



ANÁLISE EXPERIMENTAL DE LIGAÇÕES APARAFUSADAS DE AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX

Kelvin de P. Sobrinho^a, André T. da Silva^b, Monique C. Rodrigues^c, e José Henriques^d

^a PGECIV – Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil, Univ. do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Brasil

^{b,c} Dept. de Estruturas e Fundações, Univ. do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Brasil

^d Universidade Hasselt, Hasselt, Limburgo – Bélgica

Resumo. Este artigo apresenta uma análise experimental de ligações aparafusadas em chapas finas (3 mm) de aço inoxidável duplex 2205 conformadas a frio, submetidas a corte duplo, com o objetivo de avaliar a influência do fenômeno *curling* no comportamento estrutural. Os resultados demonstraram que o *curling* está diretamente associado à redução da capacidade resistente das ligações. Em particular, as ligações com o *curling* apresentaram cargas últimas até 47% inferiores às ligações equivalentes com o *curling* suprimido. Por fim, os resultados experimentais foram comparados com previsões normativas, evidenciando discrepâncias significativas que indicam a necessidade de revisão das atuais abordagens de dimensionamento.

1. Introdução

Os aços inoxidáveis são ligas ferrosas que contêm, no mínimo, 10,5% de cromo, elemento responsável pela formação de uma camada passiva que garante elevada resistência à corrosão [1]. De forma geral, classificam-se em cinco grupos principais, entre os quais se destacam os aços inoxidáveis duplex, caracterizados por uma microestrutura bifásica composta por austenita e ferrita, obtida a partir de composições balanceadas de cromo e níquel [2]. Essa configuração confere simultaneamente elevada resistência mecânica, boa soldabilidade e desempenho anticorrosivo, tornando-os materiais de referência em setores como a indústria química, petrolífera e de gás [3,4]. A liga 2205 é o mais amplamente utilizado nesta classe, atingindo tensões de escoamento superiores a 450 MPa, o que possibilita a redução das espessuras estruturais e, consequentemente, do consumo de material [5].

O emprego do aço inoxidável em estruturas tem crescido de forma significativa, sobretudo em ambientes agressivos, nos quais a durabilidade e a baixa necessidade de manutenção são requisitos fundamentais [6]. Nesse contexto, as ligações estruturais assumem papel central, uma vez que garantem a transmissão dos esforços entre os elementos conectados. Entre as diferentes soluções, as ligações aparafusadas destacam-se pela facilidade de montagem, inspeção e desmontagem [7]. Assim, estudos que explorem o comportamento dessas ligações em aço inoxidável duplex são essenciais para o avanço do conhecimento científico e tecnológico.

Nas ligações aparafusadas, o modo de falha por esmagamento é frequentemente observado em placas conectadas por um único parafuso, desde que respeitadas as distâncias mínimas entre os furos e as extremidades, conforme previsto em norma [8,9]. Adicionalmente, em ligações compostas por chapas finas, pode manifestar-se o fenómeno denominado *curling* (Fig. 1), caracterizado por deformações fora do plano que compromete a rigidez e reduz a capacidade resistente da ligação [10,11,12]. A magnitude deste efeito está diretamente relacionada à espessura da chapa e às distâncias entre o furo e as bordas [13]. Todavia, a literatura ainda apresenta lacunas significativas sobre o comportamento dessas ligações, sobretudo quando se trata de chapas conformadas a frio de aço inoxidável duplex. Dada esta limitação, torna-se necessária a realização de pesquisas que contribuam para uma melhor compreensão do comportamento estrutural deste material, pois desta forma, será possível almejar um dimensionamento mais preciso, uma vez que as normas vigentes são baseadas essencialmente em critérios utilizados para o aço carbono, que conduzem abordagens excessivamente conservadoras ou pouco representativas [14,15,16].



Fig. 1: Efeito *curling*

2. Dimensionamento de ligações aparafusadas

Neste artigo são avaliadas as previsões fornecidas pelas principais normas e códigos de dimensionamento: AS/NZS 4673 [14], ANSI/AISC 370 [15] e Eurocode 3, Parte 1-4 [16], referidos ao longo do texto como AS/NZS, AISC e EC3, respectivamente, para fins de simplificação. Adicionalmente, inclui-se a 4^a edição do *Design Manual for Structural Stainless Steel* publicado pela SCI (*The Steel Construction Institute*) [17], doravante designado por SCI, o qual serve de referência para a revisão atualmente em curso do EC3-1-4[16], sendo aqui considerado para efeitos comparativos. As previsões de resistência à falha por esmagamento, sem aplicação de coeficientes de segurança, encontram-se reunidas na Tabela 1, ajustadas ao tipo de ligação analisado neste estudo. Os parâmetros geométricos das placas seguem a nomenclatura estabelecida pelo EC3, sendo representados esquematicamente na Figura 2, que apresenta as principais variáveis envolvidas.

