ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE LIGAÇÕES TUBULARES "T"

Nunes, G. V.[a], Freitas, A. M.S.[a], Araujo, A. H. M[c] Requena, J. A. V[c]. and Lima, L.R.O[d]

[a]*PROPEC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Universitário s/n, Morro do Cruzeiro, 35400-000, Ouro Preto, MG, Brazil, gvnunes@gmail.com arlene@em.ufop.br*

[b]*Vallourec Mannesmann do Brasil, Belo Horizonte, MG, Brasil afonso@vmtubes.com.br*

[c]*Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Campinas, SP, Brasil requena@fec.unicamp.br*

[d]*Departamento de Estruturas e Fundações - UERJ - Rio de Janeiro – Brasil luciano@eng.uerj.br*

Palavras chaves: Estruturas Metálicas, Perfis tubulares, Ligações.

Resumo. O trabalho apresenta a avaliação numérica de ligações soldadas tipo "T" com perfis tubulares de aço. As análises consideram a influência das condições de carregamento no montante e no banzo e comportamento das ligações. A ligação foi analisada considerando a variação do carregamento, as relações diversas entre parâmetros geométricos, o de modo de falha, a carga limite de serviço e a carga limite última. Os valores obtidos nas análises são comparados com o cálculo da resistência considerando as prescrições de projeto da norma brasileira e normas internacionais. A análise numérica foi feita através de *software* comercial em elementos finitos, utilizando elementos de casca de 4 nós com seis graus de liberdade por nó. O modelo considera a conformação mecânica das dobras da seção retangular. A solda é modelada com o mesmo elemento de casca dos demais elementos da ligação e espessura de uma vez e meia a espessura do montante. O modelo numérico foi calibrado com resultado experimental previamente obtido e validaram a análise numérica realizada. As ligações integram sistemas treliçados utilizados na construção civil e são compostas por banzos de perfis tubulares retangulares e montantes por perfis tubulares circulares. Os resultados indicam a necessidade de avaliar a resistência de nós de sistemas treliçados que utilizam na sua composição seções transversais tubulares. O mecanismo de colapso encontrado foi de plastificação na face superior do banzo para todas as geometrias analisadas. A resistência considerando o estado limite de serviço e último de algumas relações geométricas indicaram a necessidade de introduzir limites geométricos adicionais para as prescrições existentes.

1 INTRODUCÃO

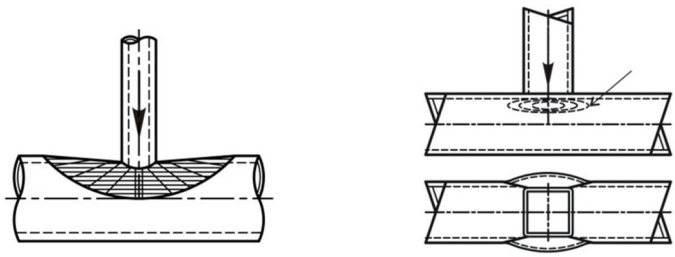
As estruturas metálicas que utilizam perfis tubulares têm sido amplamente utilizadas, sendo os sistemas treliçados o arranjo estrutural mais usual. Estruturas treliçadas tubulares podem ser planares ou multiplanares e as ligações são classificadas segundo sua geometria e distribuição de cargas em diversas tipologias como, por exemplo, as T, K, KT, KK, TT e etc. Para as ligações do tipo T de sistemas treliçados planares com perfis tubulares o carregamento é aplicado no montante e no banzo sendo a conjunção dos dois carregamentos um fator que influência na resistência da ligação. Este artigo apresenta um estudo paramétrico numérico da ligação soldada tipo T, composto por banzo de perfis tubulares retangulares e montantes por perfis tubulares circulares (Fig. 1).

Figura 1: treliça fabricada com perfis tubulares retangulares no banzo e circulares nos demais membros. (arquivo pessoal).

Uma ligação tipo T com montante circular soldado no banzo retangular possui os modos de falha descritos Tabela 1. Estes são obtidos considerando a carga axial no montante, no caso da carga axial ser de compressão apenas os modos de falha A e o B podem ocorrer e ser considerados na análise (Fig.2).

Tabela 1: Modos de falha para uma ligação tubular tipo "T"

Modo de falha	Descrição do modo de falha
A	Plastificação da face ou de toda a seção transversal do banzo, junto a diagonais ou montantes
B	Plastificação, amassamento ou instabilidade da face lateral da seção transversal do banzo junto a diagonais ou montantes sob compressão
D	Ruptura por punção da parede do banzo na área de contato com diagonais ou montantes
E	Ruptura ou plastificação na região da solda ou flambagem localizada de diagonais ou montantes devidas a distribuição não uniforme de tensão



(a) (b)

Figura 2: Modos de falha para ligação tipo "T" com carga de compressão no montante: (a) Modo A, (b) Modo B (Wardenier et al, 2010)

Para a determinação da resistência última de uma ligação um método consolidado por diversos pesquisadores é o método considerando deformações limites para o estado de serviço e para o estado último. Neste método considera-se que a deformação na face do banzo oriunda do modo de falha A, Δ, representada na Fig. 3, é de 1% da largura da face do banzo para a carga limite de serviço e de 3% para a carga limite última (Vegte et al, 1992, de Winkel et al,1993, Yu and Wardenier, 1994 , Lu et aL,1994, Zhao, 2000).

