



INFLUÊNCIA DA CARGA AXIAL APLICADA NO BANZO EM LIGAÇÕES TUBULARES “T” COM REFORÇO DE CHAPA

Douglas R. Brasil

dougrbrasil@oi.com.br

PGECIV – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UERJ - Rio de Janeiro - Brasil

Luciano R. O. de Lima

Pedro C. G. da S. Vellasco

André T. da Silva

luciano@eng.uerj.br

vellasco@eng.uerj.br

tenchini@eng.uerj.br

Departamento de Estruturas e Fundações - UERJ - Rio de Janeiro – Brasil

Resumo. Os perfis tubulares têm ganhado destaque devido às suas vantagens associadas ao desempenho estrutural e a estética. É possível ver um aumento significativo de projetos ligados à engenharia civil utilizando estes perfis principalmente nos países da Europa, Sudeste Asiático e na Austrália. No Brasil, esta tendência se tornou mais evidente nos últimos anos devido à maior oferta destes perfis. Portanto, há a necessidade de divulgação e implementação do uso destes perfis, além de uma ampliação do número de trabalhos de pesquisa para melhor compreensão do seu comportamento estrutural. O presente trabalho apresenta uma análise paramétrica de ligações reforçadas tipo “T”, através da determinação da resistência última obtida pelo critério de deformação limite, investigando a influência dos esforços aplicados ao banzo no comportamento global da ligação. As ligações deste estudo são compostas por perfis tubulares retangulares (RHS) usados no banzo e perfis tubulares circulares (CHS) aplicados no montante. Os modelos numéricos foram desenvolvidos no programa ANSYS 12.0. As não-linearidades físicas e geométricas foram incorporadas aos modelos. Como resultado final deste estudo é apresentado o comportamento da ligação tipo “T” com reforço de chapa para diferentes tipos de perfis, para o banzo e montante, e diferentes espessuras da chapa de reforço, com a aplicação de esforços de tração e compressão ao banzo.

Palavras-chave: Ligações tubulares T, Análise Não linear, Reforço de Chapa.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de se obter soluções para os diversos problemas estruturais na engenharia associado ao amplo crescimento da construção metálica fez surgir, por volta dos anos 60, os perfis tubulares e por isso estes são considerados um dos grupos estruturais mais recentes dos perfis metálicos. Seu surgimento e difusão motivaram a fundação do CIDECT (International Comittee for the Development and Study of Tubular Structures), em 1962, que é a maior organização internacional de fabricantes de perfis tubulares. Suas aplicações podem ser observadas nas diversas estruturas apresentadas na Fig. 1.

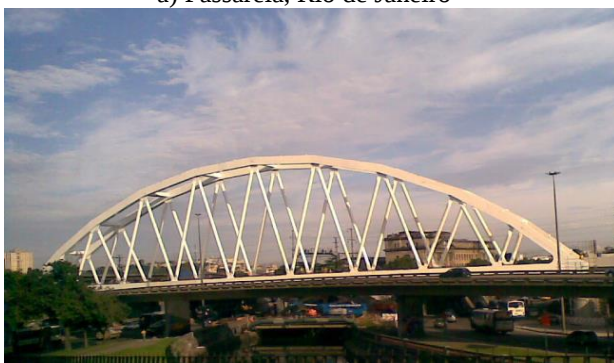
Alguns estudos têm sido endereçados para investigar o comportamento estrutural de ligações tubulares (Lu et al., 2005, Mendes, 2008, Vegte et al., 2005, Kostas et al., 2003, Santos et al., 2011). Recentemente, Brasil (2013) estudou o comportamento de ligações tubulares com dois tipos de reforços: chapa e colar. A análise teve como base resultados de modelos numéricos que foram calibrados através de ensaios experimentais. Observou-se que a aplicação de reforço, é possível observar um substancial aumento da resistência da ligação.



a) Passarela, Rio de Janeiro



b) Ripshorster Bridge, Alemanha



c) Viaduto do Metrô, Rio de Janeiro



d) Estádio Maracanã, Rio de Janeiro

Figura 1. Exemplos de estruturas com perfis tubulares

Inúmeras vantagens apresentadas pelas estruturas constituídas de seções tubulares compensam o fato de seu custo ser mais alto em relação ao custo do material de seção aberta, tais como:

