

AÇOS INOXIDÁVEIS (Fe-Cr-(Ni))

- Ligas à base de Fe, com um mínimo de 11%Cr **em solução** para prevenir a corrosão
- Podem apresentar estrutura ferrítica, austenítica, martensítica, ou mista, consoante às % de elementos de liga e/ou trat. térmico
- O carbono está presente em teores de 0,03% (ferríticos e austeníticos) a até 1% (martensíticos)
- Grande resistência à corrosão e boa resistência mecânica



AÇOS INOXIDÁVEIS – Cr min. 11%

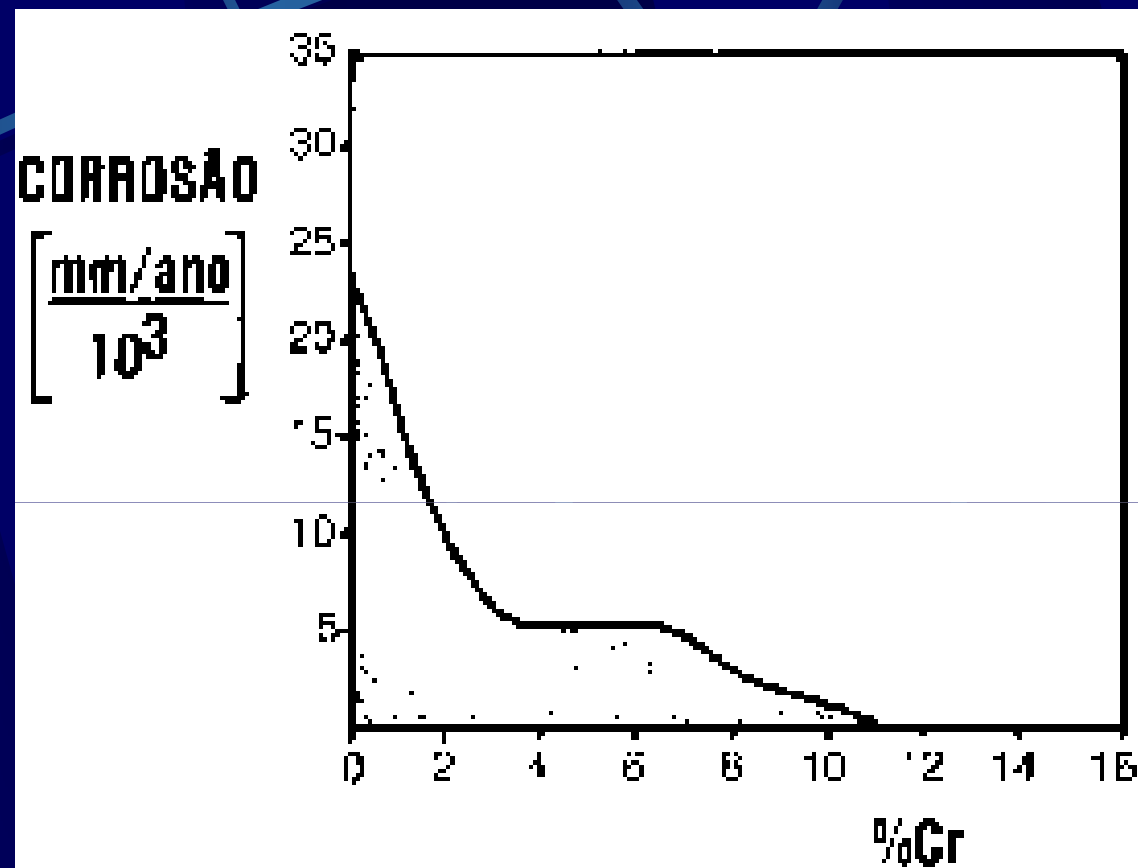
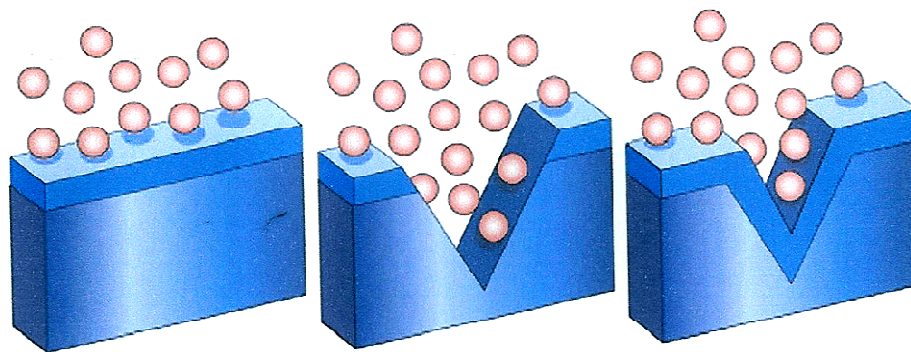


Figura 1 - Efeito do teor crescente de Cr na resistência à corrosão atmosférica de ligas Fe-Cr.

Principais atributos do aço inoxidável:

- resistência mecânica superior aos aços baixo carbono;
- facilidade de limpeza / baixa rugosidade superficial;
- material inerte: não modifica cor, sabor ou aroma dos alimentos;
- facilidade de conformação;
- facilidade de soldagem / união;
- mantém suas propriedades numa faixa muito ampla de temperatura, inclusive muito baixas (criogênicas);
- acabamentos superficiais variados;
- forte apelo visual (modernidade);
- relação custo / benefício favorável;
- baixo custo de manutenção;
- material 100% reciclável.

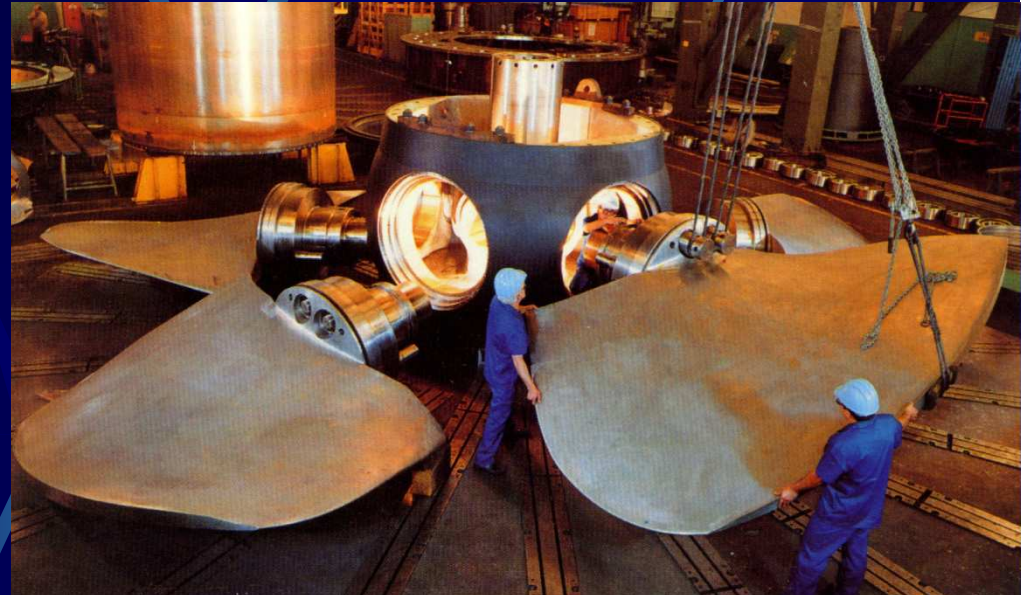




Componentes em aço Inoxidável



Componentes em aço Inoxidável





Componentes em aço Inoxidável



Componentes em aço Inoxidável

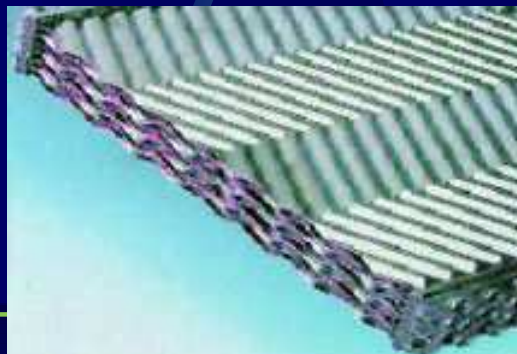
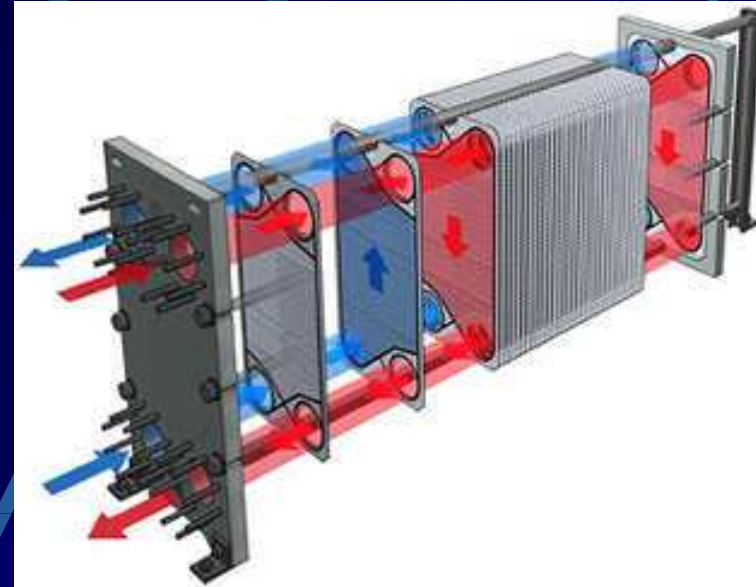