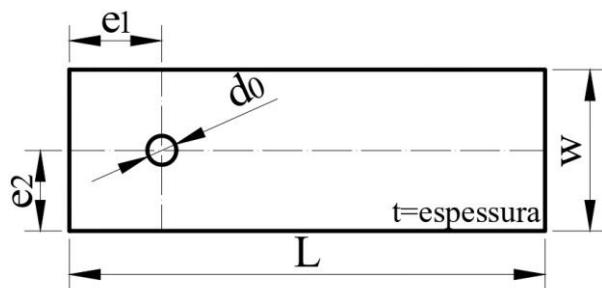


Fig. 2: Propriedades geométricas da placa

Ao avaliar as equações apresentadas na Tabela 1, observa-se que todas possuem os parâmetros definido pela área de projeção do esmagamento ($d \times t$) e a propriedade mecânica do material, sendo neste último ponto, o código europeu mais conservador por substituir a tensão última (f_u) por uma tensão reduzida ($f_{u,red}$), conforme demonstrado na Eq. (1). O resultado produzido por esses parâmetros é multiplicado pelo coeficiente de esmagamento, que possui uma abordagem diferente entre cada norma avaliada. As normas AISC e AS/NZS apresentam

coeficientes constantes e iguais a 2,5 e 2,75, respectivamente, já o EC3 e o SCI possuem valores variáveis de acordo com as propriedades geométrica, porém, ambos são limitados a 2,5 no melhor cenário. É importante destacar que as normas AISC e AS/NZS apresentam uma equação específica para o modo de falha rasgamento, que ocorre quando o parâmetro e_1 , assume valores baixos. Outro ponto que merece destaque, diz respeito a diferença de metologia aplicada pelo manual da SCI, que possui uma equação para ligações de corte duplo quando a placa central é crítica e outra para quando as placas externas são críticas, desde que utilizada placas finas ($t \leq 4$ mm), ou seja, na primeira o curling está impedido e na segunda o fenômeno irá ocorrer a depender dos parâmetros e_1 e e_2 .

$$f_{red} = 0,5 \cdot f_y + 0,6 \cdot f_u \leq f_u \quad (1)$$

Tabela 1: Equações para a falha por esmagamento

Norma	Equações	Variáveis de esmagamento
ANSI/AISC 370	$2,5 \cdot d \cdot t \cdot f_u$ ^{a),b)}	-
AS/NZS 4673	$2,75 \cdot d \cdot t \cdot f_u$ ^{c)}	-
EC3 1-4	$\alpha_b \cdot k_1 \cdot d \cdot t \cdot f_{u,red}$	$\alpha_b = \min \left[\frac{e_1}{3d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right]$ $k_1 = \min \left[2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right]$ $\alpha_b = \min \left[\frac{e_1}{3d_0}; 1,0 \right]$ $k_1 = \begin{cases} 0,8 \text{ para } \frac{e_2}{d_0} \leq 1,5 \\ 1,0 \text{ para } \frac{e_2}{d_0} > 1,5 \end{cases}$ $\alpha_b = \min \left[\frac{e_1}{2d_0}; 1,0 \right]$ $k_1 = 0,5$
SCI	$2,5 \cdot \alpha_b \cdot k_t \cdot d \cdot t \cdot f_u$	

a) $\frac{e_2}{d_0} > 1,5$

b) Ligações com apenas um parafuso

c) Ligações com dois planos de cortes

d) Ligações com dois planos de corte com a placa central crítica.

e) Ligações com dois planos de corte com as placas externas crítica (curling).

3. Programa experimental

A placa de aço inoxidável duplex 2205 foi caracterizada por meio de ensaios de tração axial por meio de três corpos de provas, com o objetivo de determinar as propriedades mecânicas médias no sentido paralelo a laminação. Esses resultados foram utilizados para o cálculo das cargas de previsão fornecidas pelas normas AS/NZS, AISC, EC3 e o manual da SCI. A Fig. 3 apresenta a curva tensão-deformação de engenharia obtida nos ensaios, destacando-se, no detalhe A, o valor médio da tensão correspondente a 0,2% de deformação (f_y). As propriedades obtidas para cada corpo de prova, bem como os valores médios, encontram-se reunidas na Tabela 2, juntamente com aqueles prescritos pelas normas e códigos de projeto considerados.

