

Aço Inoxidável em Aplicações Estruturais

Aldina Santiago¹, Nancy Baddoo² e Luís Simões da Silva¹

¹ ISISE, Universidade de Coimbra, Portugal

² Steel Construction Institute, London, Inglaterra

O senso comum diz-nos que os aços inoxidáveis são mais adequados para colheres e pias de cozinha do que para elementos estruturais. No entanto, para estruturas em ambientes agressivos, o custo elevado deste material pode ser justificado por um período de vida da estrutura mais longo sem qualquer tipo de manutenção.

A propriedade que mais distingue o aço inoxidável do aço carbono é a resistência inerente à corrosão, que se deve à camada protetora aderente de óxido de cromo que se forma espontaneamente na sua superfície na presença de oxigénio. Deste modo, os elementos em aço inoxidável podem ser expostos a diversos ambientes sem que haja a necessidade de revestimentos protetores.

Os aços inoxidáveis são materiais altamente versáteis, possuindo uma seleção única de propriedades úteis que podem ser exploradas para aplicações estruturais. As Figuras 1 e 2 mostram os diagramas de tensão-extensão para extensões reduzidas e extensões elevadas e a respectiva comparação com o aço carbono. Os aços inoxidáveis austeníticos são os mais utilizados em aplicações estruturais, embora o uso de aço inoxidável duplex esteja em ascensão devido à sua resistência mais elevada. As propriedades mecânicas,

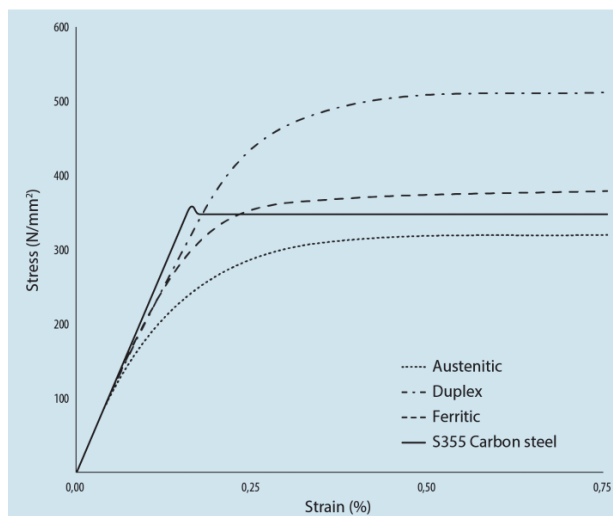


Figura 1. Curvas tensão-extensão para o aço inox e aço carbono de 0 a 0.75 %

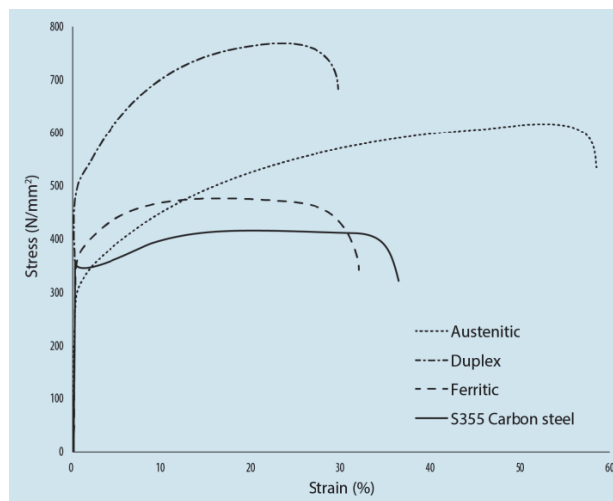


Figura 2. Curvas tensão-extensão completas para o aço inox e aço carbono

nomeadamente o endurecimento em fase plástica e a elevada ductilidade, tornam os aços austeníticos e duplex adequados para estruturas solicitadas a carregamentos acidentais.

As aplicações estruturais mais correntes para o aço inoxidável incluem:

- Vigas, colunas, plataformas e suportes em instalações de processamento (indústrias de tratamento de água, pasta de papel, nuclear, biomassa, química, farmacêutica e de alimentos e bebidas).
- Vigas, colunas, apoios, barreiras, revestimento de cabos e juntas de dilatação em pontes.
- Apetrechamentos (escadas, barreiras, correntes, ancoragens, etc) em estruturas de retenção marginal, cais e outras estruturas costeiras.
- Armaduras em elementos de betão.
- Muros de suporte, coberturas e revestimento de túneis.
- Sistemas de suporte para: muros de alvenaria, revestimento de túneis, etc.
- Barreiras de segurança e mobiliário urbano.

