

ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DE CANTONEIRAS CONECTADAS POR UMA ABA SUJEITAS À COMPRESSÃO

Jackson Deliz Ditz

Engenheiro civil – Universidade Federal do Pampa – 2012.
Mestre em ciências – Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos:
Departamento de Engenharia de Estruturas – 2015.
Docente da Escola Politécnica da Faculdade Meridional (IMED) nos cursos de engenharia civil
e arquitetura e urbanismo. Área de interesse: Estruturas.
Professor substituto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
Sul-Riograndense: Campus Passo Fundo.
E-mail: <jackson.ditz@gmail.com>.

Ana Paula Antonello Sieg

Engenheira civil – Universidade Federal do Pampa – 2012.
Mestre em ciências – Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos:
Departamento de Engenharia de Estruturas – 2015.
Professora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Santa Catarina: Campus São Carlos.
E-mail: <anapaula.a.sieg@gmail.com>.

RESUMO

No projeto de cantoneiras de aço sujeitas à compressão, a flambagem costuma ser o fator dominante. Diante disso, este estudo visa realizar uma análise comparativa entre estudos experimentais e teóricos de cantoneiras conectadas por uma aba sujeitas à compressão. Foram realizados ensaios experimentais com cantoneiras de esbeltez 90, 100, 110 e 120 onde a ligação nas extremidades foi parafusada em apenas uma aba e adotado um procedimento teórico descrito pela ABNT NBR 8800:2008. Os principais resultados foram: a) a carga de ruptura foi superior para esbeltez inferiores e b) os deslocamentos horizontais foram significativamente maiores em torno da aba conectada; c) carga de projeto da ABNT NBR 8800:2008 foi cerca de 90% superior a carga obtida nos ensaios experimentais.

Palavras-chave: Compressão em cantoneiras. Cantoneiras conectadas por uma aba.

1 INTRODUÇÃO

Barras de aço comprimidas podem ser encontradas em componentes de treliças, sistemas de travejamento e em pilares de sistemas contraventados de edifícios. Esse tipo de sollicitação, dependendo do índice de esbeltez do perfil, pode gerar a ruptura por escoamento ou flambagem, sendo que o primeiro ocorre somente em barras curtas.

A flambagem pode se dar por flexão (que é o caso mais comum), por torção ou flexotorção (SOUZA, 2010). Em barras que apresentam seção transversal monossimétrica ou assimétrica, além de parede fina, todos os casos desse tipo de instabilidade devem ser considerados. Já em perfis duplamente simétricos, há predominância do caso particular de flambagem por flexão, não havendo necessidade de verificação da flambagem à torção e flexo-torção.

Segundo Souza (2010), a flambagem por torção está associada à rotações da seção transversal do elemento, enquanto a flambagem por flexotorção se caracteriza pela combinação de flambagem por flexão e por torção nas seções transversais do elemento comprimido.

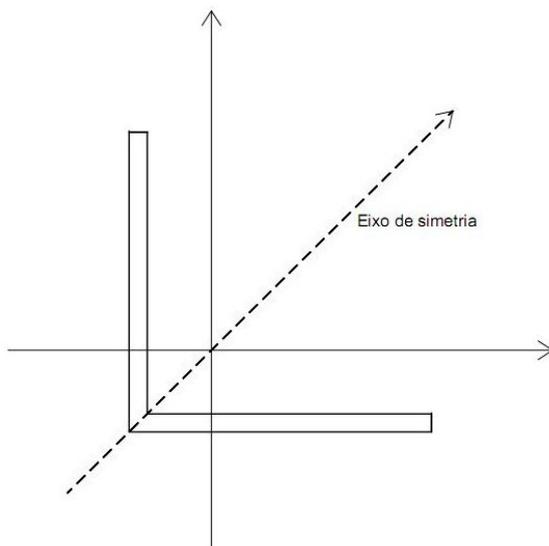
Em perfis com paredes longas e finas (elevada relação largura/espessura) há a tendência de o perfil sofrer instabilidade local, ou seja, flambagem local das abas – no caso de cantoneiras – almas ou mesas. Nesse tipo de reação, as placas comprimidas apresentam deslocamentos laterais na forma de ondulação (PFEIL, 2010).

