

MÓDULOS DE TREINAMENTO

CONHECENDO OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Coordenação:

ABINOX

Por:

Eng. Ronaldo Claret Ribeiro da Silva

1

**ASPECTOS RELEVANTES DOS
AÇOS INOXIDÁVEIS**

MÓDULOS DE TREINAMENTO

CONHECENDO OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Professor:

Ronaldo Claret Ribeiro da Silva

Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Metalúrgica pela UFMG.

Experiência Profissional: 40 anos na Aperam South America nas áreas de Produção, Metalurgia e Pesquisa, tendo ocupado as posições de Pesquisador (processos a quente e a frio dos aços Inox), Gerente Executivo de Metalurgia do Inox, Gerente Executivo do Centro de Pesquisa. Larga experiência internacional. Autor e coautor de inúmeros artigos técnicos e de várias patentes de produtos e processos.

Organizado por:

ABINOX

O QUE É UM AÇO INOX?

O que é um aço inox e o que o torna inox? A resposta é o **Cromo (Cr)**.

Como pode ser visto na figura 1, a adição de Cr ao ferro reduz significativamente a corrosão atmosférica. Nos teores de 10~12% a liga já não apresenta corrosão. Então, desde que uma liga possua um mínimo de 10~12% de cromo ela é considerada inoxidável.

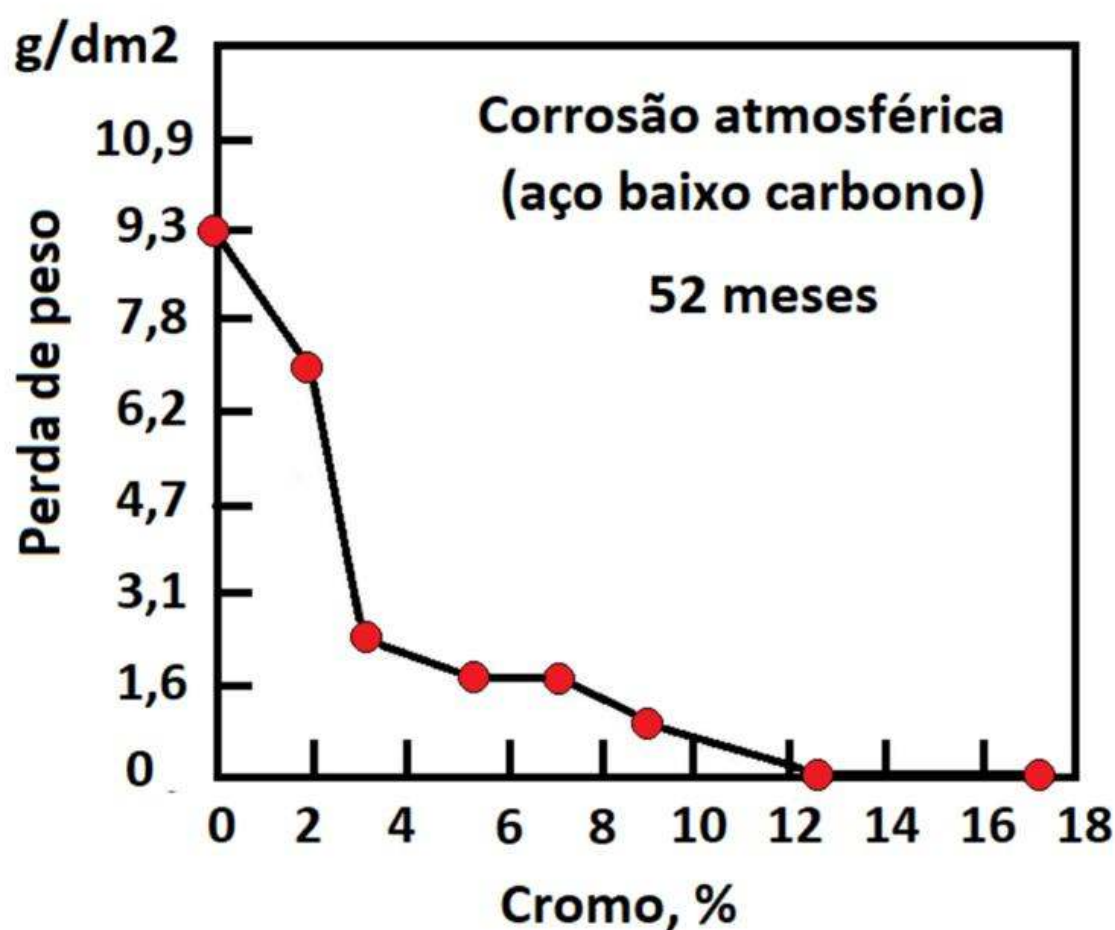


Fig. 1: Efeito do Cr na corrosão atmosférica de ligas Fe-Cr.