- Por serem constituídas por aço de elevada resistência, atendem a uma enorme variedade de solicitações de projeto;
- Propiciam soluções leves e econômicas, face a sua elevada resistência e baixo peso próprio, propiciando, conseqüentemente, uma redução significativa nos custos, devido

a uma possibilidade de execução de uma fundação mais econômica, um canteiro de obras menos obstruído, mais limpo e racionalizado;

- O desenvolvimento da fabricação desses tubos tem tornado este tipo de concepção mais atrativa, traduzindo um aspecto de arrojo e modernidade;
- A maior resistência à flambagem das barras da estrutura possibilita o uso de maiores vãos livres com significativa redução do número de pilares e diagonais com espaçamentos maiores;
- Visto que a construção passa a ser regida por um sistema de montagem industrial com alta precisão, elimina significativamente desperdícios oriundos de improvisações, correções e adequações, comuns nos métodos convencionais de construção, além de possibilitar orçamentos mais precisos reduzindo significativamente os prazos de construção, os custos de gerenciamento do canteiro de obras antecipando o retorno do capital;
- Podem ser utilizados em estruturas mistas (tubos preenchidos com concreto), ganhando resistência adicional a esforços de compressão;
- Possuem menor área superficial se comparadas às seções abertas, o que conduz a menores custos de pintura e proteção contra o fogo, facilitando os serviços de manutenção e minimizando seus custos.

Diante das vantagens apresentadas acima e da necessidade de se desenvolver estudos mais específicos em relação ao tema abordado, apresenta-se neste trabalho a pesquisa relacionada com chapa de reforço soldada sobre a parte superior do banzo junto às ligações tubulares “T” do perfil, de modo a preconizar a ação do carregamento que está sendo aplicado na ligação, cujo valor é maior que o suportado pela mesma. É reconhecido que a aplicação de esforço axial de compressão no banzo reduz a capacidade de resistência da ligação. No entanto, esta questão pode ser interpretada de forma diferente na recente norma brasileira (NBR 16239, 2013) para ligações com reforço. Perante este cenário, torna-se indispensável o aprofundamento dos estudos a fim de se conhecer melhor seu comportamento estrutural e assim, dar respaldo aos projetistas.]

2 DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES TUBULARES

O presente trabalho apresenta o estudo de uma ligação do tipo “T” reforçada entre perfis RHS – seções tubulares retangulares para o banzo e CHS – seções tubulares circulares, para o montante, e uma chapa de espessura reduzida para o reforço, sob carregamentos predominantemente estáticos, submetidas a esforços axiais de compressão e de tração aplicados no montante. Este tipo de ligação tem sido objeto de estudo onde deu origem a uma dissertação de mestrado defendida em 2013 (Brasil, 2013).

Para se dimensionar um reforço em uma ligação é necessário que sejam considerados alguns critérios iniciais. Sendo assim, no caso de ligação tipo “T” com chapa de reforço, apresentam-se as equações propostas para cálculo da força resistente e as condições de validade de ligações com perfil tubular circular no montante e perfil retangular no banzo, de acordo com a NBR 16239 (2013).

2.1 Equações obtidas pela NBR 16239 (2013)

Montante tracionado

De acordo com a Norma Brasileira NBR 16239 (2013), a máxima carga de tração que pode ser aplicada no montante, na ligação T é apresentada a seguir considerando-se as propriedades geométricas da Fig. 2.

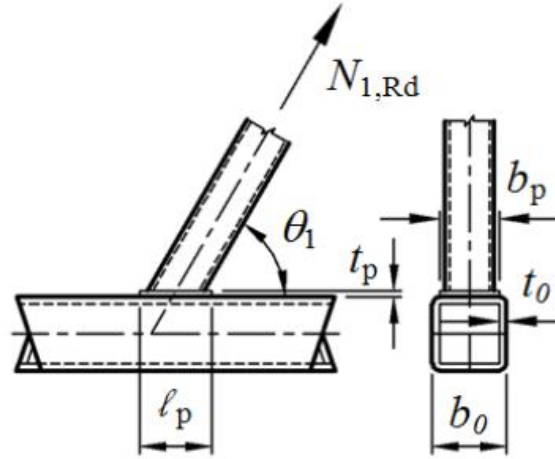


Figura 2. Dados geométricos de ligação “T” com reforço e carga de tração no montante

$$N_{1,Rd} = \left(\frac{1,1 f_{yp} t_p^2}{\left(1 - \frac{b_1}{b_p}\right) \sin \theta_1} \left(\frac{2 \frac{h_1}{b_p}}{\sin \theta_1} + 4 \sqrt{1 - \frac{b_1}{b_p}} \right) / \gamma_{a1} \right) \times \frac{\pi}{4} \quad (1)$$