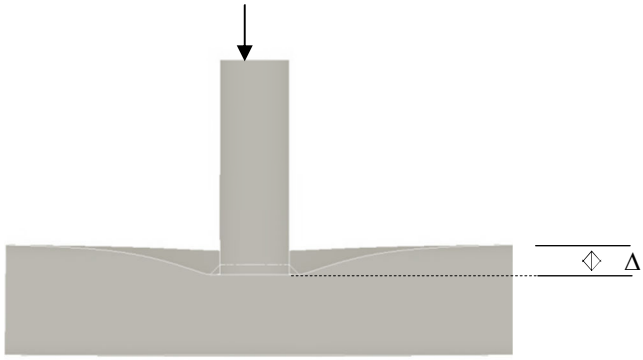


Figura 3: Deformação, Δ, na face do banzo sob o montante comprimido para o modo de falha A

Este artigo descreve o estudo numérico paramétrico de uma ligação tipo "T" com carregamento axial de compressão no montante sendo um modelo experimental (Freitas et al, 2008) utilizado para calibração dos resultados numéricos utilizando o software Ansys 11 (2007). Após a calibração um estudo paramétrico é realizado considerando uma variação de parâmetros geométricos. Em seguida um carregamento axial no banzo é aplicado e avaliada sua influência no comportamento e na resistência última da ligação. As análises realizadas são restritas ao modo de falha A e os limites das variações geométricas consideradas são previstas em prescrições como o Projeto de norma de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares (PN, 2011), CIDECT (Packer et al, 2009) e Eurocode (Eurocode 3, 2003). O CIDECT (Comité International pour le Dévoloppement et l'Etude de La Construction Tubulaire), é responsável pela compilação e síntese de grande parte dos estudos em estruturas tubulares desde a década de sessenta servindo como base para os procedimentos e formulações publicados pelo Eurocode 3.

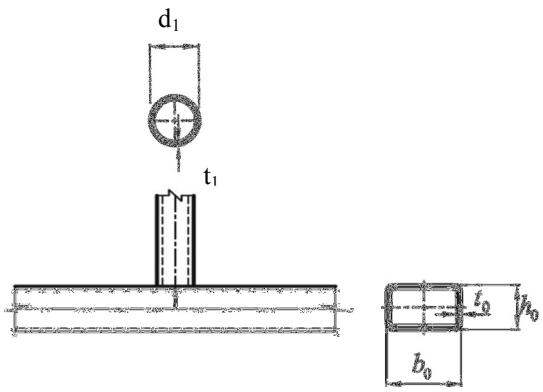
Os resultados da análise são comparados com os obtidos com prescrições de norma.

2 PRESCRIÇÕES DE NORMA

As análises previstas neste trabalho envolvem a comparação do estudo paramétrico com as prescrições de norma (PN, 2011, Packer et al, 2009, Eurocode 3, 2003),

A seguir têm-se as equações previstas para ligação soldada tubular do tipo "T" com banzo em seção retangular e montante de seção circular. As equações representam a resistência da ligação para o Modo de Falha A previsto nas análises realizadas. Destaca-se que a resistência da ligação para todas as prescrições são iguais quando considerando apenas carregamento axial de compressão no montante. No caso do acréscimo de carga de compressão no banzo as formulações diferem sendo que o Eurocode e projeto da norma brasileira possuem a mesma formulação e o Design Guide formulação diferente das primeiras.

A Fig. 4 apresenta a nomenclatura utilizada para a geometria da ligação "T" e os parâmetros utilizados nas análises



b_0 – largura da seção transversal do banzo
h_0 – altura da seção transversal do banzo
t_0 – espessura da parede de banzo em perfil tubular
d_1 – diâmetro do montante em perfil tubular circular
t_1 – espessura do montante em perfil tubular
β – relação entre o diâmetro médio do montante e a largura do banzo: $\beta = \frac{d_1}{b_0}$
γ – relação entre a largura do banzo e duas vezes a sua espessura: $\gamma = \frac{b_0}{2t_0}$

Figura 4: Nomenclatura da seção transversal de uma ligação "T" e definição de parâmetros geométricos.

Para o cálculo da resistência de ligações "T" soldadas entre perfis tubulares circulares como montante e banzos de perfis tubulares retangulares, devem ser verificados os seguintes modos de falha sendo a seguir os limites geométricos estabelecidos em relação ao parâmetro β:
Modo A - $\beta \leq 0{,}85$
Modo B - $\beta = 1$
Modo D - $\beta \geq 0{,}85$
Modo E - $0{,}85 \leq \beta \geq (1-1/\gamma)$

Segundo o Projeto da Norma brasileira e o Eurocode 3 o cálculo da resistência da ligação, Eq. 1 considerando o Modo de Falha A (Plastificação da face do banzo) e o ângulo entre o montante e o banzo igual a 90 ^{o} tem-se:

$$N_{1,\mathrm{Rd}} = \frac{\pi}{4}\left[\frac{k_{\mathrm{n}} f_{\mathrm{y0}} t_0^2}{(1-\beta)}\left(2{,}0\beta + 4{,}0\sqrt{1-\beta}\right)\right] \tag{1}$$

Onde:

$N_{1,\mathrm{Rd}}$ – força axial resistente do montante na ligação

k_{n} é um fator de redução da resistência da ligação, Eq. 2 e Eq. 3,considerando às tensões no banzo

Para $n \leq 0$ (compressão): $k_n = 1{,}3 + \frac{0{,}4n}{\beta} \leq 1{,}0$ (2)

Para $n > 0$ (tração): $k_{\mathrm{n}} = 1{,}0$ (3)

onde $n = \sigma_{0,\mathrm{Sd}} / (f_{\mathrm{y0}} / \gamma_{a1})$, sendo $\sigma_{0,\mathrm{Sd}}$ determinado considerando sinal negativo para compressão e utilizando a equação Eq. 4:.

$$\sigma_{0,Sd} = \frac{N_{0,Sd}}{A_0} + \frac{M_{0,Sd}}{W_0} \tag{4}$$

onde:

f_{y0} – resistência ao escoamento do aço do perfil do banzo
$\sigma_{0,\mathrm{Sd}}$ – máxima tensão de compressão de cálculo do banzo na superfície de contato com as diagonais ou montantes;
$N_{0,\mathrm{Sd}}$ - força axial solicitante de cálculo no banzo;
$M_{0,\mathrm{Sd}}$ - momento fletor solicitante de cálculo na ligação;
A_0 - área da seção transversal do banzo;
W_0 - módulo de resistência elástico da seção transversal do banzo.