Além do Cromo, outros elementos como o Níquel, Molibdênio, Carbono, Nitrogênio, Cobre, Manganês, Titânio e Nióbio também desempenham um papel importante nos aços inox. Por exemplo, a resistência à corrosão pode ser aumentada com adições de Cr acima do valor mínimo, adição 8%, ou mais de Ni, e adições de Mo. Outro exemplo, a adição de N aumenta a resistência mecânica e também a resistência à corrosão.

Assim, a combinação destas adições gera os inúmeros tipos de aço inox, e o seu balanço leva a diferentes estruturas metalúrgicas que dão origem a 5 diferentes famílias: Ferríticos; Martensíticos; Austeníticos; Duplex; Endurecíveis por Precipitação.

PRINCIPAIS FAMÍLIAS DE AÇO INOX

Aços inox ferríticos:

Possuem uma microestrutura ferrítica (apêndice 1), como mostrado na figura 2. Possuem de 10,5 a 27% de Cr e pouco ou nenhum níquel (Ni).

Adições de titânio (Ti) e nióbio (Nb) melhoram suas propriedades mecânicas e soldabilidade. São magnéticos e não são endurecíveis por tratamento térmico. O aço AISI 430 é o principal representante desta família que hoje inclui modernos aços para estampagem profunda e aços com alta resistência à corrosão, permitindo sua utilização onde há pouco tempo se empregava somente aços 3XX. Tem uma diversificada gama de aplicações: linha branca, eletrodomésticos, arquitetura, ornamental, escapamentos de automóveis, telhados, tubos e dutos etc.



Fig. 2: Microestrutura de um aço AISI 430

Aços inox Martensíticos:

Os aços inoxidáveis martensíticos são endurecíveis por tratamento térmico e oferecem uma ampla gama de propriedades, sendo utilizados em cutelaria, ferramentas, indústria automobilística etc.

Na condição recozida, sua microestrutura é ferrítica com carbonetos globulizados, como mostrado na fig. 3a. Na condição temperada, sua microestrutura é martensítica, fig. 3b. O principal representante desta família é o aço AISI 420.

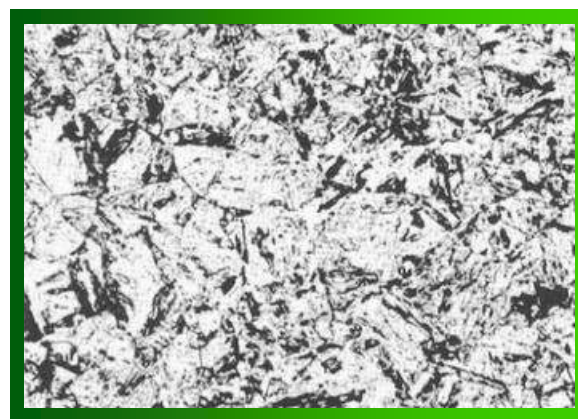
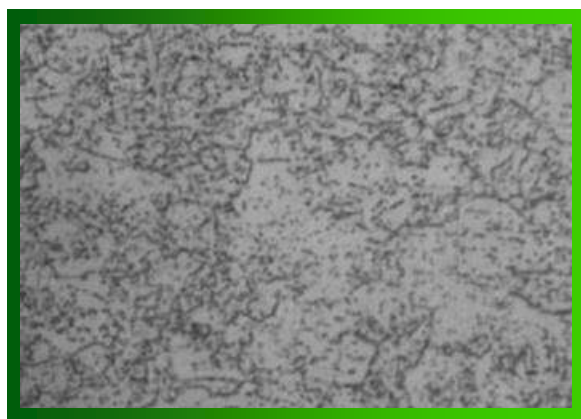


Fig. 3: Microestruturas de um aço martensítico recozido (a) e temperado (b)

Aços Inox Austeníticos:

Trata-se da maior família de aços inoxidáveis, constituindo cerca de dois terços de toda a produção de aço inoxidável no mundo. Eles possuem uma microestrutura austenítica, como mostrado na fig. 4. Essa microestrutura é obtida adicionando-se níquel, ou manganês e nitrogênio suficientes para manter uma microestrutura austenítica em todas as temperaturas, desde a região criogênica até o ponto de fusão. Assim, os aços inoxidáveis austeníticos não são endurecíveis por tratamento térmico, uma vez que possuem a mesma microestrutura em todas as temperaturas. No entanto são endurecíveis pela deformação a frio, ocorrendo a formação de martensita, inclusive ficando magnéticos. O conhecimento e o controle deste fenômeno é importante para os processos de conformação a frio de chapas finas destes aços.

