

# **AÇOS INOXIDÁVEIS**

- 1. O Aço Sem Manchas (Stainless Steel)**
- 2. O que é afinal um “Aço Inoxidável”?**
- 3. O papel do cromo e a passividade**
- 4. A Influência dos outros elementos no aço inoxidável**
- 5. Fluxograma de produção de aços inoxidáveis**
- 6. Classificação dos aços inoxidáveis**
- 7. Composição química dos aços inoxidáveis**
- 8. Propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis**
- 9. Corrosão em aços inoxidáveis**
- 10. Resistência à corrosão dos aços inoxidáveis**
- 11. Seleção de um aço inoxidável para um dado meio corrosivo**
- 12. Usos típicos dos aços inoxidáveis**
- 13. Normas mais comuns de tubos de aço inoxidável austeníticos**

## 1. O Aço Sem Manchas (Stainless Steel)

Diz a história que os aços inoxidáveis foram descobertos por acaso.

Em 1912 o inglês Harry Brearly, estudava uma liga Fe-Cr (13%) e justamente quando tentava fazer algumas observações metalográficas verificou que a liga fabricada resistia a maior parte dos reagentes que se utilizavam na época em metalografia. E foi Brearly mesmo que deu o nome a liga, chamando-a de “stainless steel” que traduzindo quer dizer “aço que não mancha”.

Um ano mais tarde na Alemanha, Eduard Maurer, que estudava uma liga Fe-Cr que continha além dos elementos da liga de Brearly cerca de 8% de Ni. Como resultado observou que a liga resistiu vários meses à vapores agressivos do laboratório no qual trabalhava.

Passados mais de 70 anos, hoje sabemos que os aços descobertos por eles eram os nossos conhecidos AISI 420 (martensítico) e o AISI 302 (austenítico) respectivamente.

Era um pouco difícil de compreender na época, que aquecendo-se duas ligas a altas temperaturas (1.000 °C) e resfriando-as rapidamente, obtinhamos duas ligas completamente diferentes, uma com alta dureza (AISI 420) e outra com ótima ductilidade (AISI 302).

De lá para cá, os aços inoxidáveis muito evoluíram, principalmente em função da indústria petrolífera, da aeronáutica, da criogenia e até mesmo devido a 2ª guerra mundial.

## 2. O que é afinal um “Aço Inoxidável”?

A expressão aço inoxidável, como é usualmente conhecido, nos dá uma idéia de um material que não se destrói mesmo quando submetido aos mais violentos abusos.

Na verdade este tipo de aço não é eterno e sim apresenta geralmente uma maior resistência à corrosão, quando submetido a um determinado meio ou agente agressivo. Apresenta também uma maior resistência à oxidação a altas temperaturas em relação a outras classes de aços, quando, neste caso em particular, recebe a denominação de aço refratário.

A resistência à oxidação e corrosão do aço inoxidável se deve principalmente a presença do cromo, que a partir de um determinado valor e em contato com o oxigênio, permite a formação de uma película finíssima de óxido de cromo sobre a superfície do aço, que é impermeável e insolúvel nos meios corrosivos usuais.

Assim podemos definir como aço inoxidável o grupo de ligas ferrosas resistentes a oxidação e corrosão, que contenham no mínimo 12% de cromo.

### *Aço Inoxidável*

*Ligas ferrosas, baixo carbono com no mínimo 12% de Cr*

### 3.O papel do cromo e a passividade

Os aços inoxidáveis são, basicamente, ligas ferro-cromo; outros metais atuam como elementos de liga, mas, o cromo é o mais importante e sua presença é indispensável para se conferir a resistência à corrosão desejada.

Como está indicado na figura 1, um mínimo de 11% de cromo é necessário para que as ligas ferro-cromo sejam resistentes à corrosão atmosférica.

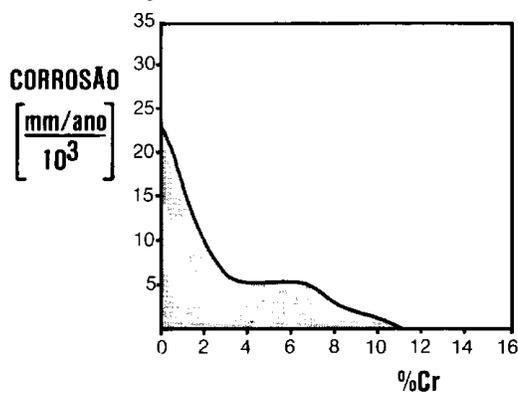


Figura 1 - Efeito do teor crescente de Cr na resistência à corrosão atmosférica de ligas Fe-Cr.

Quando comparamos os aços inoxidáveis com alguns metais ou ligas, observamos diferenças importantes. O comportamento típico de um metal em presença de um determinado meio agressivo é mostrado na figura 2. Imaginemos um metal qualquer imerso numa solução ácida que tenha um certo poder oxidante, indicado pelo ponto A na figura. Nestas condições, o metal estará em condições adversas e sofrerá corrosão. Se o poder oxidante da solução é aumentado, adicionando-se, por exemplo, cátion férrico, a taxa de corrosão também aumenta rapidamente.

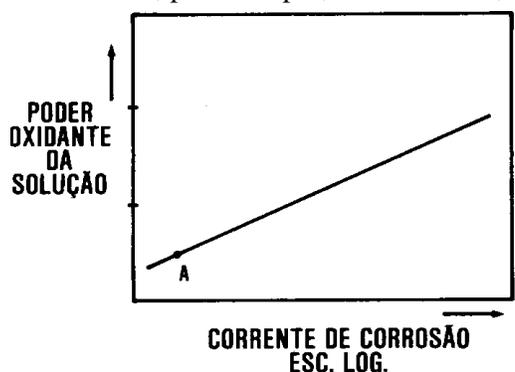
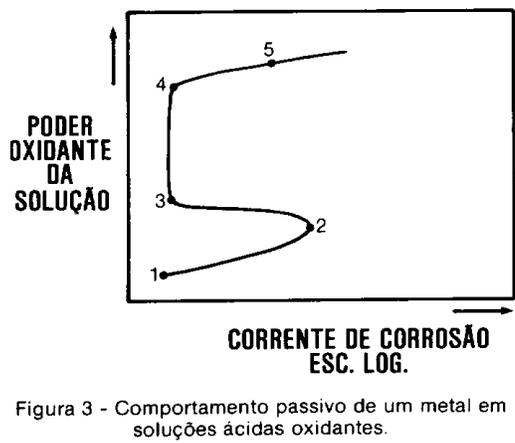


Figura 2 - Comportamento ativo de um metal em soluções ácidas oxidantes.

Como pode ser observado na figura 3, o comportamento dos aços inoxidáveis é diferente. A princípio, apresentam um comportamento semelhante a outros metais (região 1 a 2 na figura 3) mas, quando se atinge um determinado poder oxidante na solução, produz-se uma grande diminuição na taxa de corrosão, como é observado nos pontos 3 e 4 (tanto que no ponto 3 a taxa de corrosão é da ordem de 1.000 a 10.000 vezes menor que em 2).



