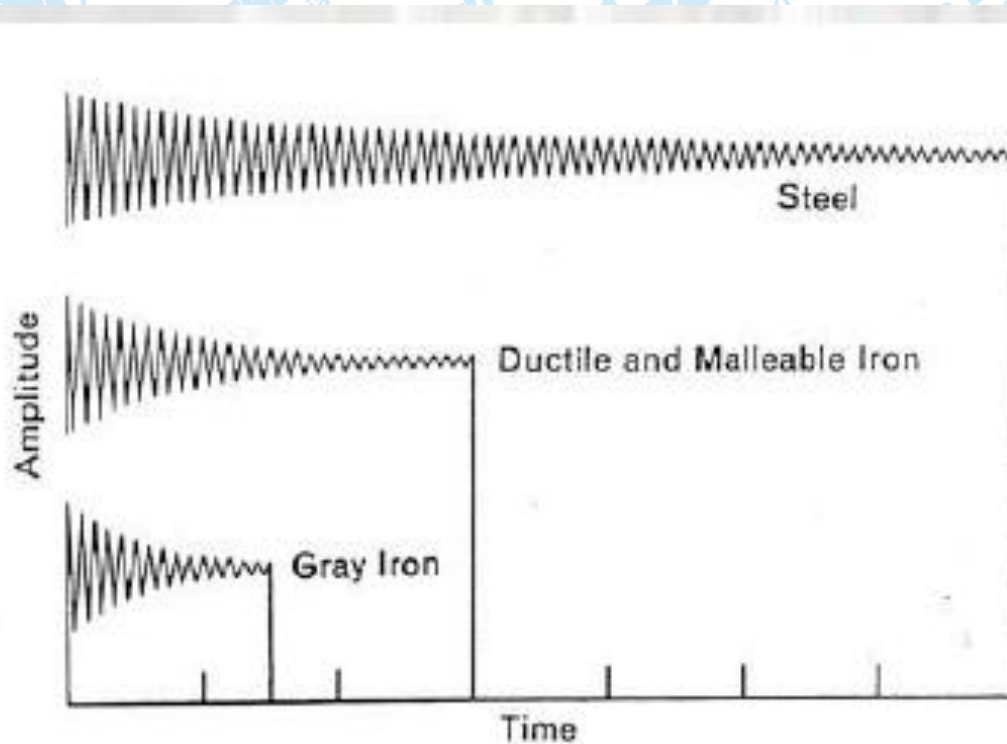
$$CE = (\%C) + 1/3(\%Si + \%P)$$

Ex.: 3,6% C e 2,3% Si

Ferro fundido cinzento

Elevado coeficiente de amortecimento (os veios de grafita absorvem o impacto e o som)

A grafita apresenta baixa resistência mecânica, ou seja, age como vazios na estrutura do material.



Base para máquinas-ferramentas

FF cinzento

- Grafita em flocos
- Frágil sob tensão trativa
- Resistência sob compressão
- Resistência ao desgaste
- Excelente absorção de vibrações

Ferro fundido cinzento hipoeutético

- A solidificação de um ferro fundido cinzento hipoeutético **inicia-se com a nucleação de dendritas de austenita**

- Conforme a **temperatura decresce**, o **crescimento das dendritas de austenita continua**, havendo um **enriquecimento progressivo de carbono** no líquido remanescente. Quando o sistema atinge a temperatura do eutético estável seu carbono equivalente é igual ao do eutético e **ocorre uma separação entre austenita e grafita**. Cada agregado de austenita e **grafita é chamado célula ou grão eutético**



- Abaixo da temperatura de solidificação tem-se dendritas de austenita formando uma matriz em que estão distribuídas **lamelas de grafita**
- Ao ultrapassar a linha do eutetóide a austenita remanescente **transforma-se em perlita** e a estrutura é constituída de perlita com lamelas de grafita

Ferro fundido cinzento eutético - steadita

- Pode ocorrer a **formação de um eutético rico em fósforo chamado steadita**, de ponto de fusão mais baixo que o de austenita e o de grafita, quando o ferro fundido possui teores apreciáveis desse elemento.