Componentes em aço Inoxidável



Componentes fabricados em aço Inoxidável



Componentes fabricados em aço Inoxidável



Componentes fabricados em aço Inoxidável



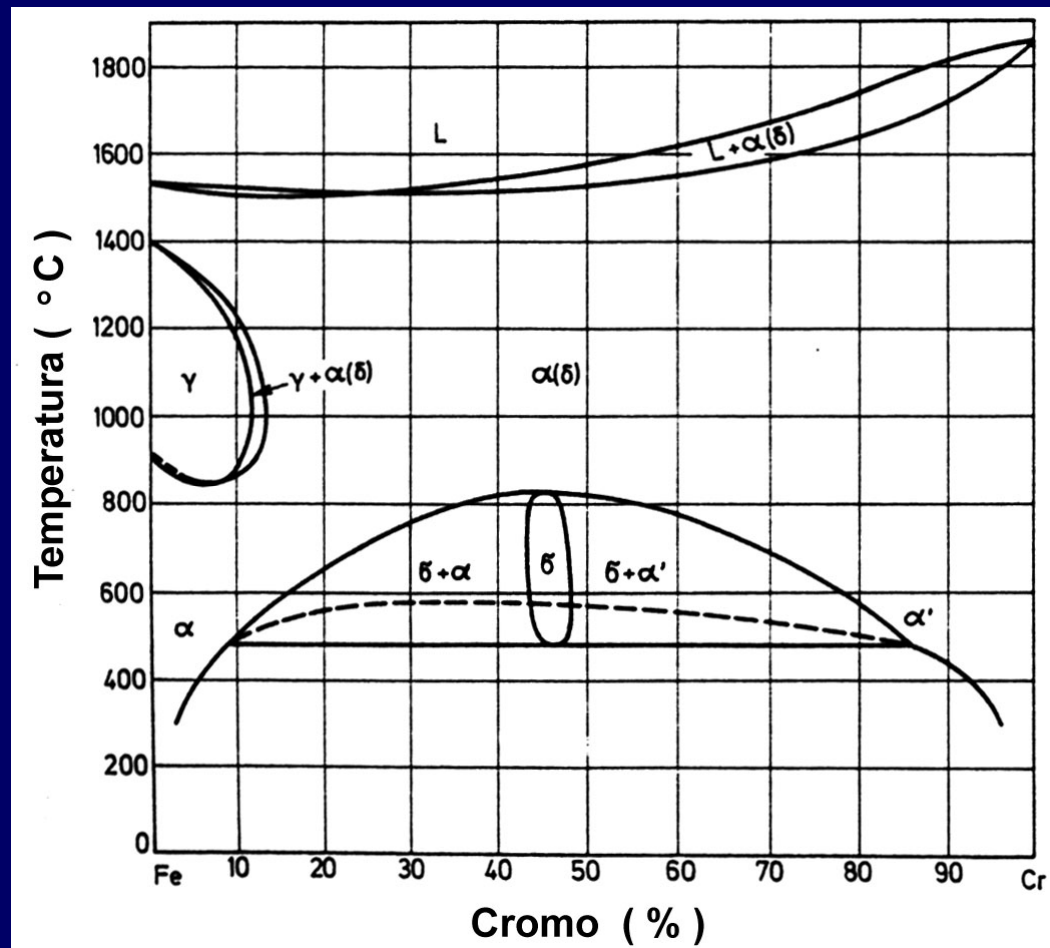
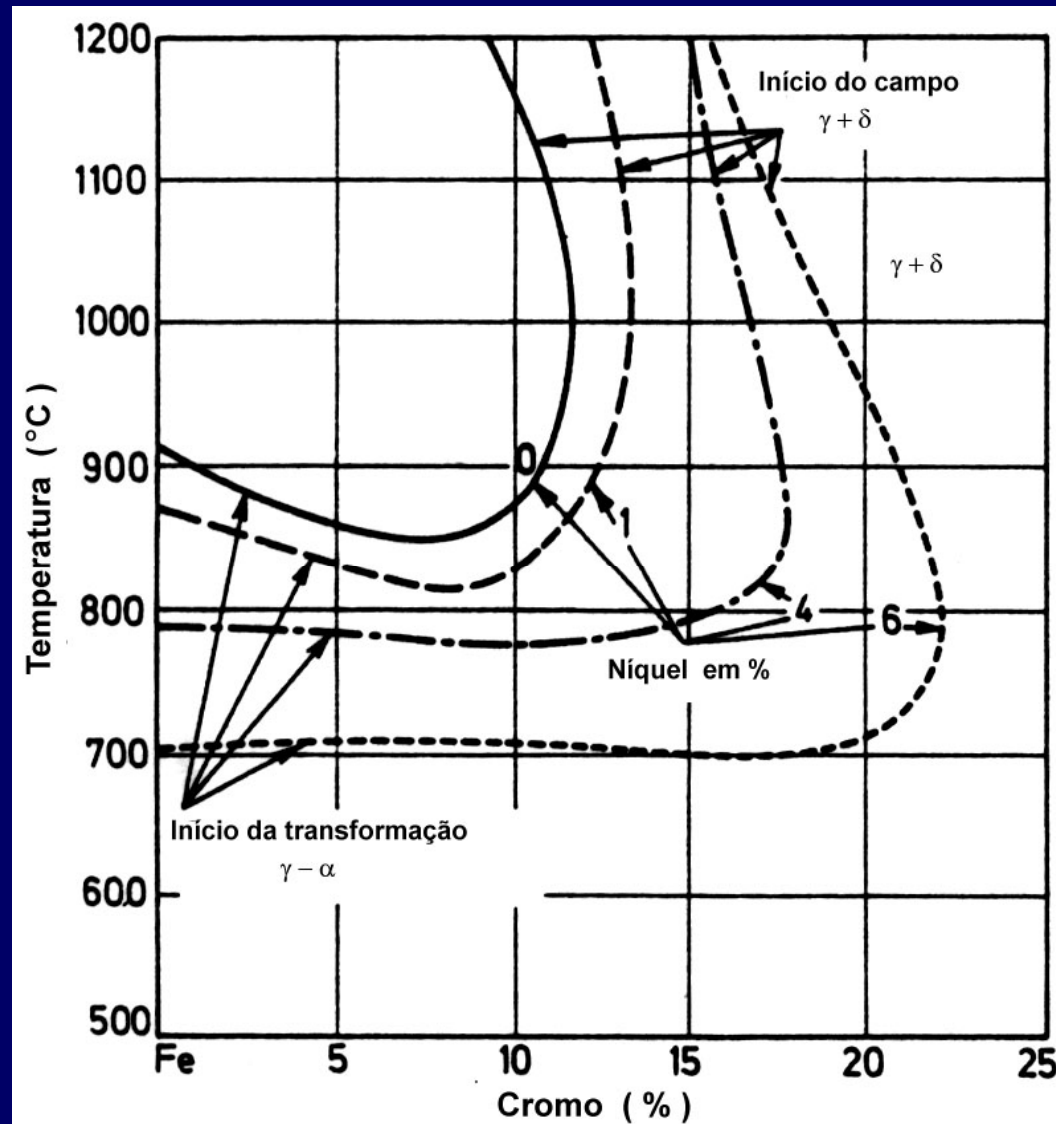


Diagrama de equilibrio Fe-Cr.



Efeito do teor de níquel sobre o campo austenítico do diagrama Fe-Cr (11).

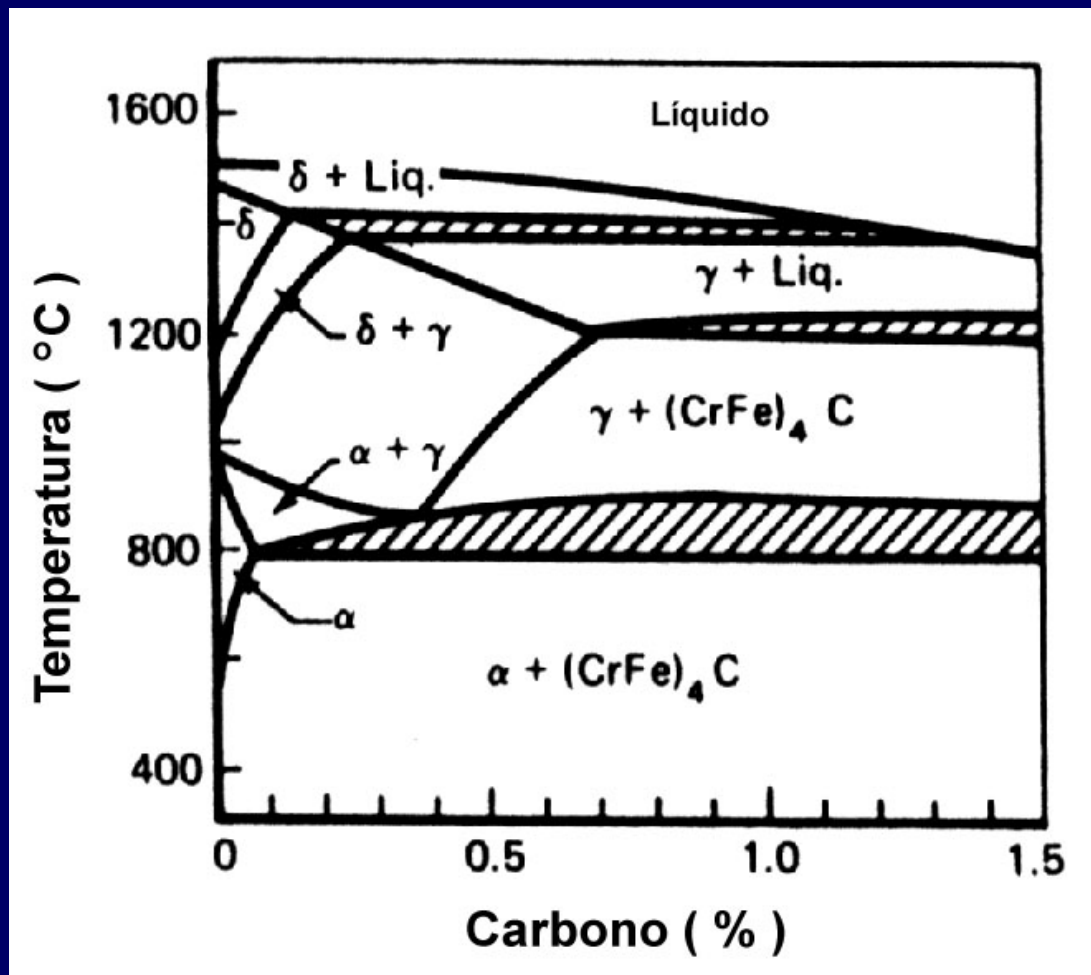
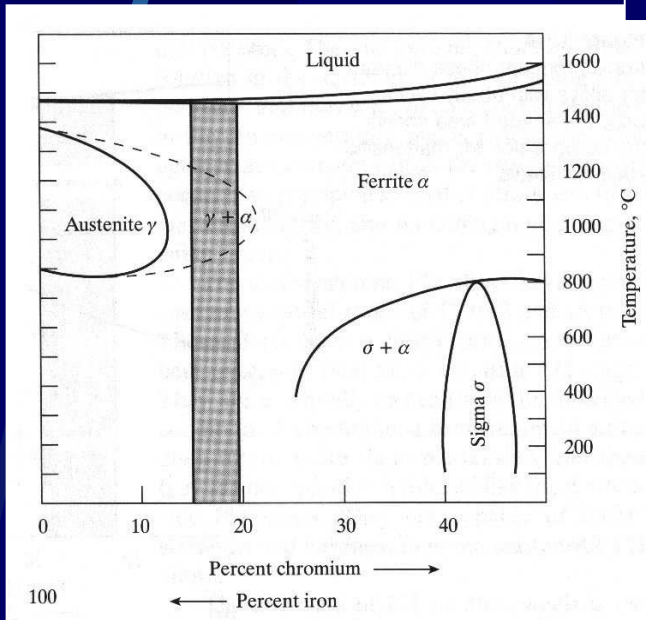


Diagrama de equilibrio Fe-C contendo 12% de cromo (3).

