

Copyright 2022, ABINOX, ABRACO, IPT

Trabalho apresentado durante o INOXCORR 2022 - Seminário Brasileiro de Aços Inoxidáveis como Solução Contra Corrosão, realizado presencialmente no dia 23 de novembro de 2022.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## Elementos Estruturais em Aços Inoxidáveis na Engenharia Civil – Soluções Sustentáveis

Luciano Lima<sup>1</sup>, André T. da Silva<sup>2</sup>, Monique Rodrigues<sup>3</sup>

### Resumo

---

Os aços inoxidáveis são notoriamente conhecidos, principalmente, pela sua elevada resistência à corrosão, estando presente em diversos setores do cotidiano das pessoas, como por exemplo, em utensílios de cozinha, hospitalares e em setores industriais. Entretanto, seu uso na construção civil brasileira ainda é bastante incipiente, limitando-se a aplicações em fachadas, corrimões de escadas dentre outros. Porém, a nível internacional, o uso do aço inoxidável em substituição ao aço carbono em elementos estruturais na construção civil já é uma realidade bastante consistente, principalmente, devido a sua elevada durabilidade, advinda da sua inerente resistência à corrosão, o que implica na redução da necessidade de inspeção e manutenção e, até mesmo, na eliminação da necessidade de recuperação ou substituição de peças com corrosão. Dentro desta perspectiva, o grupo de investigação em estruturas de aço e mistas da UERJ vem buscando nos últimos anos, investigar o comportamento de elementos estruturais constituídos de aços inoxidáveis de forma a gerar conhecimento técnico e científico para o avanço desta área no Brasil. Para isso, diversos trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado foram orientadas ou estão em andamento considerando-se os mais diversos tipos de seções transversais utilizadas na construção civil que serão aqui apresentados neste artigo como cantoneiras, seções tubulares, pilares mistos tipo “double skin”.

**Palavras-chave:** aços inoxidáveis, elementos estruturais, resistência à corrosão, sustentabilidade.

### Introdução

---

Há muito já se sabe de muitas das características vantajosas do aço inoxidável, tanto que este aço está presente no dia a dia de todos de alguma forma. Alguns exemplos comuns são os utensílios de cozinha e diversos utensílios médicos. No entanto, seu uso estrutural na construção civil ainda é muito pouco explorado devido ao seu alto custo inicial conforme citado por Gardner (1). Apesar disso, nas últimas décadas, o aço inoxidável tem ganhado cada vez mais relevância graças ao reconhecimento das vantagens que suas características proporcionam para aplicações estruturais usuais (1). Dentre estas, pode-se citar a sua elevada durabilidade advinda da sua inerente resistência à corrosão, o que implica na redução da necessidade de inspeção e manutenção e, até mesmo, na eliminação da necessidade de recuperação ou substituição de peças com corrosão.

Os aços inoxidáveis podem ser classificados em cinco grupos: austeníticos, ferríticos, duplex, martensíticos e endurecidos por precipitação. Dentre esses grupos, segundo o *The Steel Construction Institute* (2), os três grupos mais comumente aplicados estruturalmente são os aços inoxidáveis austeníticos, ferríticos e duplex, sendo o austenítico o mais frequentemente usado em aplicações estruturais. Porém, o aço inoxidável duplex apresenta resistência mecânica bastante elevada sendo

---

<sup>1</sup> PhD, Engenheiro Civil – UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

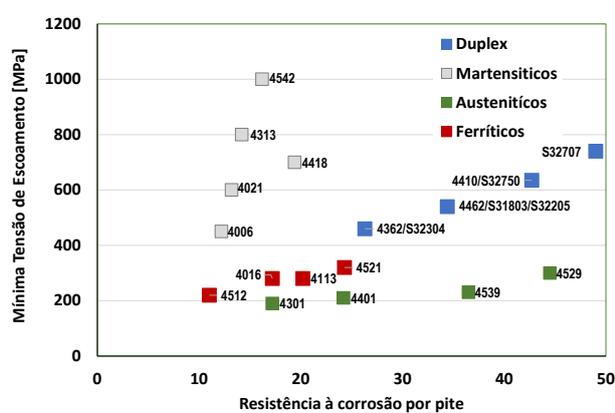
<sup>2</sup> PhD, Engenheiro Civil – UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

<sup>3</sup> PhD, Engenheiro Civil – UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

até duas vezes superior àquela apresentada pelo aço inoxidável austenítico. Acrescenta-se a isso, que essa família de aços também possui boa soldabilidade e boa resistência contra à corrosão, conforme pode ser observado na Figura 1(a), tornando-se muito vantajoso para uso estrutural (2).