- Durante a **solidificação, o fósforo e outras impurezas são segregadas para o líquido** que se solidifica no contorno das **células eutéticas**



Ferro fundido cinzento hipereutético

Nos ferros fundidos cinzentos hipereutéticos a primeira fase a precipitar é a grafita hipereutética na forma de lamelas longas, retas e ramificadas.

- O processo de solidificação que se segue é semelhante ao dos hipoeutéticos com formação de células eutéticas.

- A grafita hipereutética pode ser facilmente distinguida com a grafita da transformação eutética por possuir lamelas mais grossas e retilíneas

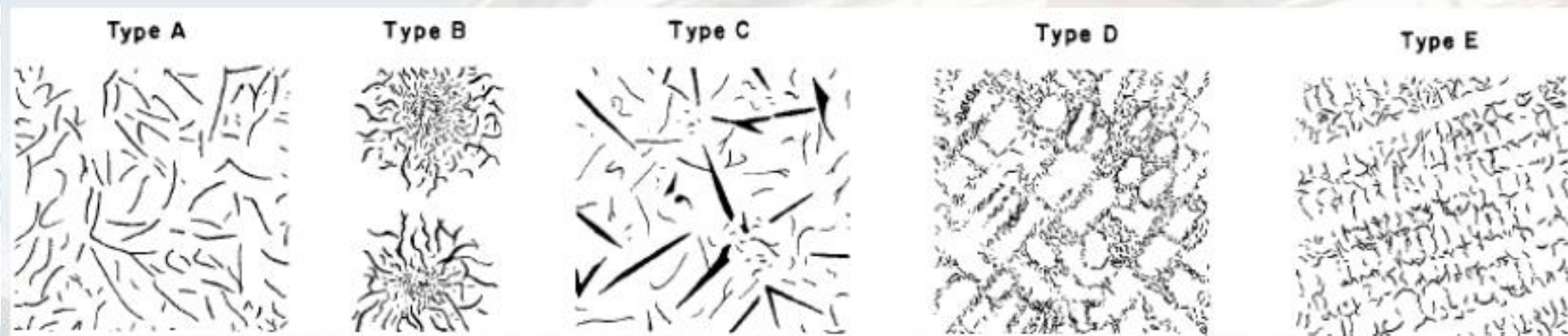


Aspectos da grafita

As lamelas de grafita podem ser grossas ou finas, diferenciando-se também quanto à forma e tamanho. Essas alterações originam-se do processo de solidificação do eutético e das variáveis do processo

- **Composição química:** os elementos de liga podem influenciar tanto a velocidade de nucleação como a de crescimento. De modo geral, quando a velocidade de crescimento é reduzida, ocorre uma redução da ramificação do esqueleto da grafita, conduzindo a um engrossamento da grafita da célula eutética
- **Velocidade de esfriamento:** velocidades altas produzem veios finos com distribuição dendrítica; velocidades médias produzem distribuição e tamanho normais e velocidades lentas, veios grossos de grafita

Tipos de grafita nos ferros fundidos cinzentos



Propriedades mecânicas dos ferros fundidos cinzentos:

ASTM A 48 class	Resistência à tração		Resistência à torção		Resistência à compressão		Limite de fadiga em dobramento		dureza (HB)
	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	
20	152	22	179	26	572	83	69	10	156
25	179	26	220	32	669	97	79	11.5	174
30	214	31	276	40	752	109	97	14	210
35	252	36.5	334	48.5	855	124	110	16	212
40	293	42.5	393	57	965	140	128	18.5	235
50	362	52.5	503	73	1130	164	148	21.5	262
60	431	62.5	610	88.5	1293	187.5	169	24.5	302