Atendendo as seguintes condições:

$$l_p \geq \begin{cases} \frac{h_1}{\sin \theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)} \\ 1,5 \frac{h_1}{\sin \theta_1} \end{cases}, \quad b_p \leq b_0 - 2t_o \quad (2)$$

Montante comprimido

De acordo a Norma Brasileira NBR 16239 (2013), a máxima carga de compressão que pode ser aplicada no montante, na ligação T é apresentada a seguir considerando-se as propriedades geométricas da Fig. 3.

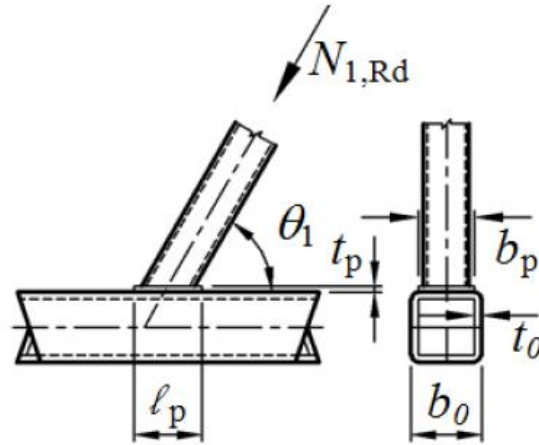


Figura 3. Dados geométricos de ligação “T” com reforço e carga de compressão no montante

$$N_{1,Rd} = \left(\frac{k_n f_{yp} t_p^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2,2\beta}{\sin \theta_1} + 4,4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{a1} \right) \times \frac{\pi}{4} \quad (3)$$

Atendendo as seguintes condições:

$$l_p \geq \frac{h_1}{\sin \theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)} \geq 1,5 \frac{h_1}{\sin \theta_1}, \quad b_p \leq b_0 - 2t_0, \quad k_n = 1,0 \quad (4)$$

Cargas de tração e compressão no banzo

De acordo a NBR 16239 (2013), para cargas axiais no banzo deve-se utilizar a equação 3 substituindo o k_n , como definido nas equações 5 e 6, para compressão e tração, respectivamente.

$$k_n = 1,3 + \frac{0,4n}{\beta} \leq 1,0 \quad (\text{banzo comprimido}) \quad (5)$$

$$k_n = 1,0 \quad (\text{banzo tracionado}) \quad (6)$$

Deve-se ressaltar que, as expressões 5 e 6, estão presentes na NBR 16239 (2013) são aplicadas quando há carregamento axial no banzo e a ligação não possui reforço de chapa, levando assim a interpretação de que as cargas aplicadas no banzo não influenciam na ligação com reforço, situação esta que será estuda no decorrer deste trabalho, com intuito de investigar o comportamento de ligações “T” com reforço de chapa e com carga aplicada no banzo.

3 MODELOS NUMÉRICOS

3.1 Ligação tipo “T” sem chapa de reforço

Com o objetivo de cumprir os objetivos deste trabalho, um modelo numérico tem sido desenvolvido baseado no método dos elementos finitos. O programa Ansys 12.0 que possui uma vasta biblioteca com elementos finitos, capaz ainda, de modelar as principais leis constitutivas de materiais presente na bibliografia. Com isso, o elemento de casca SHELL181, que considera quatro nós por elemento com seis graus de liberdade por nó, ou seja, três translações e três rotações em relação aos eixos x , y e z foi empregado nos modelos numéricos. Cabe ainda ressaltar que o elemento permite efetuar uma análise associada aos esforços de flexão, cisalhamento e do efeito de membrana.

A malha do modelo apresentada na Fig. 4 forneceu resultados mais próximos aos obtidos nos ensaios experimentais realizados por Mendes (2008). Para uma análise mais profunda sobre esta comparação, os autores indicam a dissertação defendida por um dos autores (Brasil, 2013). De um modo geral, pode ser observado que a malha apresenta elementos mais regular possível com proporções adequadas entre elementos e um maior refino, com menores elementos finitos, na zona perto da solda onde uma maior concentração de tensões é observada (ver Fig. 4(a)).