Segundo o CIDECT, o cálculo da resistência da ligação, Eq. 5, considerando o modo de falha A (Plastificação da face do banzo) e o ângulo entre o montante e o banzo igual a 90º tem-se:

$$N^*_{1,\mathrm{Rd}} = \frac{\pi}{4}\left[\frac{f_{\mathrm{y0}} t_0^2}{(1-\beta)}\left(2\beta + 4\sqrt{1-\beta}\right) Q_f\right] \tag{5}$$

onde:
$N^*_{1,\mathrm{Rd}}$ – força axial resistente do montante na ligação, segundo o CIDECT

Q_f é um fator de redução da resistência da ligação considerando às tensões no banzo, Eq. 6:

$$Q_f = (1 - |n|)^{C_1} \tag{6}$$

considerando para compressão: $C_1 = 0{,}6 - 0{,}5\beta$
considerando para tração: $C_1 = 0{,}1$

3 MODELO NUMÉRICO

O modelo numérico utilizado neste trabalho foi desenvolvido no programa de elementos finitos ANSYS 11 (2007) utilizando elementos tipo casca com quatro nós SHELL181, representado na Fig.5. Esse elemento possui seis graus de liberdade por nó: translações x, y e z e rotações em torno de x, y e z. Este elemento considera esforços de flexão, corte e efeito de membrana. Com o objetivo de se obter o comportamento global destas ligações em termos de rigidez, resistência e capacidade de deformação, foi realizada considerando análise não linear geométrica e física.

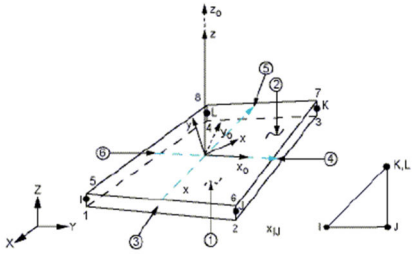


Figura 5: Elemento de casca SHELL181 (ANSYS)

A solda será considerada de acordo com trabalhos anteriores, em que foi feito um estudo comparativo de sua influência em ligações tubulares. Neste estudo o elemento utilizado na solda é o mesmo que o utilizado na modelagem do banzo e montante (SHELL181). A solda considerada nas análises deste trabalho considera uma espessura de uma vez e meia a espessura do montante. A configuração adotada e testada (Mendanha, 2006) está de acordo com estudos realizados por Lee e Wilmshurts (1995) para a geometria da solda. Esse estudo consistiu na comparação entre três modelos diferentes, considerando a solda como t/2, t e 1,5t sendo t a espessura do montante ou do banzo conforme a Fig.6.

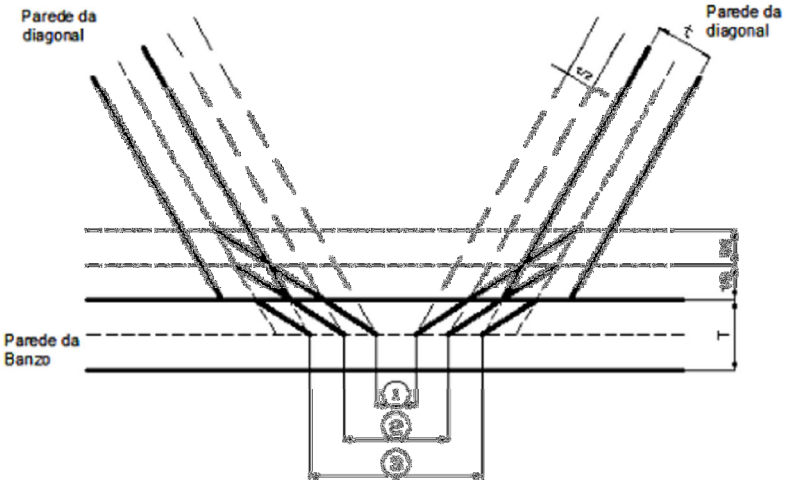


Figura 6: Modelagem da solda (Mendanha, 2006).

Para construção do modelo numérico foi considerado o raio de dobramento da seção transversal do perfil do banzo em função da influência da dobra do perfil retangular no

comportamento da ligação. Para as análises foi adotado um raio de dobramento de duas vezes a espessura do banzo (Mendanha et al, 2007).

Na análise dos modelos foi utilizado material com relação tensão deformação não linear, inelástica, com diagrama bi-linear. O diagrama do material utilizado na calibração foi elaborado com base nos dados de ensaio da caracterização mecânica do aço utilizado nos perfis dos ensaios experimentais (Freitas et al, 2008). A Fig.7 ilustra a malha utilizada e o modelo.