- Fixadores e sistemas de ancoragem para madeira, pedra ou alvenaria.
- Elementos estruturais e elementos de ligação para estruturas em piscinas (devem ser tidas em conta precauções especiais nestes elementos estruturais, devido à potencial formação de condensados em áreas sob tensão, originando elevada corrosão (ou corrosão abrasiva).
- Estruturas resistentes a explosões e impacto, tais como paredes de segurança e portas de segurança.
- Paredes resistentes ao fogo, escadas e passadiços em plataformas offshore.

A Figura 3 apresenta a montagem de uma cúpula na cobertura de uma instalação industrial de adubo e nitrato na Polónia. A estrutura inclui 144 vigas curvas IPE270 soldadas a laser com 15 m de vão, assim como cantoneiras e secções em L laminadas a quente. Todos os elementos estruturais (95 toneladas) foram fabricados em aço inoxidável austenítico 1.4404.

A Figura 4 mostra o fabrico de 600 toneladas de aço inoxidável duplex 1.4462 utilizadas para a instalação



Cortesia: Montanstahl

Figura 3. Seções de aço inoxidável estrutural utilizadas na cobertura em cúpula de uma instalação industrial de armazenamento de adubo e nitrato na Polónia

de quatro vigas de uma ponte com 174 m de vão (Figura 4). As vigas com 1 m de altura substituirão as vigas de aço carbono na modernização da linha ferroviária suburbana de Estocolmo. O dono de obra (Transportes Públicos de Estocolmo) escolheu o material aço inoxidável devido aos requisitos de manutenção mais reduzidos.

Os túneis são estruturas cujos trabalhos de construção e manutenção são difíceis e, conseqüentemente, aceitam-se custos mais elevados na utilização de aço

PAVILHÕES PRÉ-FABRICADOS À SUA MEDIDA

A Frisomat está presente em todo o mundo, desde 1978, com soluções de construção personalizadas em aço galvanizado enformado a frio, de máxima qualidade e eficiência.

Peça já o seu orçamento gratuito

www.frisomat.pt

☎ 234 940 210

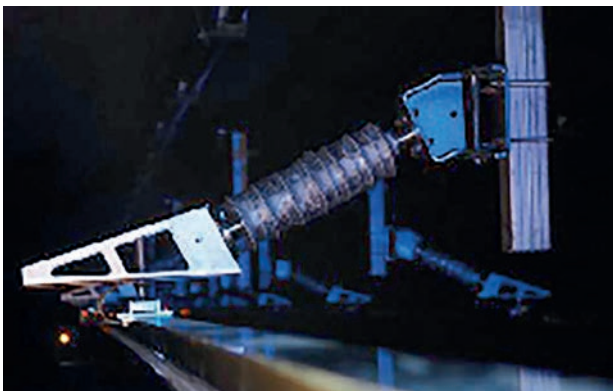
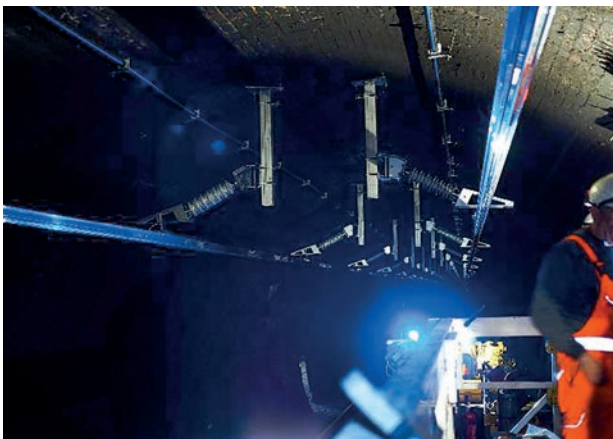




Cortesia: Lars Hamrebjörk

Figura 4. Fabricação (a) e instalação (b) de vigas em aço inoxidável a utilizar numa ponte ferroviária em Estocolmo

inoxidável, quando se aborda o problema do ponto de vista de custo de vida da estrutura e não apenas o custo do material. De modo a aumentar para 80 anos (e com manutenção reduzida) a vida útil da estrutura de suporte da linha de alimentação elétrica (Catenária Rígida, ROCS) no trecho principal ferroviário entre Londres e o sul do País de Gales, foi usado aço inoxidável austenítico 1.4404 em cinco dos túneis existentes. No entanto, nos 7 km que atravessam o Túnel de Severn, utilizaram-se outras classes de aço inoxidável (super



Cortesia: Furrer+Frey

Figura 5. Utilização de aço inoxidável na estrutura de suporte de uma linha de alimentação elétrica ferroviária (Catenária Rígida, ROCS) aumentando a vida útil da estrutura para 80 anos

austenítico 1.4529 e super duplex 1.4410), uma vez que aí o ambiente é ainda mais agressivo devido à entrada de cloretos das águas do estuário do rio Severn (Figura 5).