Como exemplo de uma estrutura em aço inoxidável duplex, pode-se observar a passarela Helix apresentada na Figura 1(b), estando localizada em Singapura, nomeadamente, um país caracterizado por ambientes extremamente agressivos no que diz respeito à corrosão.

Portanto, o principal objetivo do presente trabalho é mostrar alguns avanços obtidos nos últimos anos com a possibilidade de uso de elementos estruturais na construção civil constituídos de aços inoxidáveis. Assim sendo, serão apresentados diversos trabalhos de pesquisa desenvolvidos na FEN – Faculdade de Engenharia da UERJ no âmbito do PGECIV – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UERJ.



a) resistência à corrosão por pite (2)



b) passarela Helix em Singapura (dos autores)

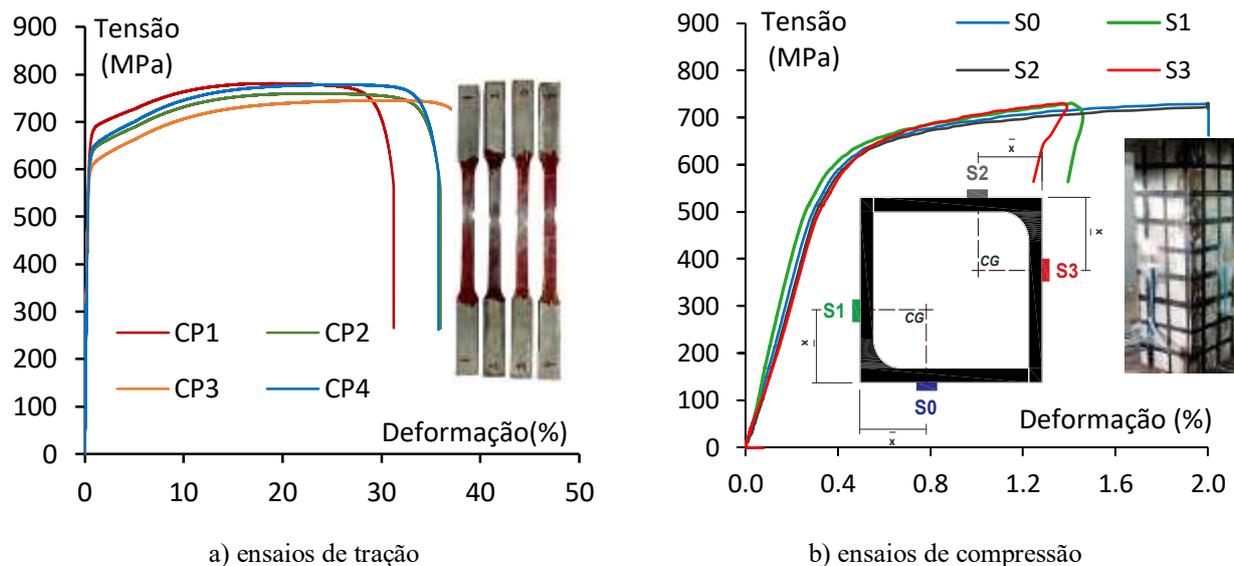
**Figura 1 – Aplicações e vantagens dos aços inoxidáveis**