Na análise dos resultados obtidos nos ensaios de tração longitudinal, considerando o sentido da laminação e as propriedades estabelecidas por cada norma, verificou-se que, para a tensão correspondente a 0,2% de deformação, a previsão fornecida pelo EC3-1-4 apresentou a maior proximidade em relação ao valor obtido experimentalmente. Já para a tensão última, embora tenha sido observada uma diferença da ordem de 20%, as prescrições do EC3 e da AISC mostraram-se as menos conservadoras entre as normas avaliadas.

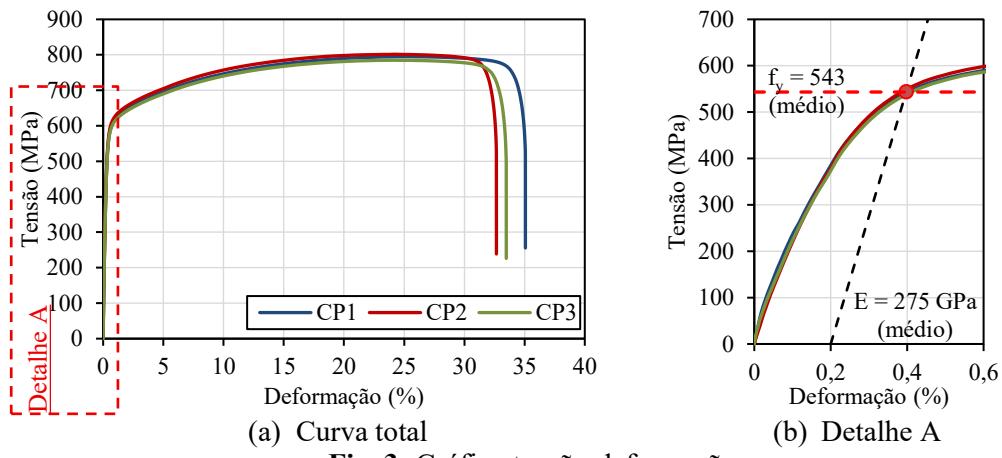


Fig. 3: Gráfico tensão-deformação

Tabela 2: Propriedades mecânicas à tração longitudinal

Corpo de prova	Ensaio de tração		AISC		AS/NZS		EC3	
	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
CP1	530	795						
CP2	560	543	802	794	450	655	430	590
CP3	540		785					
Teste/ Norm.	-	-	-	-	1.21	1.21	1.26	1.35
							1.13	1.20

3.1 Ligações aparafusadas

As ligações aparafusadas são compostas por placas de aço inoxidável duplex 2205 com a dimensão padrão de 330mm x 112mm x 3mm (L x w x t) e por uma placa de aço carbono de base com alta resistência e dureza para garantir que qualquer deformação durante a realização do ensaio ocorresse apenas nas placas de aço inoxidável. Para avaliar a influência do efeito *curling*, duas configurações compostas por placas de aço inoxidável de mesma geometria foram analisadas. A primeira, refere-se a uma placa duplex interna (denominada como “I”) conectada a duas placas de aço carbono externas (Fig. 4(a)), desta forma a placa crítica está impedida de sofrer uma deformação para fora do plano. Já a segunda, trata-se de duas placas de aço duplex externas (denominadas como “E”), conectadas a uma placa central de aço carbono, nesta configuração, as placas duplex estão com suas bordas livres na região de esmagamento e podem sofrer uma deformação para fora do plano (Fig. 4(b)).