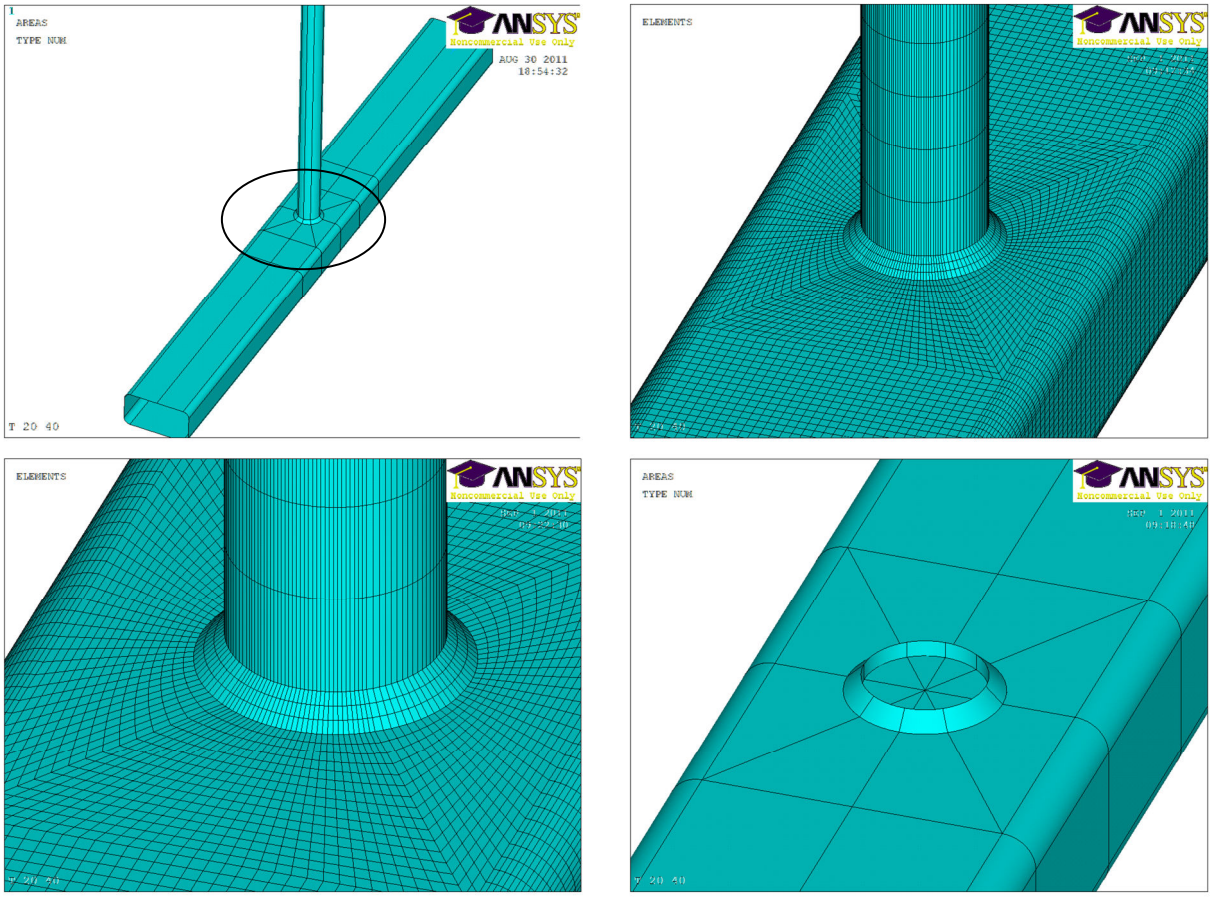


Figura 7: Detalhes do modelo numérico.

3.1 DETERMINAÇÃO DA CARGA ÚLTIMA

As deformações limites são usadas para determinar a carga última para vários tipos de ligações soldadas, como proposto por Lu et al (1994). Para ligações que não possuem pico de carga definido, a carga última depende da relação entre a carga relativa a deformação última de 3% da largura da face superior do banzo, b_0, nomeada de $N_{3\%}$, e a carga relativa a de deformação de 1% da largura da face superior do banzo, $N_{1\%}$. Se $N_{3\%} / N_{1\%}$ for maior que 1,5 a deformação limite controla a resistência que será $N_{1\%}$. Se $N_{3\%} / N_{1\%}$ for menor que 1,5 a deformação última controla a resistência que será $N_{3\%}$. A Fig. 8 ilustra este método para obtenção da resistência da ligação, onde N_{num} é definido como a resistência do modelo numérico.

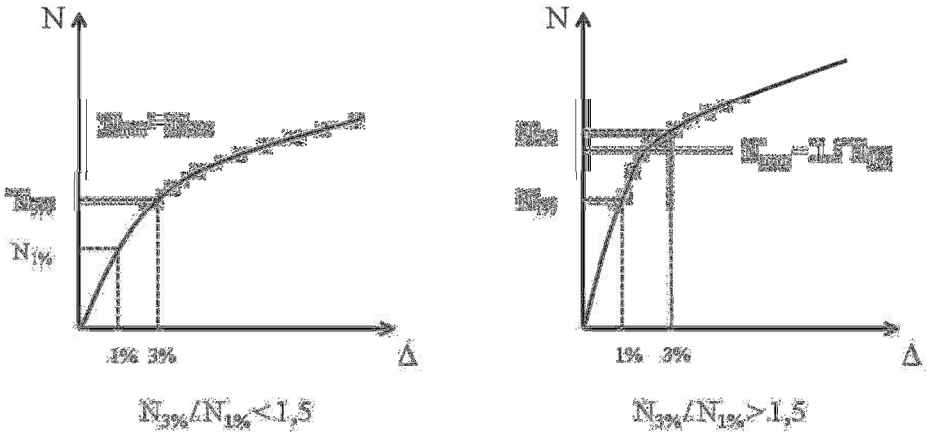


Figura 7: Método para obtenção da carga última - N_{num}

4 CALIBRAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

Para calibração do modelo numérico, fez-se uma análise comparativa com resultados experimentais realizados por (Freitas et al, 2008).

Os ensaios foram realizados em dois protótipos, identificados como T02 e T03, de uma ligação "T", sendo os testes realizados no Laboratório de estruturas "Professor Altamiro Tibiriçá Dias" do DECIV/PROPEC/EM/UFOP. A ligação é composta por perfil retangular no banzo e circular no montante. Na Fig. 8 têm-se as dimensões do protótipo bem como o esquema montado para o ensaio e na Tabela 2 têm-se as dimensões e as propriedades mecânicas dos perfis utilizados na ligação sendo a nomenclatura de acordo com a Fig. 4.