A partir do ponto 3, por mais que se aumente o poder oxidante da solução, não existirão aumentos da taxa de corrosão. No entanto, a partir do ponto 4, novos aumentos no poder oxidante provocarão novamente um aumento na taxa de corrosão. A região 1 - 2 é conhecida como região de atividade, a 3 - 4 como região de passividade e, a partir de 4 passando pela 5, temos a região de transpassividade.

As figuras 2 e 3 mostram claramente as diferenças existentes, em termos de resistência à corrosão, entre os aços inoxidáveis e alguns outros metais e ligas. O fenômeno da passividade é comunicado aos aços inoxidáveis pelo cromo e é por isso que apresentam excelente comportamento em muitos meios agressivos.

Já o estado passivo é consequência da formação de um filme extraordinariamente fino de óxido protetor (espessura de  $3^0$  a  $50 \text{ \AA}$ ) na superfície dos aços inoxidáveis.

#### 4. A Influência dos outros elementos no aço inoxidável

Outros elementos podem estar presentes, como o Níquel, Molibdênio, Nióbio e Titânio, em proporções que caracterizam a estrutura, propriedades mecânicas e o comportamento final em serviço do aço inoxidável.

Porém, para se ter uma idéia mais clara, podemos resumir brevemente o papel de cada um:

- **NÍQUEL:**

Sua adição provoca também uma mudança na estrutura do material que apresenta melhores características de:

- ductilidade (ESTAMPAGEM)
- resistência mecânica a quente
- soldabilidade (FABRICAÇÃO)

Aumenta a resistência à corrosão de uma maneira geral.

O Cromo e o Níquel então constituem os elementos primordiais dos aços inoxidáveis.

Outros elementos complementam suas funções.

- **MOLIBDÊNIO E O COBRE:**

Têm a finalidade de aumentar a resistência à corrosão por via úmida.

- **SILÍCIO E O ALUMÍNIO:**

Melhoram a resistência à oxidação a alta temperatura.

- **TITÂNIO E O NIÓBIO:**

São elementos "estabilizadores" nos aços austeníticos, impedindo o empobrecimento de cromo via precipitação em forma de carbonetos durante aquecimento e/ou resfriamento lento em torno de  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ , que provocaria uma diminuição da resistência local à corrosão.

---

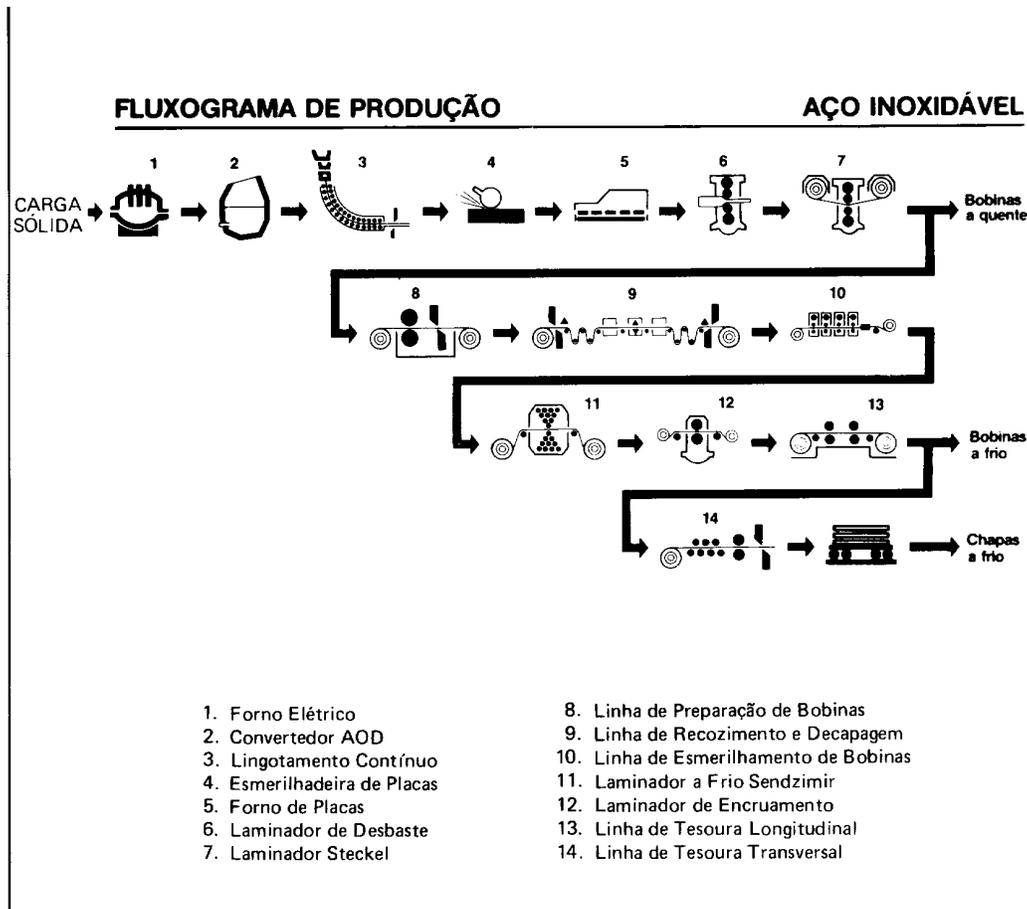
É permitida a reprodução total ou parcial deste artigo, desde que citada a fonte e o autor.

Para maiores informações entrar em contato com [ciropiza@osite.com.br](mailto:ciropiza@osite.com.br)

•Existem ainda outros elementos que modificam e melhoram as características básicas dos aços inoxidáveis, como o manganês e o nitrogênio, o cobalto, o boro e as terras raras, porém são muito específicos.

## 5. Fluxograma de produção de aços inoxidáveis

Para não entrar em detalhamento de processo, colocaremos apenas o fluxograma de produção de aço inoxidável da Acesita.

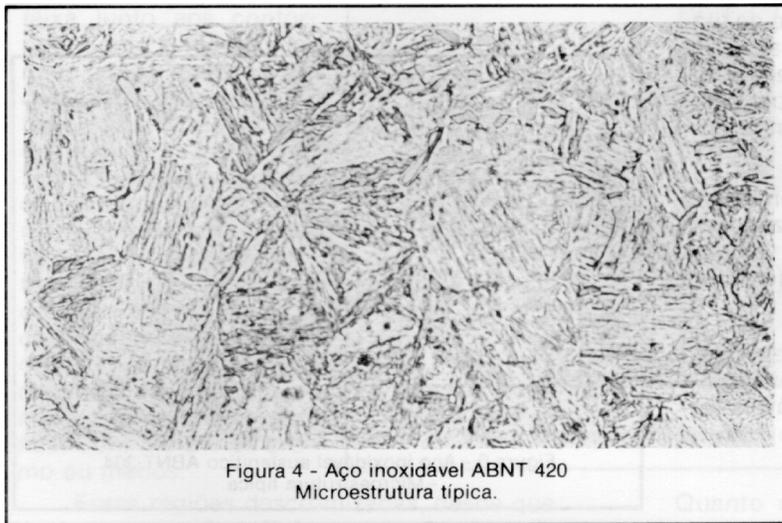


## 6. Classificação dos aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são classificados em três grupos de acordo com a microestrutura básica formada (na verdade existe mais um grupo com propriedades mistas, onde por didática prefiro omitir).