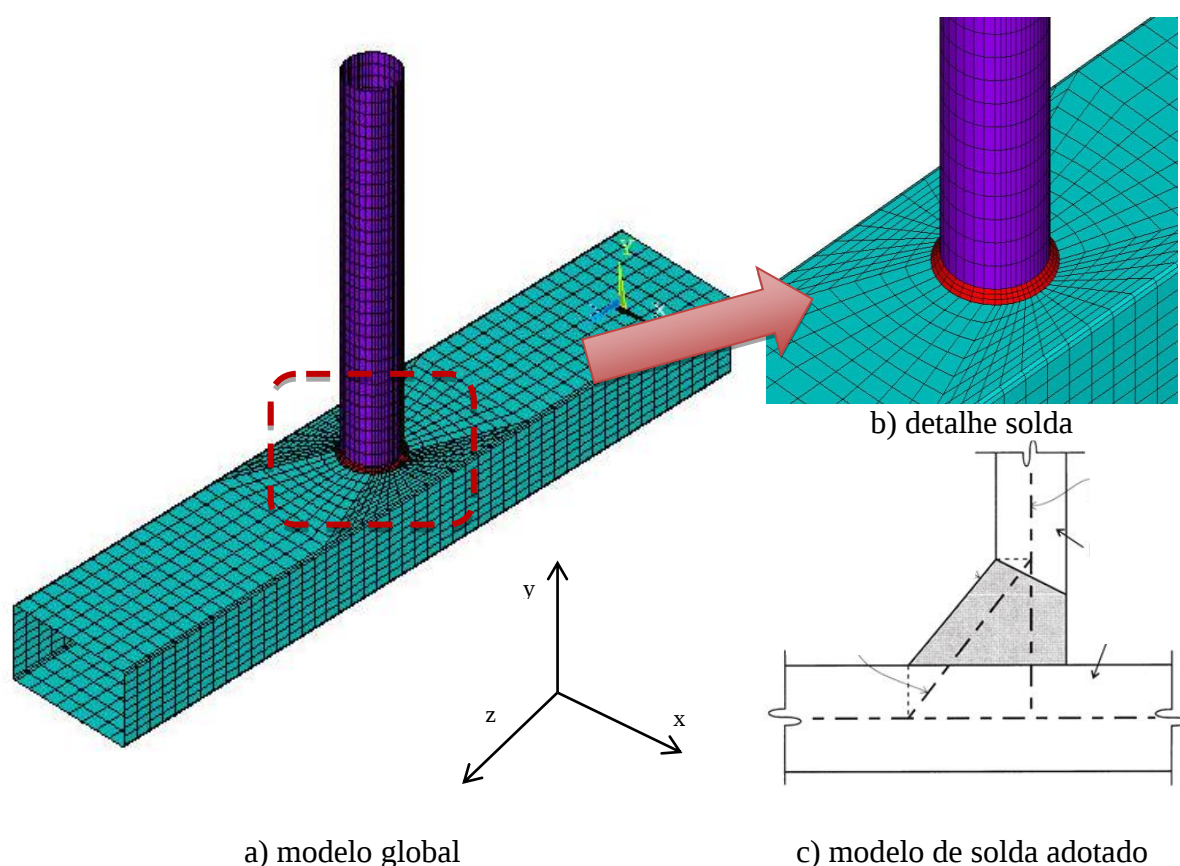


Figura 4. Malha de elementos finitos do modelo numérico.

A solda foi considerada como elementos de casca conforme apresentado na Fig. 4(b) e Fig. 4(c), respectivamente. Esta solução já foi testada anteriormente para outros tipos de ligações tubulares sem prejuízo para o resultado final (Brasil, 2013). Com o objetivo de obter o comportamento global desta ligação em termos de rigidez, resistência e capacidade de deformação, efetuou-se uma análise não linear geométrica e física. A lei constitutiva dos materiais apresenta uma curva tensão-deformação com comportamento bilinear elasto-plástico perfeito. A não linearidade geométrica foi considerada através do algoritmo de Lagrange atualizado.

3.2 Ligação tipo “T” com chapa de reforço

A aplicação da chapa de reforço foi feita de forma que esta é colocada antes da execução da solda da ligação, entre o banzo e o montante, denominado reforço tipo chapa, como apresentado na Fig. 5. Considerando a premissa anterior, três materiais diferentes foram criados para o banzo, o montante e a solda. As espessuras do banzo e da chapa de reforço foram somadas (t_0+t_p) em uma mesma área (Fig. 6 e Fig. 7).