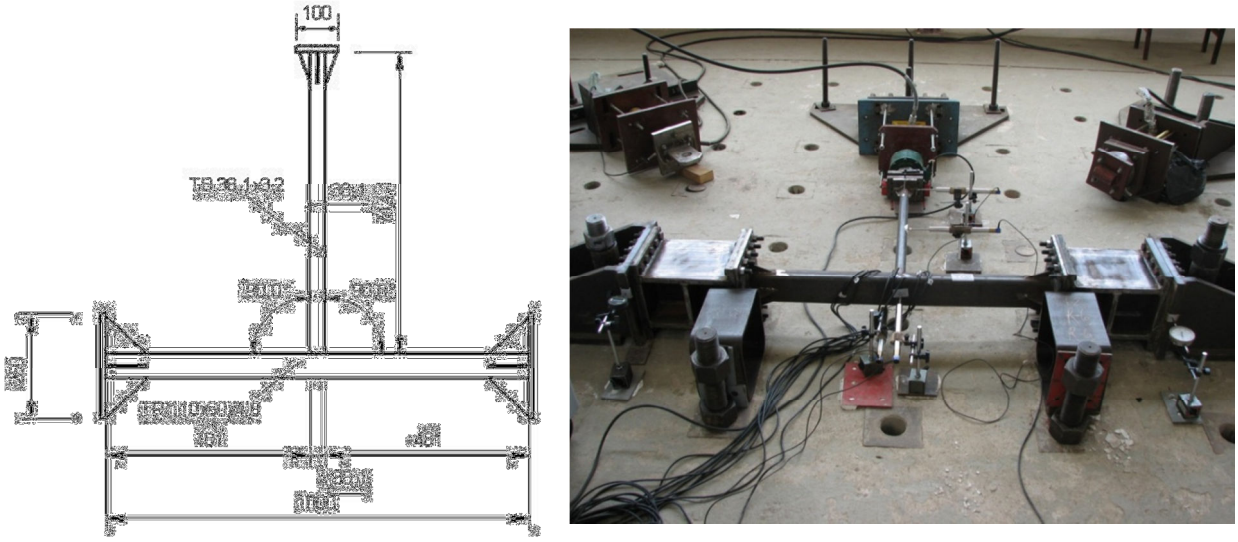


Figura 8: Dimensão dos protótipos e esquema geral do protótipo.

Tabela 2: Dimensões nominais e propriedades mecânicas dos perfis componentes da ligação do protótipo.

Elementos de Ligação	h_0 (mm)	b_0 (mm)	t_0 (mm)	d_1 (mm)	t_1 (mm)	f_{y0} (MPa)	f_{u0} (MPa)	f_{y1} (MPa)	f_{u1} (MPa)	Alongamento (%)
Banzo	110	60	4,8	-	-	456	555	-	-	32
Montante	-	-	-	38,1	3,2	-	-	250	325	35

O ensaio teve como um dos objetivos a avaliação do comportamento da ligação, considerando-se as deformações, e os deslocamentos ocorridos durante a aplicação do carregamento. Para a aquisição dos deslocamentos foram utilizados LVDT´s (Linear Variable Displacement Transducers) com os deslocamentos coletados por meio de um sistema de aquisição de dados automático.

A aplicação do carregamento de compressão no montante foi realizada por atuadores hidráulicos. O monitoramento da carga aplicada foi feito por células de carga previamente calibradas, que tiveram os dados captados pelo sistema de aquisição.

O carregamento foi dividido em vários passos de carga, sendo que a cada passo o sistema de aquisição de dados registra as medições. O critério de parada do ensaio ocorreu quando foi verificada a formação de um mecanismo de colapso, no caso a plastificação da face do banzo, Modo A, como pode ser observado na Fig. 9.

A análise foi feita através de comparação do resultado das deformações coletadas no banzo para cada etapa de carga. A Fig. 10 a seguir mostra a comparação do modelo numérico com o experimental observando-se a excelente correlação dos resultados numéricos e experimentais.

Figura 9: Modo de falha obtido nos protótipos ensaiados.

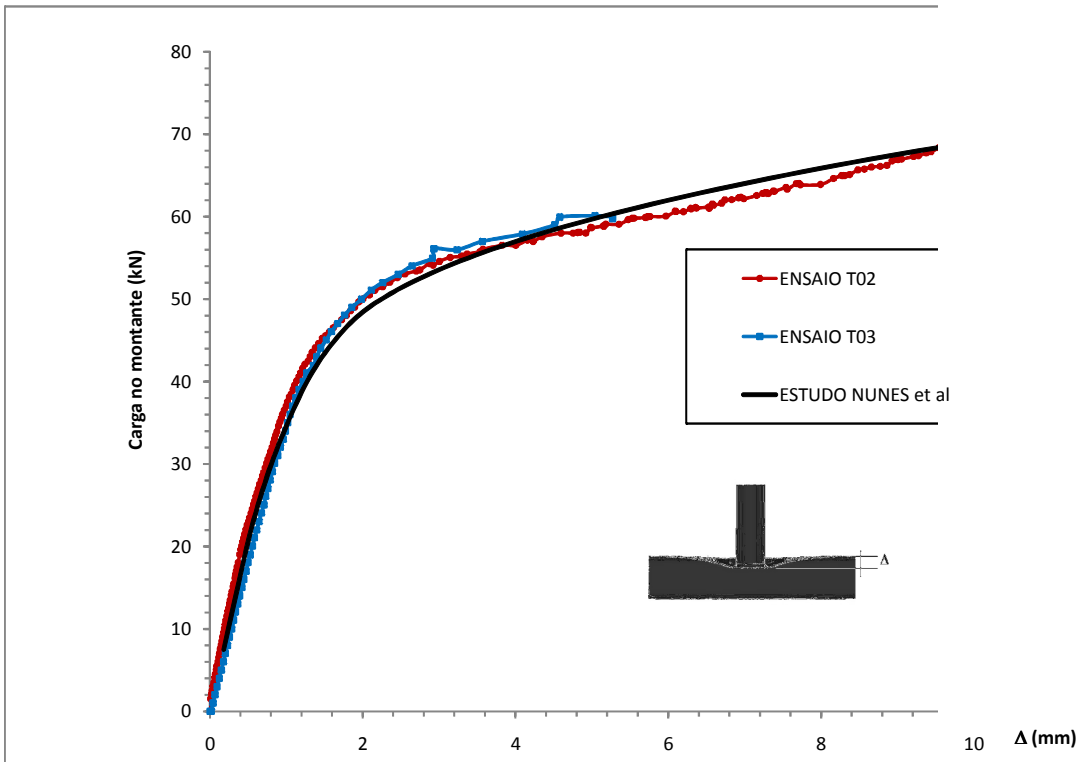


Figura 10: Calibração do modelo numérico com o experimental.