Microestrutura	Capacidade de ser tratado		Série
	termicamente	Elementos de liga básicos	
<b>Martensítica</b> fig 4	Endurecível	Cromo	400
<b>Ferrítica</b> fig 5	Não endurecível	Cromo	400
<b>Austenítica</b> fig 6	Não endurecível	Cromo-Níquel	300

- MARTENSÍTICO



Estes aços, após resfriamento rápido de alta temperatura, mostram uma estrutura caracterizando alta dureza e fragilidade, denominada Martensítica.

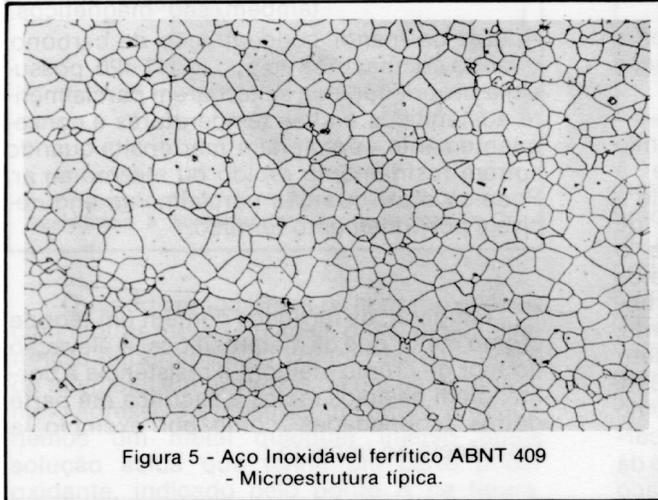
Contém de 12 a 17% de Cromo e O, 1 a O, 5% de carbono (em certos casos até 1% de carbono) e podem atingir diversos graus de dureza pela variação das condições de aquecimento e resfriamento (tratamento térmico).

São dificilmente atacados pela corrosão atmosférica no estado temperado e se destacam pela dureza.

São ferromagnéticos.

Apresentam trabalhabilidade inferior as demais classes e soldabilidade pior, especialmente com carbono mais elevado, devido a formação de martensita no resfriamento.

- FERRÍTICOS



Após resfriamento rápido de alta temperatura eles mostram uma estrutura macia e tenaz, altamente homogênea, conhecida com ferrítica.

Contém de 16 a 30% de Cromo.

Não podem ser endurecidos por tratamento térmico e são basicamente usados nas condições de recozido.

Possuem uma maior trabalhabilidade, e maior resistência à corrosão que os aços martensíticos devido ao maior teor de cromo.

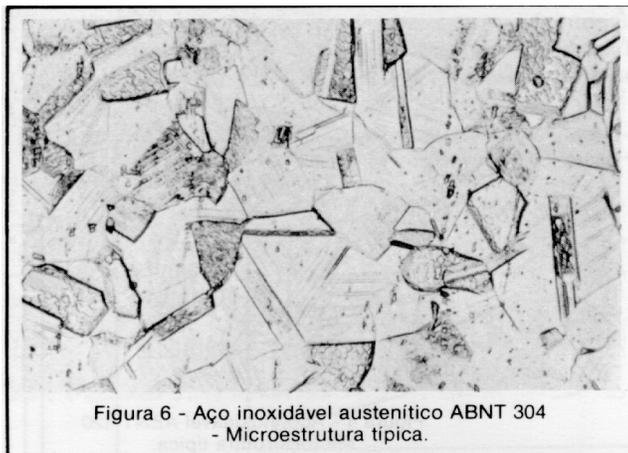
Possuem boas propriedades físicas e mecânicas e são efetivamente resistentes à corrosão atmosférica e a soluções fortemente oxidantes.

São ferromagnéticos.

As aplicações principais são aquelas que exigem boa resistência à corrosão, ótima aparência superficial e requisitos mecânicos moderados.

Apresentam, tendência ao crescimento de grão após soldagem, particularmente para seções de grande espessura, experimentando certas formas de fragilidade.

- AUSTENÍTICOS



Os aços inoxidáveis apresentam uma boa resistência a corrosão, porém, em alguns casos outras características além da resistência à corrosão são necessários, para a utilização dos mesmos em determinadas aplicações; acrescentamos então outros elementos de liga para que o aço inoxidável adquira essas características.

Uma grande melhoria em muitas propriedades é conseguida com a introdução de Ni como elemento de liga. Consegue-se uma mudança na estrutura, transformando ligas ferríticas em ligas austeníticas (estrutura de alta resistência e tenacidade).

Os aços inoxidáveis austeníticos são conhecidos pela sua excelente resistência à corrosão em muitos meios agressivos.

Outros elementos como molibdênio, titânio e nióbio, se adicionados podem melhorar a resistência a corrosão e minimizar a corrosão intergranular por estabilização dos carbonetos presentes.

Dos três grupos, estes aços são os que apresentam maior resistência à corrosão. Eles combinam baixo limite de escoamento com alta resistência a tração e bom alongamento, oferecendo as melhores propriedades para trabalho a frio.

Não podem ser endurecido por tratamento térmico, mas suas resistência a tração e dureza podem ser aumentadas por encruamento.

Não são ferromagnéticos.

Eles possuem uma ampla faixa de propriedades mecânicas, oferecendo boa ductilidade e resistência a altas e/ou baixíssimas temperaturas, além de boa trabalhabilidade e soldabilidade.

- Existem também aços inoxidáveis duplex (com dois tipos de estrutura convivendo), porém como são aços muito especiais eles não serão discutidos.

## 7. Composição química dos aços inoxidáveis

- austeníticos

Tipo de aço ABNT	Composição química, % máxima							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Outros
201	0,15	5,50 7,50	1,00	0,060	0,030	16,00 18,00	3,50 5,50	N 0,25
202	0,15	7,50 10,00	1,00	0,060	0,030	17,00 19,00	4,00 6,00	N 0,25
205	0,12 0,25	14,00 15,50	1,00	0,060	0,030	16,50 18,00	1,00 1,75	N 0,32/0,40
301	0,15	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00 18,00	6,00 8,00	
302	0,15	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00 19,00	8,00 10,00	
302 B	0,15	2,00	2,00 3,00	0,045	0,030	17,00 19,00	8,00 10,00	
303	0,15	2,00	1,00	0,20	0,15 mín.	17,00 19,00	5,00 10,00	M0 (A) 0,60
303 Se	0,15	2,00	1,00	0,20	0,060	17,00 19,00	8,00 10,00	Se 0,15 mín.
<b>304</b>	<b>0,08</b>	<b>2,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,045</b>	<b>0,030</b>	<b>18,00 20,00</b>	<b>8,00 10,50</b>	
<b>304 L</b>	<b>0,030</b>	<b>2,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,045</b>	<b>0,030</b>	<b>18,00 20,00</b>	<b>8,00 12,00</b>	
304 N	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00 20,00	8,00 10,50	N 0,10/0,16
305	0,12	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00 19,00	10,50 13,00	
308	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	19,00 21,00	10,00 12,00	
309	0,20	2,00	1,00	0,045	0,030	22,00 24,00	12,00 15,00	
3095	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	22,00 24,00	12,00 15,00	
310	0,25	2,00	1,50	0,045	0,030	24,00 26,00	19,00 22,00	
3105	0,08	2,00	1,50	0,045	0,030	24,00 26,00	19,00 22,00	
314	0,25	2,00	1,50 3,00	0,045	0,030	23,00 26,00	19,00 22,00	
<b>316</b>	<b>0,08</b>	<b>2,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,045</b>	<b>0,030</b>	<b>16,00</b>	<b>10,00</b>	<b>M0</b>

