

MÓDULOS DE TREINAMENTO

# CORROSÃO EM AÇOS INOXIDÁVEIS

Coordenação:

**ABINOX**

Por:

**Eng. José Antônio Nunes de Carvalho**

**7**

**CORROSÃO  
INTERGRANULAR**

MÓDULOS DE TREINAMENTO

# CORROSÃO

## EM AÇOS INOXIDÁVEIS

Professor:

**José Antônio Nunes de Carvalho**

Engenheiro Metalúrgico pela UFOP e mestre em Metalurgia Física (Corrosão) pela UFMG, atual diretor técnico da Select Consultant, empresa de consultoria com foco em seleção de materiais, treinamentos, perícias e prestação de serviços. Foi engenheiro da Aperam South America por mais de 30 anos, Professor na UNILESTE/MG, da Fundação FGPA – Fundação Geraldo Perlingeiro de Abreu – Pós-Graduação Engenharia Metalúrgica e Mecânica desde 2013 e da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

**Organizado por:**

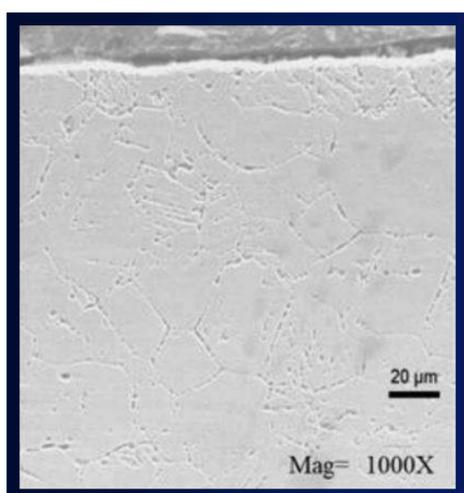
**ABINOX**

# CORROSÃO INTERGRANULAR

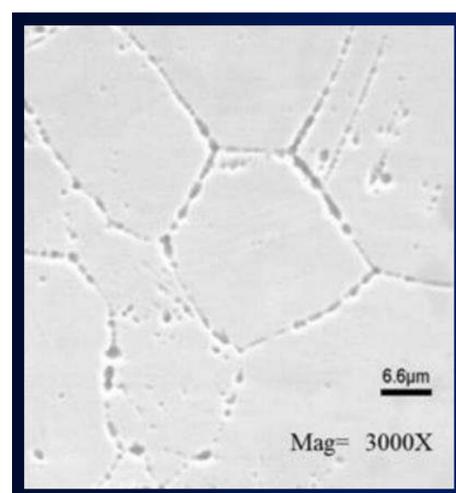
## O que é Corrosão Intergranular?

A Corrosão Intergranular em aços inoxidáveis tem origem na precipitação de Carbonetos de Cromo (e também nitretos de Cromo) que ocorre nas regiões de contornos de grão na microestrutura do aço.

### Iniciação: Precipitação de Carbonetos de Cromo



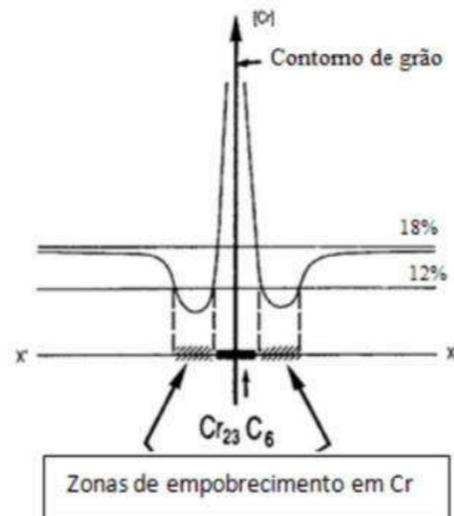
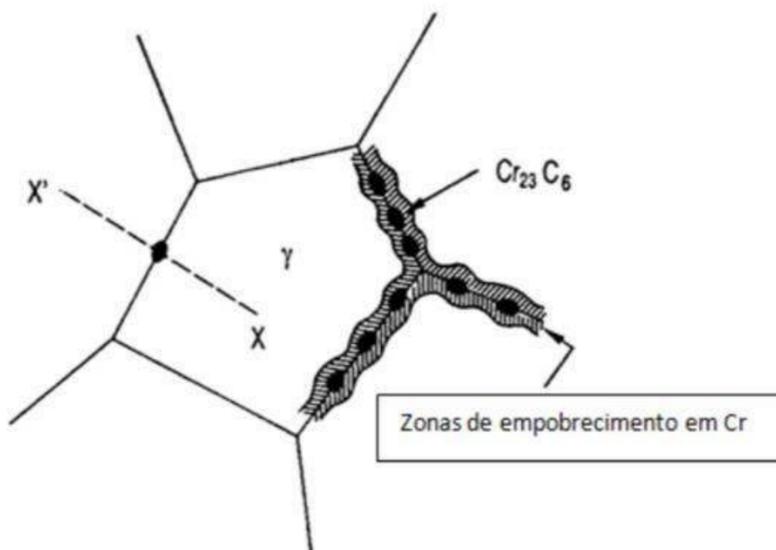
**Sensitização do aço:** precipitação de carbonetos de cromo no contorno de grão.