TIPOS BÁSICOS DE AÇOS INOXIDÁVEIS

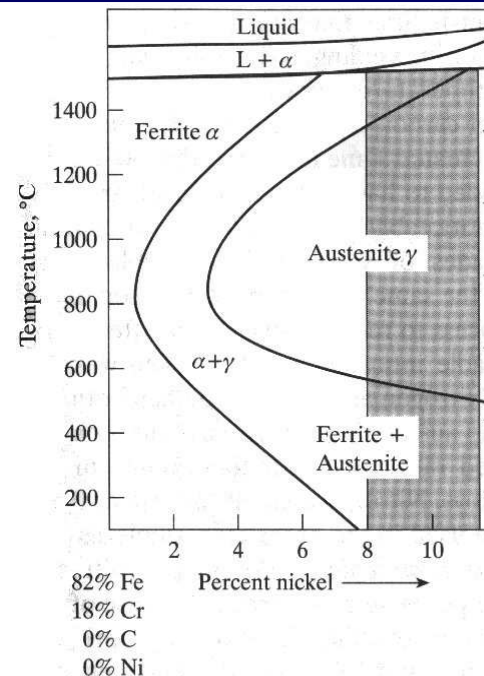
FERRÍTICOS

- $11 \leq \%Cr \leq 20$, $\%C \leq 0,3$
- Não podem ser tratados termicamente
- Ferromagnéticos



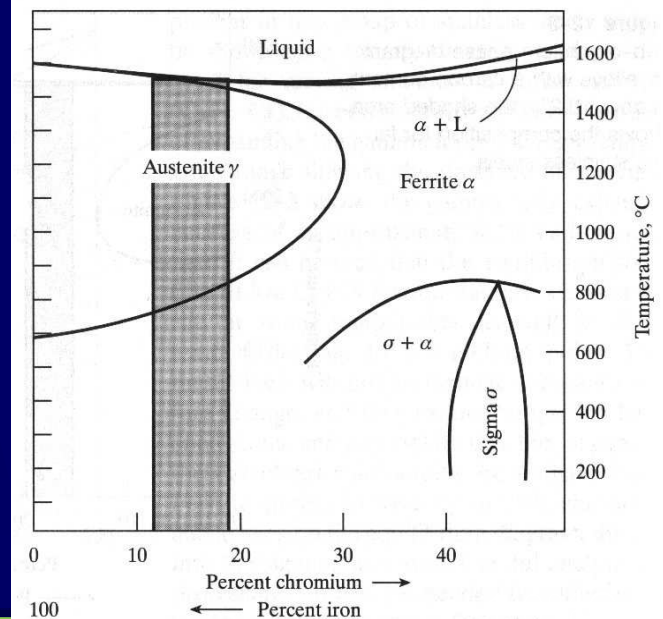
AUSTENÍTICOS

- $17 \leq \%Cr \leq 25$; $6 \leq \%Ni \leq 20$
- Estrutura austenítica à temp. ambiente
- Não podem ser tratados termicamente
- Mais resistente corrosão
- Não são ferromagnéticos



MARTENSÍTICOS

- $12 \leq \%Cr \leq 18$; $0,1 \leq \%C \leq 1,2$
- Quando temperados atingem elevados níveis de dureza e resistência
- ferromagnéticos



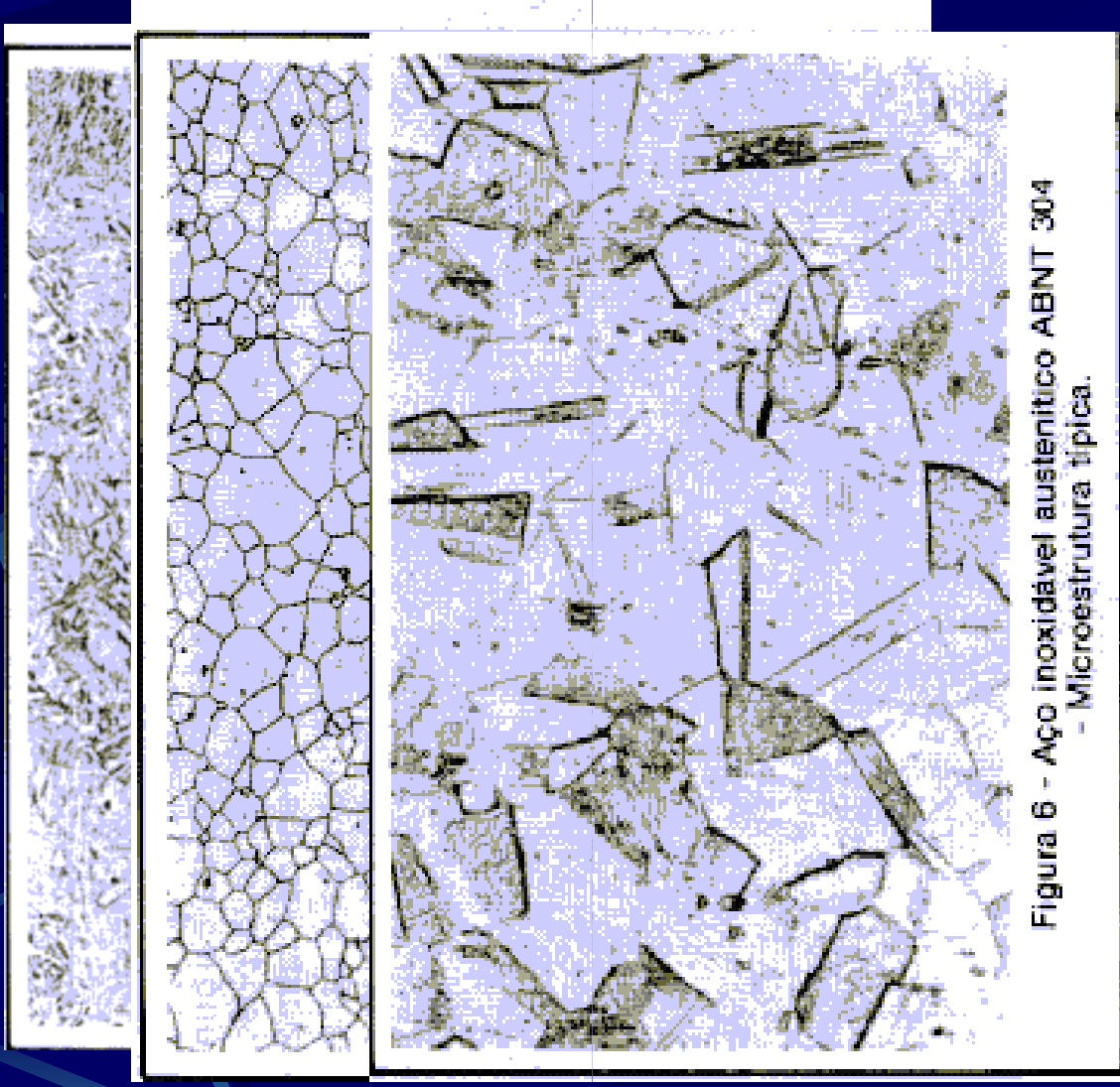


Figura 6 - Aço inoxidável austenítico ABNT 304
- Microestrutura típica.

Nomenclatura para aços inoxidáveis

- A nomenclatura AISI contém 3 séries de 3 dígitos
 - Série 200 (Cr, Ni, Mn)
 - Série 300 (Cr, Ni)
 - Série 400 (Cr)
- As séries 200 e 300 são austeníticas
- A série 400 contém as ligas ferríticas e martensíticas

- A nomenclatura UNS tem o prefixo S seguido do número de série AISI e mais dois dígitos, em geral 00

APLICAÇÕES

FERRÍTICOS

APLICAÇÕES

- Corrosão atmosférica
- Temperatura elevada
- Decoração

TIPOS

- 405
- 409
- 430
- 430F
- 446

MARTENSÍTICOS

- Componentes estruturais
- Instrumentos de corte
- Ferramentas

- 403
- 410
- 414
- 416
- 420
- 431
- 440A
- 440B
- 440C

AUSTENÍTICOS

- Resistência química
- Tanques
- *Piping*

- 310
- 314
- 316
- 317
- 321
- 347
- 304L
- 316L
- 201
- 202
- 301
- 302
- 303
- 304
- 305
- 308
- 309

PH

- Componentes estruturais
- Molas

- 17-4
- 15-5
- 13-8
- 17-7
- 15-7 Mo

Aço Inoxidável Martensítico

- Essencialmente ligas binárias ferro-cromo com 12 a 17% Cr
- Magnéticos e endurecíveis por têmpera
- Maior resistência mecânica e dureza
- Baixa resistência a corrosão comparando com os ferríticos e austeníticos
- Apresentam-se em três tipos:
 - Baixo Carbono (tipo turbina) – 0,15% C; 12% Cr
 - Médio Carbono (tipo cutelaria) – 0,70% C; 17% Cr
 - Alto Carbono (resistente ao desgaste) – 1,10% C; 17% Cr

Introdução - Aços Inoxidáveis Martensíticos



Rotores de turbina hidráulica - Aço Inoxidável Martensítico Macio (AIMM)

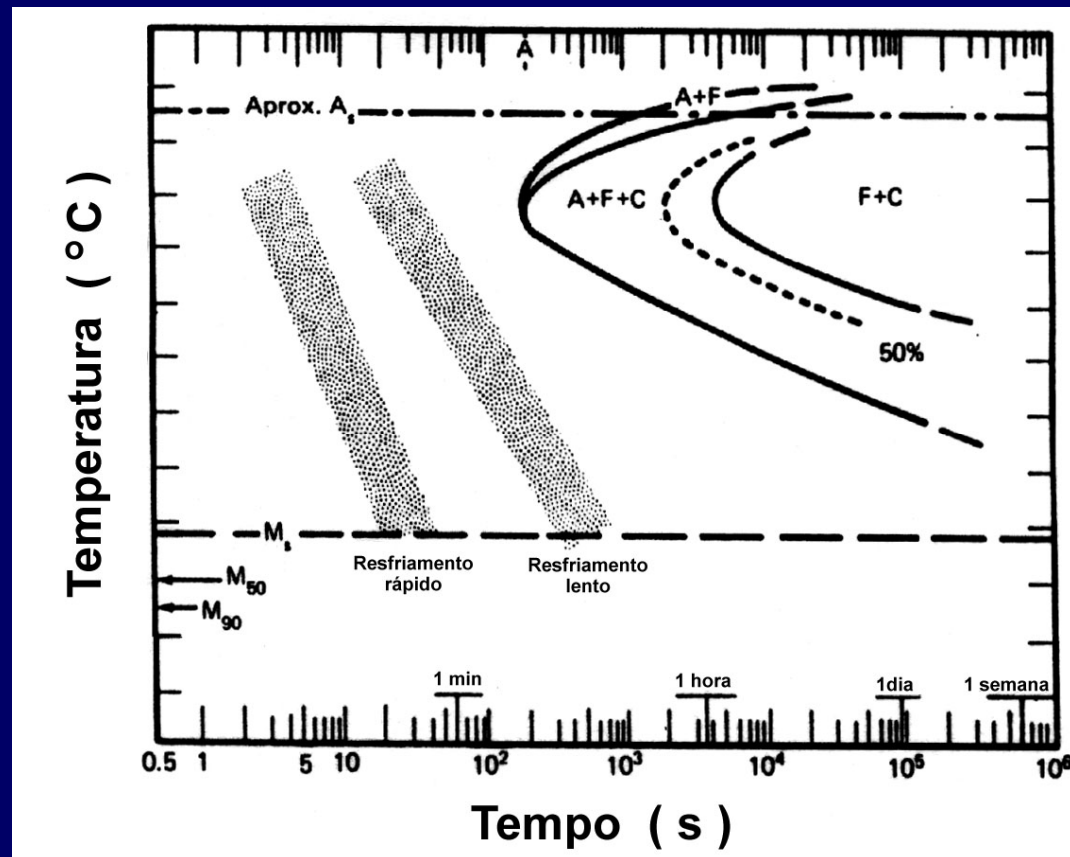


Diagrama TTT para o aço AISI 410 (3).