São muito versáteis, com aplicações nos mais diversos segmentos industriais.

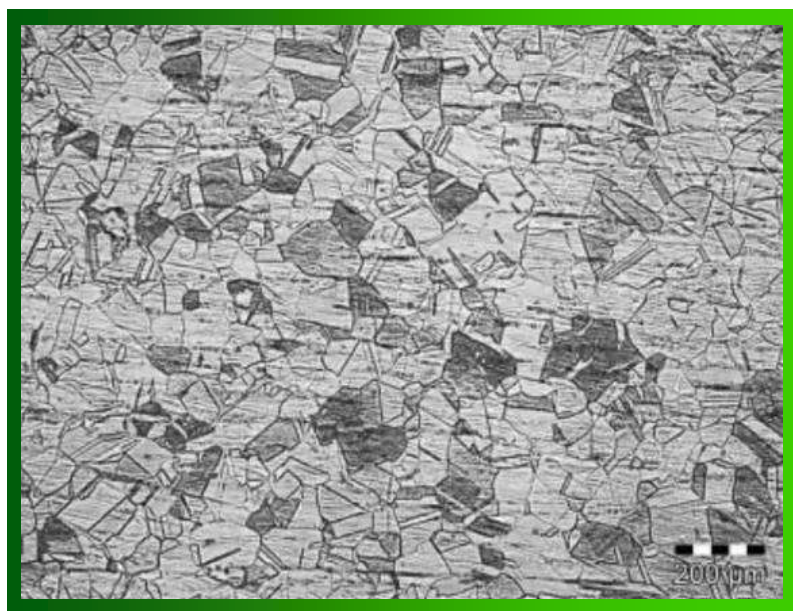


Fig. 4: Microestrutura de um aço austenítico

Os aços inoxidáveis austeníticos podem ser subdivididos em dois subgrupos, série 300 e série 200:

- A série 300 são ligas de cromo-níquel que atingem sua microestrutura austenítica quase exclusivamente por meio da adição de níquel. O aço inox austenítico desta família mais conhecido é o AISI 304.
- A série 200 são aços cromo-manganês (CrMn), com reduzido teor de Ni. Maximizam o uso de manganês e nitrogênio para minimizar o uso de níquel. Existem uma infinidade de aços desta série não normatizados, o que faz que se tenha cautela ao especificá-los. Em alguns casos, sua resistência à corrosão é inferior à do aço AISI 430.

Aços Inox duplex:

Os aços inoxidáveis duplex têm uma microestrutura mista de austenita e ferrita, sendo a proporção ideal uma mistura de 50:50, embora ligas comerciais possam ter proporções de 40:60, fig 5. Eles são caracterizados por maior teor de cromo (19–32%) e molibdênio (até 5%) e menores teores de níquel do que os aços inoxidáveis 300. Um dos aços duplex mais populares é o 2205. Os aços inoxidáveis duplex têm aproximadamente o dobro do limite de escoamento do aço inoxidável austenítico.

Sua microestrutura mista fornece excelente resistência à corrosão sob tensão, em comparação com os aços austeníticos 304 e 316. São muito utilizados nas indústrias de Papel & Celulose e Óleo & Gás.

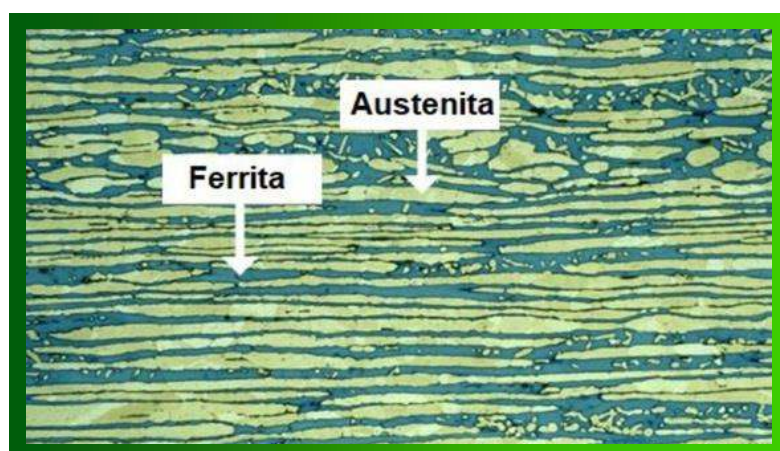


Fig. 5: Micrografia de um aço inox duplex

Aços Inox endurecíveis por precipitação:

Os aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação (PH) são uma família de ligas que contem Cromo e Níquel, que são tratadas termicamente (endurecimento por precipitação) para fornecer resistências à tração de 850MPa a 1700MPa e tensões de escoamento que variam de 520MPa até mais de 1500MPa - cerca de três ou quatro vezes maior do que um aço inoxidável austenítico 304, ou 316. O endurecimento por precipitação é possível pela adição de cobre, molibdênio, alumínio e titânio isoladamente ou em combinação. Os tipos mais comuns são o 17-4 PH[®], 15-5 PH[®], 17-7 PH[®] e o 15-7 Mo PH[®]. Eles são utilizados nas indústrias de petróleo e gás, nuclear e aeroespacial, onde uma combinação de alta resistência mecânica, resistência à corrosão e um grau aceitável de tenacidade é necessária.

Composição Química – aços inox mais conhecidos

Na tabela 1 são apresentados alguns aços inox e sua composição química típica.

Família	Tipo de aço	Elementos (%)						
		Cr	Ni	Mo	C	Mn	N	Ti
Austeníticos	304	18,2	8,1	-	0,04	1,1	0,05	-
	304L	18,2	8,1	-	0,02	1,2	0,05	-
	316/L	16,5	10,1	2,1	0,02	1,4	0,05	-
	200	15,4	1,00	0,0	0,10	9,0	0,10	-
Ferríticos	430	16,2	-	-	0,05	0,4	0,05	-
	409	11,2	-	-	0,01	0,2	0,01	0,2
Martensíticos	420	16,2	-	-	0,32	0,3	0,02	-
Duplex	2304	22,3	3,9	0,26	0,015	1,5	0,11	-
	2205	22,6	5,4	2,7	0,015	1,9	0,15	-

Tabela 1: Composição química típica de alguns aços inox (%)

Sabendo-se a composição química de uma determinada liga, como saber a qual família ela pertence? A solução é o uso de diagramas, como o apresentado na figura 6. Neste diagrama pode-se situar a qual família um determinado aço pertence em função de seus elementos gamagênicos (que tem afinidade pela austenita), parametrizados pelo Nieq (Níquel equivalente), e de seus elementos alfa-gênicos (que tem afinidade pela ferrita), representados pelo Creq (Cromo equivalente).

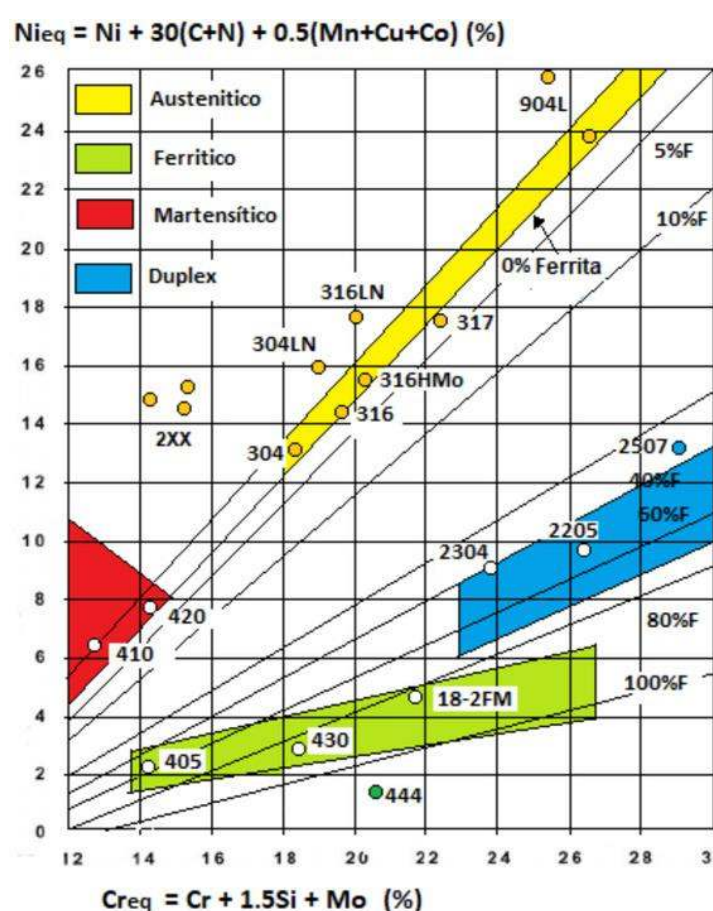


Fig. 6: Diagrama de Diagrama de Scheffer/Delong

Resistência à corrosão – análise comparativa

É interessante uma análise comparativa da resistência à corrosão dos diversos aços inox para demonstrar o posicionamento dos aços ferríticos e 2XX em relação aos 3XX. Uma maneira é através do PREN (**Pitting resistance equivalent number**).