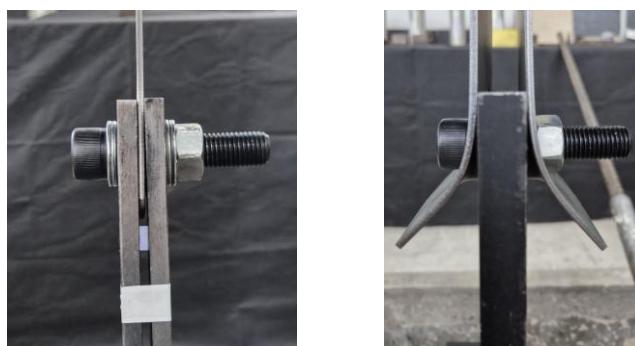


Fig. 4: Arranjos de ligações realizados

A parametrização do estudo experimental teve como variável além do arranjo geométrico da ligação (“I” ou “E”), necessário para identificar o efeito *curling* ao comparar o resultado obtido nas duas configurações, o diâmetro do parafuso, que teve como objetivo verificar a influência da área líquida na região de esmagamento, uma vez que o parâmetro e_1 permaneceu constante ($e_1=64$ mm) e foi avaliado dois diâmetros de parafusos diferentes ($d=16\text{mm}$ e $d=20\text{mm}$). Com essa variação a ligação é dimensionada para um mesmo valor de distância entre o eixo do furo e extremidade no sentido da carga, porém com uma distância líquida diferente neste mesmo sentido, devido ao maior diâmetro do furo. A Tabela 3 apresenta os parâmetros geométricos com os valores nominais de cada placa duplex que compõe a ligação. É importante destacar que não foi utilizado folga entre o parafuso e o furo da placa, sendo o valor do diâmetro nominal do parafuso igual a diâmetro nominal do furo, na prática, essa diferença foi medida por um paquímetro digital e a diferença média encontrada foi de apenas 0,03 mm.

Tabela 3: Tabela resumo com a carga última e previsões das normas

Ligação	Placa crítica	e_1	d_0	w	L
ID16	interna	64	16	112	330
ID20	interna	64	20	112	330
ED16	externa	64	16	112	330
ED20	externa	64	20	112	330

A Fig. 5 apresenta as curvas carga-deslocamento axial obtidas nos ensaios das ligações aparafusadas, considerando a resistência por placa. Assim, para as ligações compostas por duas chapas externas, o valor da carga total foi dividido por dois. Para cada configuração ensaiada realizou-se uma repetição, identificada pelo sufixo “-R”, perfazendo um total de oito ensaios experimentais. As repetições tiveram como objetivo validar os resultados e avaliar a influência máxima do efeito curling, o qual apenas se manifesta de forma significativa quando ocorre simetricamente em ambas as placas externas. Em situações nas quais o *curling* se desenvolve em apenas uma das placas, a sua influência no comportamento global da ligação torna-se menos relevante. Essa diferença decorre, em grande parte, de imperfeições geométricas inerentes às chapas. No caso específico das ligações ED16-R e ED20-R, não foi observada a evolução simétrica do *curling*, como ilustrado na Fig. 6, motivo pelo qual os respectivos resultados foram desconsiderados nos cálculos. Por fim, a Tabela 5 apresenta um resumo dos principais resultados obtidos em cada ensaio.