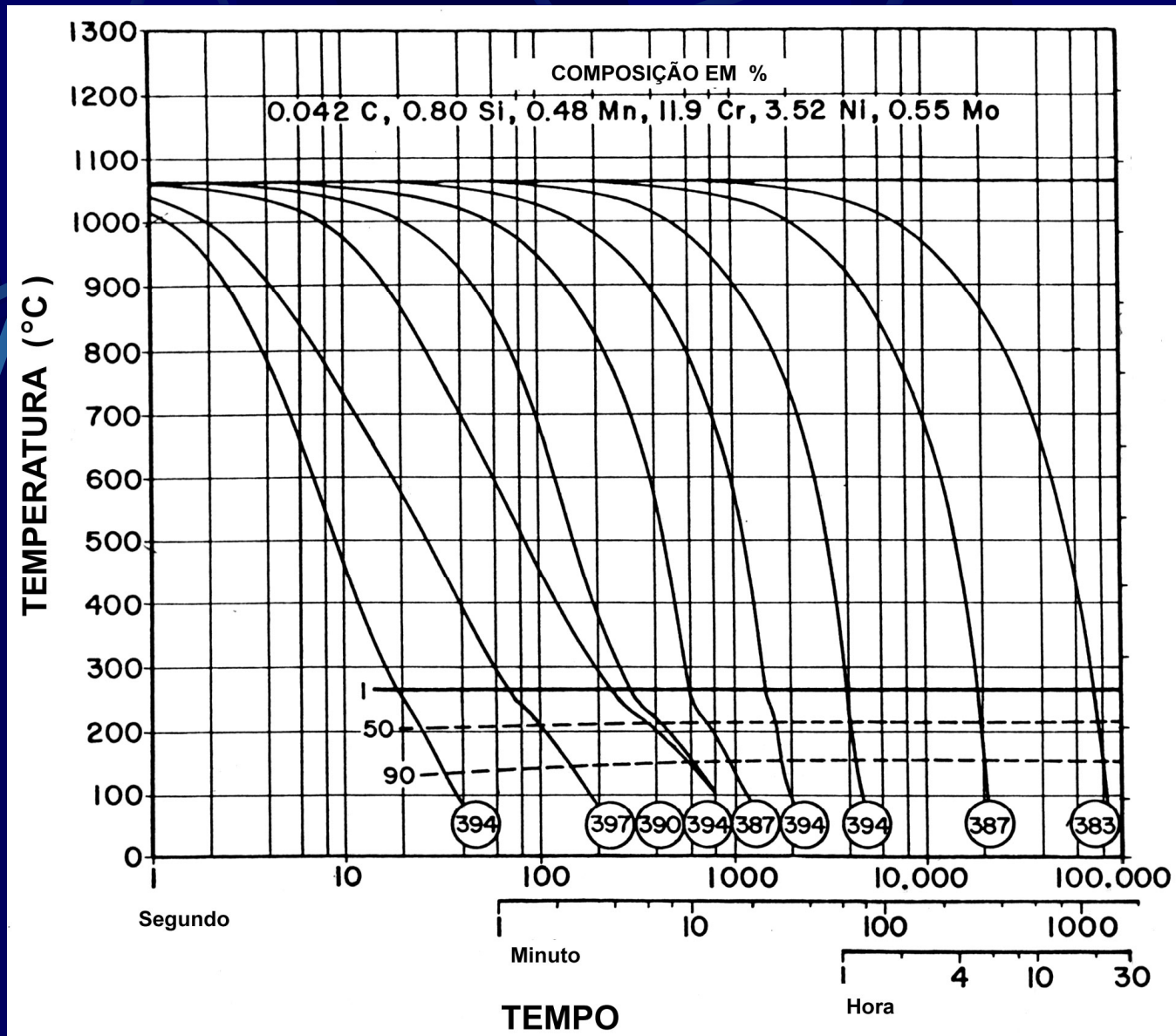
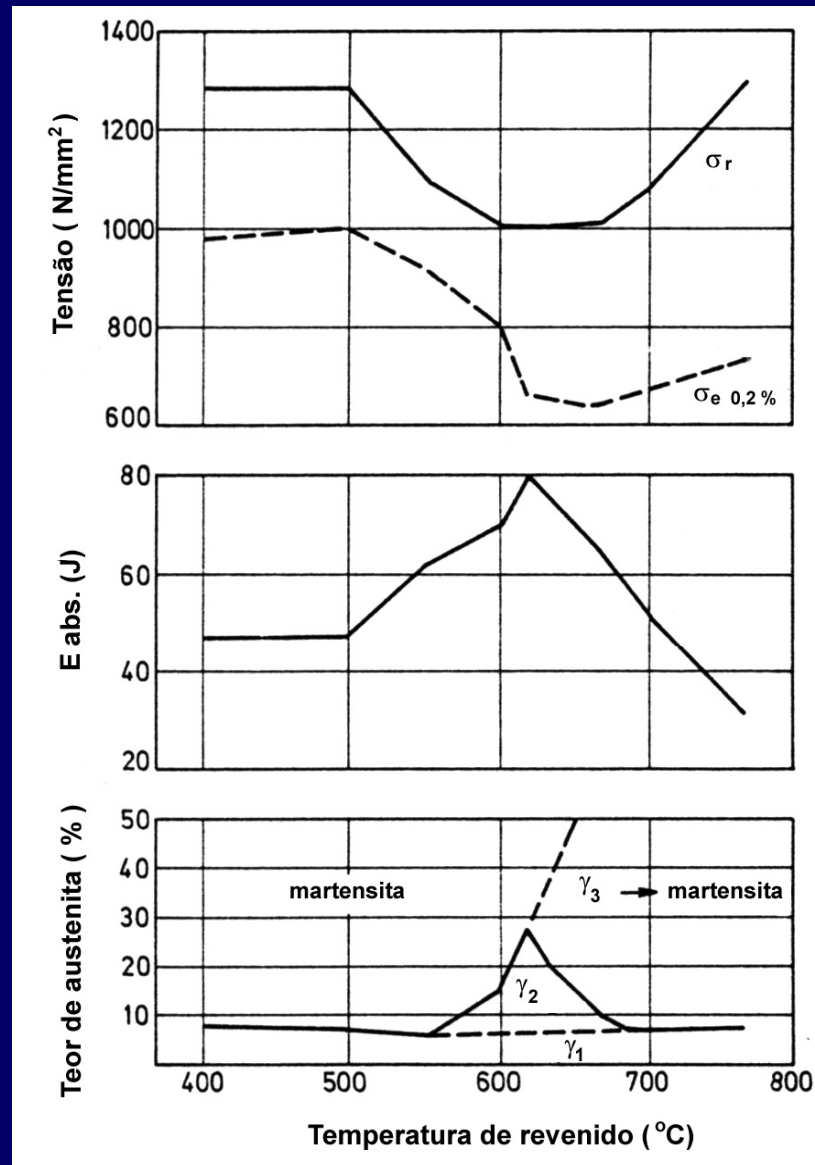
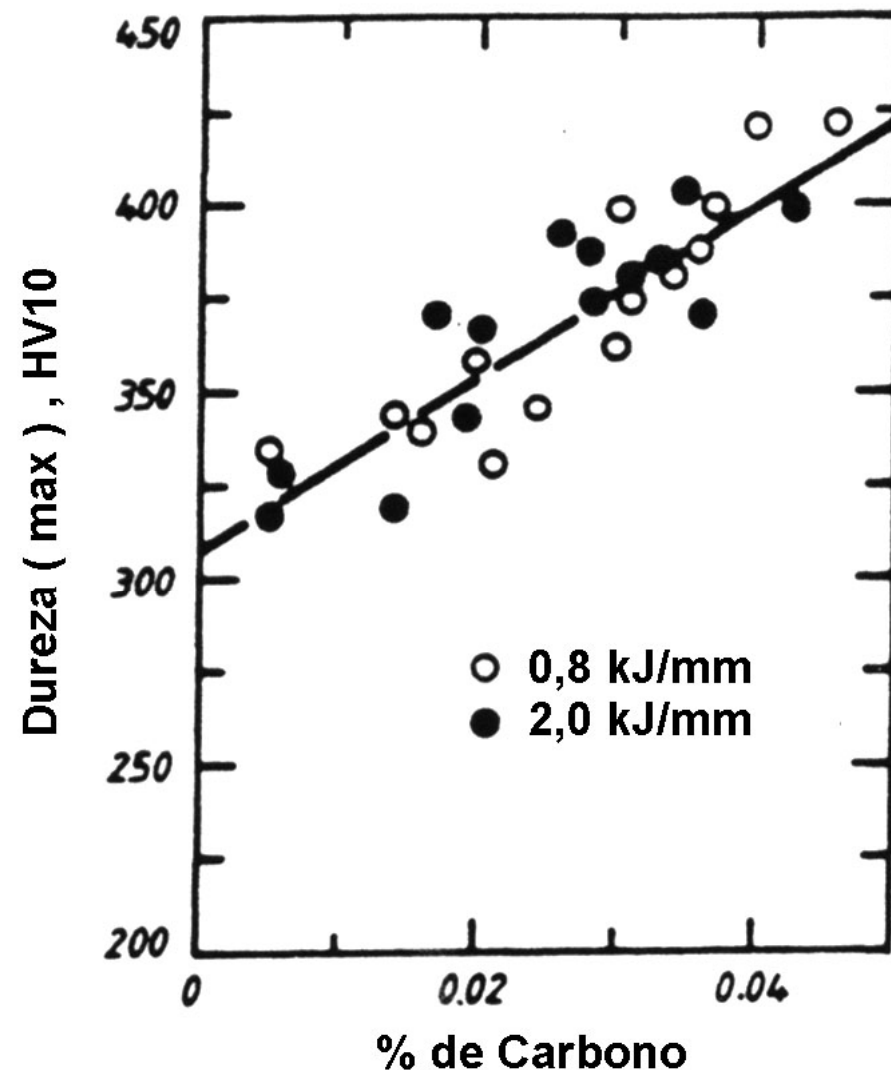


Diagrama TTT para o aço Inoxidável martensítico fundido CA-6NM .



Propriedades mecânicas do aço inoxidável martensítico CA-6NM em função da temperatura de revenido (9).



Carbon (%)	Max. Hardness (BHN)	
0.02	315	
0.03	327	
0.04	338	
0.05	351	
0.06	362	- standard CA-6NM carbon content
0.07	374	
0.08	387	
0.09	400	
0.10	414	
0.11	428	
0.12	443	
0.13	460	
0.14	477	
0.15	496	

Efeito do teor de carbono em relação à dureza para um aço inoxidável martensítico 13Cr4Ni segundo Gooch (16).

Aço Inoxidável Martensítico (Propriedades)

Designação da liga	Composição Química	Estado	Resistência à Tração (Mpa)	Tensão Cedência	Alongamento (%)	Aplicações típicas
410	12,5Cr; 0,15C	Recozido	517	276	30	Uso geral para Tratamento térmico; órgãos de máquinas, veios de bombas, válvulas.
		T & R				
440A	17Cr; 0,7C	Recozido	724	414	20	Cutelaria, rolamentos, instrumentos cirúrgicos.
		T & R	1828	1690	5	
440C	17Cr; 1,1C	Recozido	759	276	13	Esferas, rolamentos, pistas, componentes de válvulas.
		T & R	1966	1897	2	

Aço Inoxidável Ferrítico

- São essencialmente ligas binárias ferro-cromo com 12 a 30% Cr
- Sua estrutura mantém-se essencialmente ferrítica (CCC, do tipo ferro α) após os tratamentos térmicos normais
- São relativamente baratos, porque não contêm níquel.
- Boa resistência ao calor e à corrosão.