MICROESTRUTURA

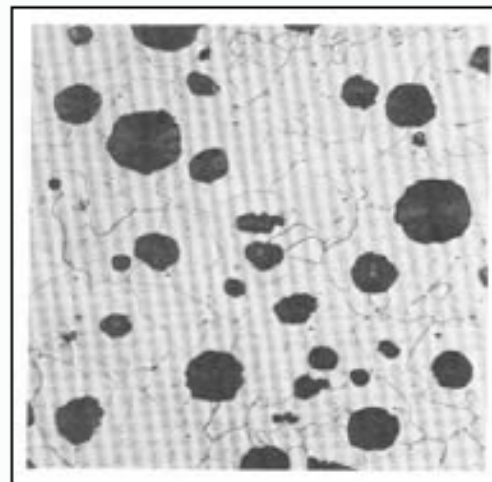
- $3,5 \leq \%C \leq 4,0$; $1,8 \leq \%Si \leq 3,0$
- Pequenas adições de Mg
- Em vez de flocos formam-se nódulos
- A matriz é ferrítica (veloc. baixa) ou perlítica (veloc. moderada)
- Grafite em nódulos origina maior resistência, ductilidade e tenacidade

PROPRIEDADES

- Melhor resistência, tenacidade e ductilidade
- Excelente maquinabilidade
- Possibilidade de deformação a quente
- Grande resistência ao desgaste
- Boa fluidez
- Soldabilidade melhorada
- Baixo custo (superior ao FF cinzento)

APLICAÇÕES

- Engrenagens
- Cambotas
- Juntas universais
- Válvulas
- Componentes sujeitos a desgaste



FF ductil/nodular

- Melhores propriedades mecânicas (ductilidade e resistência mecânica) dentre os ferros fundidos

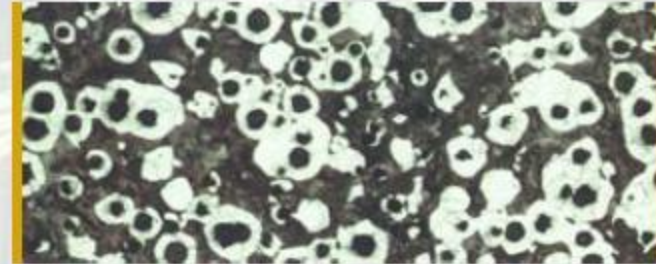
- Microestruturas:

GN + ferrita

GN + perlita

GN + ferrita/perlit →

GN + austenita/ferrita (ADI)



- Algumas aplicações: tubos centrifugados para saneamento válvulas para vapor e produtos químicos, cilindros para papel, virabrequins, engrenagens, etc.

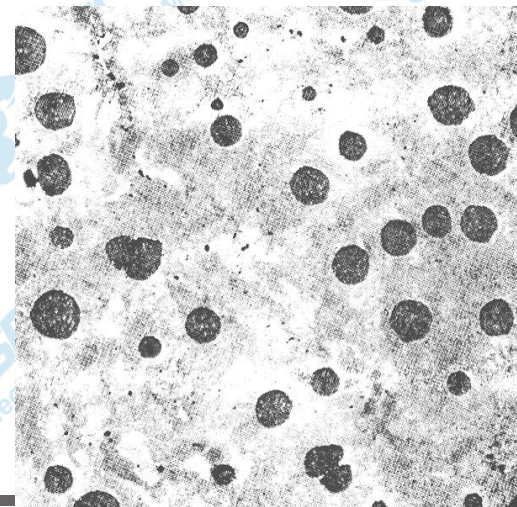
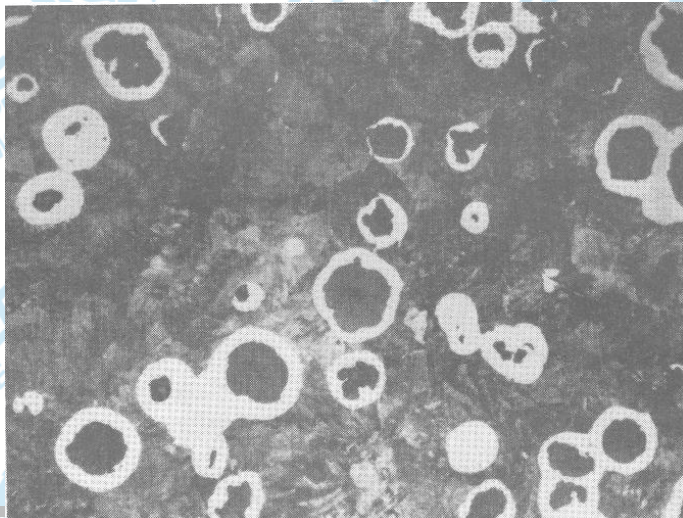