As cantoneiras de aço, particularmente, se caracterizam por apresentar, segundo Pfeil (2010) e Souza (2010), um eixo de simetria não vertical ou horizontal em relação a sua aba, mas sim formando um ângulo de 45° com a mesma quando comprimidas de forma axial, conforme ilustra a Figura 1.

Em barras de treliça que utilizam perfis cantoneiras, a ligação ocorre geralmente por uma aba, seja parafusada ou soldada. Quando o membro estrutural é carregado por compressão somente por uma aba, essa cantoneira passa a não trabalhar com um eixo de simetria inclinado a 45° como mostra a Figura 1, pois o carregamento deixa de ser axial.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 8800:2008, em seu anexo E (Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem), propõe um procedimento para o projeto de cantoneiras conectadas por uma aba submetidas à compressão, onde os efeitos da excentricidade do carregamento podem ser considerados por meio de um comprimento de flambagem equivalente, que é descrito no item 3 deste artigo.

Figura 1 – Eixo de simetria de cantoneiras carregadas axialmente.



Esse trabalho visa, portanto, possibilitar uma análise comparativa entre os resultados de ensaios experimentais de compressão em cantoneiras conectadas por uma aba e o método teórico proposto pela ABNT NBR 8800:2008, variando-se o índice de esbeltez dessas peças.

2 ANÁLISE EXPERIMENTAL

Para a análise experimental, foram utilizadas cantoneiras de aço MR-250, com tensão de escoamento de 250 MPa e módulo de elasticidade de 205 GPa. O perfil utilizado consta de cantoneiras de aba 1.½” (38,1 mm) e espessura de ¼” (3,18 mm) provenientes da empresa Gerdau S.A.

Os índices de esbeltez utilizados foram: 90, 100, 110 e 120. Esses valores foram arbitrados levando em consideração a capacidade da Máquina Universal de Ensaio empregada (EMIC, modelo DL 20.000), a esbeltez máxima aceitável pela ABNT NBR 8800:2008 (200) e a esbeltez de plastificação, pois para haver flambagem é necessário que a esbeltez da peça seja maior que a esbeltez de plastificação (SOUZA, 2010).

As ligações nas extremidades foram realizadas em uma aba em ambas as extremidades com dois parafusos de alta resistência, conforme Figura 2. Às extremidades da cantoneira foram adaptadas peças de aço (Seção U) para possibilitar a ligação parafusada e o carregamento por somente uma aba. Deixou-se, entre a mesa inferior do perfil U da base do corpo de prova e a cantoneira, uma folga de 10 mm para aplicação do carregamento. De modo a evitar a flexão das mesas do perfil base, estes foram enrijecidos com cantoneiras de reforço.

O comprimento da cantoneira foi variável e calculado de acordo com a esbeltez da peça. O comprimento de cada cantoneira pode ser conhecido pela Tabela 1 e difere do comprimento de cálculo. O primeiro é o comprimento total da barra, enquanto o segundo é a distância entre o centro de gravidade dos furos de cada extremidade.

Para a realização dos ensaios experimentais foram sempre mantidas as mesmas bases, trocando apenas o perfil analisado.

A taxa de carregamento adotada na pesquisa segue o trabalho de Chodraui (2006), cujo qual utilizou 21 MPa/minuto. Foram ensaiadas cinco amostras para cada esbeltez e calculadas as médias e descartados os valores espúrios pelo Critério de Chauvenet.

Figura 2 – Corpo de prova para ensaio de compressão. (Dimensões não mostradas em milímetros).