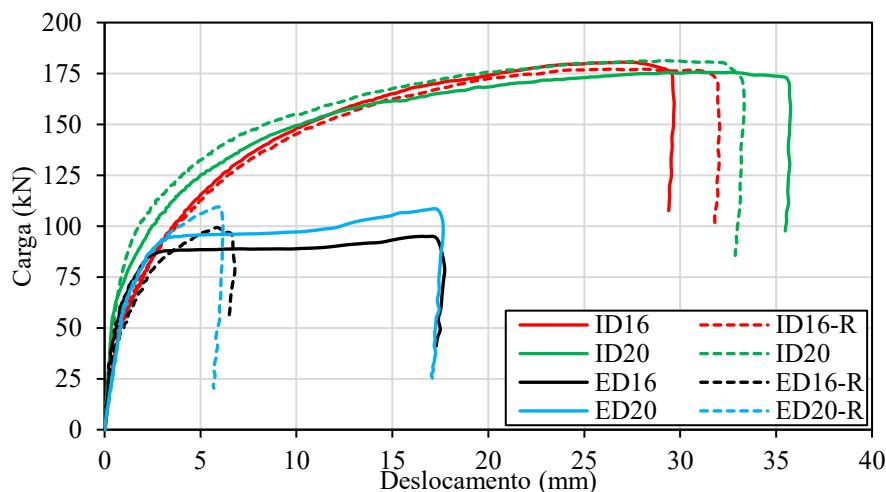


Fig. 5: Curva Carga-Deslocamento das ligações aparafusadas

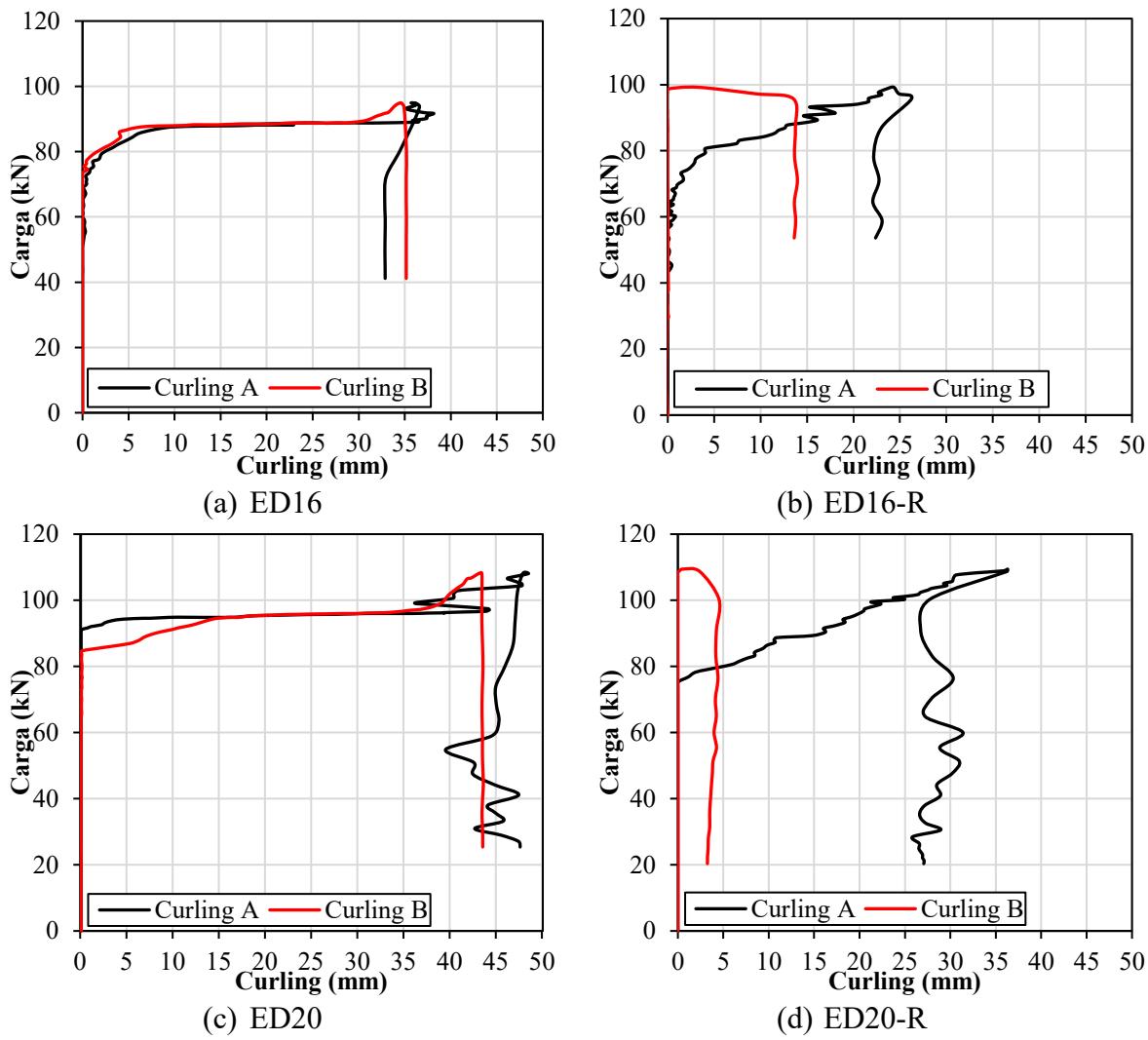


Fig. 6: Curva Carga-Deslocamento das ligações aparafusadas

Com base nos resultados apresentados, ao comparar o mesmo arranjo, observa-se que para as ligações com a placa interna controlando o dimensionamento, na média dos dois resultados não houve uma diferença em termo de carga última com a variação do diâmetro do furo, ou seja, mesmo com o aumento da área de projeção do esmagamento a resistência da ligação permaneceu constante. Já para a ligação com o *curling* a ligação com maior área de contato na região de esmagamento (ED20) foi capaz de atingir carga última superior em 14%, comparando com a ligação ED16.