Ferros Fundidos Nodulares

As boas propriedades dos ferros fundidos dúcteis ou nodulares devem-se à presença de **nódulos esféricos de grafita na sua microestrutura**, que geralmente no caso dos ferros não ligados, são compostas da seguinte forma: “nódulos esféricos de grafita rodeados por ferrita numa matriz de perlita, conforme mostram as figuras abaixo.

A microestrutura do ferro fundido nodular é **obtida através da adição de uma pequena quantidade de magnésio e/ou cério antes da fundição**

Impurezas, tais como o “P” e o “S”, dentre outras, devem ser **mantidas em níveis muito baixos**, uma vez que interferem com a formação dos nódulos de grafita nos ferros fundidos dúcteis, os quais formam-se durante a solidificação..



Ferros Fundidos Nodulares – Sequência de solidificação

✓ Hipoeutéticos: Inicia-se a formação de dendritas de austenita. À medida que a temperatura diminui, o líquido residual torna-se mais rico em carbono e silício. Abaixo da temperatura do eutético estável começam a se formar nódulos de grafita no líquido residual rico em carbono e silício que são posteriormente envolvidos em um envólucro de austenita

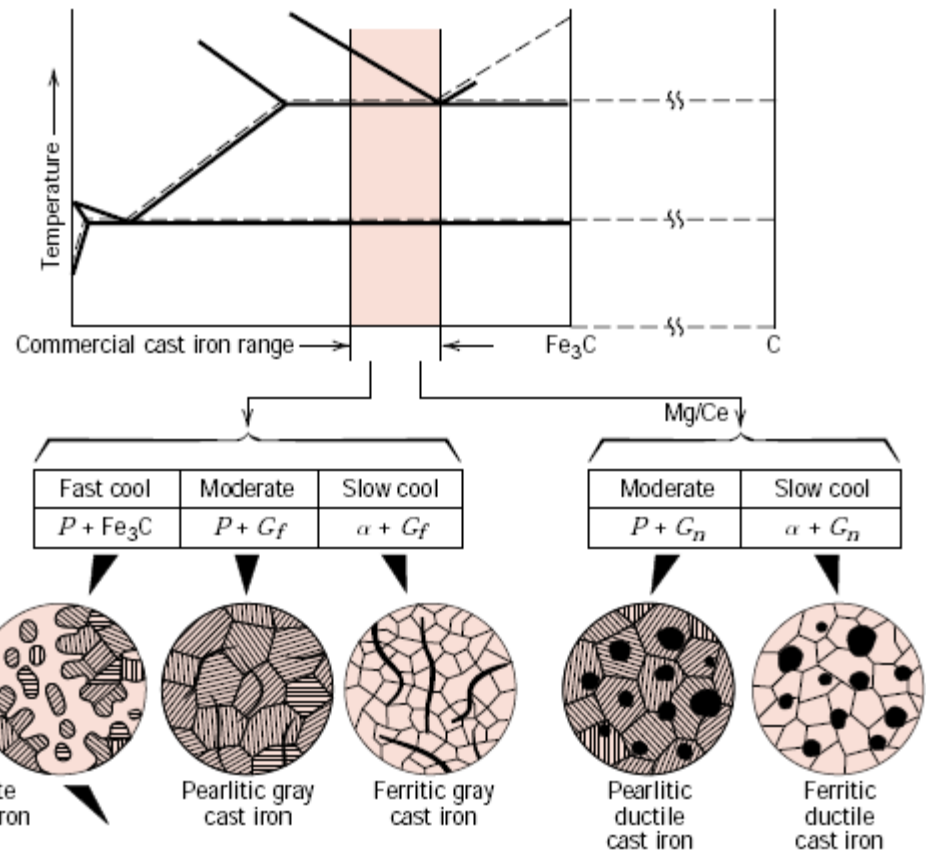
✓ Hipereutéticos: a grafita é fase primária, a grafita nodular precipita-se. À medida que a temperatura diminui, o líquido residual tem sua composição cada vez mais próxima da eutética. Abaixo da temperatura do eutético estável começam a se formar mais nódulos de grafita que são posteriormente envolvidos por austenita.