Aço Inoxidável Ferrítico (Propriedades)

Designação da liga	Composição Química	Estado	Resistência à Tração (Mpa)	Tensão Cedência	Alongamento (%)	Aplicações típicas
430	17Cr; 0,012C	Recozido	517	345	25	Uso geral, em que não se requer endurecimento, capotas de automóveis, equipamento para restaurantes.
446	25Cr; 0,20C	Recozido	552	345	20	Aplicações a alta temperatura, aquecedores, câmaras de combustão

Aço Inoxidável Austenítico

- São essencialmente ligas ternárias ferro-cromo-níquel com 16 a 25% Cr e 7 a 20% Ni
- Sua estrutura permanece austenítica (CFC, tipo ferro γ) às temperaturas normais dos tratamentos térmicos.
- A presença do níquel (CFC), permite que a estrutura CFC se mantenha à temperatura ambiente.
- Tem elevada capacidade de deformação devido à sua estrutura CFC
- Melhor resistência a corrosão do que os aços ferríticos e martensíticos
- Não magnéticos

Componentes em aço Inoxidável

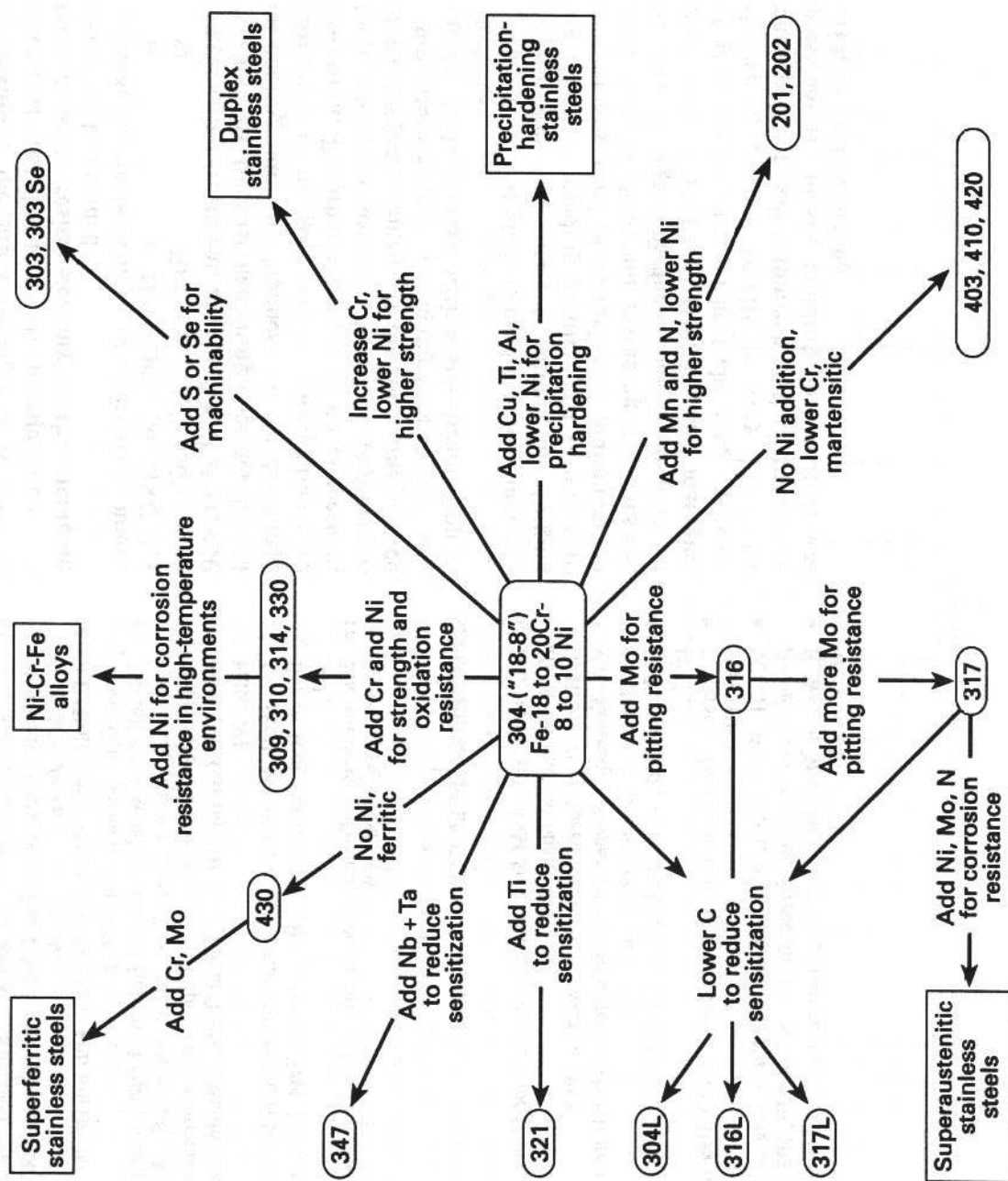


Aço Inoxidável Austenítico

- Se forem posteriormente soldados ou arrefecidos lentamente, a partir de temperaturas elevadas (de 870 a 600°C), pode ocorrer corrosão intergranular.
- Essa corrosão que pode ser diminuído até certo ponto através de:
 - Diminuição do teor de carbono para cerca de 0,03% C
 - Adição de elementos de liga como o nióbio (que se combina com o carbono da liga).

Aço Inoxidável Austenítico (Propriedades)

Designação da liga	Composição Química	Estado	Resistência à Tração (Mpa)	Tensão Cedência	Alongamento (%)	Aplicações típicas
301	17Cr; 7Ni	Recozido	759	276	60	Liga de elevada taxa de encruamento; aplicações estruturais
304	19Cr; 10Ni	Recozido	580	290	55	Equipamento de processamento químico e de alimentos.
304L	19Cr; 10Ni; 0,03C	Recozido	559	269	55	Baixo carbono para soldadura; reservatórios químicos
321	18Cr; 10Ni; Ti = 5x %Cmin.	Recozido	621	241	45	Estabilizado para soldadura; equipamento de processamento
347	18Cr; 10Ni; Cb (Nb) = 10x Cmin.	Recozido	655	276	45	Estabilizado para soldadura; reservatórios de transporte de produtos químicos.



OUTROS TIPOS DE AÇOS INOXIDÁVEIS

```
graph TD; A[OUTROS TIPOS DE AÇOS INOXIDÁVEIS] --> B[DUPLEX]; A --> C[PH];
```

DUPLEX

- Microestrutura bifásica austenita+ferrita
- Melhor resistência corrosão sob-tensão que os austeníticos
- Tensão de escoamento pode atingir valores duas vezes maior comparada à dos austeníticos

PH

- Endurecimento por precipitação
- Teores variáveis de Ni e Mo
- Precipitados de Cu, Al, Ti e Nb
- Elevadas resist. mecânica e tenacidade, mantidas a altas temperaturas