Na fig. 7 é mostrada a correlação entre o PREN de diversos aços inox e sua resistência à corrosão por Pite. Note que há aços ferríticos (azuis) com resistência à corrosão equivalente e mesmo superior aos austeníticos. Os aços da série 200 (amarelos) apresentam resistência variável, alguns bem inferiores à do 304. Isso se deve à necessidade de redução do C_{req} para compensar os baixos teores de Ni_{eq} . Os aços duplex não estão neste gráfico, pois seus valores de PREN e resistência ao pite extrapolam as escalas.

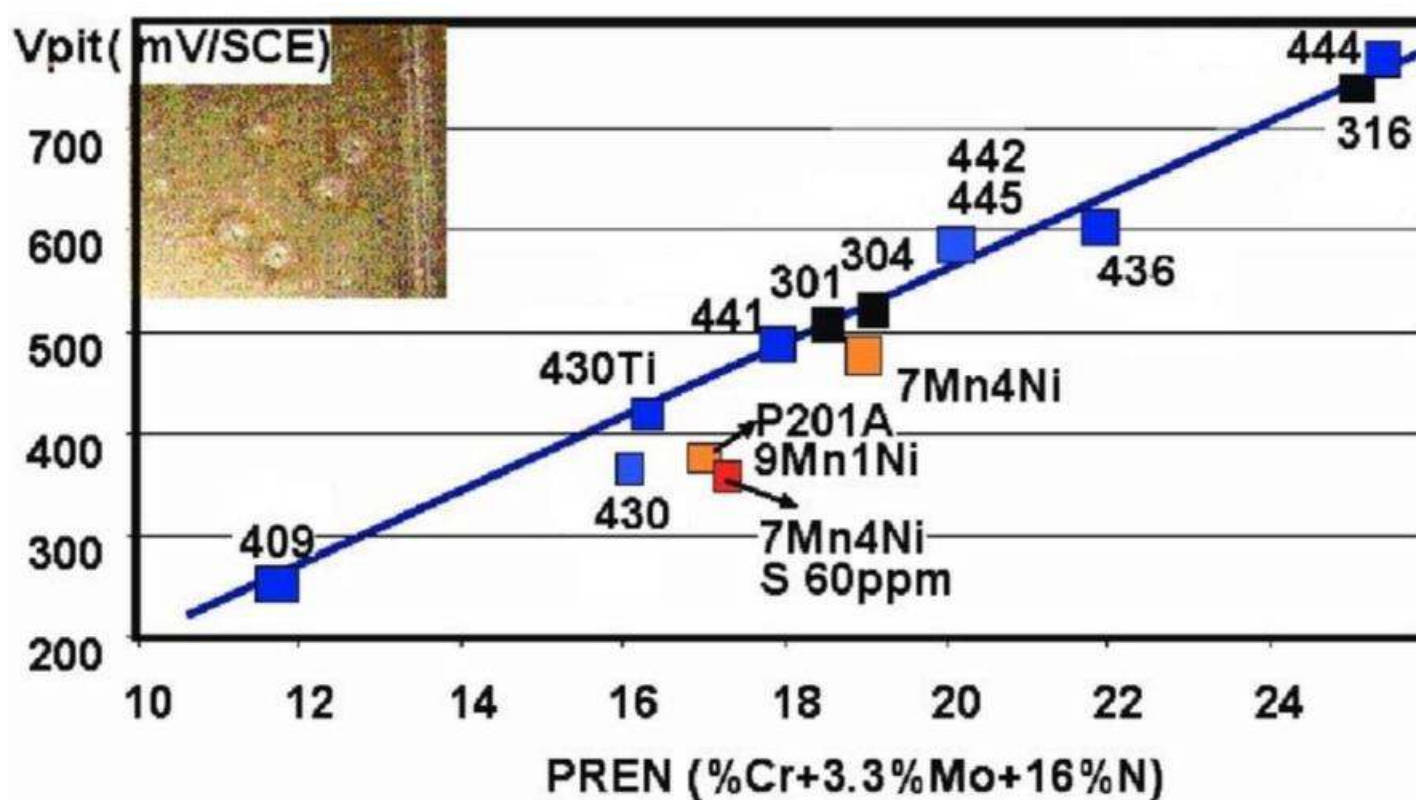


Fig. 7: Resistência à corrosão por pite (potencial crítico de pite) de vários aços inoxidáveis (solução: 0.02 M NaCl, 23°C pH=6.6) plotados em relação ao valor PREN. Quanto maior o potencial, maior a resistência à corrosão por pite.