## Metodologia

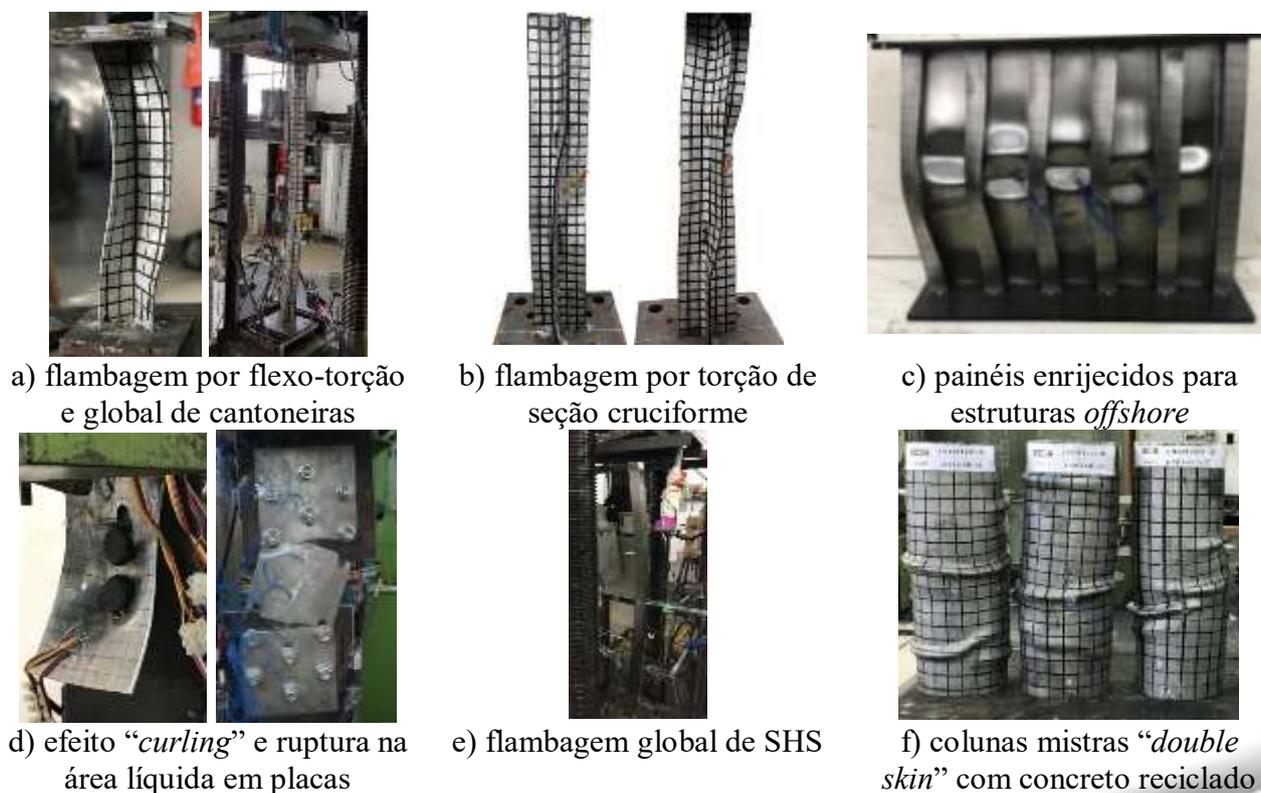
A partir do momento que novos materiais começam a ser introduzidos na construção civil nacional, o primeiro passo a ser dado deve ser a correta caracterização destes materiais para que um perfeito entendimento do seu comportamento possa ser obtido em termos de propriedades físicas e mecânicas, tipos de acabamentos superficiais, critérios de sustentabilidade e, principalmente, o ciclo de vida útil das estruturas que utilizam estes novos materiais. Assim sendo, uma das primeiras etapas desenvolvidas nos trabalhos de pesquisa desenvolvidos na UERJ passa pela caracterização das propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis utilizados em termos de resistências à tração e compressão na direção paralela à laminação, módulo de elasticidade e capacidade de deformação. Todavia, alguns resultados podem apresentar resultados discrepantes e uma análise microscópica e de composição química do material torna-se necessária. Considerando-se as curvas tensão *versus* deformação apresentadas na Figura 2(b), obtidas em ensaios de tração de corpos de prova extraídos de cantoneiras laminadas a quente constituídas de aço inoxidável austenítico ASTM A276 304, pode-se observar um comportamento diferente do esperado onde a tensão média a 0,2% foi de 608,2 MPa e a tensão última de 766.2 MPa. Entretanto, após análise microscópica e de composição química, concluiu-se que, efetivamente, tratava-se de um aço inoxidável austenítico, mas com alterações, provavelmente, devido ao processo de fabricação (3). Este fato mostra o quanto é importante regulamentar o uso do aço inoxidável a nível nacional para padronizar as características mecânicas.

