



AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE REDUÇÃO DA ÁREA LÍQUIDA EM PERFIS PARAFUSADOS SUBMETIDOS À TRAÇÃO

Gabriella Darold Vieira

gabriella_darold@hotmail.com

André Luís da Silva Batista

andreatista.ufpa@gmail.com

Pedro Henrique Gama Neiva

bending.ufpa@gmail.com

Tárique Samir Bezerra Sena

tarique.samir@hotmail.com

Sandoval José Rodrigues Júnior

srodriguesjr@ufpa.nr

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Civil

Rua Augusto Corrêa, nº1, 66075-110 – Belém – Pará

Resumo. Para considerar a ocorrência do efeito shear lag, que está fundamentado na ponderação da área líquida da seção transversal na região da ligação, a NBR - 8800 (2008) acrescenta ao cálculo da resistência de projeto de uma peça tracionada um coeficiente de redução, o qual serve como uma redução da força resistente do elemento. Com base no exposto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a formulação proposta pela norma brasileira para o coeficiente de redução da área líquida em perfis do tipo "U" parafusados e sujeitos a esforço de tração, considerando como variáveis a excentricidade e o comprimento da ligação, através de modelagem computacional pelo software IDEA Statica Connection. Os resultados para o coeficiente de redução da área líquida obtidos por meio da modelagem computacional foram, de forma geral, menores do que os calculados pela formulação da norma, que justificam a necessidade de novos estudos a respeito do efeito e determinação do coeficiente de redução de área líquida, pois a norma pode estar superestimando a eficiência da seção líquida.

Palavras-chave: Shear lag, Coeficiente de redução, Área líquida

1 INTRODUÇÃO

Em perfis submetidos a esforços de tração onde há conexão parcial dos seus elementos à ligação, um fenômeno conhecido como *shear lag* é desencadeado. Salmon e Johnson (2009) caracterizam o fenômeno como uma condição de distribuição de tensões não-uniforme na vizinhança de uma ligação para um membro estrutural que não está conectado por meio de todos os elementos da seção transversal.

Para considerar a ocorrência desse efeito, a NBR - 8800 (2008) acrescenta ao cálculo da resistência de projeto de uma peça tracionada um coeficiente de redução da área líquida (C_t). Tal coeficiente está fundamentado na diminuição da área líquida da seção transversal na região da ligação, o qual serve como uma limitação à força resistente do elemento, com o objetivo de levar em conta a redução dessa devido a ocorrência do efeito *shear lag* (BOLANDIM, 2011).

Com base no exposto, o presente trabalho tem como objetivo fazer uma avaliação da formulação normativa para o coeficiente de redução da área líquida em perfis do tipo "U" parafusados e sujeitos a esforço de tração, considerando os principais parâmetros presentes na literatura que influenciam na análise da efetividade de uma ligação.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho, pretende-se avaliar apenas as variáveis presentes na formulação da norma brasileira para o cálculo do coeficiente de redução da área líquida: a excentricidade e o comprimento da ligação. Com isso, foi necessário elaborar os modelos de maneira que as demais variáveis que influenciam nos resultados do problema, como a razão entre área líquida e área bruta e a razão entre espaçamento transversal dos furos e diâmetro dos parafusos, fossem mantidas aproximadamente constantes, de modo a não interferir nos resultados. Para isso, foram utilizados três perfis U, sendo três parafusos por linha nos modelos com perfis de 254 mm e 304,8 mm e quatro parafusos nos modelos com perfil de 381 mm, sendo que uma linha é considerada como o conjunto de parafusos no sentido perpendicular à aplicação da carga) A seguir, apresentam-se na Tabela 1 outras características dos modelos, referentes à ligação.

Tabela 1. Características do aço dos perfis e do parafuso.

Tipo do parafuso	Diâmetro do parafuso (mm)	Tensão de ruptura do parafuso (MPa)	Espaçamento transversal entre furos (mm)	Tipo do aço dos perfis	Tensão de ruptura do aço (MPa)
ASTM A490	25,4	1035	76,2	ASTM A500	310

Para fazer a avaliação da forma com que a norma brasileira calcula a eficiência da seção líquida, cada modelo foi submetido a uma análise numérica no programa *IDEA Statica*

Connection de modo a simular um ensaio de tração no perfil, até que seja atingida a tensão de ruptura do aço no ponto mais crítico da seção líquida, obtendo-se assim, a carga associada a essa tensão. Devido ao fato do programa não considerar a ruptura do perfil como um critério de falha da ligação, adotou-se um procedimento iterativo para determinar a carga equivalente à tensão de ruptura do material.