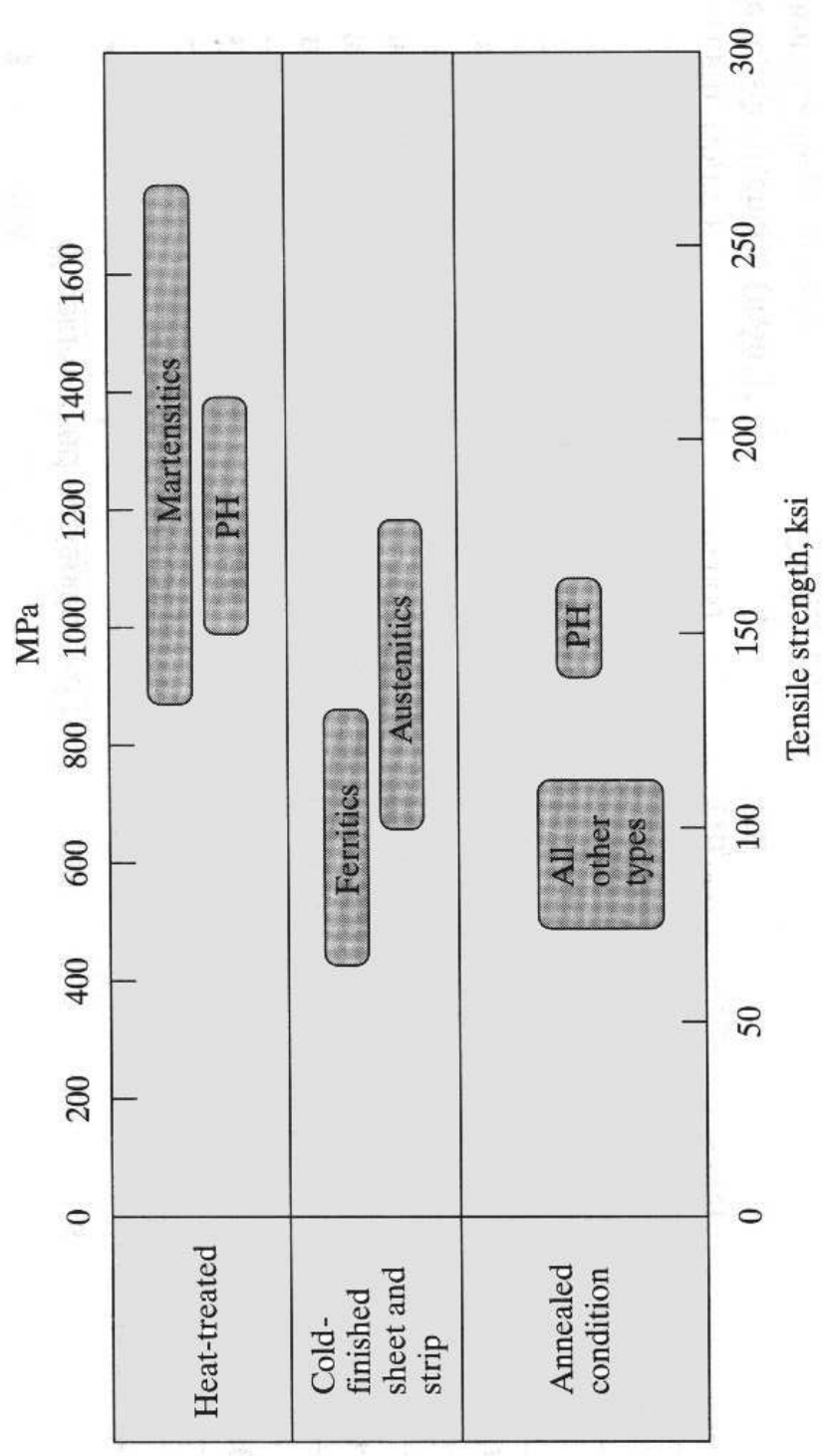
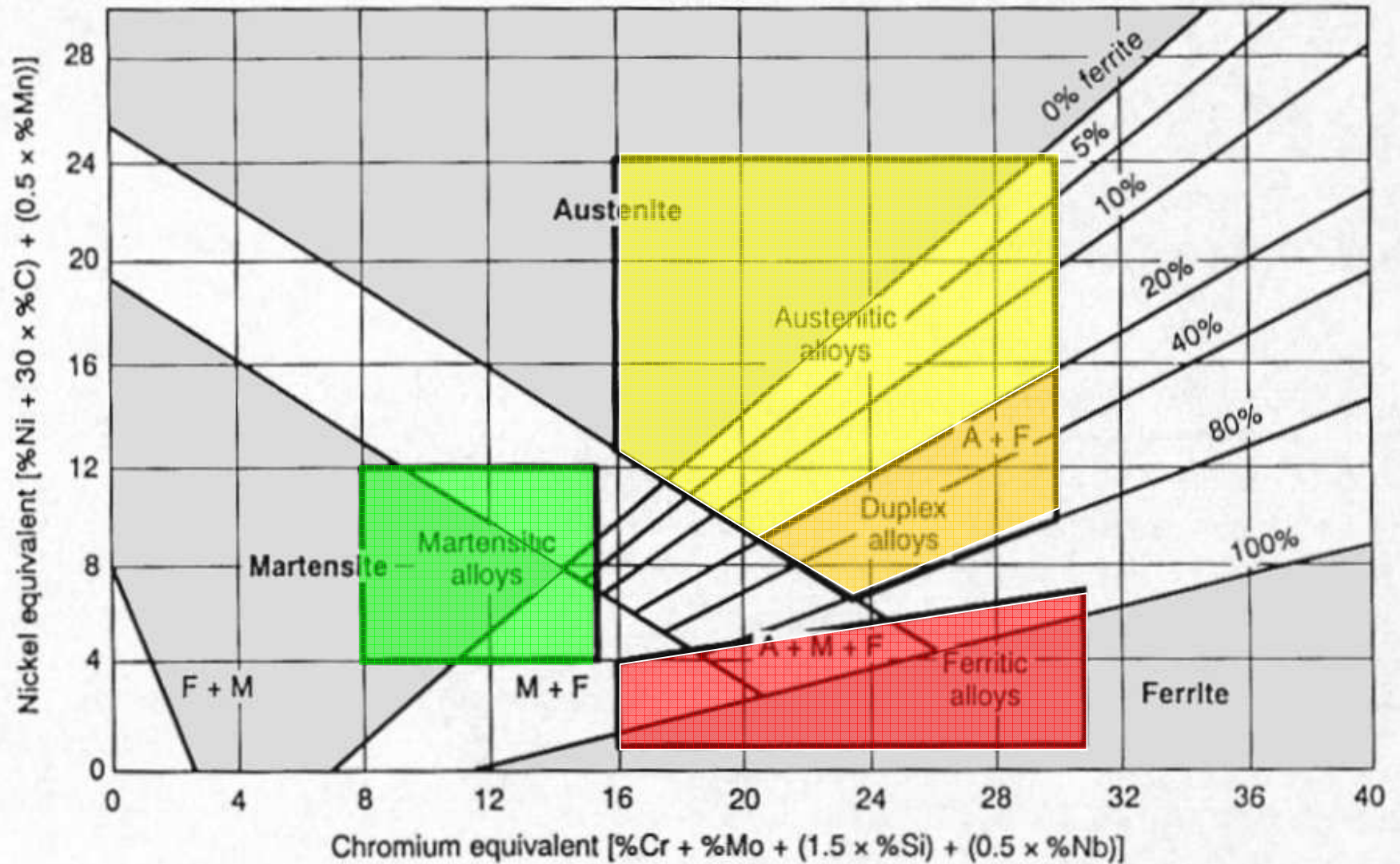
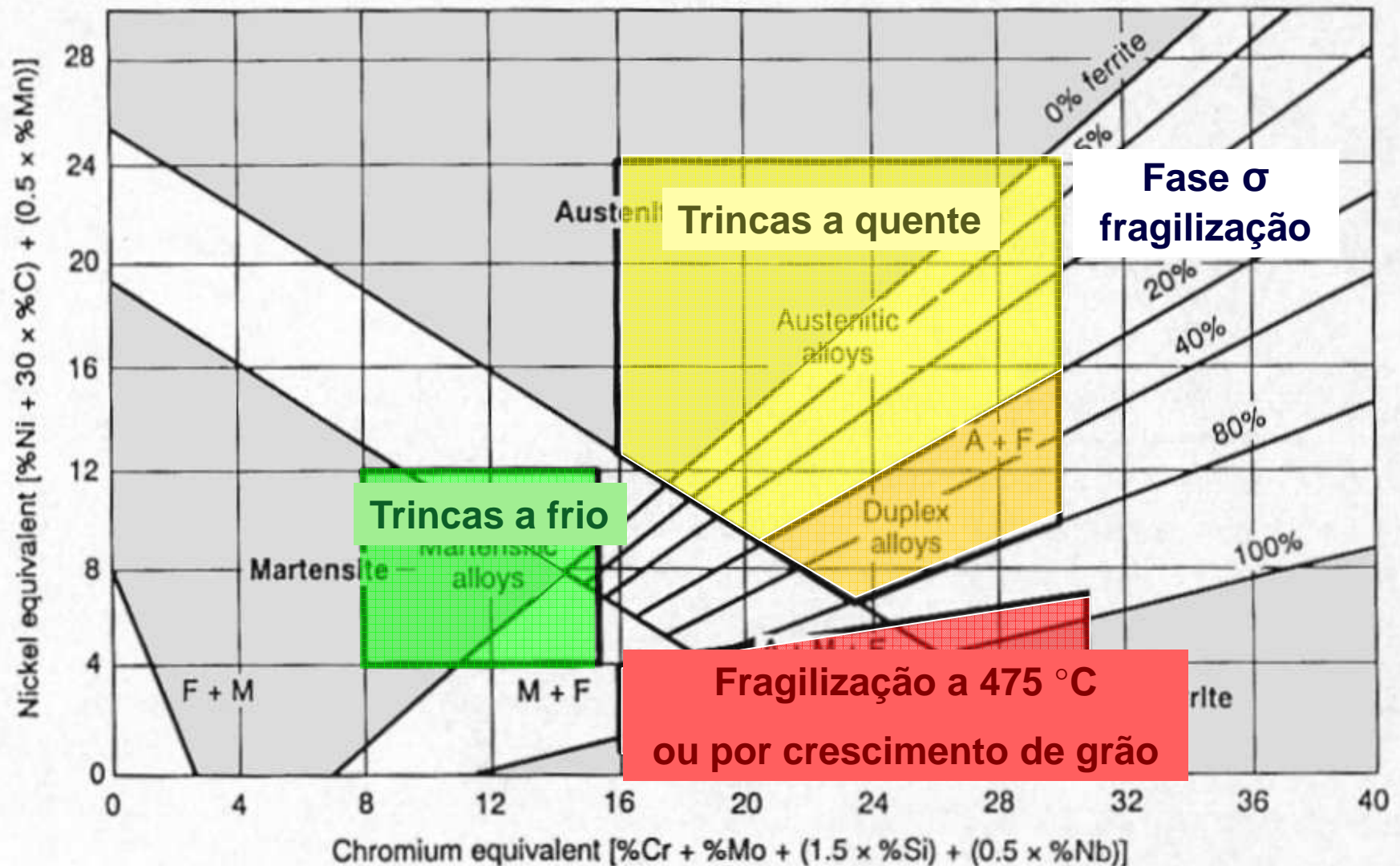


Diagrama de Schaeffler



Metalurgia de Soldagem – Aços Inoxidáveis

Diagrama de Schaeffler



Corrosão em aço inoxidável

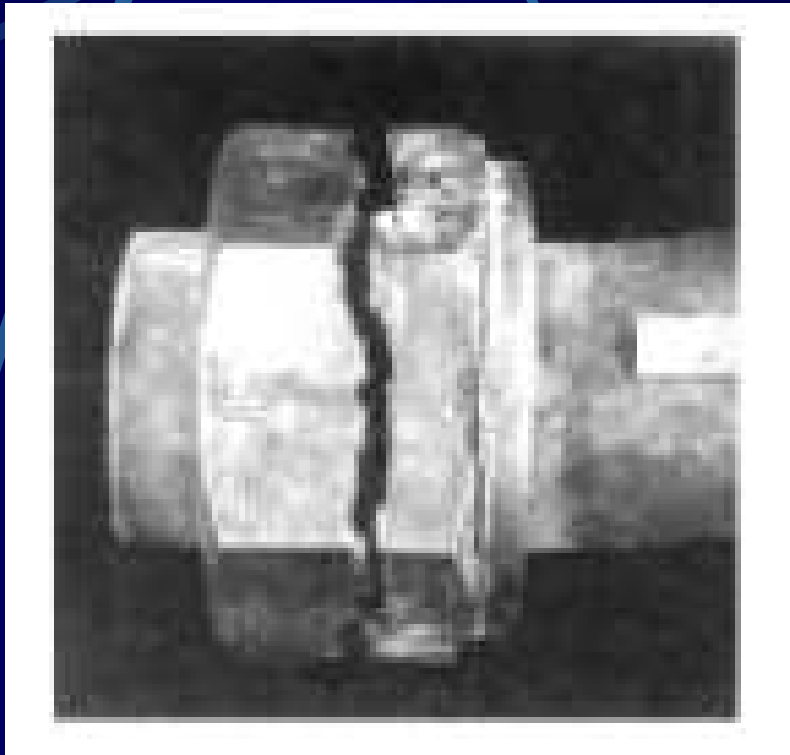


Trincas transgranulares, no tubo fraturado, verificadas na análise metalográfica.