Finalizada a parte de caracterização dos materiais, passa-se a fase de ensaios de elementos estruturais, propriamente ditos (3)-(12). Desta forma, diversos tipos de elementos estruturais têm sido investigados no PGECIV com as mais diversas seções transversais. Conforme pode ser visualizado

na Figura 3, foram realizados ensaios de colunas constituídas de seções tipo cantoneiras sujeitas a flambagem por flexo-torção e flambagem global por flexão, seções cruciformes sujeitas a flambagem por torção, seções tubulares quadradas e circulares sujeitas a flambagem local e global por flexão, seções “double skin” caracterizadas por um tubo externo em aço inoxidável, um tubo interno em aço carbono e o anel entre estes preenchido com concreto reciclado, painéis enrijecidos para uso na indústria offshore, placas aparafusadas sujeitas a tração com falhas por esmagamento, ruptura da seção líquida e efeito “curling”, ligações soldadas entre perfis tubulares dentre outros.



**Figura 2 – Curvas tensão versus deformação – aços inoxidáveis (3)**



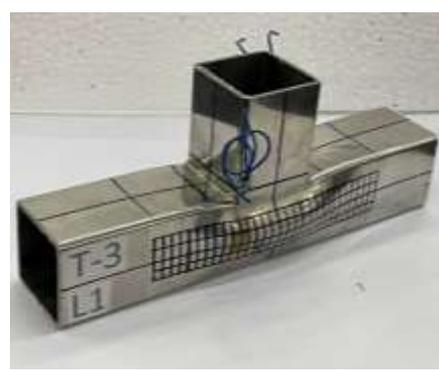
**Figura 3 – Ensaios de elementos estruturais constituídos de aços inoxidáveis – parte 1**



a) ligações soldadas entre perfis SHS



b) ligações soldadas reforçadas entre perfis SHS



c) ligações soldadas entre perfis SHS

**Figura 4 – Ensaio de elementos estruturais constituídos de aços inoxidáveis – parte 2**

## Resultados e discussão

Atualmente, no Brasil, não há uma norma que contemple o dimensionamento de estruturas constituídas de aços inoxidáveis. Uma alternativa existente é a norma europeia Eurocode 3, parte 1.4 (13). Todavia, esta norma foi inicialmente desenvolvida fazendo analogias com o dimensionamento de estruturas em aço carbono. Como estes dois materiais apresentam comportamento muito distintos, verifica-se que na maioria das situações, um dimensionamento conservador pode ser obtido.

Na maioria das investigações realizadas no grupo de pesquisa existente no PGECIV/UERJ considerando-se elementos estruturais em aços inoxidáveis, verificou-se o conservadorismo da norma europeia Eurocode 3, parte 1.4. Todavia, o ECCS – *European Convention for Constructional Steelwork*, órgão responsável pela elaboração das normas europeias iniciou em 2020, o processo de revisão e atualização da parte 1.4 que trata do dimensionamento de estruturas constituídas de aços inoxidáveis de forma a melhor considerar o comportamento do material aço inoxidável, considerando-se, por exemplo, sua grande capacidade de deformação e encruamento.

## Conclusões

Este trabalho teve como principal objetivo, mostrar que algumas investigações na área de estruturas de aço e mistas que contemplam o uso de diferentes aços inoxidáveis já se encontram em desenvolvimento no meio acadêmico, nomeadamente, na Faculdade de Engenharia da UERJ no âmbito do PGECIV – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UERJ.

Os trabalhos desenvolvidos em parcerias com diversas instituições estrangeiras como o Imperial College, a *University of Glasgow* e a *Brunel University London* no Reino Unido, a *Nanyang Technological University* em Singapura e a *Hong Kong Polytechnic University* em Hong Kong na China, mostram que o aço inoxidável pode ser aplicado nas mais diversas áreas da Engenharia Civil, proporcionando inúmeras vantagens em termos de durabilidade e principalmente, no ciclo de vida útil das estruturas.

Dentro deste contexto, torna-se necessário, o início de um esforço conjunto dos diversos setores da sociedade envolvendo engenheiros, especialistas, pesquisadores, docentes e discentes das universidades visando a elaboração de uma norma técnica ABNT que contemple o dimensionamento de estruturas em aços inoxidáveis para difundir e ampliar o uso deste material tão nobre para o cenário nacional onde problemas de corrosão ocorrem frequentemente tendo em vista o ambiente agressivo onde se encontram muitas das estruturas existentes no litoral brasileiro.