Embora muitas das propriedades mecânicas sejam semelhantes às do aço carbono, as características não-lineares tensão-extensão, implicam regras de dimensionamento diferentes. A não-linearidade afeta principalmente a resposta à encurvadura local e global com alguns limites mais rigorosos para a classificação da secção transversal.

A crescente procura de estruturas em aço inoxidável levou ao desenvolvimento das respectivas normas de dimensionamento. Em 2006 foi publicado o Eurocódigo 3: Parte 1.4 [1]; a primeira norma para o dimensionamento de elementos em aço inoxidável utilizada na maior parte dos países europeus e a única norma a nível mundial que cobriu produtos laminados a quente, soldados e enformados a frio, assim como o dimensionamento em situação de incêndio. A EN 1993-1-4 apresenta regras suplementares, sempre que as existentes para o aço carbono (EN 1993-1-1 [2], EN 1993-1-3 [3], EN 1993-1-5 [4] e EN 1993-1-8 [5]) não se aplicam.

Em algumas zonas, as regras da edição de 2006 da EN 1993-1-4 são muito conservadoras, com aplicação limitada devido à falta de dados experimentais. No entanto, nos últimos 10-20 anos, houve um aumento significativo na investigação do comportamento estrutural do aço inoxidável na Europa e no mundo, disponibilizando-se informações bastante úteis. A base de dados internacional de ensaios estruturais é agora três vezes maior do que a usada para deduzir as regras originais da EN 1993-1-4. Com estes novos dados, foi possível desenvolver novas regras, e/ou melhorar as já existente, para a emenda à EN 1993-1-4 publicada em 2015. As novas regras permitem um dimensionamento menos conservador e alargam o intervalo de classe abrangido (as classes listadas na norma de 2006 não refletiam a prática corrente). Para o aço inoxidável é fundamental utilizar procedimentos de cálculos eficientes devido ao seu custo elevado em relação ao do aço carbono.

A revisão mais significativa das regras de dimensionamento apresentadas na emenda de 2015 refere-se à classificação da secção: as relações entre a largura limite e a espessura foram aumentadas para se alinharem com as do aço carbono, exceto para elementos internos em compressão. Além disso, foram incluídas orientações menos conservadoras para a encurvadura por esforço transversal (fundamental para as vigas usadas em pontes, uma das áreas de aplicação

em crescente desenvolvimento) e uma orientação mais clara sobre como dimensionar aço inoxidável enformado a frio.

Uma diferença fundamental entre o aço inoxidável e o aço carbono é a vasta gama de classes do aço inoxidável, cada uma delas com composição ligeiramente diferente e, portanto, diferente resistência à corrosão. Outra revisão significativa na emenda de 2015 da EN 1993-1-4 foi a inclusão de um procedimento passo-a-passo para a escolha da classe do aço. O procedimento envolve as seguintes etapas:

- Determinação do Fator de Resistência à Corrosão para o ambiente de projeto (CRF)
- Determinação da Classe de Resistência à Corrosão (CRC) para o CRF calculado

O CRF depende da severidade do ambiente e calcula-se usando a expressão seguinte:

$$\bullet \text{ CRF} = F_1 + F_2 + F_3$$

onde

- F_1 = Risco de exposição a cloretos de água salgada ou sais de degelo;

- F_2 = Risco de exposição ao dióxido de enxofre;
- F_3 = Regime de limpeza ou exposição à limpeza pela chuva.

O CRF considera todos os riscos de corrosão, incluindo corrosão por punçoamento, corrosão intersticial e corrosão bimetalica, que podem afetar a integridade dos elementos de suporte. O pressuposto no procedimento de seleção é a não ocorrência de corrosão do aço inoxidável que possa afetar a integridade estrutural de um componente carregado. No entanto, em alguns casos, é admissível a ocorrência de corrosão cosmética (manchas ou pequenos punçoamentos). Estes efeitos podem ser esteticamente desagradáveis e inaceitáveis, onde a aparência é importante, mas não prejudicam a integridade da estrutura.