Os contornos de grão, por serem regiões de maior energia e distorções na rede cristalina, são locais preferenciais de difusão dos átomos de Carbono e precipitação destes constituintes. Nos contornos dos precipitados, por consequência, passam a existir regiões empobrecidas em Cromo, perdendo-se, localmente, muito da resistência à corrosão.

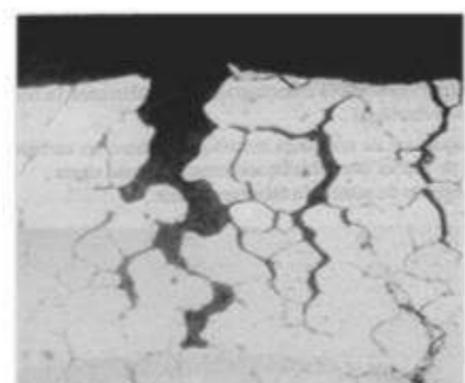
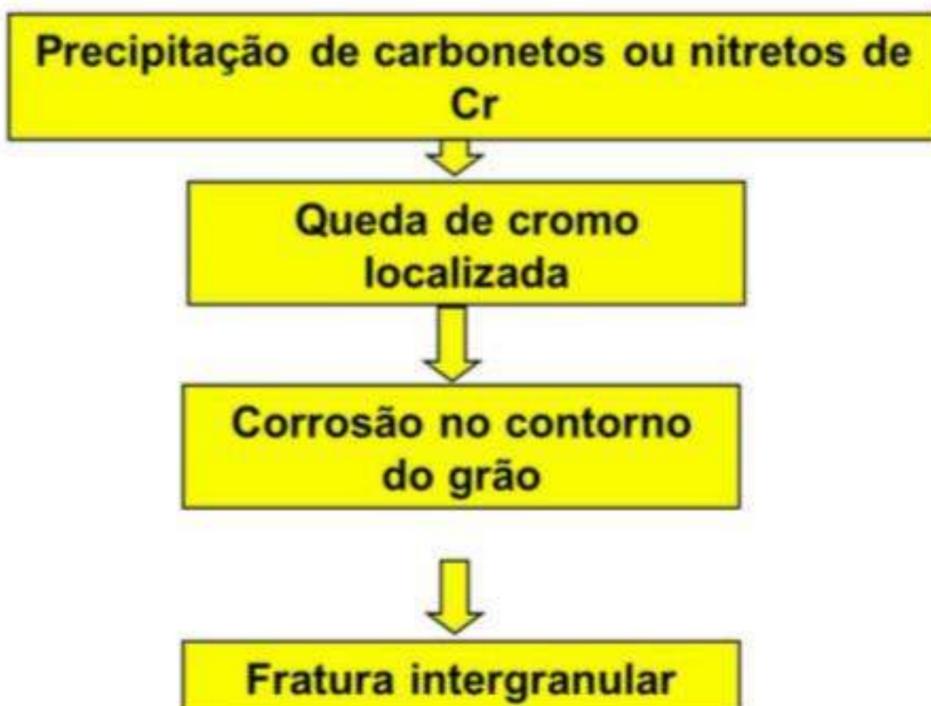
Havendo queda significativa nos teores de Cromo, os ataques de meios corrosivos, sejam oxidantes ou redutores, passam a serem causas de falha em serviço. Se forem meios redutores, como por exemplo, o ácido clorídrico ou íons cloreto, pode haver corrosão por pites. Se forem ácidos oxidantes, como por exemplo, ácidos nítrico, fosfórico, etc., passará a haver corrosão intergranular nestas regiões, que são exatamente os contornos de grão, daí a origem do nome intergranular.

## Precipitação de Carbonetos e diminuição local do Cromo.



Para a formação de cada precipitado de  $Cr_{23}C_6$  no contorno de grão, exige-se grande quantidade de Cr, que será fornecido pela matriz do aço causando o empobrecimento de Cr nestas regiões. A migração, por difusão dos átomos de Carbono (C) nos contornos de grão, imediatamente antes da precipitação dos carbonetos, é o agente crítico neste fenômeno. Observa-se que cada átomo de C rouba praticamente 6 átomos de Cr e o carboneto assim formado tem praticamente 94% de Cr, que foi retirado da matriz do aço.