5 ESTUDO NUMÉRICO

Foram feitos dois estudos neste trabalho para comparação com as prescrições de projeto apresentadas anteriormente. Primeiro foram construídos modelos variando o parâmetro β e 2γ, SENDO escolhidos 3 tipos de perfis para o banzo para se obter diferentes valores de 2γ e para cada perfil variou o diâmetro do montante para obter diferentes valores para β. Todas as variações estão dentro dos limites geométricos das prescrições utilizadas nas comparações.

Também foram construídos modelos aplicando carga axial de compressão no banzo, considerando um valor de 2γ e vários valores de β. Esta fase do estudo propiciou a avaliação do efeito da carga axial no banzo na resistência da ligação considerando o efeito adicional das solicitações no banzo como no caso de sistemas treliçados reais compostos por perfis tubulares. O nível de carga aplicado no banzo obedeceu a proporção em relação a carga de plastificação do mesmo, sendo igual a: 30%, 50% e 70% da carga de plastificação.

5.1 Variação de β e 2γ

Para o estudo da variação dos parâmetros e β e 2γ foram construídos modelos cujas características geométricas e resultados estão na Tabela 3. Para comparação dos resultados fez se o cálculo da resistência de acordo com as prescrições apresentadas anteriormente. Destaca-se que a resistência da ligação para todas as prescrições são iguais quando considerando apenas carregamento axial de compressão no montante. Os resultados também estão representados graficamente nas Fig. 11 a 13 e observa-se o aumento da resistência da ligação com o aumento do valor de β. Observa-se que para alguns valores de 2γ os valores de resistência calculados pelas prescrições, maiores que os valores obtidos numericamente.

Tabela 3: características geométricas dos perfis analisados.

h_0 (mm)	b_0 (mm)	t_0 (mm)	d_1 (mm)	t_1 (mm)	β	2γ	$N_{1,Rd}$ (kN)	$N_{1\%}$ (kN)	$N_{3\%}$ (kN)	$\frac{N_{3\%}}{N_{1\%}}$	N_{num} (kN)	$\frac{N_{1,Rd}}{N_{num}}$
200	150	13	50	5	0,25	15,38	319,91	255,0	330,0	1,29	330,0	0,97
			60	5	0,30	15,38	341,25	285,0	365,0	1,28	365,0	0,93

			70	5	0,35	15,38	365,47	320,0	405,0	1,27	405,0	0,90
			80	5	0,40	15,38	393,26	332,0	432,0	1,30	432,0	0,91
110	60	4,8	33,4	3,4	0,30	22,92	46,75	32,0	48,0	1,50	48,0	0,97
			38,1	3	0,35	22,92	49,57	33,0	48,0	1,45	48,0	1,03
			48,3	3,7	0,44	22,92	56,99	48,0	64,0	1,33	64,0	0,89
			60,3	3,6	0,55	22,92	69,13	64,0	88,0	1,38	88,0	0,79
			70	4	0,64	22,92	83,62	88,0	110,0	1,25	110,0	0,76
			77	4	0,70	22,92	98,77	110,0	110,0	1,00	110,0	0,90
200	150	7,5	50	5	0,25	26,67	106,48	57,0	98,0	1,72	85,5	1,25
			60	5	0,30	26,67	113,58	64,0	108,0	1,69	96,0	1,18
			70	5	0,35	26,67	121,64	72,0	118,0	1,64	108,0	1,13
			80	5	0,40	26,67	130,89	82,0	132,0	1,61	123,0	1,06
			90	5	0,45	26,67	141,62	92,0	144,0	1,57	138,0	1,03
			100	5	0,50	26,67	154,25	108,0	162,0	1,50	162,0	0,95
			110	5	0,55	26,67	169,37	135,0	190,0	1,41	190,0	0,89
			120	5	0,60	26,67	187,85	160,0	220,0	1,38	220,0	0,85

$N_{0,Rd}$ – Resistência da face superior do banzo relativa ao modo de falha A;
$N_{1\%}$ – Carga referente a deformação de 1% da largura da face do banzo do modelo numérico;
$N_{3\%}$ – Carga referente a deformação de 3% da largura da face do banzo do modelo numérico;

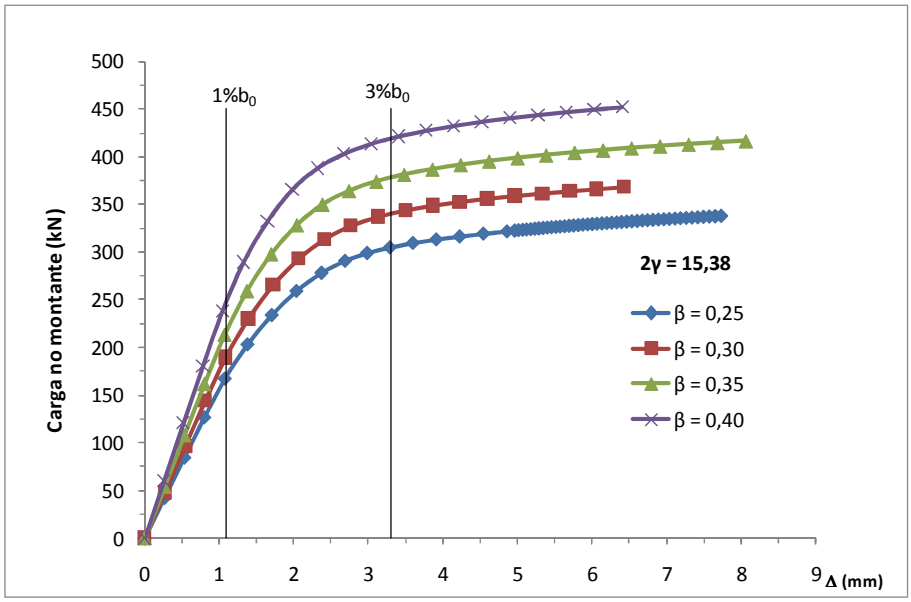


Figura 11: Avaliação numérica da resistência de ligações tipo "T" para 2γ=15,38.