A partir dos resultados apresentados na Fig. 6, verifica-se que, na ligação ED16, o curling iniciou-se aproximadamente no mesmo nível de carga em ambas as chapas externas, evoluindo de forma simétrica ao longo do ensaio e atingindo magnitudes equivalentes no patamar da carga última. Na repetição desta ligação, contudo, a presença de uma imperfeição geométrica — caracterizada por uma curvatura inicial voltada para o interior — impediu o desenvolvimento simétrico do fenômeno, o que resultou no aumento da capacidade resistente da ligação. Comportamento semelhante foi observado para a ligação ED20-R. Já no caso da ligação ED20, embora o *curling* não tenha surgido exatamente no mesmo nível de carga em ambas as chapas, durante o processo de carregamento verificou-se a formação de uma resposta simétrica, permitindo a avaliação adequada da influência deste efeito. Observa-se ainda que a maior magnitude de *curling* ocorreu na ligação com maior diâmetro de furo, em virtude da ampliação da área de projeção do esmagamento, consequência direta do maior diâmetro do parafuso.

A análise da influência do efeito *curling* na capacidade de carga da ligação é realizada por meio da comparação do desempenho entre as ligações do tipo “I” e “E”, já que essas placas possuem a mesma geometria. E para os dois diâmetros de parafusos avaliados o fenômeno foi capaz de reduzir significativamente a capacidade de carga da ligação. Para a ligação com $d=16\text{mm}$ a redução da carga foi de 46,9% e para a ligação com $d=20\text{mm}$ a redução foi de 39,4% (valor de α da Tabela 4). A redução superior para a ligação de menor diâmetro do furo é justificada pela menor distância líquida no sentido de e_1 . Desta forma, é possível concluir que a distância líquida na região de esmagamento é capaz de produzir um aumento da redução de carga provocada pelo *curling*, independente do deslocamento medido no sentido do *curling*.

Tabela 4: Tabela resumo com os resultados dos ensaios experimentais

Ligação	Carga [kN]	Carga média [kN]	Desloc. [mm]	Desloc. médio [mm]	Curling A [mm]	Curling B (mm)	Curling médio (mm)	α^1 (%)
ID16	180,5	178,8	27,0	26,9	-	-	-	-
ID16-R	177,1		26,8		-	-	-	-
ID20	175,7	178,5	30,8	30,0	-	-	-	-
ID20-R	181,3		29,2		-	-	-	-
ED16	94,9	94,9	16,7	16,7	35,7	34,6	35,2	-46,9
ED20	108,2	108,2	17,3	17,3	47,9	43,4	45,6	-39,4

¹⁾ Redução da carga produzida pelo *curling*.

4. Avaliação dos projetos de dimensionamento

As previsões fornecidas por cada norma e código de dimensionamento encontram-se representadas na Fig. 7, em conjunto com as curvas carga-deslocamento, e resumidas na Tabela 5, permitindo avaliar a precisão e a acurácia dos resultados obtidos por cada equação. Nos gráficos, foi necessário incluir separadamente as previsões designadas SCi e SCiE, uma vez que o manual da SCi apresenta equações específicas para cada configuração geométrica analisada. Observa-se ainda que as previsões fornecidas pelo SCi e pela AISC coincidiram para a mesma geometria de placa.