É permitida a reprodução total ou parcial deste artigo, desde que citada a fonte e o autor.  
Para maiores informações entrar em contato com [ciropiza@osite.com.br](mailto:ciropiza@osite.com.br)

						<b>18,00</b>	<b>14,00</b>	<b>2,00/3,00</b>
<b>316 L</b>	<b>0,030</b>	<b>2,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,045</b>	<b>0,030</b>	<b>16,00</b>	<b>10,00</b>	<b>M0</b>
						<b>18,00</b>	<b>14,00</b>	<b>2,00/3,00</b>
316 F	0,08	2,00	1,00	0,20	0,10	16,00	10,00	M0
					mín,	18,00	14,00	1,75/2,50
316 N	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00	10,00	M0 2,00/3,00
						18,00	14,00	N 0,10/0,16
317	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	11,00	M0
						20,00	15,00	3,00/4,00
317 L	0,030	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	11,00	M0
						20,00	15,00	3,00/4,00
321	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00	9,00	Ti >=
						19,00	12,00	5 x C
329	0,10	2,00	1,00	0,040	0,030	25,00	3,00	M0
						30,00	6,00	1,00/2,00
330	0,08	2,00	0,75	0,040	0,030	17,00	34,00	
			1,50			20,00	37,00	
347	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00	9,00	Nb + Ta >=
						19,00	13,00	10 x C
348	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00	9,00	Nb + Ta >= 10 x C
						19,00	13,00	Ta 0,10 máx.
							I	CO 0,20 máx.
384	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	15,00	17,00	
						17,00	19,00	

(A) Opcional.

- martensíticos

Tipo de aço ABNT	Composição química, % máxima							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Outros
403	0,15	1,00	0,50	0,040	0,030	11,50 13,00		
405	0,08	1,00	1,00	0,040	0,030	11,50 14,50		Al 0,10/0,30
410	0,15	1,00	1,00	0,040	0,030	11,50 13,50		
414	0,15	1,00	1,00	0,040	0,030	11,50 13,50		Ni 1,25/2,50
416	0,15	1,25	1,00	0,060	0,15 min.	12,00 14,00	0,60 (A)	
416Se	0,15	1,25	1,00	0,060	0,060	12,00 14,00		Se 0,15 min.
420(B)	0,15 min	1,00	1,00	0,040	0,030	12,00 14,00		
420F	0,15 min	1,25	1,00	0,060	0,15 min.	12,00 14,00	0,60 (A)	
422	0,20 0,25	1,00	0,75	0,025	0,025	11,00 13,00	0,75 1,25	Ni 0,50/1,00 V 0,15/0,30 W 0,75/1,25
431	0,20	1,00	1,00	0,040	0,030	15,00 17,00		Ni 1,25/2,50
440 A	0,60 0,75	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00 18,00	0,75	
440 B	0,75 0,95	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00 18,00	0,75	
440 C	0,95 1,20	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00 18,00	0,75	
501	0,10 min	1,00	1,00	0,040	0,030	4,00 6,00	0,40 0,65	
502	0,10	1,00	1,00	0,040	0,030	4,00 6,00	0,40 0,65	

(A) Opcional

(B) O aço tipo ABNT 420 pode ser solicitado objetivando carbono nas faixas 0,15/0,35 e 0,35/0,45 caso se destine a'uso geral ou aplicação em cutelaria respectivamente,

- ferríticos

Composição química, % máxima

Tipo de aço ABNT	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Outros
409	0.08	1.00	1.00	0.045	0.045	10.50 11.75		Ti $\geq$ 6xC Ti 0.75 máx
429	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	14.00 16.00		
430	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00 18.00		
430F	0.12	1.25	1.00	0.060	0.15 min	16.00 18.00	0.60 (A)	
430FSe	0.12	1.25	1.00	0.060	0.060	16.00 18.00		Se 0.15 min
434	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00 18.00		
436	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00 18.00	0.75 1.25	Nb+Ta $\geq$ 5xC 0.70 máx
442	0.20	1.00	1.00	0.040	0.030	13.00 23.00	0.75 1.25	
446	0.20	1.50	1.00	0.040	0.030	23.00 27.00		N 0.25

(A) Opcional

## 8. Propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis

### • austeníticos

Tipo de Aço ABNT	Estado	Resistência à tração N/mm <sup>2</sup>	Limite de escoamento à 0,2% N/mm <sup>2</sup>	Alongamento em 50,8 mm percentual			Dureza Rockwell	Dobramento livre		Limite de resistência à fadiga N/mm <sup>2</sup>
				e ≤ 0,3 mm	0,3 mm < e < 0,7 mm	e ≥ 0,7 mm		Angulo*	Fator <sup>(1)</sup>	
201	recozido	665,0	315,0	40	40	40	B 90	180	1	-
	¼ duro	875,0*	525,0*	20*	20*	20*	C 25	180	2	-
	½ duro	1050,0*	770,0*	9*	10*	10*	C 32	180	8	-
	¾ duro	1225,0*	945,0*	3*	5*	7*	C 37	90	2,5	-
	duro	1295,0*	980,0*	3*	4*	5*	C 41	90	3,5	-
202	recozido	630,0	315,0	40	-	-	B 90	180*	1	-
	¼ duro	875,0*	525,0*	12*	-	-	C 25	180*	2	-
301	recozido	770,0	280,0	60*	-	-	B 85	-	-	245,0
	¼ duro	875,0*	525,0*	25*	-	-	C 25	180*	1	-
	½ duro	1025,0*	770,0*	18*	-	-	C 32	180*	2	-
	¾ duro	1225,0*	945,0*	12*	-	-	C 37	180*	3	-
	duro	1295,0*	980,0*	9*	-	-	C 41	180*	4	560,0
302	recozido	630,0	280,0	50	-	-	B 85	180	-	-
	¼ duro	875,0*	525,0*	12*	-	-	C 25	180	-	-
302B	recozido	665,0	280,0	55	-	-	B 85	180	-	-
304	recozido	588,0	294,0	55	-	-	B 80	180	-	245,0
304L	recozido	567,0	273,0	55	-	-	B 79	180	-	-
305	recozido	595,0	266,0	50	-	-	B 80	180	-	-
309	recozido	630,0	315,0	45	-	-	B 85	-	-	-
310	recozido	665,0	315,0	45	-	-	B 85	180	-	-
314	recozido	700,0	350,0	40	-	-	B 85	180	-	-
316	recozido	588,0	294,0	50	-	-	B 79	180	-	273,0
316L	recozido	567,0	294,0	50	-	-	B 79	180	-	-
317	recozido	630,0	280,0	45	-	-	B 85	180	-	-
321	recozido	630,0	245,0	45	-	-	B 80	180	-	-
347	recozido	665,0	280,0	45	-	-	B 85	180	-	-

\* Valor mínimo

- Notas: 1) Fator é o número pelo qual se deve multiplicar a espessura nominal da chapa para se obter o diâmetro do cutelo a ser empregado no ensaio do dobramento (Exemplo: se o fator é igual a 3, o diâmetro do cutelo deverá ser igual a 3 vezes a espessura da chapa a ser ensaiada).
- 2) Os valores das propriedades mecânicas apresentadas sem asteriscos (\*) na Tabela acima são médios.
  - 3) As propriedades podem variar consideravelmente em função da composição química, dimensão, estado do aço ensaiado e métodos de tratamentos térmicos ou mecânicos.
  - 4) As propriedades mecânicas dos produtos planos variam em função da relação entre a direção testada e a direção de laminação. Por exemplo: ductilidade (é maior quando o eixo de dobramento for transversal à direção da Laminação).