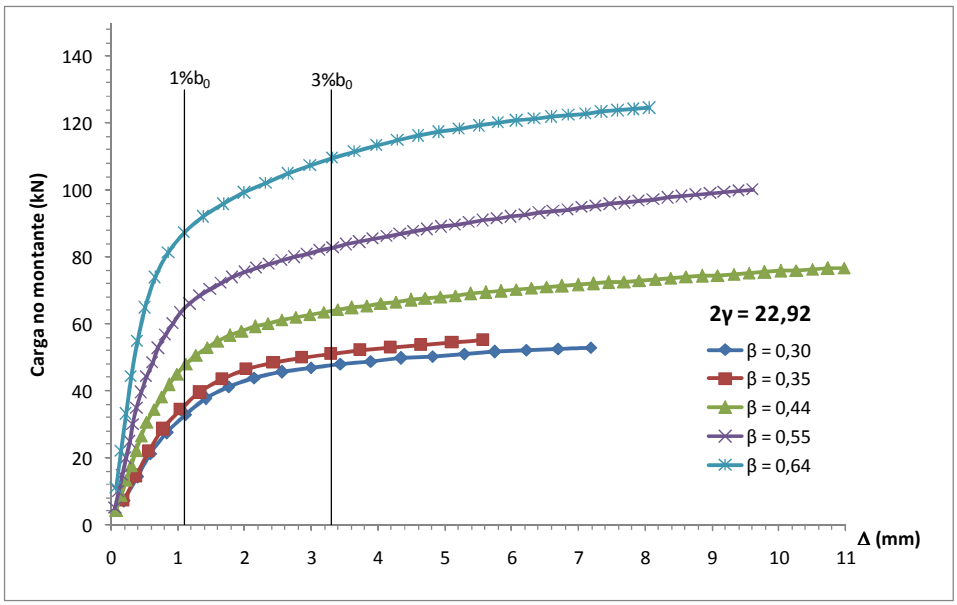


Figura 12: Avaliação numérica da resistência de ligações tipo "T" para 2γ=22,92.

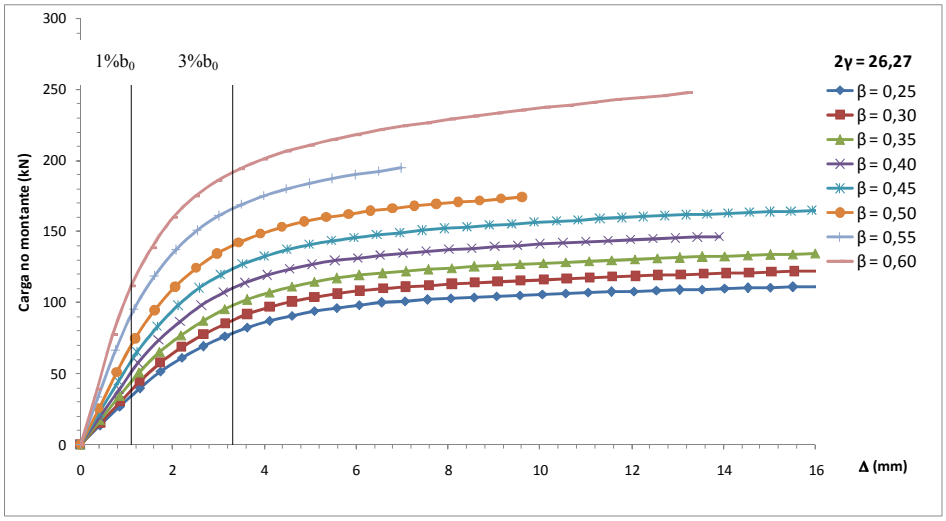


Figura 13: Avaliação numérica da resistência de ligações tipo "T" para 2γ=26,97.

5.2 Consideração da carga axial de compressão no banzo

Para a avaliação da carga axial de compressão no banzo, foram construídos modelos cujas características geométricas e resultados estão na Tabela 4. Foram criados modelos com um valor fixo de 2γ e fazendo 3 variações de β. O nível da carga aplicada no banzo, para cada modelo, foi baseada em uma treliça real, de 0,7m de altura, 13m da vão livre e uma sobrecarga de 10 kN/m onde o esforço normal máximo resultante no banzo corresponde a 30% e 50% da carga de plastificação do perfil banzo. Para comparação dos resultados fez se o cálculo da resistência de acordo com as prescrições apresentadas anteriormente que possuem uma diferença no fator de redução da carga devido a carga no banzo. Nas prescrições do projeto da norma brasileira de tubos e no Eurocode3, esse fator é denominado de k_n e no CIDECT é denominado de Q_f. A Fig. 15 mostra graficamente a comparação da formulação dos fatores de redução da resistência para k_n e Q_f. Na formulação de k_n, o fator de redução da carga sobre

maior influência do parâmetro β. Na tabela 4 observa-se a diminuição da carga de acordo com o aumento da carga do banzo e uma boa correlação entre os resultados numéricos e teóricos. Já com relação às formulações observou-se que a formulação do CIDECT apresenta melhores resultados que o projeto de norma brasileira de tubos.