Ferros Fundidos Nodulares e Cinzentos- matrizes

• A **variação de composição** química e do tratamento térmico dos ferros fundidos cinzentos e nodulares **alteram a matriz que circunda as partículas de grafita em lamelas ou nódulos respectivamente**

• A **formação de uma matriz de ferrita é facilitada quanto menor for a velocidade de esfriamento da peça**, maior a quantidade de grafita, maior a ramificação do esqueleto da grafita lamelar ou mais elevado número de nódulos e maior a quantidade de silício

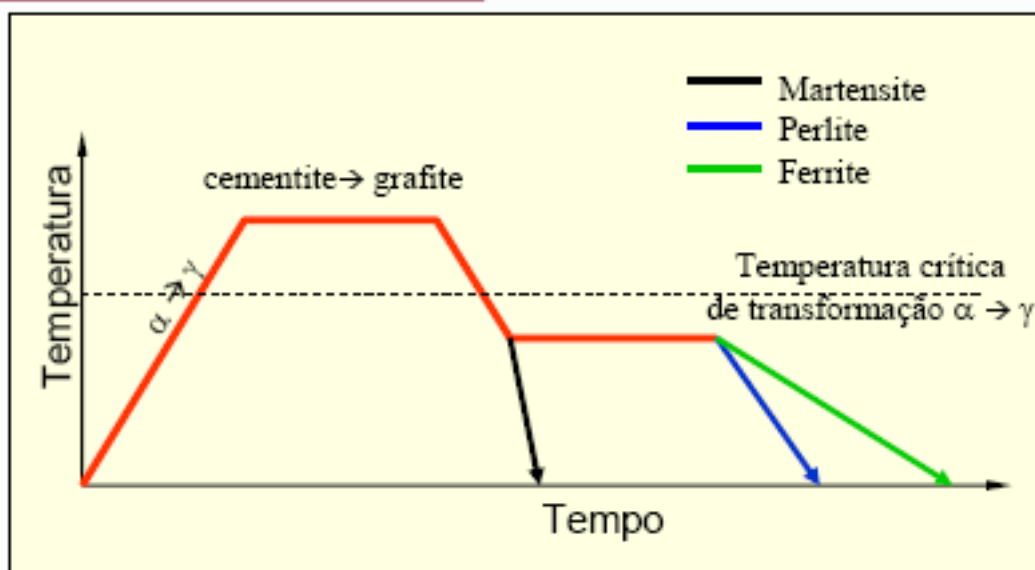


MICROESTRUTURA

- % elementos constituintes idênticas ao ferro fundido branco
- Obtido a partir do FF branco por tratamento térmico de maleabilização
- A microestrutura obtida resulta da decomposição da cementite em rosetas de grafite, numa matriz de ferrite, perlite ou martensite

PROPRIEDADES

- Variando a taxa de arrefecimento, pode obter-se um largo espectro de propriedades
- Grande resistência à corrosão
- Boa maquinabilidade e vazabilidade
- Propriedades semelhantes ao FF dúctil
- Elevada resistência, tenacidade e ductilidade