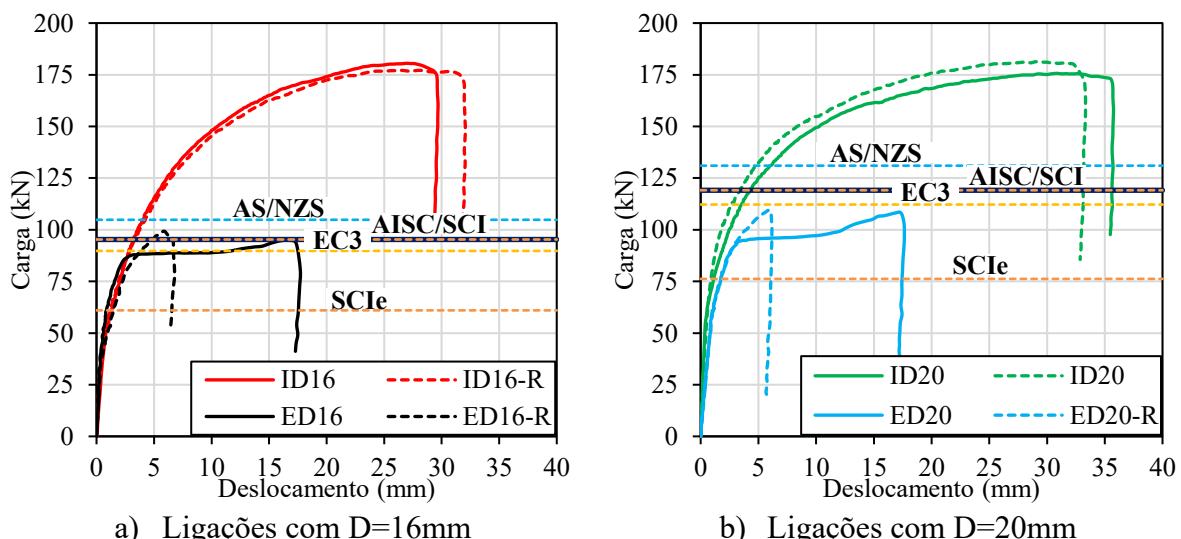


Fig. 7: Gráfico tensão-deformação

Ao avaliar os resultados obtidos pelas equações de cada norma é possível verificar que para as ligações com o *curling* há uma menor variabilidade entre os resultados. Já em relação a acurácia, quando analisado o resultado geral, as equações do SCI não se demonstraram eficiente para ligações de aço duplex avaliadas neste artigo, pois apresentou um conservadorismo de 59%. Já AS/NZS foi a norma que apresentou resultado mais próximo do obtido experimental, no entanto, ainda com um conservadorismo de 20%. Porém, esse resultado superior foi ocorreu devido as previsões contra a segurança fornecidas para as ligações com o *curling*, desta forma, a utilização desta equação não é considerada segura para as ligações com as características avaliadas neste estudo. Quando cada arranjo é avaliado de forma individual, o EC3 apresentou um excelente resultado para as ligações com o *curling*, o que demonstra ser uma excelente opção para ligações de aço inoxidável duplex com a presença deste fenômeno. O *curling* apresentará uma influência negativa significativa na capacidade de carga da ligação sempre que a placa fina apresentar valores e_1 e e_2 significativos, já que os menores valores da relação e_1/d_0 e e_2/d_0 utilizados neste estudo foram de 3,2 e 2,8, respectivamente. Porém, um estudo realizado por Kim et al. [18] com o aço inoxidável austenítico, demonstrou que algumas das condições para que o *curling* ocorra em placas com 3mm de espessura é a chapa possuir uma relação geométrica e_1/d_0 e e_2/d_0 maior ou igual a 2,5.

Tabela 5: Tabela resumo com a carga última e previsões das normas

Ligaçāo	Teste AS/NZS	Teste AISC	Teste EC3	Teste SCI
ID16	1,71	1,88	1,99	1,88
ID20	1,36	1,50	1,59	1,50
Média	1,53	1,69	1,79	1,69
C.V.	0,16	0,16	0,16	0,16
ED16	0,91	1,00	1,06	1,56
ED20	0,83	0,91	0,96	1,42
Média	0,87	0,95	1,01	1,49
C.V.	0,06	0,06	0,06	0,06
Média (geral)	1,20	1,32	1,40	1,59
C.V. (geral)	0,34	0,34	0,34	0,13

5. Conclusões

O presente artigo contempla um estudo experimental de ligações aparafusadas compostas por placas de aço inoxidável duplex 2205 com 3 mm de espessura conformadas a frio, conectadas por um único parafuso sob dois planos de cortes. Neste estudo, foi possível realizar uma avaliação da influência do efeito *curling* no comportamento de ligações sujeitas a falha por esmagamento. Os resultados experimentais são comparados com as previsões fornecidas pelas normas AS/NZS 4673 [14], ANSI/AISC 370 [16], Eurocode 3, parte 1-4 [16], e a 4^a edição do *Design Manual for Structural Stainless Steel* publicado pela SCI [17]. Com base nas avaliações realizadas, é possível destacar as principais conclusões:

1. O efeito *curling* é capaz de minimizar de forma significativa a capacidade de carga de ligações com placas finas (3mm) conformadas a frio de aço inoxidável duplex 2205;
2. A distância líquida entre o eixo do furo e a extremidade da placa no sentido do carregamento influencia na capacidade de redução de carga produzida pelo efeito *curling*;
3. A imperfeição geométrica da placa é capaz de causar assimetria na evolução do *curling*, porém este efeito é favorável no desempenho da ligação, pois o pior cenário ocorre

quando o *curling* se desenvolve de forma simétrica nas duas placas críticas de uma ligação de corte duplo.