Tabela 4: características geométricas dos perfis analisados (valores e mm).

h_0	b_0	t_0	d_1	t_1	2γ	β	n	k_n	$N_{1,rd}$	Q_f	$N^*_{1,Rd}$	$N_{3\%}$	$N_{1\%}$	$\frac{N_{3\%}}{N_{1\%}}$	N_{num}(kN)	$\frac{N_{1,Rd}}{N_{num}}$	$\frac{N^*_{1,Rd}}{N_{num}}$
110	60	4,8	38,1	3	22,92	0,35	0,3	0,95	47,3	0,86	42,6	44	33	1,33	44	1,07	0,97
							0,5	0,72	35,8	0,74	36,9	37	30	1,23	37	0,97	1,00
			48,3	3,7		0,44	0,3	1,00	57,0	0,87	49,8	54	43	1,26	54	1,06	0,92
							0,5	0,84	48,1	0,77	43,8	45	38	1,18	45	1,07	0,97
			60,3	3,6		0,55	0,3	1,00	69,1	0,89	61,5	68	57	1,19	68	1,02	0,91
							0,5	0,94	64,7	0,80	55,2	54	49	1,10	54	1,20	1,02

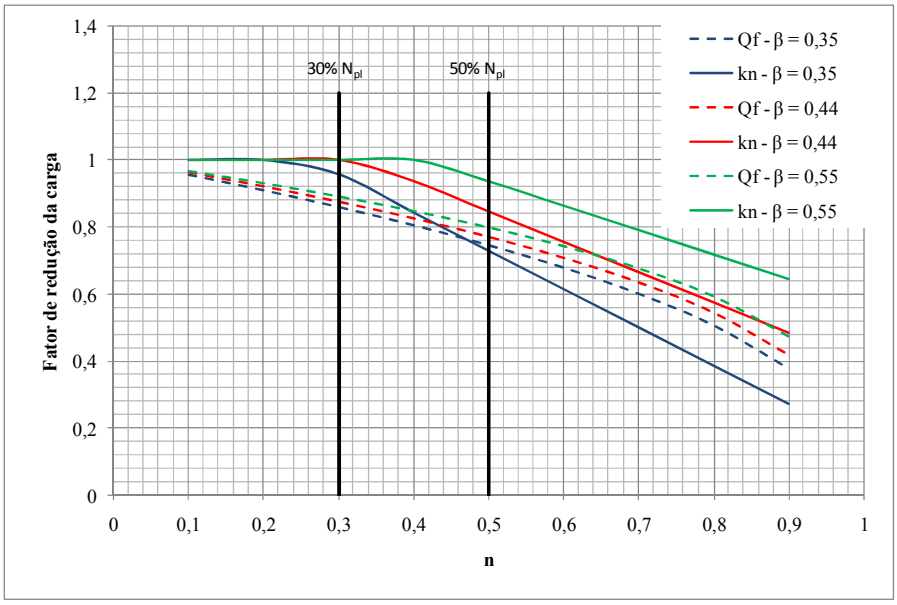


Figura 15: Avaliação do comportamento do fator de redução da carga resistente de cálculo do projeto de norma brasileira e do CIDECT.

6 CONCLUSÕES

Nesse trabalho as seguintes considerações podem ser feitas:

- O modelo numérico desenvolvido nesse trabalho apresentou excelente resultado quando comparado com os dados experimentais de Freitas (2008), indicando a eficiência do elemento utilizado e o tipo da análise considerada.
- Os valores das resistências obtidos pelos modelos numéricos apresentaram boas correlações quando comparados com os calculados pelas prescrições de normas, exceto para esbeltezes maiores.
- Os modelos onde foi considerado o carregamento no banzo apresentaram boa correlação com os resultados obtidos pelas prescrições das normas, observando uma melhor concordância com os valores obtidos através do CIDECT em relação ao

Eurocode.

7 Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem aos órgãos de fomento FAPEMIG, CNPq, CAPES e a empresa V&M DO BRASIL.

REFERÊNCIAS

Ansys, *Inc. theory reference (version 11.0),* 2007

Eurocode 3, ENV 1993-1-1, 2003: *Design of steel structures - Structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. CEN, European Committee for Standardization, Brussels, 2003.

FREITAS, A. M. S., Mendes, F. C., Esteves, S. Análise de ligações t em perfis tubulares de aço com consideração das tensões residuais In: *XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*, 2008, Santiago - Chile.

J. Wardenier, J.A. Packer, X.-L. Zhao and G.J. Van Der Vegte, *Hollow Sections in Structural Applications, CIDECT, Geneva, Switzerland, 2010.*

Lee, M. M. K., & Wilmshurst, S. R., 1995. Numerical modelling of CHS Joints
with muitiplanar double-K configuration. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 32. p. 281-30, 1995.

Lu LH, de Winkel GD, Yu Y, Wardenier J. In: Deformation limit for the ultimate strength ofhollow section joints. *Tubular structures VI*. Rotterdam: Balkema, 1994:341–7.

Mendanha, F. O., Freitas, A. M. S., FREITAS, M. S. R., Muniz, C. D. G..Análise de ligações em perfis tubulares de aço do tipo K e KT com afastamento entre as diagonais e o montante. *Revista da Escola de Minas*. , v.60, p.419 - 2007.

Packer, J.A. , Wardenier, J. , Zhao, X.-L., G.J. van der Vegte and Y. Kurobane, *Design Guide - For Rectangular Hollow Section (RHS) Joints Under Predominantly Static Loading* - 2nd Edition, CIDECT, 2009

PN 02:125.03-004 *Projetos de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edificações com Perfis Tubulares*, 2011

van der Vegte GJ, Lu LH, Puthli RS, Wardenier J. The ultimate strength and stiffness of uniplanar tubular steel X-joints loaded by in-plane bending. In: *Proceedings of the 1st World Conference on Construction Steel Design*, Mexico, 1992.

Zhao, X.,"Deformation limit and ultimate strength of welded T-joints in cold-formed RHS sections", *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 53, pp 149-165, 2000.

Yu Y, Wardenier J. In: Influence of the types of welds on the static strength of RHS T- and Xjoints loaded in compression. *Tubular structures VI*. Rotterdam: Balkema, 1994:597–605.

de Winkel G.D., Rink H.D., Puthli R.S., Wardenier J.. The behaviour and static strength of plate to circular column connections under multiplanar axial loadings. In *Tubular structures V*. London: E&FN Spon, 1993:703–11.