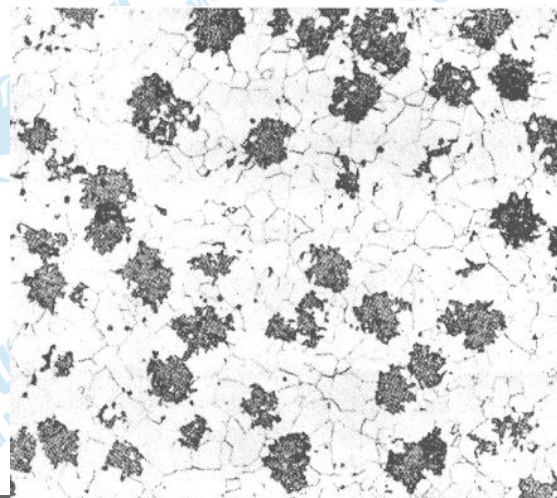


Ferros Fundidos Maleáveis

Os ferros fundidos maleáveis são **obtidos a partir do ferro fundido branco**, quando submetidos a um tratamento térmico de grafitização (**aprox. 940°C**), quando os carbonetos de ferro transformam-se em grafita (nódulos de carbono revenido).

O modo de resfriamento após o tempo de encharque para grafitização é que determinará a matriz da microestrutura formada por nódulos de carbono revenido, como segue:

Na figura ao lado **vemos nódulos de grafita (carbono revenido)** numa matriz ferrítica. Neste caso ocorreu completa **grafitização**.



FERROS FUNDIDOS

Ferro fundido cinzento →



perlítico →



ferrítico →



Ferro fundido nodular →

perlítico →



ferrítico →



Ferro fundido branco →



Ferro fundido maleável →

perlítico →



ferrítico →



Ferro fundido Branco x Ferro fundido cinzento

- Possui o carbono não dissolvido precipitado na forma de carbonetos.
- Microestruturas:
 - Ledeburita + perlita + cementita
 - Ledeburita
 - Ledeburita + cementita
- Elevadas dureza e resistência ao desgaste, que podem ser melhoradas pela adição de elementos como Cr e Mo.
- Muito baixas tenacidade e ductilidade.

- Praticamente todo o carbono não dissolvido na austenita ou ferrita se precipita na forma de grafita em veios ou lamelar. Isso só acontece se o ferro fundido tiver adições de 1% a 3% Si e se for resfriado de forma “lenta” no molde de fundição

- Microestruturas:

- grafita + ferrita
- grafita + perlita
- grafita + ferrita/perlita
- Material “fácil de se fundir”
- Boa usinabilidade
- Baixa ductilidade e tenacidade, devido ao efeito de entalhe da grafita em veios
- Resistência à tração entre 28kgf/mm² e 42 kgf/mm². Resistência à compressão 3X maior.
- Boa capacidade de amortecimento.



Ferros Fundidos - Influência de Elementos de Liga

Níquel: atua como **grafitizante**, aumentando a faixa entre a temperatura do eutético estável e do metaestável. Como perlitzante o efeito não é muito pronunciado. Adições de aproximadamente 5% não são suficientes para obtenção de matriz totalmente perlítica

- **Cobre:** é um **grafitizante** como o níquel e um promovedor da formação de **perlita**. Aumenta significativamente as propriedades mecânicas pela formação de perlita e também do endurecimento da ferrita

- **Estanho:** possui um comportamento muito acentuado o que permite **propriedades mecânicas bem elevadas**. Teores de 0,2% Sn possibilitam matriz totalmente perlítica em uma peça de 200 mm de diâmetro de ferro fundido nodular

- **Molibdênio:** provoca uma grande **aumento de resistência** quando adicionado aos ferros fundidos nodulares diminuindo a ductilidade. Um inconveniente é a forte tendência à formação de carbonetos em secções mais finas

- **Vanádio e cromo:** são fortes formadores de **carbonetos**. São utilizados quando se necessita alta resistência à abrasão, mas em que a ductilidade e

resistência ao impacto não precisam ser altas

Ferro Fundido Cinzento

Tipo: FC1	FERRÍTICO/PERLÍTICO	CLASSE: 15
------------------	----------------------------	-------------------

Características / Aplicações

Uso geral em aplicações com reduzida solicitação mecânica, componente estruturais e/ou estatísticos de máquinas ou construções mecânicas/civis: carcaças, tampas, bases, contrapesos, calços, grelhas para sistema de saneamento.