Observa-se na Fig. 8, que foi considerado engaste nas duas extremidades do banzo e um apoio móvel de primeiro gênero no topo do montante liberando o deslocamento no sentido axial do montante. No entanto, o deslocamento axial em uma extremidade do banzo tem sido liberado para que fosse aplicada carga. Logo em seguida, o esforço na diagonal pode ser aplicado para simular que o banzo já tenha um esforço axial.

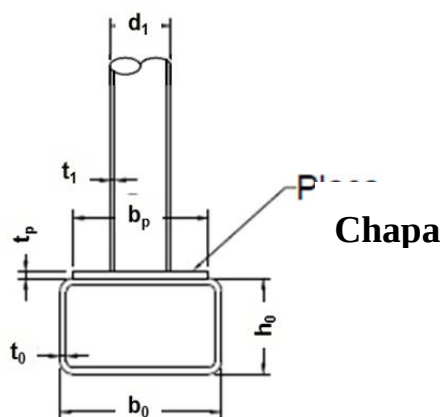


Figura 5 – Modelo de reforço tipo “Chapa”

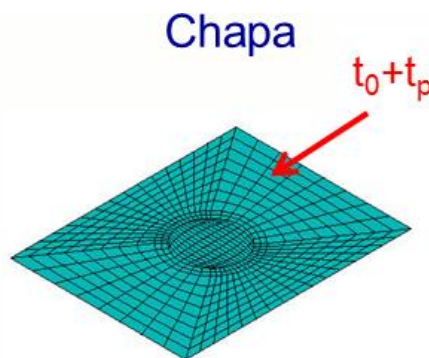


Figura 6 – Malha da chapa de reforço

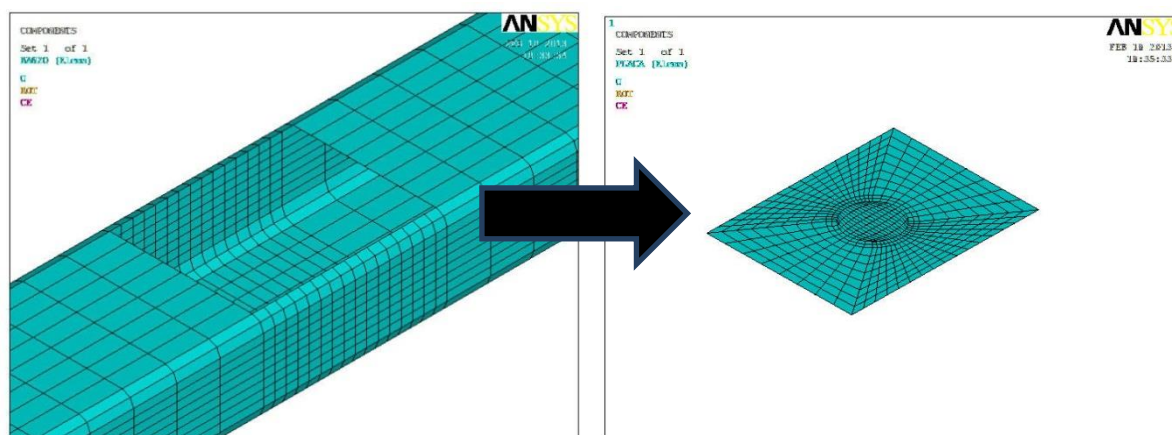


Figura 7 – Malha da chapa de reforço (t_0+t_p)