Para poder realizar a comparação entre os valores do coeficiente de redução da área líquida obtidos pela norma e pelos resultados advindos da análise numérica, foi calculado para cada modelo o coeficiente e o esforço resistente do perfil, segundo a NBR – 8800 (2008). A razão entre a carga equivalente à tensão de ruptura no modelo computacional e o esforço resistente calculado pela norma foi considerada como o coeficiente de redução obtido pela análise numérica do problema.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao fim da análise dos nove modelos no software *IDEA Connections*, observou-se que o valor máximo de deformação plástica registrado nos perfis ao atingir a tensão de ruptura do material foi de 30.1%, com um desvio padrão de 0,06. Além disso, notou-se que a tensão de ruptura foi atingida nas seções que contêm os furos. A Figura 1 apresenta o mapa de tensões para um dos modelos analisados após a aplicação de carga equivalente a tensão de ruptura. As regiões em vermelho representam os maiores níveis de tensões registrados no modelo.

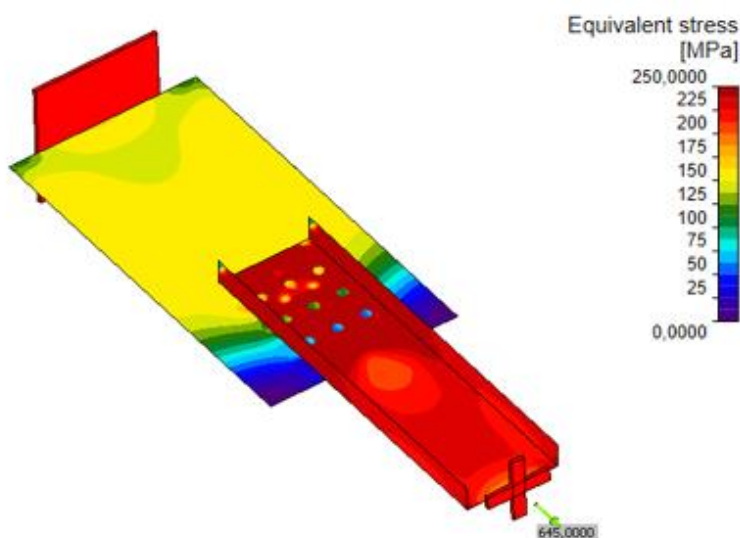


Figura 1. Mapa de tensões do perfil 254 mm e 3 linhas de furação

Na Tabela 2 estão apresentados para cada modelo os seguintes resultados: carga necessária para atingir a tensão de ruptura do aço ASTM A500 Gr. A; o valor da resistência do perfil, considerando a falha por ruptura da seção líquida; o valor do coeficiente de redução da área líquida calculado pela formulação apresentada pela NBR – 8800 (2008) e o valor desse coeficiente deduzido através dos resultados obtidos na modelagem computacional.

Tabela 2. Comparação entre os resultados obtidos para a carga de ruptura e o coeficiente de redução com as análises no *IDEA Connection* e os valores calculados pela NBR – 8800 (2008).

Perfil (mm x kg/m)	Linhas de parafusos	Resistência Teórica (kN)	Resistência - modelo numérico (kN)	C _t - modelo numérico	C _t - NBR
254x22,7	2	746,3963	527,5	0,7067	0,7887
	3	746,3963	645	0,8642	0,8944
	4	746,3963	710	0,9512	0,9296
304,8x37,0	2	1224,2334	746	0,6094	0,7756
	3	1224,2334	951	0,7768	0,8878
	4	1224,2334	1112	0,9083	0,9252
381x50,4	2	1649,9688	946	0,5733	0,7375
	3	1649,9688	1195	0,7243	0,8688
	4	1649,9688	1394	0,8449	0,9125

De posse dos dados apresentados na Tabela 2, é possível concluir que, exceto para o perfil de 254 mm com quatro linhas de parafusos, todos os modelos analisados tiveram o coeficiente de redução calculado pela NBR – 8800 (2008) com valor maior que o obtido através dos resultados do modelo computacional. Isso pode indicar que a norma superestima a capacidade resistente do perfil.

Com base nos resultados dos coeficientes obtidos pela norma e pelo programa, pôde-se plotar o gráfico apresentado na Figura 2, que mostra o grau de variabilidade entre os valores de coeficientes de redução da área líquida calculados pela norma brasileira e pela modelagem computacional.