Normas Similares

ABNT NBR 6589	SAE J431b	ASTM A 48 CL	DIN 1691
FC 100/150	G 1800	20/25	GG 15
FC 200/250	G 2500	30/35	

Composição Química de Referência

Carbono (C)	Manganês (Mn)	Silício (Si)	Fósforo (P)	Enxofre (S)
3,20	0,50	2,00	0,08	0,04
3,80	0,90	2,80	Máximo	Máximo

Propriedades Mecânicas Alcançadas no Estado Bruto de Fundição

Limite de Resistência	Dureza Brinell
(LR)	(HB)
15 Kgf/mm² (Mínimo)	130 a 200

Tratamento Térmico

Alívio de Tensões

Soldagem

Inadequada

Observações Gerais

A composição química pode variar em função da geometria/espessura da peça.

Ferro Fundido Nodular

Tipo: FN 1	FERRÍTICO	CLASSE: 40		
Características / Aplicações				
Componentes mecânicos submetidos a cargas moderadas e que exijam boa ductibilidade e usinabilidade. Indicado para serviços em altas temperaturas: grelhas, cubos de rodas, tambores.				
Normas Similares				
ABNT NBR 6916 FE 38017 FE 42012	SAE J434b 4018	ASTM A 536 Gr 60-40-18	DIN 1693 GGG 40	
Composição Química de Referência				
Carbono (C)	Manganês (Mn)	Silício (Si)	Fósforo (P)	Enxofre (S)
3,45 3,80	0,05 0,40	2,20 3,35	0,08 Máximo	0,04 Máximo
Propriedades Mecânicas Alcançadas no Estado Normalizado				
Limite de Resistência	Limite de Escoamento	Alongamento	Dureza Brinell	
(LR)	(LE)	(A)	(HB)	
40 Kgf/mm ² (Mínimo)	25 Kgf/mm ² (Mínimo)	15% (Mínimo)	140 a 210	
Tratamento Térmico				
Recozimento				
Soldagem				
Inadequada				
Observações Gerais				
A composição química e a dureza podem variar em função da geometria/espessura da peça.				

Ferro Fundido Branco Especial

Tipo: NH/II	RESISTENTE A ABRASÃO / BAIXO IMPACTO	CLASSE: NI-HARD
--------------------	---	------------------------

Características / Aplicações

Peças sujeitas ao desgaste por abrasão com baixo impacto. Material de elevada dureza, conseqüentemente, de difícil usinabilidade: grelhas, chapas de desgaste, revestimento de moinhos, anéis de moagem, fusos transportadores de minérios, calhas de escoamento, etc.

Normas Similares

ASTM A 532 CLASSE I
TIPO A
TIPO B

Composição Química de Referência

Carbono (C)	Manganês (Mn)	Silício (Si)	Fósforo (P)	Enxofre (S)	Cromo (Cr)	Níquel (Ni)	Molibdênio (Mo)
2,50 3,60	1,30 Máximo	0,80 Máximo	0,10 Máximo	0,15 Máximo	1,40 4,00	3,30 5,00	1,00 Máximo

Propriedades Mecânicas Alcançadas no Estado Bruto de Fundição

Dureza Brinell
450 a 600 HB

Tratamento Térmico

Sem Tratamento

Alívio de Tensões

Soldagem

Inadequada

Observações Gerais

Dureza a ser medida pelo método Rockwell ou Vickers com valor convertido para dureza Brinell.