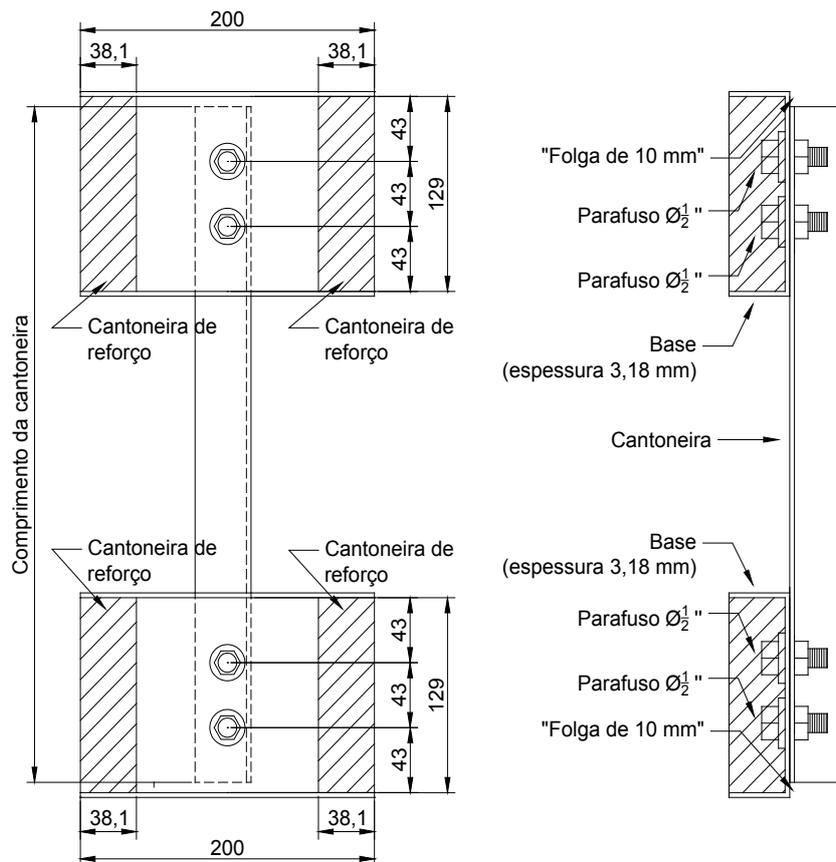


Tabela 1 – Comprimento das cantoneiras

Esbeltez	Comprimento de cálculo (cm)	Comprimento da cantoneira (cm)
90	68,4	81,3
100	76	88,9
110	83,6	96,5
120	91,2	104,1

A figura 3 mostra a realização de um ensaio de compressão em um corpo de prova.

3 ANÁLISE TEÓRICA

O método proposto pela ABNT NBR 8800: 2008, no seu item E.1.4 (anexo E), – Cantoneiras simples conectadas por uma aba – leva em consideração os efeitos da excentricidade através de um comprimento de flambagem equivalente, desde que a cantoneira: a) seja carregada nas extremidades através da mesma aba; b) seja conectada por solda ou por pelo menos dois parafusos na direção da solicitação; c) não seja solicitada por ações transversais intermediárias.

A determinação da força axial de flambagem elástica das cantoneiras simples conectadas por

Figura 3 – Ensaio de compressão em cantoneira conectada por uma aba.



uma aba sujeitas à compressão foi realizada de acordo com o anexo E – Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem. Posteriormente, a força axial resistente de cálculo foi determinada de acordo com o item 5.3.2 da norma ABNT NBR 8800:2008.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Figura 4 pode-se ver o estado final de uma cantoneira ainda ligada às suas bases após o carregamento de compressão e a ruína da peça.

As cargas médias de ruptura e os coeficientes de variação (razão entre o desvio padrão e a média aritmética), já descartados os valores espúrios, podem ser obtidos pela Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de compressão em cantoneiras

Esbeltez	90	100	110	120
Carga de ruptura (kgf)	1636,33	1494,70	1522,95	1287,02
Coefficiente de variação (%)	10,75	9,81	6,20	4,84

Figura 4 – Estado final de uma cantoneira após ensaio de compressão.