Propriedades mecânicas e conformação dos aços inoxidáveis

Os diferentes tipos de aços inox podem apresentar uma variada gama de propriedades mecânicas. Por exemplo, o Limite de Resistência pode variar de 500 até 1800 Mpa. Há aplicações que exigem elevadas propriedades mecânicas, como no segmento de Óleo & Gás; em outros o mais importante é a conformabilidade, como no segmento de Utilidades Domésticas.

Analisando-se a tabela 2 e a fig.8, nota-se que os aços ferríticos e os austeníticos têm resistência mecânica semelhante, enquanto os aços duplex têm resistência bem superior. O menor alongamento dos aços 430 não é um empecilho à sua conformação, já que esta característica é garantida pela sua textura cristalográfica, podendo estes aços apresentar um excelente desempenho.

Os aços inox austeníticos apresentam um excelente conformabilidade devido ao seu alongamento e à sua alta taxa de encruamento durante a conformação.

Aço	LE (Kg/mm ²)	LR (kg/mm ²)	Al (%)
304	290	579	55
316	290	558	50
430	345	517	25
2205	620	840	29

Tabela 2: Propriedades mecânicas típicas de alguns aços inox: Limite de escoamento (LE), limite de Resistência (LR) e Alongamento (%)

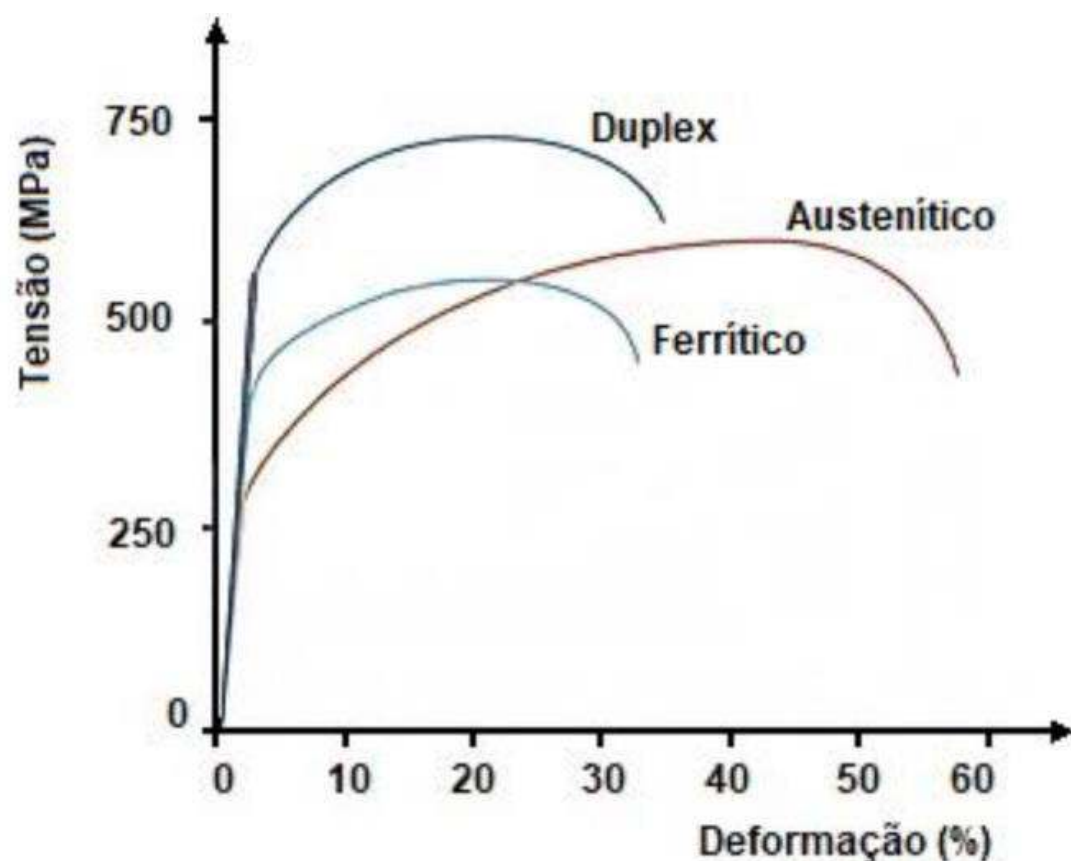


Fig.8: Curvas tensão x deformação para os aços inox

Soldabilidade

Os aços austeníticos podem ser soldados usando qualquer um dos processos de soldagem a arco (TIG, MIG, MMA e SA). Por não serem endurecíveis no resfriamento, apresentam boa tenacidade e não há necessidade de tratamento térmico pré ou pós-soldagem. Tem-se que ter atenção com a ocorrência de sensitização (que é evitada utilizando-se aços baixo carbono ou estabilizados), e com as trincas de solidificação (que são evitadas com a correta seleção de eletrodos). Os aços ferríticos também podem ser soldados por diversos processos, desde que se tenha certos cuidados. Pode haver a formação de pequena quantidade de martensita nos contornos de grão da zona termicamente afetada da solda, reduzindo a tenacidade e a ductilidade. Em altas temperaturas, o aço inoxidável ferrítico começa a apresentar crescimento de grãos e pode perder rapidamente sua resistência. Os pontos de atenção são a sensitização (evitada utilizando-se aços estabilizados) e o crescimento de grão (minimizado reduzindo-se o input de calor). Os aços martensíticos apresentam mais problemas do que os aços ferríticos para soldar. Ambas as versões de alto carbono (> 0,1%) e baixo carbono

(<0,1%), com algumas exceções, requerem pré-aquecimento e tratamento térmico pós soldagem, para evitar problemas de trincas de soldagem e para fornecer uma solda suficientemente resistente e dúctil. Os pontos de atenção são as transformações de fase (formação de martensita).