• martensíticos

Tipo de Aço ABNT	Estado	Resistência à tração N/mm <sup>2</sup>	Limite de escoamento à 0,2% N/mm <sup>2</sup>	Alongamento em 50,8 mm percentual			Dureza Rockwell	Dobramento livre	Limite de resistência à fadiga N/mm <sup>2</sup>
				e ≤ 0,38 mm	0,38 < e < 0,76 mm	e ≥ 0,76 mm			
								Angulo* Fator <sup>(1)</sup>	
403	recozido	490,0	315,0	25	-	-	B 80	180	-
405	recozido	455,0	280,0	25	-	-	B 75	-	-
410	recozido	490,0	315,0	25	-	-	B 80	180	-
420	recozido	665,0	350,0	20	-	-	B 92	-	-
440 <sup>A</sup>	recozido	700,0	420,0	20	-	-	B 95	-	-

- Notas: 1) Fator é o número pelo qual se deve multiplicar a espessura nominal da chapa para se obter o diâmetro do cutelo a ser empregado no ensaio do dobramento (Exemplo: se o fator é igual a 3, o diâmetro do cutelo deverá ser igual a 3 vezes a espessura da chapa a ser ensaiada).
- 2) Os valores das propriedades mecânicas apresentadas sem asteriscos (\*) na Tabela acima são médios.
  - 3) As propriedades podem variar consideravelmente em função da composição química, dimensão, estado do aço ensaiado e métodos de tratamentos térmicos ou mecânicos.
  - 4) As propriedades mecânicas dos produtos planos variam em função da relação entre a direção testada e a direção de laminação. Por exemplo: ductilidade (é maior quando o eixo de dobramento for transversal à direção da Laminação).

## • ferríticos

Tipo de Aço ABNT	Estado	Resistência à tração N/mm <sup>2</sup>	Limite de escoamento à 0,2% N/mm <sup>2</sup>	Alongamento em 50,8 mm percentual			Dureza Rock well	Dobramento livre	Limite de resistência à fadiga N/mm <sup>2</sup>
				e ≤ 0,38 mm	0,38 < e < 0,76 mm	e ≥ 0,76 mm			
								Angulo* Fator <sup>(1)</sup>	
430	recozido	525,0	350,0	25	-	-	B 85	180	-
446	recozido	560,0	350,	20	-	-	B 83	-	-
502	recozido	490,0	-	30	-	-	B 75	180	-

- Notas: 1) Fator é o número pelo qual se deve multiplicar a espessura nominal da chapa para se obter o diâmetro do cutelo a ser empregado no ensaio do dobramento (Exemplo: se o fator é igual a 3, o diâmetro do cutelo deverá ser igual a 3 vezes a espessura da chapa a ser ensaiada).
- 2) Os valores das propriedades mecânicas apresentadas sem asteriscos (\*) na Tabela acima são médios.
  - 3) As propriedades podem variar consideravelmente em função da composição química, dimensão, estado do aço ensaiado e métodos de tratamentos térmicos ou mecânicos.
  - 4) As propriedades mecânicas dos produtos planos variam em função da relação entre a direção testada e a direção de laminação. Por exemplo: ductilidade (é maior quando o eixo de dobramento for transversal à direção da Laminação).

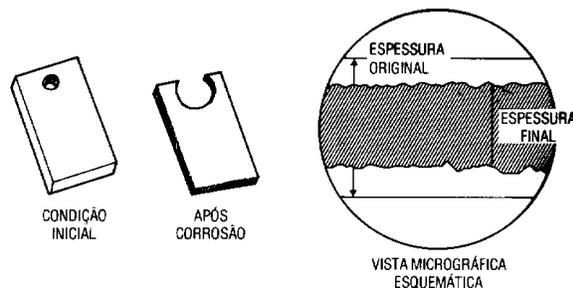
## 9. Corrosão em aços inoxidáveis

Antes de falarmos sobre a resistência a corrosão dos aços inoxidáveis, vamos antes explicar sucintamente o que é corrosão e os seus principais tipos.

Corrosão é geralmente entendida como uma destruição parcial ou total de um metal ou liga metálica, por via química ou eletroquímica.

Conforme a extensão, a forma e as circunstâncias do ataque, costuma-se dividir a corrosão nos seguintes tipos principais:

- **CORROSÃO GERAL** - É a corrosão que se desenvolve, uniformemente em toda a



superfície da peça atacada.

- **CORROSÃO INTERCRISTALINA** (ou intergranular) - Ocorre nos contornos dos grãos dos metais e freqüentemente propaga-se pelo interior da peça, deixando poucos sinais visíveis na superfície. Esta forma de desenvolvimento representa um grande perigo, pois, a corrosão pode progredir consideravelmente sem ser notada.

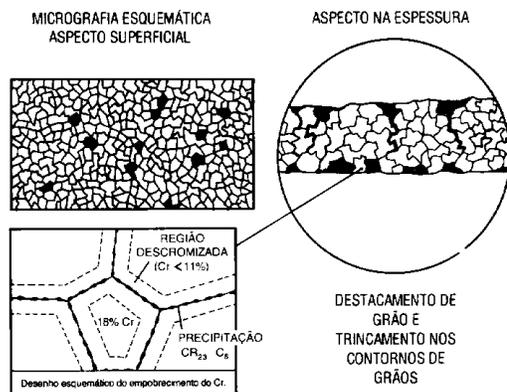
A causa da corrosão intercrystalina nos aços inoxidáveis é a precipitação de carbonetos de cromo nos contornos de grão, resultante da permanência mais ou menos prolongada do aço na faixa de temperaturas entre 400 e 900 °C

Para evitar ou ao menos reduzir a ocorrência deste tipo de ataque (os austeníticos são os mais sensíveis a este tipo de corrosão) podemos:

Quando viável, realizar um recozimento destinado a promover uma completa redissolução dos carbonetos precipitados.

Usar aços estabilizados, isto é aços com adição de elementos de liga como o titânio, tântalo ou nióbio, que possuem maior afinidade pelo carbono do que o cromo.

Usar aços com teor de carbono extremamente baixos (da ordem de 0,02 a 0,03%).

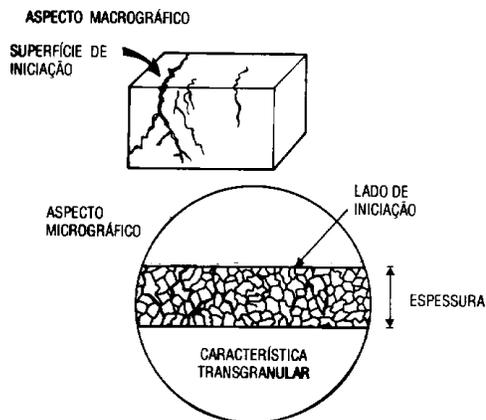


É permitida a reprodução total ou parcial deste artigo, desde que citada a fonte e o autor.