Corrosão – Vicente Genti

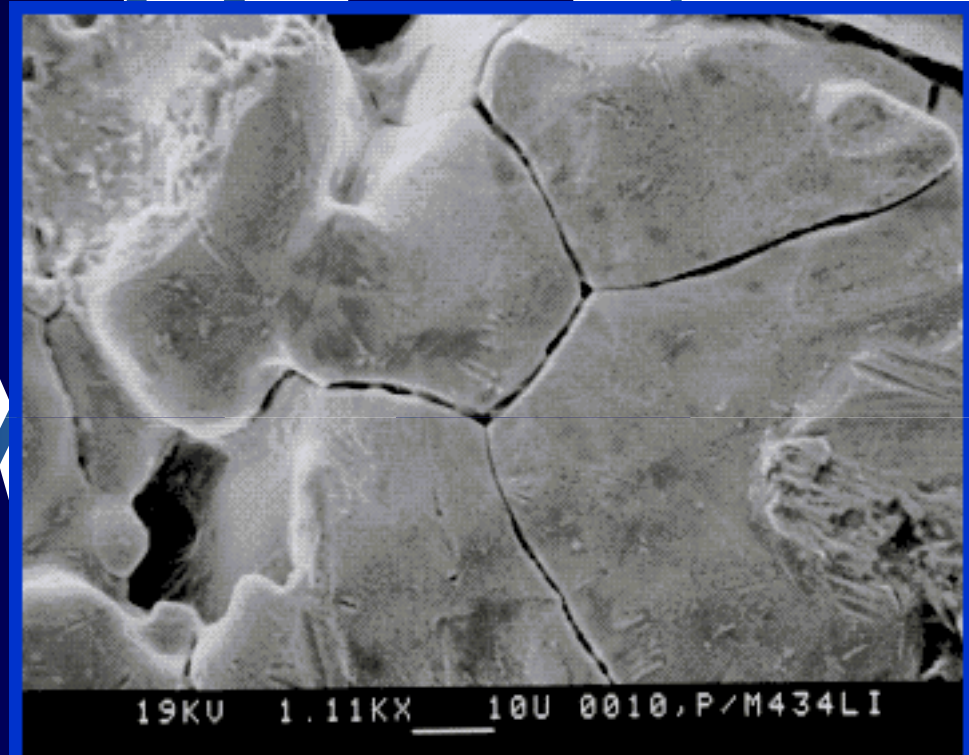
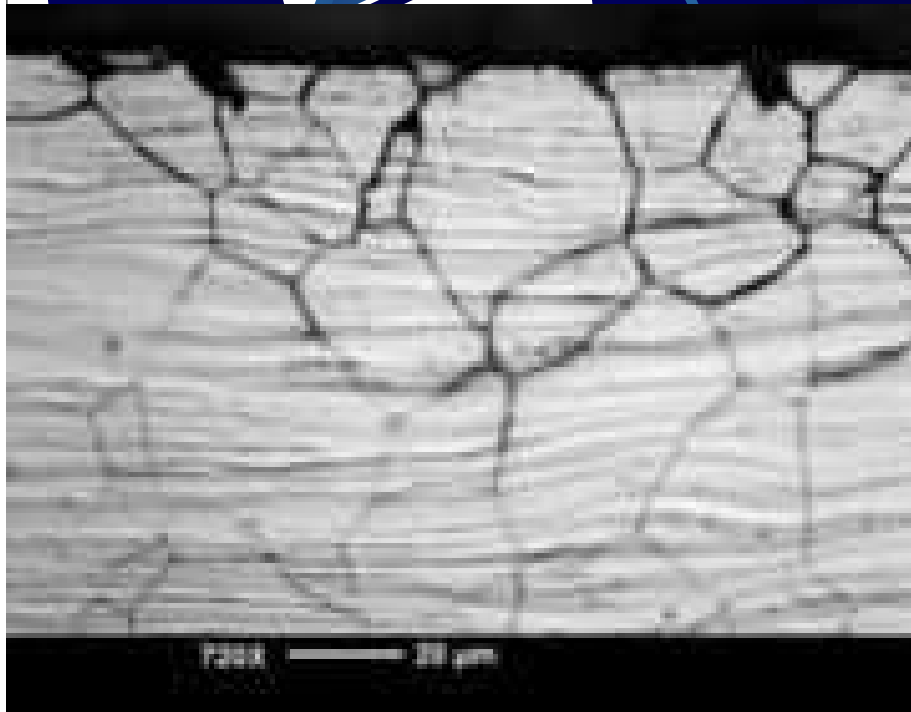
4a. Edição - LTC

Corrosão em aço inoxidável



Corrosão – Vicente Genti
4a. Edição - LTC

Corrosão em aço inoxidável

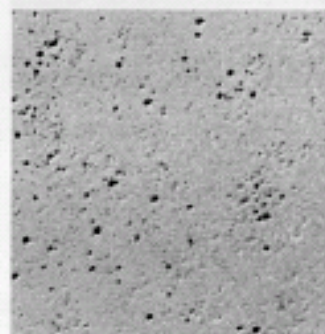
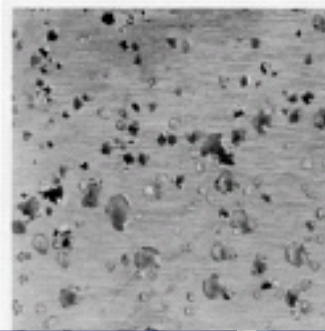
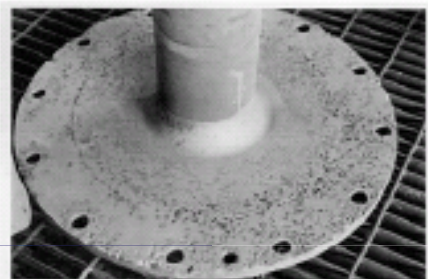


Ataque intercrystalino - Sensitização

Corrosão em aço inoxidável

Examples of Pits

Pitting in centrifuge
exposed to CaCl_2



“Pitting”

Metalurgia de Soldagem – Aços Inoxidáveis

Propriedades de resistência à corrosão

Pitting Resistance Equivalent - PREn

$$PRE_N = \%Cr + 3.3x\%Mo + 16x\%N$$

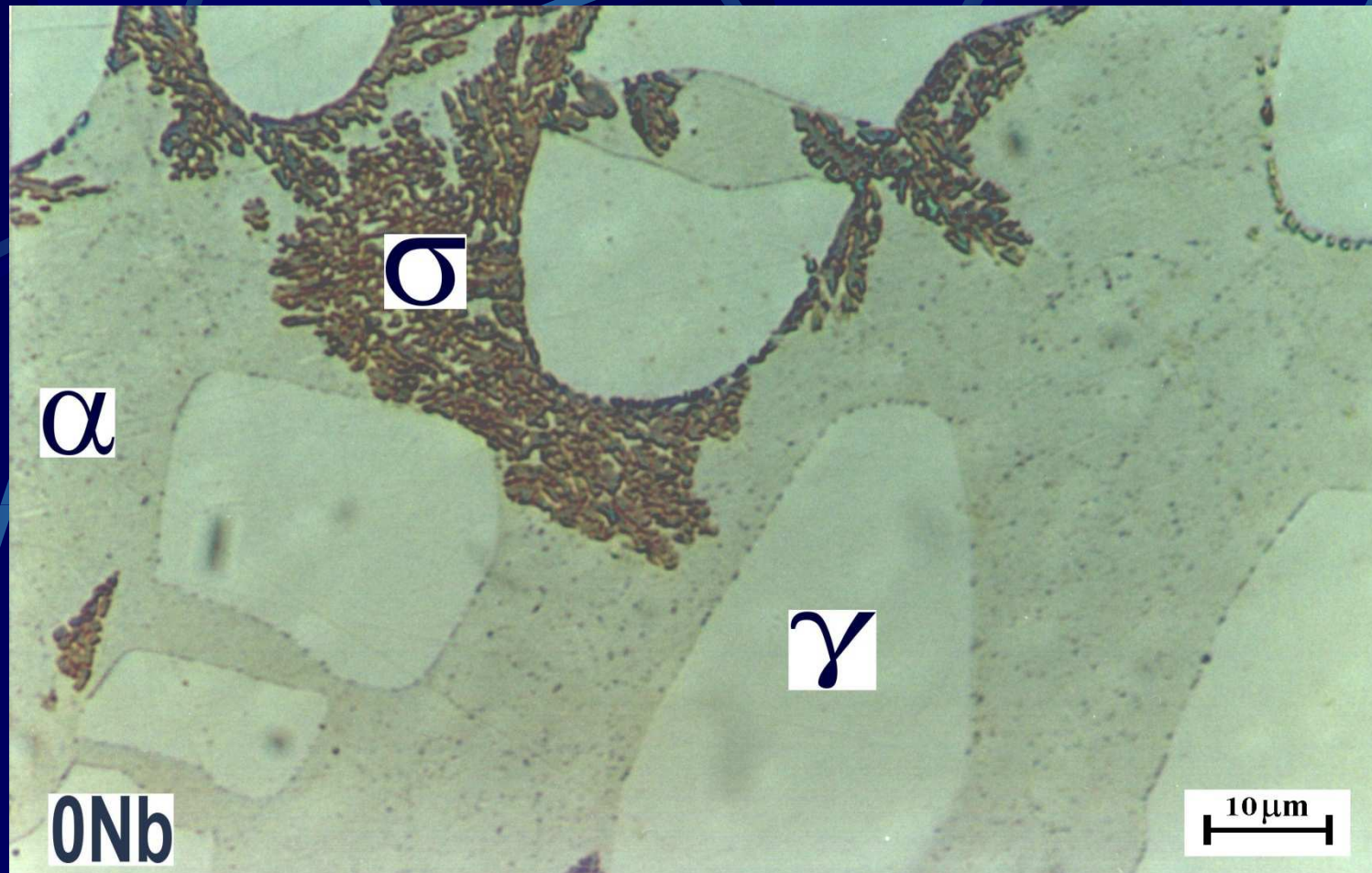


FIGURA 47 – Precipitação de fase σ após tratamento térmico de solubilização a 1120°C/30min seguido de resfriamento em água e envelhecimento a 850°C por 5 minutos

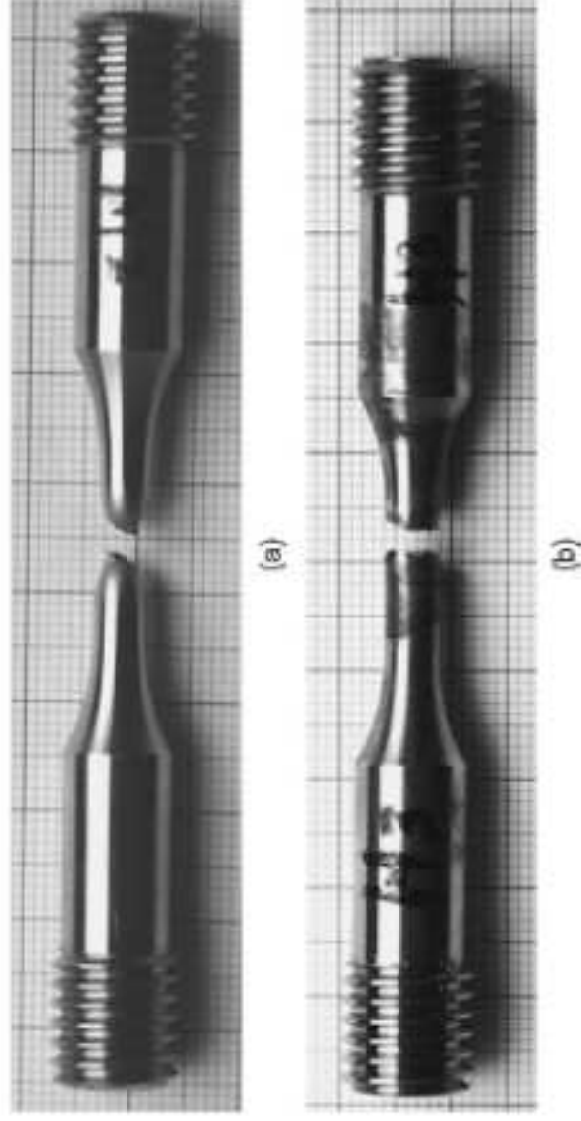


Fig. 8. Macro photographs of the SSRT tested SMSS base material samples: (a) in air and (b) under conditions of hydrogen charging.