As classes de aço inoxidável são classificadas em cinco CRCs, sendo o CRC V o mais durável (por exemplo, contendo classes adequadas para atmosferas altamente corrosivas como sejam as piscinas interiores). A escolha final de um grau específico dentro de um CRC dependerá de outros fatores para além da resistência à corrosão, como sejam a resistência de cálculo e a

Melhorando a segurança, qualidade e performance

- Avaliação de Conformidade com Diretivas Europeias
- Agência de Inspeção Autorizada ASME - selos convencionais e nucleares
- Certificação de Equipamentos sob Pressão
- Inspeção na Origem
- Avaliação de Qualidade para Fornecedores Internacionais
- Certificação de Fabricação e Inspeção de Contentores
- Inspeção de Maquinaria Portuária

- Serviços de Estações de Tratamento de Águas
- Certificação de Materiais
- Certificação de Produto
- Certificação de Procedimentos de Soldadura e Soldadores
- Certificação de Sistemas de Qualidade para Soldadura
- Cursos de Formação standard e à medida

www.lr.org/inspecao-portugal

disponibilidade do produto requerido. Para o projectista especificar o material é suficiente a indicação da classe CRC e a tensão de cedência, por exemplo, CRC II e $f_y = 450$ MPa.

A publicação da emenda em 2015 tornou obsoletas muitas das ferramentas anteriormente utilizadas pelos projectistas no dimensionamento com aço inoxidável. No projecto Europeu PUREST (Promoção das novas regras do Eurocódigo para aço inoxidável estrutural) desenvolveu-se um conjunto de ferramentas que incorporam as novas regras de dimensionamento. Este projeto foi financiado pelo Fundo Europeu para a Investigação do Carvão e Aço (RFCS), envolveu parceiros de diversos países Europeus: Alemanha, Bélgica, Espanha, Portugal, República Checa, Finlândia, Suécia, Polónia e Itália e foi coordenado pelo SCI no Reino Unido. O projecto teve a duração de 18 meses, de julho de 2016 a dezembro de 2017.

As tarefas desenvolvidas no PUREST focaram-se na atividade dos projectistas e incluíram:

- Atualização e extensão do Manual de Dimensionamento de Estruturas em Aço Inoxidável Estrutural (4ª edição),
- Tradução do Manual de Dimensionamento de inglês para 9 idiomas, incluindo o Português (disponível em www.cmm.pt),
- desenvolvimento de software de dimensionamento e aplicações on-line: EC3 Stainless Steel Calculator, para iOS e Android,
- Realização de seminários nacionais e gravação de webinars para ensino à distância.

O SCI publicou a 4ª Edição do Manual de Dimensionamento de Estruturas em Aço Inoxidável Estrutural 2017 [6] (Figura 6), organizado em três partes:

- *Recomendações* – fornecer as orientações de dimensionamento e informações necessárias para

os projectistas, nomeadamente: seleção de classe, durabilidade, propriedades do material, regras de dimensionamento e fabricação.

- *Comentários* – explicar as expressões de dimensionamento apresentadas nas *Recomendações* e apresentar informações básicas e referências.
- Exemplos de Dimensionamento – demonstrar o uso das *Recomendações*.

Para além de se ter atualizado as regras de dimensionamento de acordo com a emenda de 2015 à EN 1993-1-4, o Manual de Dimensionamento também inclui informações sobre os aços inoxidáveis ferríticos. Essas classes são geralmente usadas em peças de 4 mm de espessura (ou menos), e oferecem uma alternativa resistente à corrosão para muitas aplicações de aço galvanizado em peças mais reduzidas. Para além disso, também foram incluídos dois novos métodos de dimensionamento. O primeiro refere-se ao aproveitamento do endurecimento do material associado às operações de enformação a frio durante a fabricação (a resistência aumenta cerca de 50% nos cantos das secções transversais enformadas a frio; a resistência das faces planas também aumenta). O segundo corresponde à metodologia que permite calcular o aumento da resistência da secção transversal devido à influência benéfica do endurecimento por deformação, o Método de Força Contínua (CSM).

Todas as ferramentas de dimensionamento desenvolvidas no projeto PUREST estarão acessíveis em www.steel-stainless.org/designmanual a partir do início de 2018.

Para mais informações sobre este projecto deverão consultar Aldina Santiago, Universidade de Coimbra (aldina@dec.uc.pt). ■

Referências:

- [1] EN 1993-1-4:2006+A1:2015 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Supplementary rules for stainless steels
- [2] Design Manual for Structural Stainless Steel, SCI Publication P413, 2017
- [3] EN 1993-1-1:2005+A1:2014 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules and rules for buildings
- [4] EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting
- [5] EN 1993-1-5:2006 Eurocode 3. Design of steel structures. Plated structural elements
- [6] EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3. Design of steel structures. Design of joints



Figura 6. Manual de Dimensionamento de Estruturas em Aço Inoxidável, 4ª Edição, 2017: a) versão inglesa; b) versão portuguesa