## Referências Bibliográficas

---

- (1) GARDNER, L. The use of stainless steel in structures. **Progress in Structural Engineering and Materials**, v. 7, p. 45-55, 2005.
- (2) THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. **Design Manual for Structural Stainless Steel**. 4<sup>th</sup> ed. Ascot: SCI, 2017. V. 1. 266 p.
- (3) BOTELHO, I.S. ; KAYSER, A. M. G. ; SARQUIS, F.R. ; LIMA, LUCIANO RODRIGUES ORNELAS DE ; VELLASCO, P. C. G. da S. ; SILVA, A. T. ; RODRIGUES, M. C. ; DINIZ, M. G. . Starred rolled stainless steel angle sections under compression: An experimental and numerical investigation. **Thin-Walled Structures**, v. 158, p. 107177, 2021.
- (4) CASTANHEIRA, D. S. ; LIMA, LUCIANO RODRIGUES ORNELAS DE ; VELLASCO, P. C. G. da S. ; CASHELL, KATHERINE A. ; GARDNER, L. . Compressive behaviour of double skin sections with stainless steel outer tubes and recycled aggregate concrete. **Structures**, v. 41, p. 750-763, 2022.
- (5) TORRES, F. L. **Comportamento estrutural de cantoneiras de aço inoxidável interconectadas em configuração cruciforme sob compressão axial**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2022.
- (6) SOBRINHO, K.P. ; SILVA, A. T. ; RODRIGUES, M. C. ; HENRIQUES, J.A. ; VELLASCO, P. C. G. da S. ; LIMA, LUCIANO RODRIGUES ORNELAS DE . A comprehensive assessment of curling effects in stainless steel bolted connections. **Thin-Walled Structures**, v. 176, p. 109387, 2022.
- (7) NOGUEIRA, MATEUS M. ; LIMA, LUCIANO RODRIGUES ORNELAS DE ; VELLASCO, P. C. G. da S. ; YOUNG, BEN . Semi-analytical formulation for stainless steel tubular T-joints chord sidewall failure. **Thin-Walled Structures**, v. 179, p. 109505, 2022.
- (8) SANTOS, J. J. ; LIANG, Y. ; ZHAO, O. ; ANDRADE, S. A. L. de ; LIMA, LUCIANO RODRIGUES ORNELAS DE ; GARDNER, L. ; VELLASCO, P. C. G. da S. . Testing and design of stainless steel staggered bolted connections. **Engineering Structures**, v. 231, p. 111707, 2021.
- (9) SARQUIS, F.R. ; LIMA, LUCIANO RODRIGUES ORNELAS DE ; VELLASCO, P. C. G. da S. ; RODRIGUES, M. C. . Experimental and numerical investigation of hot-rolled stainless steel equal leg angles under compression. **Thin-Walled Structures**, v. 151, p. 106742, 2020.
- (10) SIRQUEIRA, A. da S. ; VELLASCO, P. C. G. da S. ; Luciano Rodrigues Ornelas de Lima ; SARQUIS, FERNANDO R. . Experimental assessment of stainless steel hot-rolled equal legs angles in compression. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 169, p. 106069, 2020.
- (11) DE MENEZES, ARTHUR A. ; DA S. VELLASCO, PEDRO C.G. ; DE LIMA, LUCIANO R.O. ; DA SILVA, ANDRÉ T. . Experimental and numerical investigation of austenitic stainless steel hot-rolled angles under compression. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 152, p. 42-56, 2019.
- (12) KAYSER, A. M. G. ; SARQUIS, F.R. ; LIMA, LUCIANO RODRIGUES ORNELAS DE ; SILVA, A. T. ; RODRIGUES, M. C. . Numerical assessment of austenitic and duplex stainless steel starred rolled angle sections under compression. In: 6<sup>th</sup> International Experts Seminar - Stainless Steel in Structures, 2022, London. **Proceedings...** 6<sup>th</sup> International Experts Seminar - Stainless Steel in Structures. Ascot: SCI - The Steel Construction Institute, 2022. v. 1. 11p.
- (13) EUROCODE 3, EN 1993-1-4: Design of steel structures: Part 1-4: General rules – Supplementary rules for stainless steels. CEN, European Committee for Standardization, Brussels, 2006.