Para maiores informações entrar em contato com [ciropiza@osite.com.br](mailto:ciropiza@osite.com.br)

- **CORROSÃO SOB TENSÃO** Ocorre quando o metal se encontra sob a ação simultânea de um meio corrosivo e de uma tensão mecânica, produzida por exemplo, por uma deformação a frio.

Para reduzir os efeitos da corrosão, recomenda-se remover a tensão por meio de um recozimento a temperatura adequada.



- **CORROSÃO GALVÂNICA** ocorre quando dois metais de potenciais eletroquímicos diferentes se encontram imersos em um mesmo eletrólito e mantêm contato galvânico entre si. O mesmo processo pode realizar-se no caso de metais de igual potencial imersos em eletrólitos diferentes ou no caso de metais diferentes em eletrólitos diferentes.

Diversos processos são utilizados para eliminar ou reduzir a corrosão galvânica.

Como regra geral, deve-se evitar, dentro das possibilidades do projeto e da operação, o contato galvânico entre metais que apresentem grande diferença de potencial eletroquímico.

Isso obtém-se pelo uso de materiais isolantes como borracha, pela aplicação de camadas protetoras (com tintas, plásticos, etc.) e em alguns casos por um rearranjo do projeto, etc.,

Outro sistema de medidas consiste na remoção do eletrólito, sobretudo quando de natureza incidental (água de chuva ou de condensação, acúmulos de agentes corrosivos, etc.)

Em algumas aplicações é necessário o uso de proteção catódica; este processo é complexo e requer a assistência de especialistas.

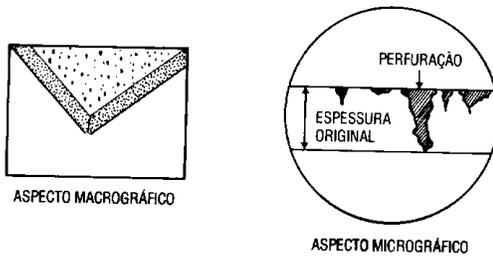
- **CORROSÃO ALVELAR** Também conhecida como corrosão localizada (**pitting** em inglês) consiste num ataque localizado de uma peça por um agente corrosivo. Este tipo de corrosão caracteriza-se por uma penetração do ataque em pontos isolados, que pode eventualmente provocar a perfuração da peça enquanto as regiões circunvizinhas permanecem praticamente intactas. Um dos casos mais frequentes de corrosão alveolar ocorre em peças metálicas imersas em água do mar.

As causas da corrosão alveolar são muito diversas e estão geralmente ligadas ao estado de superfície da peça, a aeração, a composição do eletrólito, etc.

A adição de molibdênio aos aços inoxidáveis austeníticos aumenta consideravelmente a resistência desses após a corrosão alveolar.

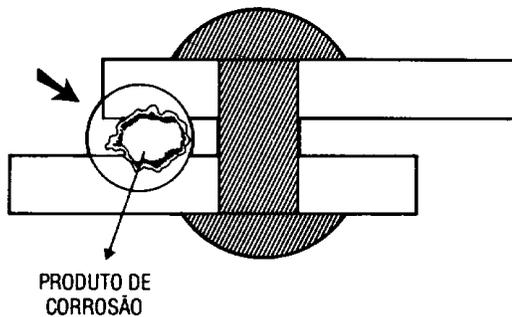
Em muitas aplicações é praticamente inevitável a ocorrência desse tipo de corrosão, para minorar seus efeitos, recomenda-se ter a peça em bom estado de limpeza, com a superfície polida e livre de corpos estranhos aderentes, etc.

A corrosão alveolar é muitas vezes associada a corrosão galvânica e nesses casos torna-se necessário combater simultaneamente as duas formas de ataque.



- **CORROSÃO EM FRESTAS** Este tipo de corrosão ocorre em frestas, recessos, cavidades e outros espaços confinados onde se acumulam agente corrosivo.

Atribui-se geralmente a corrosão em frestas a uma deficiência de aeração, que não permite a presença de oxigênio suficiente para formar e manter a camada passivadora de óxido de cromo. A proteção contra corrosão em frestas consiste principalmente em evitar dentro do possível a criação de espaços confinados, por meio de projeto e construção adequados.



- **CORROSÃO EM TEMPERATURAS ELEVADAS** - A resistência dos aços inoxidáveis a corrosão em temperaturas elevadas é condicionada por uma série de fatores, como o meio circundante, o processo de fabricação da peça ou equipamento, o ciclo de operação, etc. A seguir apresentaremos em linhas gerais a ação de alguns agentes agressivos sobre os aços inoxidáveis em altas temperaturas.

- **AR E GASES OXIDANTES EM GERAL**

O ataque por gases oxidantes é provavelmente a causa mais freqüente de corrosão dos aços inoxidáveis em temperaturas elevadas. O ataque provoca a partir de certa temperatura a formação de uma espessa crosta de oxido. Essa temperatura é fortemente afetada pela composição de gases presentes.

As temperaturas de oxidação, em serviço contínuo e em serviço intermitente, mencionadas em catálogos de aços inoxidáveis, são normalmente determinadas em ar atmosférico praticamente puro, sobretudo isento de gases sulfurados e devem ser considerados como indicações orientativas. É muito importante levar este fato em consideração na fase de seleção dos aços, pois a presença de contaminantes produz um abaixamento considerável da temperatura de oxidação.

- **GASES REDUTORES EM GERAL**

A presença de gases redutores em temperaturas elevadas afetam os aços inoxidáveis por diversos modos e assim cada caso deve ser estudado separadamente.

- **GASES SULFURADOS**

**OXIDANTES** - Estes gases são geralmente menos nocivos que os redutores. Entretanto, sua presença produz um abaixamento de 100 a 200

°C, ou eventualmente mais, na temperatura de oxidação dos aços inoxidáveis isentos de níquel ou com baixo teor desse elemento.

REDUTORES - Estes gases, são altamente corrosivos, sobretudo para os aços que contém níquel.

Por este motivo os aços inoxidáveis austeníticos não são recomendados para aplicações que envolvem a presença de gases sulfurados redutores.

## 10. Resistência à corrosão dos aços inoxidáveis

A resistência a corrosão dos aços inoxidáveis depende basicamente, da composição química e da microestrutura, e de um modo geral pode-se afirmar que os aços inoxidáveis martensíticos são os menos resistentes e os austeníticos os mais resistentes à corrosão.

Assim sendo deve-se considerar cada tipo separadamente, contudo, antes disso convém analisar genericamente o fenômeno da passivação e a influência dos elementos de liga na resistência a corrosão.

A passivação nos aços inoxidáveis é obtida pela presença de uma fina película de óxido hidratado de metal na superfície. A presença da película depende da natureza do meio ambiente e ela condiciona o comportamento mais ou menos nobre do aço; quando está presente, o aço inoxidável se aproxima do comportamento dos metais nobres, caso contrário se assemelha a atividade do aço comum.