Vantagens competitivas dos aços inoxidáveis

Na tabela 2 abaixo apresenta-se um resumo comparativo entre as diversas famílias de aços inox. Vê-se que o leque de possibilidade é bem amplo, requerendo cuidados na seleção do material mais adequado às necessidades.

Característica	Família de aço Inox				
	Ferríticos	Martensíticos	Austeníticos	Duplex	PH
Resistência à Corrosão	Elevada	Boa	Elevada (*)	Excelente	Elevada
Formalidade	Boa	Baixa	Excelente	Boa	Regular
Soldabilidade	Boa	Baixa	Excelente	Boa	Regular
Endurecíveis?	Não	Sim. Por tratamento térmico	Sim. Por deformação a frio	Não	Sim. Por tratamento térmico
Resistência Mecânica	Boa	Elevada após tempera e revenido	Boa	Elevada	Excelente após tratamento térmico de envelhecimento
Magnéticos?	Sim	Sim	Não	Sim	Sim

(*) Exceto série 200

Tabela 3: Comparação das diversas características dos aços inox

Finalizando, os aços inox encontram cada vez mais novos segmentos de mercado devido às suas diversas qualidades e vantagens competitivas: resistência à corrosão, resistência ao fogo e ao calor, beleza, capacidade de conformação, resistência mecânica, tenacidade, durabilidade, facilidade de limpeza, higiene, baixo custo de manutenção, ambientalmente correto, como exemplificado na fig. 9:



Fig. 9: Algumas aplicações do aço inox.

Aplicações já consagradas:

- Linha branca e Utilidades domésticas
- Transportes
- Açúcar e álcool
- Óleo e gás
- Papel e Celulose
- Alimentos e Bebidas
- Moedas
- Cozinhas industriais
- Hospitalar
- Tubos automotivos
- Arquitetura e Interiores
- Telhas e coberturas
- Corrimão de escadas
- Elevadores
- Pias e Cubas
- Mobiliário urbano
- Mobiliário esportivo

Apêndice 1: Estrutura cristalina

Todos os metais, uma grande parte dos cerâmicos e alguns polímeros cristalizam-se quando se solidificam. Ou seja, os átomos se arranjam em um modelo tridimensional, ordenado e repetitivo, que são os cristais. Existem vários sistemas cristalinos, sendo os cristais cúbicos os mais significativos.

O ferro tem uma estrutura cúbica de corpo centrado CCC conhecida como ferrita, também chamada de alfa: um átomo em cada vértice do cubo e um no centro do cubo. Outros elementos como o Cr e o Mo também tem esta característica. Daí serem denominados de alfa-gênicos. Já elementos como o Ni, o Cu e o Mn se cristalizam em uma estrutura cúbica de face centrada CFC, a austenita, também chamada de gama. Estes elementos são gama-gênicos.

Muitas informações podem ser obtidas dos diagrama de equilíbrio Fe-Cr e Fe-Ni. Por exemplo: no diagrama Fe-Cr, para teores inferiores a 11% de Cr, o metal se solidifica como alfa, depois se transforma em gama à medida que resfria, e torna-se novamente alfa para temperaturas inferiores a 850oC.