### Mecanismo :



A fratura intergranular somente passaria a ocorrer se houver tensões de tração aplicadas ao aço inoxidável, que podem ter as mais diversas origens, como por exemplo, pressão interna, tensões térmicas de soldagem, tensões de tração por carregamento estático ou dinâmico (vibrações), etc.

No caso de aços inoxidáveis austeníticos, dentre os quais os mais comuns são os aços 304 e 316, uma curva esquemática da cinética de precipitação é apresentada abaixo:

#### Cinética de Precipitação de Carbonetos de Cr em aços inox



Cada aço, com o seu teor de Carbono real, apresenta uma curva em formato de "C", no interior do qual acontece a zona de precipitação, para uma dada temperatura T e um tempo de permanência t.

Se, no resfriamento de um aço, deseja-se evitar a precipitação de carbonetos, deve-se reduzir a temperatura  $T$  antes que a curva de resfriamento intercepte a curva  $C$  daquele aço específico (seta verde), num dado tempo  $t$ .

Observa-se que quanto maior for o teor de Carbono de um determinado aço, mais para a esquerda será o posicionamento da curva, ou seja, mais rápido terá que ser o resfriamento, para se evitar a precipitação.

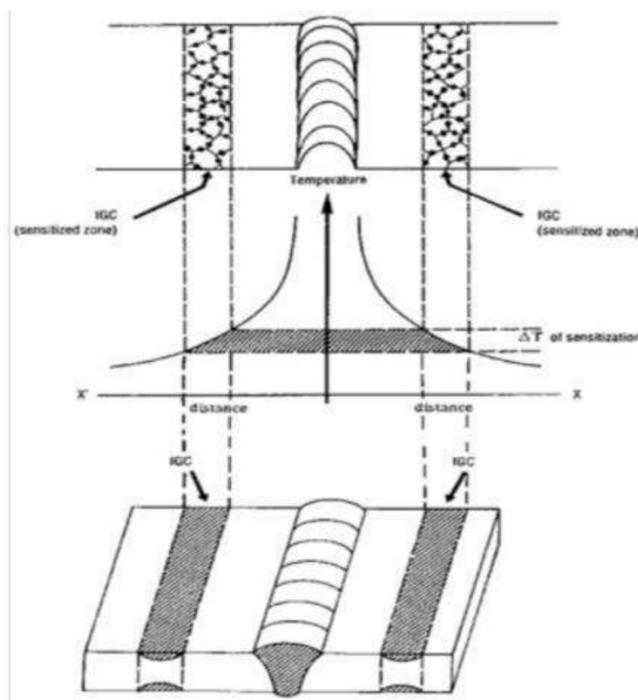
A faixa de temperaturas crítica de resfriamento que favorece a precipitação é entre 850oC (início) e 450oC (final), para aços inox austeníticos.

Exatamente em função desta faixa de temperaturas, considerando-se um cordão de solda, observa-se que ocorrerão duas zonas de precipitação, compreendidas entre cada uma das temperaturas citadas, a partir da temperatura de fusão do meio do cordão de solda.

Esta zona termicamente afetada, a famosa ZTA, é a de propensão à ocorrência da corrosão intergranular nestes aços.

**Corrosão  
intergranular  
em torno de solda**

**Zona termicamente  
afetada**



## Soluções para aços inox austeníticos:

### Tratamentos térmicos:

- Austenitização
- Recozimento após soldagem (raramente utilizado)

### Aços de baixo carbono: $C < 0,03\%$

- (Tipo 304L, 316L, etc.)

### Aços estabilizados:

- Elementos estabilizantes: Ti, Nb
- Exemplo de aço estabilizado com Ti (tipo 321) ou Nb (tipo 347)

## Particularidades dos aços inox Ferríticos:

### Soluções impossíveis:

- Austenitização
- Aços de baixo carbono

### Soluções possíveis:

- Austenitização pós soldagem
- Estabilização (Ti, Nb)

### Exemplo de aço estabilizado com Ti:

- Mínimo necessário:  $Ti > 0,15\% + 4(C+N)$

No caso específico de aços inoxidáveis, a adição de Titânio ou Nióbio na liga aumenta substancialmente sua resistência à corrosão intergranular, uma vez que estes elementos tem maior afinidade pelo Carbono ou Nitrogênio, formando primeiramente Carbonetos e Nitretos de Ti e/ou Nb. É o caso dos aços inox austeníticos 321 e 347, e dos aços inox ferríticos tipo 409, 436, 439, 444, etc.

MÓDULOS DE TREINAMENTO

# CORROSÃO EM AÇOS INOXIDÁVEIS

Coordenação:

**ABINOX**

Por:

**Eng. José Antônio Nunes de Carvalho**

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

 [www.abinox.org.br](http://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)