Faixa de dureza pode ser alterada em função da espessura da peça fundida.

Ferro Fundido Branco Especial

Tipo: FE	RESISTENTE A ABRASÃO	CLASSE: II-A						
Características / Aplicações								
Ferro fundido ligado ao cromo apresentando elevada dureza, de difícil usinabilidade, não resistente a impactos, com alta resistência a abrasão: rolos para moinho, chapa de desgaste.								
Normas Similares								
ASTM A 532 CLASSE II TIPO A								
Composição Química de Referência								
Carbono (C)	Manganês (Mn)	Silício (Si)	Fósforo (P)	Enxofre (S)	Cromo (Cr)	Níquel (Ni)	Molibdênio (Mo)	Cobre (Cu)
2,00 3,30	2,00 Máximo	1,50 Máximo	0,10 Máximo	0,06 Máximo	11,00 14,00	3,00 Máximo	3,05 Máximo	1,20 Máximo
Propriedades Mecânicas Alcançadas no Estado Revenido								
Dureza Brinell 450 a 600 HB								
Tratamento Térmico								
Alívio de Tensões				Normalização e Revenimento				
Soldagem								
Inadequada								
Observações Gerais								
Dureza a ser medida pelo método Rockwell ou Vickers com valor convertido para dureza Brinell ou diretamente pelo método Brinell.								

Ferro Fundido Branco Especial

Tipo: FE	RESISTENTE A ABRASÃO				CLASSE: III-A			
Características / Aplicações								
Ferro fundido ligado ao cromo apresentando elevada dureza, de difícil usinabilidade, não resistente a impactos, com alta resistência a abrasão: placas de revestimento, chapas de desgaste, blindagens, rolos e anéis para moagem.								
Normas Similares								
ASTM A 532 CLASSE III TIPO A								
Composição Química de Referência								
Carbono (C)	Manganês (Mn)	Silício (Si)	Fósforo (P)	Enxofre (S)	Cromo (Cr)	Níquel (Ni)	Molibdênio (Mo)	Cobre (Cu)
2,00 3,30	2,00 Máximo	1,50 Máximo	0,10 Máximo	0,06 Máximo	23,00 30,00	2,50 Máximo	3,00 Máximo	1,20 Máximo
Propriedades Mecânicas Alcançadas no Estado Revenido								
Dureza Brinell 450 a 600 HB								
Tratamento Térmico								
Alívio de Tensões				Normalização e Revenimento				
Soldagem								
Inadequada								
Observações Gerais								
Dureza a ser medida pelo método Rockwell ou Vickers com valor convertido para dureza Brinell ou diretamente pelo método Brinell.								

Tratamentos térmicos aplicáveis aos ferros fundidos nodulares:

- **Alívio de tensões** (550-590°C) → Não produz modificações microestruturais significativas, somente alívio de tensões por microdeformações plásticas. Alivia as tensões do processo de fundição.
- **Normalização** (900 – 950°C) → resfriamento ao ar. Produz uma matriz perlítica.
- **Recozimento ferritizante** → tratamento entre as temperaturas superior eutetóide e inferior eutetóide, podendo ou não ser precedido de uma etapa a 900-950°C. Este tratamento provoca a grafitização da perlita. A etapa de alta temperatura pode servir para dissolver carbonetos eventualmente existentes.
- **Têmpera e revenido**

Ferros Fundidos - Tratamentos Térmicos

O ciclo térmico para execução de têmpera basicamente é o seguinte:

- ✓ Aquecimento gradual (aprox. $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$) para minimizar tensões térmicas e/ou fissurações;
- ✓ Manutenção na temperatura de encharque (em torno de 25°C a 65°C acima da temperatura de transformação) durante 8 a 24 minutos por centímetro de espessura da seção da peça;
- ✓ Resfriamento em banho de óleo agitado até aproximadamente 150°C quando se deve iniciar o ciclo de revenido, conforme ilustra figura a seguir.