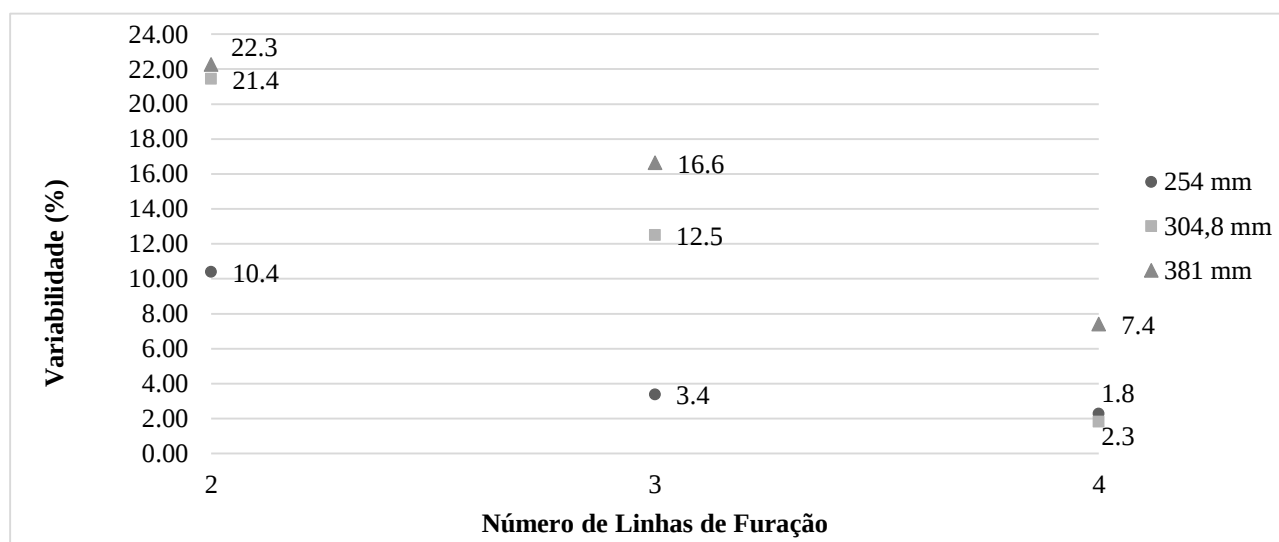


Figura 2. Variabilidade entre os valores do coeficiente de redução da área líquida calculado pela norma brasileira e os obtidos pela modelagem computacional

Após a análise do gráfico apresentado na Figura 2, é possível observar que o grau de variabilidade apresenta uma tendência de aumento à medida que a altura do perfil também aumenta, ou seja, à medida que há um aumento da excentricidade da ligação. Entre os modelos analisados, essa conclusão só não se mostrou verdadeira para os perfis de 254 e 304,8 mm com quatro linhas de parafusos, onde aquele com menor altura e, consequentemente, menor excentricidade da ligação apresentou uma variabilidade maior.

Ainda de acordo com o gráfico da Figura 2, podemos concluir que o grau de variabilidade apresenta uma tendência de redução conforme se aumenta a outra variável de interesse para o problema, o comprimento da ligação. Para os modelos de perfis 381 e 304,8 mm, a mudança no comprimento da ligação tem a tendência em gerar mudanças maiores na variabilidade entre os valores do coeficiente de redução, enquanto que para perfis de 254 mm as mudanças tendem a ser menores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados para o coeficiente de redução da área líquida obtidos por meio da modelagem computacional foram, de forma geral, menores do que os calculados pela formulação da norma, justificando a necessidade de novos estudos a respeito do efeito e determinação do coeficiente de redução de área líquida, pois a norma pode estar superestimando a eficiência da seção líquida, tornando-se não conservadora.

Além disso, pôde-se notar que o grau de variabilidade entre coeficientes apresentou uma tendência de aumento à medida que a altura do perfil aumenta, isto é, à medida que há um aumento da excentricidade da ligação, e que esse mesmo grau de variabilidade apresentou uma tendência de redução conforme se aumenta o comprimento da ligação.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008. *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios (NBR 8800)*. Rio de Janeiro: ABNT.

Bolandim, E. A., 2011. *Análise de confiabilidade em ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio*. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas e Área de Concentração em Estruturas Metálicas) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Salmon, C. G., & Johnson, J. E., 2009. *Steel Structures, Design and Behavior*. Five Edition. New York, Harper Collins College Publishers.