4. As normas dimensionamento avaliadas, no geral, não apresentam boas previsões de carga, considerando o escopo avaliado neste artigo.
5. A norma AS/NZS superestima a capacidade de carga das ligações que ocorrem o efeito *curling*, trazendo valores contra a segurança.
6. O Eurocode 3, parte 1.4, apresentou uma excelente previsão de carga para ligações de aço inoxidável duplex com o efeito *curling* devido a utilização do $f_{u,red}$, no entanto, o código europeu não diferencia essas ligações das que possuem o fenômeno impedido, apresentando para as ligações sem o *curling* valores extremamente conservadores.
7. A metodologia utilizada pelo SCI, que diferencia a placa interna das placas externas de uma ligação de corte duplo, é interessante, porém os coeficientes de esmagamento precisam ser calibrados para ligações com aço inoxidável duplex 2205.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CAPES, CNPq e FAPERJ pelo apoio financeiro a este programa de pesquisa.

Referências

- [1] N. Baddoo. “Stainless steel in construction: A review of research, applications, challenges and opportunities”, *Journal of Constructional Steel Research*, v. 64, 1199-1206, 2008.
- [2] Souza LM, Pereira EC. “Influência da corrosão no aço inoxidável duplex S3803 submetido a íons de cloreto em diferentes temperaturas”, *Perspectivas Online: Exatas & Engenharia*, v. 10, n. 29, 53-73, 2020.
- [3] Gerdau Aços Finos Piratini. *Manual de Aços*, Porto Alegre: Gerdau, 2003.
- [4] Oliveira IPG, Luz TS. “Estudo do processo de fabricação de tubos flexíveis de aço inoxidável duplex UNS 32304 utilizados na indústria de petróleo e gás”, *Soldagem e Inspeção*, vol. 18, 2-11, 2013.
- [5] Nunes EB, et al. “Efeito da energia de soldagem sobre a microestrutura e propriedades mecânicas da zona afetada pelo calor de juntas de aço inoxidável duplex”, *Miscellaneous*, 16(3), 223-231, 2011.
- [6] Luo J, Yan P, Fan Y, Luo S, Long Y. “Investigation of corrosion behavior of 2205 duplex stainless steel coiled tubing in complex operation environments of oil and gas wells”, *Engineering Failure Analysis*, 151(107355), ISSN 1350-6307, 2023.
- [7] Bellei IH, Pinho FO, Pinho MO. *Edifícios de múltiplos andares em aço*, 2^a. ed., São Paulo: Pini, 2008.
- [8] Song Y, Lin XM, Yam CM, Zhang Y, Ke K, Wang J, “Bearing and tearout of austenitic and duplex stainless steel bolted connection”, *Thin-Walled Structures*, 205, Part C, 2024.
- [9] Chen T, Fan S, Xu Q, Xu K, Luo J, Tang Y, “Research on mechanical properties of duplex stainless steel S22053 at elevated temperature and after fire”, *Thin-Walled Structures*, 197, 2024.
- [10] Salih EL, Gardner L, Nethercot DA, “Bearing failure in stainless steel bolted connections,” *Engineering Structures*, 33, 549–562, 2011.
- [11] Song Y, Lin XM, Yam CM, Zhang Y, Ke K, Wang J. “Behaviour and design of duplex stainless steel bolted connections failing in block shear”, *Engineering Structures*, vol. 302, 2024.

- [12] Sobrinho KP, Silva AT, Rodrigues MC, Henriques JA, Vellasco PCS, Lima LR, “A comprehensive assessment of curling effects in stainless steel bolted connections,” *Thin-Walled Structures*, vol. 176, 2022.
- [13] Jiang K, Jiang O. “Ferritic stainless steel thin sheet bolted connections failing by bearing–curling interaction: Testing, modelling and design”, *Engineering Structures*, 283, p. 12, 2023.
- [14] Standards Australia/Standards New Zealand. *AS/NZS 4673: Cold-formed Stainless Steel Structures*. Sydney/Wellington: Standards AS/NZS, 2001.
- [15] American National Standards Institute, *ANSI/AISC 370: Specification for Structural Stainless Steel Buildings*. Chicago: AISC, 2021.
- [16] European Standard. *Eurocode 3 - Design of steel structures: Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels*. Brussels: European committee for standardization, 2006.
- [17] SCI Steel Knowledge. *Design Manual for Structural Stainless Steel*, 4^a ed., Ascot: SCI, 2018.
- [18] Kim TS, Kuwamura H, Kim S, Lee Y, Cho T. “Investigation on ultimate strength of thin-walled steel single shear bolted connections with two bolts using finite element analysis”, *Thin-Walled Structures*, 47, 1191–1202, 2009.