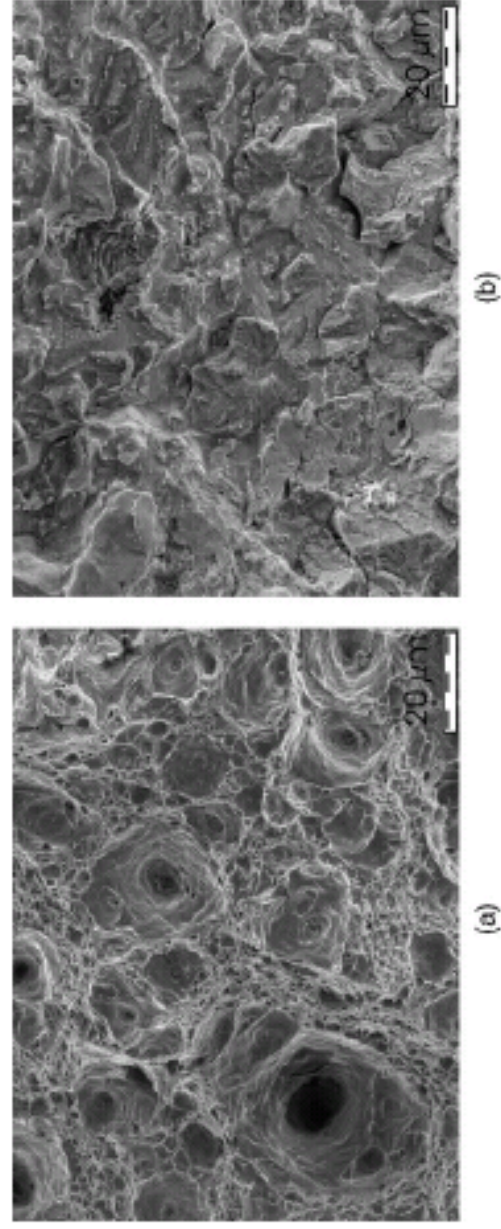
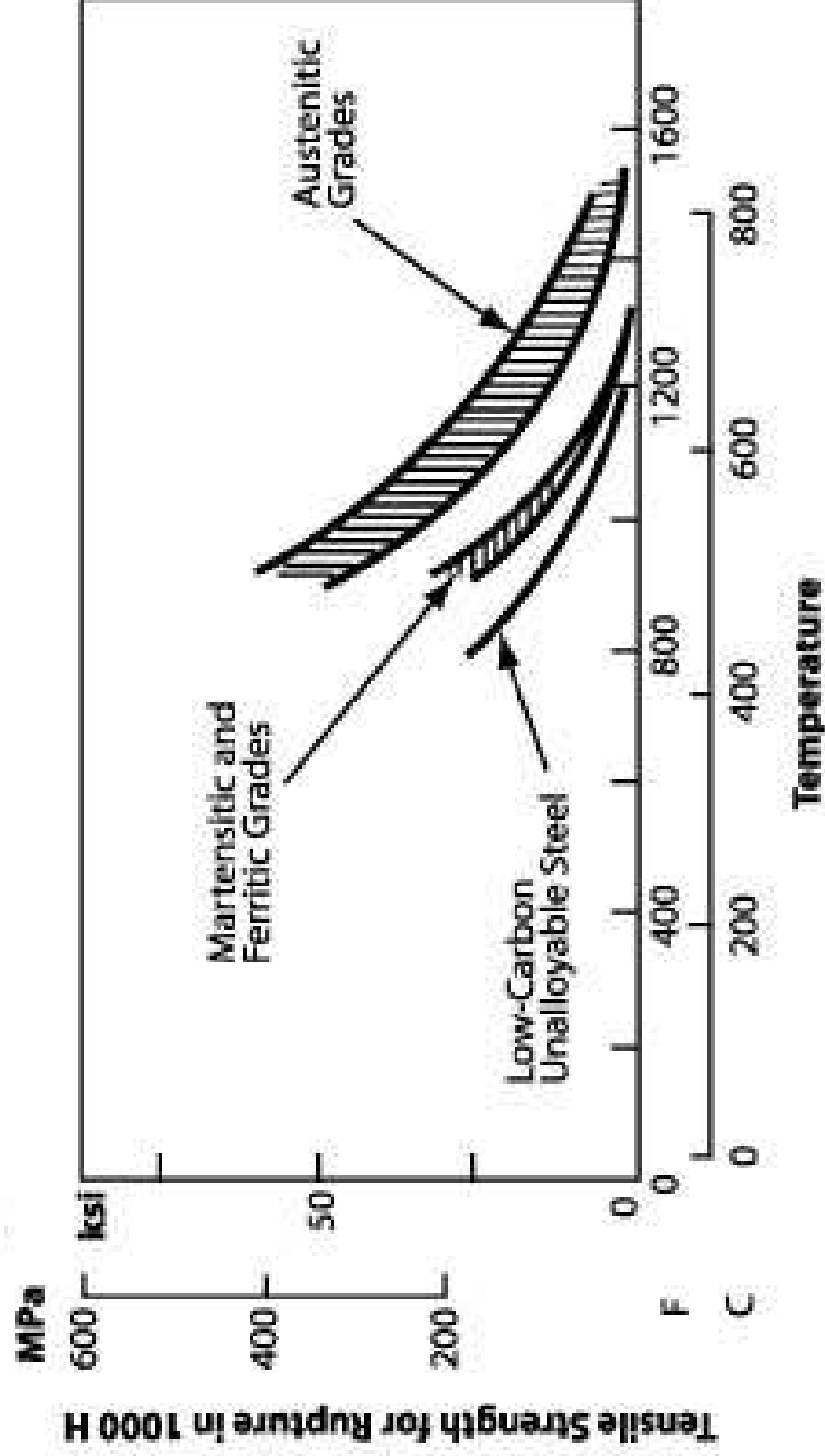


Fig. 9. Fractographs of the SSRT tested SMSS base material samples: (a) in air—showing a dimpled fracture and (b) under conditions of hydrogen charging. Note a mixed mode of fracture (transgranular/intergranular).

Figure 1
Hot-Strength Characteristics (2)



General comparison of the hot-strength characteristics of austenitic, martensitic and ferritic stainless steels with those of low-carbon unalloyable steel and semi-austenitic precipitation and transformation ion-hardening steels.

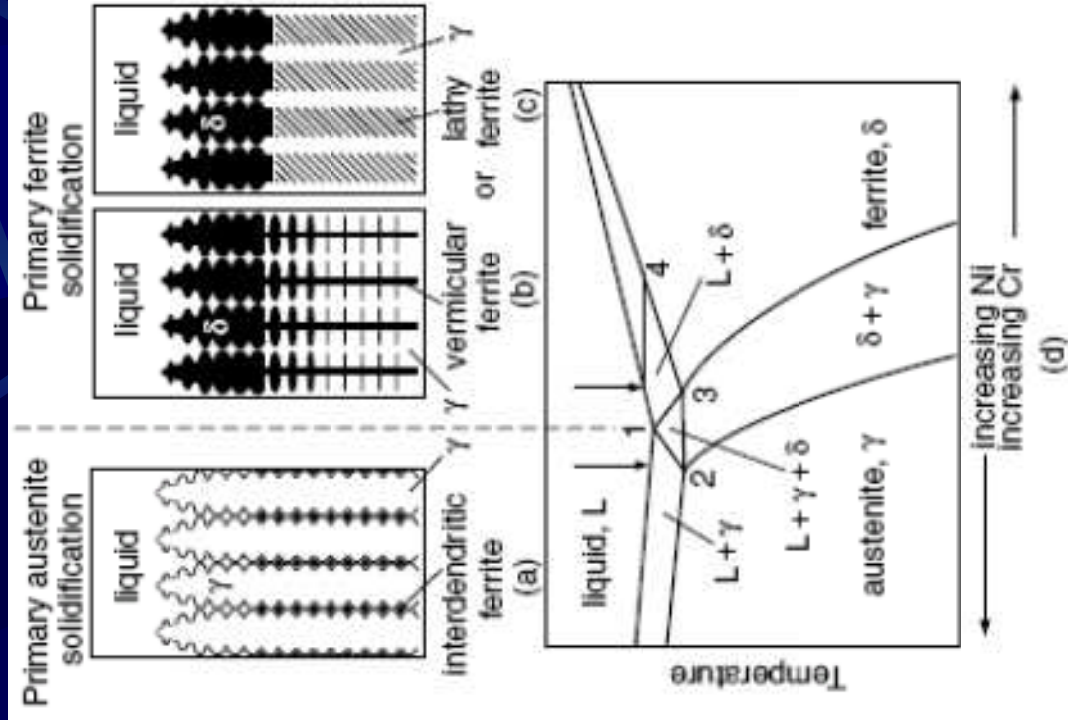


Figure 9.2 Schematics showing solidification and postsolidification transformation in Fe-Cr-Ni welds: (a) interendritic ferrite; (b) vermicular ferrite; (c) lathy ferrite; (d) vertical section of ternary-phase diagram at approximately 70% Fe.

AÇOS HADFIELD (C-Mn)

- Aços de alta liga com %C entre 1 e 1,4 e %Mn entre 12 a 14
 - Apresentam grande resistência e elevada tenacidade
 - Fáceis de soldar => aplicação em peças sujeitas ao desgaste
 - Difícil usinabilidade
- O Mn traz a austenita até à temp. ambiente. A austenita transforma-se em martensita por deformação plástica
 - Aplicados em ferramentas pneumáticas, dentes de escavadoras, mandíbulas de máquinas de britar, etc

Especificação através da norma ASTM A128 em vários Graus

AÇOS MARAGING (Fe-Ni)

- Classe especial de aços de ultra alta resistência
- 18-20%Ni, 8-10%Co, 3-5%Mo, presença de Ti, 0,05%C max
- Obtêm a resistência pela precipitação de compostos intermetálicos após tratamento térmico
- Antes do tratamento pode ser facilmente trabalhado
- Resist. mecânica e tenacidade superiores aços temperados
- Excelente soldabilidade e razoável ductilidade
- Tensão de escoamento entre 1000 e 2400MPa
- Aplicação quase exclusiva na indústria aeroespacial

Especificação através da norma ASTM A538 em Grade A, B e C

Nomenclatura ASTM para aços maraging

Composition and properties of three maraging steels (ASTM A 538 specification)

Chemical requirements (%)	Grade A (200)	Grade B (250)	Grade C (300)
Carbon, maximum	0.03	0.03	0.03
Nickel	17.0–19.0	17.0–19.0	18.0–19.0
Cobalt	7.0–8.5	7.0–8.5	8.0–9.5
Molybdenum	4.0–4.5	4.6–5.1	4.6–5.2
Titanium	0.10–0.25	0.30–0.50	0.55–0.80
Silicon, maximum	0.10	0.10	0.10
Manganese, maximum	0.10	0.10	0.10
Sulfur, maximum	0.010	0.010	0.010
Phosphorus, maximum	0.010	0.010	0.010
Aluminum	0.05–0.15	0.05–0.15	0.05–0.15
Boron (added)	0.003	0.003	0.003
Zirconium (added)	0.02	0.05	0.05
Calcium (added)	0.05	0.05	0.05
Tensile requirements			
Tensile strength, ksi, minimum	210 (1448 MPa)	240 (1655 MPa)	280 (1930 MPa)
Yield strength, 0.2% offset, ksi	200–235 (1379–1619 MPa)	230–260 (1586–1793 MPa)	275–305 (1891–2100 MPa)
Elongation in 2 in., minimum	8	6	6
Reduction in area for round specimens, % minimum	40	35	30