A destruição da película num determinado ponto pode conduzir rápida corrosão da peça por um dos seguintes tipos de corrosão: por pites, por frestas, intergranular e sob tensão.

De um modo geral, dependendo do tipo de aço inoxidável e das condições de meio ambiente a corrosão é evitada ou então, se manifesta de forma rápida e destrutiva.

- AUSTENÍTICOS

São considerados com sendo os de mais resistentes à corrosão em meios ambientes de atmosfera industrial ou de meios ácidos, mantendo a superfície brilhante e praticamente isento de produtos de corrosão generalizada.

Em condições mais severas como de temperaturas mais elevadas ou ácidos mais fortes, os elementos de liga devem ser acionados em maiores teores.

A adição de molibdênio em teores acima de 2% eleva a resistência à corrosão localizada; para meios mais agressivos (com teor de cloretos mais elevado) os teores de níquel e molibdênio são maiores, contudo, muito importante é a manutenção no aço de baixos teores de inclusões e de precipitados durante a sua fase de fabricação.

Na corrosão intergranular deve-se considerar a denominada temperatura de sensibilização (600 a 870 °C) e procurar evitá-la. A liga quando recozida para solubilização é resfriada rapidamente para evitar a sensibilização tornando-se mais resistente a esse tipo de corrosão.

A redução do teor de carbono reduz o efeito da sensibilização (usar em vez do 304 ou 316, os 304L ou 316L). A adição de nióbio ou titânio produz um aço "estabilizado" aumentando a resistência a corrosão intergranular.

Muitos aços são suscetíveis a corrosão sob tensão (particularmente em soluções contendo cloretos com pH 2 a 10, e temperatura acima de 300°C), os aços com níquel acima de 30%, são praticamente imunes a esta corrosão.

Os aços resistentes a corrosão localizada são normalmente, também a corrosão por frestas.

A corrosão galvânica pode ocorrer dependendo da natureza outro metal em contato, e da condição passivada ou ativada em que se encontra no meio líquido; a condição passivada é relativamente nobre, caso contrário comporta-se como aço comum.

- FERRÍTICOS

Apresentam maior resistência a corrosão no estado recozido.

A resistência a corrosão generalizada aumenta com o teor de cromo e com o tratamento térmico de recozimento para solubilização.

A corrosão por pites e por frestas se manifesta menos com a adição de cromo e molibdênio, a composição para garantir uma boa resistência é no mínimo 23% Cr e 2% Mo.

A temperatura de sensibilização a corrosão intergranular permanece na faixa de 600 a 650°C.

Para prevenir esse dano pode-se acionar estabilizadores como o titânio e o nióbio, ou reduzindo os teores de carbono e nitrogênio (um teor abaixo de 0,02% de carbono impede a presença deste tipo de corrosão) ou realizar um recozimento ao redor de 700°C.

A resistência a corrosão sob tensão é obtida com um mínimo de 20% Cr e 1% Mo, em ambiente de ions de cloro, contudo a dureza do metal em geral contribui muito para elevar a resistência.

A intensidade de corrosão por formação de par galvânico depende da condição de passividade o aço ferrítico se apassiva com maior dificuldade do que o austenítico.

- **MARTENSÍTICOS**

Apresentam teor máximo de cromo de 14%, para permitir a transformação martensítica, mas de qualquer forma, são selecionados para condições ambientais não severas e para peças onde a resistência mecânica é fundamental; além do relativamente baixo teor de cromo, esses aços possuem alto carbono que conduz a formação de precipitados.

## 11. Seleção de um aço inoxidável para um dado meio corrosivo

Para aços inoxidáveis, diferente da galvanização, facilmente encontram-se tabelas complexas e detalhadas sobre a velocidade de corrosão do inoxidável para os mais diversos meios, existindo inclusive pequenos livros destas tabelas.

O objetivo da tabela abaixo é apenas de exemplificar a resistência à corrosão destes aços e fazer uma pré seleção dos mesmos.

ABNT TIPO (TP)	Atmosfera branda e água fresca	Atmosfera industrial	Atmosfera Marinha	Água Salina	Química branda	Química oxidante	Química redutora
301	X	X	X		X	X	
302	X	X	X		X	X	
302B	X	X	X		X	X	
303	X	X	X		X		
304	X	X	X		X	X	
304L	X	X	X		X	X	
305	X	X	X		X	X	
308	X	X	X		X	X	
309	X	X	X		X	X	
310	X	X	X		X	X	
314	X	X	X		X	X	
316	X	X	X	X	X	X	X
316L	X	X	X	X	X	X	X
317	X	X	X	X	X	X	X
321	X	X	X		X	X	
347	X	X	X		X	X	
403	X				X		
405	X				X		
409	X				X		
410	X				X		
416	X						
420	X						
430	X	X			X	X	
440A	X				X		
440B	X						
440C	X				X	X	
442	X	X			X	X	
446	X	X	X		X	X	

obs: o X indica resistência

## 12. Usos típicos dos aços inoxidáveis

Quatro fatores aumentam cada vez mais a tendência do uso do aço inoxidável. São eles:

- Aparência;
- Resistência a corrosão;
- Resistência a oxidação;
- Resistência mecânica.

A aparência brilhante atraente dos aços inoxidáveis, que se mantêm ao longo do tempo com simples limpeza, associada a resistência mecânica, torna esses materiais adequados aos usos na construção arquitetônica, na fabricação de móveis e objetos de uso doméstico e a outros semelhantes.

A resistência a corrosão dos aços inoxidáveis aos diversos meios químicos permitem o seu emprego em, recipientes, tubulações e componentes de equipamentos de processamento de produtos alimentares e farmacêuticos, de celulose e papel, de produtos de petróleo e de produtos químicos em geral.

A resistência a oxidação, em temperaturas mais elevadas, torna possível o seu uso em componentes de fornos, câmaras de combustão, trocadores de calor e motores térmicos.

A resistência mecânica relativamente elevada, tanto à temperatura ambiente como as baixas temperaturas, faz com que sejam, usados em componentes de máquinas e equipamentos nos quais se exige alta confiabilidade de desempenho como, por exemplo, partes de aeronaves e mísseis, vasos de pressão, e componentes estruturais menores como parafusos e hastes.

Abaixo temos as principais aplicações dos aços inoxidáveis:

- *austeníticos*

### 301

Fins estruturais; correias transportadoras; utensílios domésticos; ferragens; diafragmas; adornos de automóveis; equipamentos para transporte; aeronaves; ferragens para postes; fixadores (grampos, fechos, estojos); conjuntos estruturais onde alta resistência é exigida; em aeronaves; automóveis, caminhões I e carrocerias, carros ferroviários.

### 302

Gaiola de animais; guarnições arquitetônicas, exteriores arquitetônicos; garrafas térmicas e esterelizadores; equipamentos para recozimentos; pias; lavadores de pratos; utensílios domésticos; equipamentos hospitalares; tanques de gasolina; equipamentos para fabricação de sorvetes; congeladores; guarnições para portas; equipamentos para laticínios; maquinaria para engarramento; tanques de fermentação; equipamentos para armazenagem e processamento de produtos alimentícios; dobradiças, refinarias de açúcar; carros ferroviários.