As cargas de flambagem reduziram de acordo com o aumento da esbeltez da cantoneira, à exceção dos índices de esbeltez 100 e 110, onde a diferença foi de 2% superior para cantoneira de esbeltez 110. Entre a esbeltez 90 e a esbeltez 120, a diferença foi de cerca de 28%, com maior resistência para o menor índice de esbeltez.

Em relação aos deslocamentos laterais da cantoneira após o encerramento do carregamento, eles foram predominantes na aba conectada para todos os índices de esbeltez. Para esbeltez maiores, o deslocamento lateral foi sempre maior.

Nas Figuras 5a e 5b, observa-se as cantoneiras mais esbeltas (esbeltez 120) após ensaios de compressão em relação a aba “solta” e a aba conectada, respectivamente.

A tabela 3 fornece, além dos valores obtidos nos ensaios experimentais, os resultados obtidos no procedimento de dimensionamento teórico proposto pela ABNT NBR 8800:2008 em kgf.

Observa-se que a diferença entre os valores encontrados a partir do procedimento teórico resultaram em cerca de 90% superior aos obtidos nos ensaios experimentais. A baixa carga de ruptura em relação à carga de projeto pode ter ocorrido

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de compressão em cantoneiras e da carga de projeto obtida de acordo com o anexo E da ABNT NBR 8800:2008

Esbeltez	90	100	110	120
Carga de ruptura (kgf)	1636,33	1494,70	1522,95	1287,02
Carga de projeto (kgf) (de acordo com anexo E da ABNT NBR 8800:2008)	3076,69	2902,47	2731,63	2564,68
Relação: carga de projeto / carga de ruptura	1,88	1,94	1,79	1,99

Figura 5 – Cantoneiras de esbeltez 120 após ensaio de compressão.



(a)



(b)

rindo em função da presença de excentricidades acidentais durante os ensaios. Destaca-se o fato de que os valores de projeto obtidos de acordo com o anexo E da ABNT NBR 8800:2008 envolvem a presença de coeficientes de segurança e, portanto, a comparação imediata não é possível.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a realização dos ensaios experimentais e das análises estatísticas, verificou-se que a carga de flambagem foi maior para esbeltezes menores, conforme esperado. A excentricidade aplicada em função do carregamento estar concentrado em uma aba provavelmente tenha reduzido a carga de ruptura e feito com que os deslocamentos horizontais ocorressem principalmente em torno da aba conectada.

Com relação a análise comparativa entre os procedimentos experimentais e teóricos, notou-se que os valores teóricos resultaram cerca de 90% superior aos experimentais. Isso pode ter ocorrido devido a presença de alguma excentricidade não prevista durante a execução dos ensaios.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados um número maior de ensaios e, principalmente, utilizado algum procedimento experimental que garanta a aplicação correta do carregamento, ou seja, sem excentricidades não previstas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8800: Projeto de estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro, 2008.

CHODRAUI, Gustavo Monteiro de Barros. *Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. – São Carlos, 2006.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. *Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008*. 8ªed. Rio de Janeiro, LTC 2010;

SOUZA, Alex Sander C. *Dimensionamento de elementos estruturais em aço segundo a NBR 8800:2008*. – São Carlos: EdUFSCar, 2010.

ABSTRACT

In steel angles project subject to compression load, usually buckling is a dominant factor. Therefore, this study aims to perform a comparative analysis between experimental and theoretical analysis of the angles connected by one flap subject to compression varying the slenderness ratio. Were performed experimental tests with angles of slenderness 90, 100, 110 e 120 where the connection at the ends was screwed on only one flap and adopted a theoretical procedure described by ABNT NBR 8800:2008. The main results were: a) breaking load was higher for below slenderness e b) horizontal displacements were significantly higher around the connected flap; c) design load of ABNT NBR 8800:2008 was about 90% higher than load obtained in the experiments test.

Keywords: Compression in angles. Angles connected by a flap.