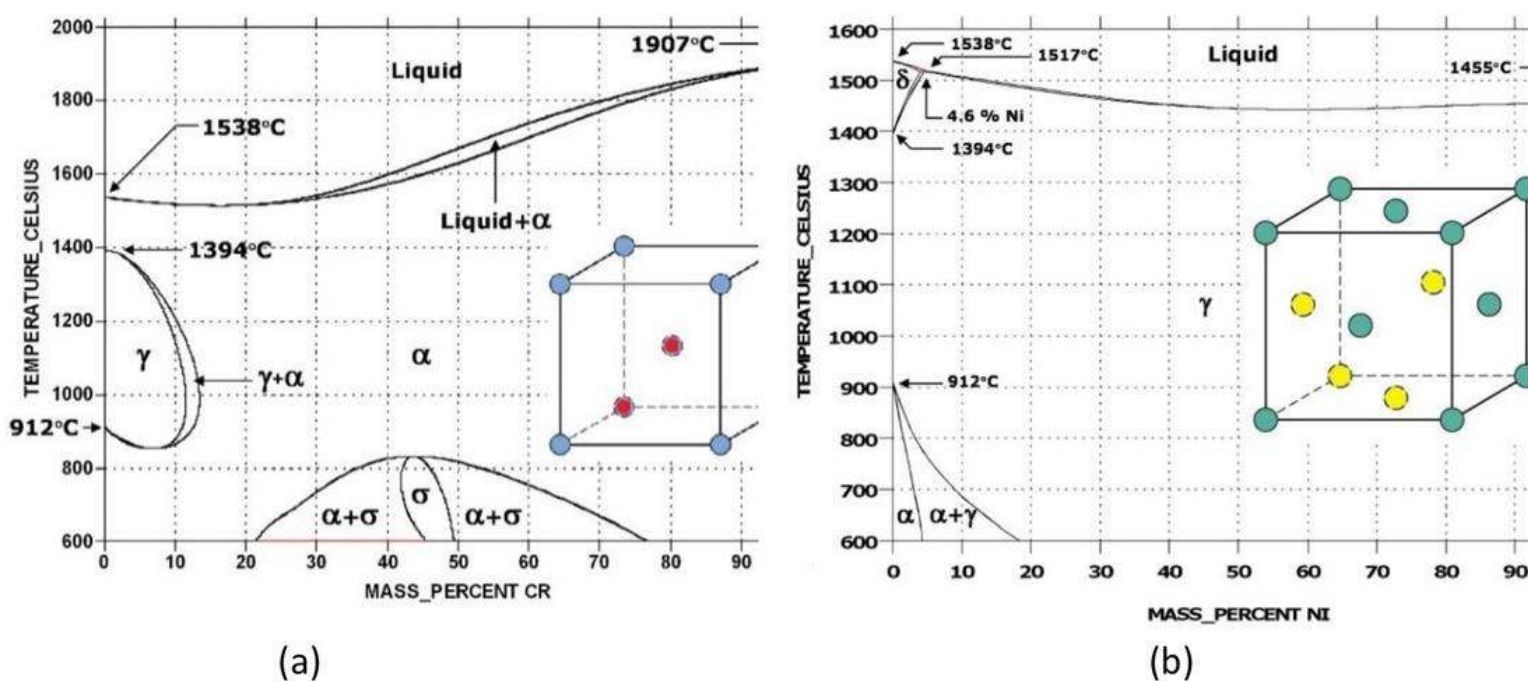


Diagrama de equilíbrio Fe-Cr (a) e Fe-Ni (b)

No diagramas há uma ilustração de um cristal CCC (a) e de um cristal CFC (b). Esta é uma primeira abordagem, quando Fe, Cr, Ni, e outros elementos estão presentes são necessários outros recursos para determinar a estrutura presente, como os diagramas de Scheffer/Delong.

MÓDULOS DE TREINAMENTO

CONHECENDO

OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Coordenação:

ABINOX

Por:

Eng. Ronaldo Claret Ribeiro da Silva

**ENVIE SUAS DÚVIDAS OU
COMENTÁRIOS PARA O
ESPECIALISTA DA ABINOX:**

 www.abinox.org.br  [/abinox](https://www.linkedin.com/company/abinox)

 (11) 963405604

 [/associação.abinox](https://www.facebook.com/associação.abinox)

 [@abinox.oficial](https://www.instagram.com/abinox.oficial)

 [@abinox](https://www.youtube.com/@abinox)