### 302 B

Peças resistentes ao calor; elementos de aquecimento de tubos radiantes; caixas de recozimento; suportes de tubos; aplicações onde exija resistência à oxidação a temperaturas até 926°C e para serviço intermitente envolvendo resfriamento rápido a temperaturas até 870°C (ex.: partes de fornos, seções de queimadores, abafadores de recozimento) .

### 303

Parafusos; porcas; pregos; eixos; cabos; fechaduras; componentes de aeronaves; buchas; peças produzidas em máquinas automáticas de parafusos e outros equipamento de máquina ferramenta.

### 304

Utensílios domésticos; fins estruturais; equipamentos para indústria química e naval; indústria farmacêutica; indústria textil; indústria de papel e celulose; refinaria de petróleo; permutadores

É permitida a reprodução total ou parcial deste artigo, desde que citada a fonte e o autor.

Para maiores informações entrar em contato com [ciropiza@osite.com.br](mailto:ciropiza@osite.com.br)

de calor; válvulas e peças de tubulações; indústria frigorífica, instalações criogênicas; depósitos de cerveja; tanques de fermentação de cerveja; tanques de estocagem de cerveja; equipamentos para refino de produtos de milho; equipamentos para leiteria; cúpula para casa de reator de usina atômica; tubos de vapor; equipamentos e recipientes para usinas nucleares; peças para depósito de algumas bebidas carbonatadas; condutores descendentes de águas pluviais; carros ferroviários; calhas.

#### 304 L

revestimento para trajes de carvão, tanques de pulverização de fertilizantes líquidos; tanques para estoque de massa de tomate; quando se faz necessário um teor de carbono menor que o tipo 304 para restringir a precipitação de carbonetos resultantes da solda, particularmente quando as peças não podem ser tratadas termicamente após a solda; carros ferroviários.

#### 305

Peças fabricados por meio de severas deformações a frio.

#### 308

Fornos industriais; válvulas; vergalhões para a solda; soluções de sulfeto a alta temperatura.

#### 309

Aplicações a altas temperaturas; suportes de tubos; abafadores; caixas de sementação; depósitos de bebidas; partes de queimadores a óleo; refinarias; equipamentos para fábrica de produtos químicos; partes de bombas; revestimento de fornos; componentes de caldeiras; componentes para fornalha de máquinas a vapor; aquecedores, trocadores de calor; peças para motores a jato;

#### 310

Aquecedores de ar; caixas de recozimento; estufa de secagem; anteparos de caldeira de vapor; caixa de decantação; equipamentos para fábrica de tinta; suportes para abóbada de forno; fornos de fundição; transportadores e suportes de fornos; revestimento de fornos; componentes de turbinas a gás; trocadores de calor; incineradores; componentes de queimadores a óleo; equipamentos de refinaria de petróleo; recuperadores; cilindros para fornos de rolos transportadores; tubulação de soprador de fuligem; chapas para fornalha; chaminés e comportas de chaminés de fornos; conjuntos de diafragma dos bocais para motores turbojatos; painéis de cristalização de nitratos; equipamentos para usina de papel.

#### 314

Caixas de recozimento; caixas de cementação; acessórios para tratamentos térmicos; tubos de radiação.

#### 316

Peças que exigem alta resistência à corrosão localizada; equipamentos de indústrias químicas, farmacêutica, têxtil, petróleo, papel, celulose, borracha, nylon e tintas; peças e componentes diversos usados na construção naval; equipamentos criogênicos; equipamentos para processamento de filme fotográfico; cubas de fermentação; instrumentos cirúrgicos;

#### 316 L

Peças de válvulas; bombas; tanques; evaporadores e agitadores; equipamentos têxteis condensadores; peças expostas à atmosfera marítima; adornos; tanques soldados para estocagem de produtos químicos e orgânicos; bandejas; revestimento para fornos de calcinação.

#### 317

equipamentos de secagem; equipamentos para fábricas de tintas.

#### 321

Para estruturação soldadas e peças sujeitas a aquecimento na faixa de precipitação de carbonetos; anéis coletores de aeronaves; revestimentos de caldeiras; aquecedores de cabines; parede corta-fogo; vasos pressurizados; sistema de exaustão de óleo sob alta pressão;

revestimento de chaminés; componentes de aeronaves; superaquecedor radiante; foles; equipamentos de refinaria de petróleo; aplicações decorativas.

347

Tubos para superaquecedores radiantes; tubo de exaustão de motor de combustão interna; tubulação de vapor a alta pressão; tubos de caldeiras; tubos de destilação de refinaria de petróleo; ventilador; revestimento de chaminé; para estruturas soldadas e peças sujeitas, a aquecimento na faixa de precipitação de carbonetos; tanques soldados para transporte de produtos químicos; anéis coletores; juntas de expansão; resistores térmicos.

- *martensíticos*

410

Válvulas; bombas; parafusos e fechaduras; tubo de controle de aquecimento; chapa para molas; cutelaria ( facas, canivetes etc.); mesa de prancha; instrumentos de medida; peneiras; eixos acionadores; maquinaria de mineração; ferramentas manuais; chaves; para aplicações que exigem boa resistência à oxidação à elevada temperatura tais como as partes de fornos, queimadores etc.; equipamentos rodoviários; sedes de válvulas de segurança para locomotivas; plaquetas tipográficas; apetrechos de pesca; peças de calibradores; fixadores.

416

Parafusos usinados; porcas; engrenagens; tubos; eixos; fechaduras;

420

Cutelaria; instrumentos hospitalares, cirúrgicos e dentários; réguas; medidores; engrenagens; eixos; pinos; rolamentos de esferas; bolas de milho; disco de freio.

440 A B C

Eixos; pinos; instrumentos cirúrgicos e dentários; cutelaria; anéis.

442

Componentes de fornos; câmara de combustão.

446

Caixas de recozimento; chapas grossas para abafadores; queimadores; aquecedores; tubos para pirômetros; recuperadores; válvulas e conexões; aplicações a altas temperaturas quando necessária resistência a oxidação.

- *ferríticos*

403

Lâminas de turbina sujeitas à corrosão e desgaste por abrasivo e corrosão úmida; anéis de jatos; seções altamente tensionadas em turbina à gás.

405

Caixas de recozimento

409

Sistemas de exaustão de veículos automotores; tanques de combustível; banco de capacitares.

430

Adornos de automóveis; calhas; máquinas de lavar roupa; revestimento da câmara de combustão para motores diesel; equipamentos para fabricação de ácido nítrico; fixadores; aquecedores; portas para cofres; moedas; pias e cubas; baixelas; utensílios domésticos; revestimentos de elevadores.

### **13. Normas mais comuns de tubos de aço inoxidável austeníticos**

As normas utilizadas de tubos de aço inoxidável são:

#### 13.1 ASTM A-249

Tubos de aço inoxidável austenítico soldados para aplicação em caldeiras, superaquecedores, trocadores de calor e condensadores

#### 13.2 ASTM A-269

Tubos de aço inoxidável austenítico soldados para serviços gerais

#### 13.1 ASTM A-270

Tubos de aço inoxidável austenítico soldados para aplicação em indústrias alimentícias e de bebidas, nas quais, além da resistência à corrosão sejam minimizadas as possibilidades de contaminação e deterioração dos produtos e haja facilidade de limpeza.

#### 13.1 ASTM A-312

Tubos de aço inoxidável austenítico soldados para condução