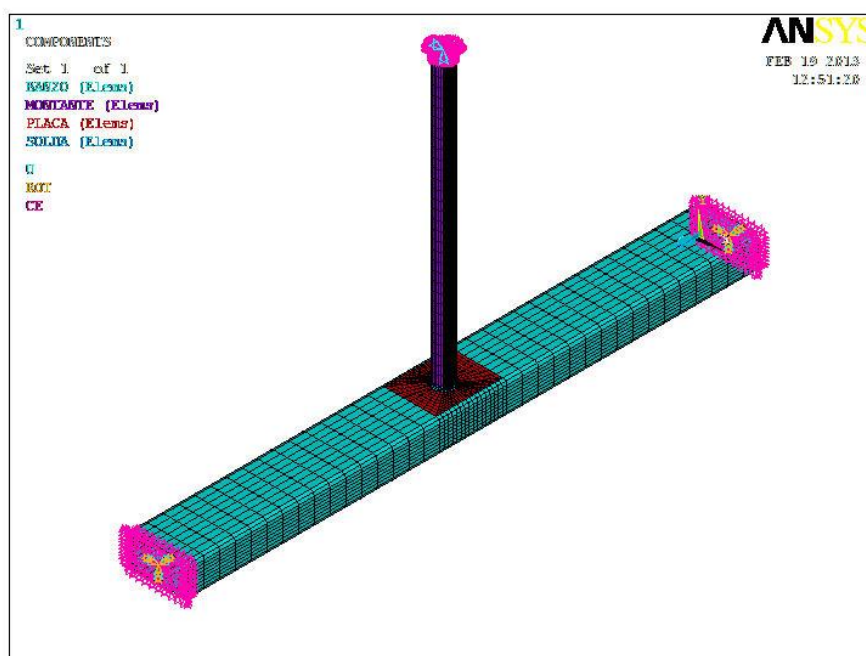


Figura 8 – Modelo numérico em elementos finitos criado no Ansys

4 ANÁLISE PARAMÉTRICA E RESULTADOS

Uma análise paramétrica foi realizada para investigar o comportamento de ligações tipo “T” com reforço de chapa. Há uma variação do esforço axial no banzo baseada na capacidade plástica da resistência do perfil. De um modo geral, o estudo foi dividido em duas fases:

- Quatro modelos foram estudados nesta primeira fase do estudo. Houve uma variação do perfil tubular no banzo com duas variações de perfis para o banzo. Para cada modelo, duas espessuras têm sido investigadas;

- Foi proposta uma nova abordagem para o uso de equações preconizadas pela Norma NBR 16239, levando em consideração a carga aplicada no banzo e faz-se uma comparação com os resultados da análise apresentada pelo método de elementos finitos na primeira fase.

4.1 Resultados

A análise paramétrica compreendeu a criação de noventa e seis modelos numéricos divididos da seguinte forma: doze variando a espessura da chapa de reforço e as dimensões dos perfis para o montante e banzo, sendo três com carga axial de compressão e três com carga axial de tração no montante, três com carga axial de compressão e três com carga axial de tração no banzo. O estudo paramétrico nesta fase foi realizado de acordo com dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Perfis com variação da espessura da chapa de reforço e da carga

BANZO	MONTANTE	CHAPA	CARGA APLICADA		
fy= 456MPa	fy= 350MPa	fy= 456MPa	Banzo	Montante	Aplicação da Carga no Banzo (%)
110x60x4,8	38,1x3,2 {48,3x4,0}	117x110,4 {121x110,4} (Espessuras 2,0 e 4,0)	Compressão	Compressão	10
					50
					90
			Tração	Compressão	10
					50
					90
			Compressão	Tração	10
					50
					90
			Tração	Tração	10
					50
					90
200x120x8,0	88,9x4,0 {101,6x5,0}	221x184 {225x184} (Espessuras 2,0 e 4,0)	Compressão	Compressão	10
					50
					90
			Tração	Compressão	10
					50
					90
			Compressão	Tração	10
					50
					90
			Tração	Tração	10
					50
					90

Obs: Medidas em milímetros (mm)

A resistência dos modelos numéricos foi obtida considerando a deformação de 3% segundo o trabalho proposto por Lu et al. (2005). Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os valores obtidos pelo modelo desenvolvido na análise numérica por meio do método de elementos finitos, utilizando os dados apresentados na Tabela 1, em comparação com os valores obtidos pela Norma Brasileira NBR 16239, para ligação sem reforço, e os valores obtidos por uma equação proposta.

Na coluna (*) é feito um comparativo entre a resistência da ligação com a chapa de reforço e a obtida pelo modelo numérico, e na coluna (**) um comparativo entre a soma das resistências com e sem chapa de reforço pela resistência obtida pelo modelo numérico, conforme observado nas Tabelas 2 e 3. Para isto foi considerada no modelo numérico, uma carga axial de tração e compressão tanto no montante como no banzo para ligação com reforço de chapa.

Na coluna (**), verifica-se que para todos os tipos de reforço apresentados, o resultado é satisfatório, pois seus valores são menores que 1,0, representando um dimensionamento a favor da segurança. Ressalta-se ainda que as equações utilizadas no cálculo referem-se ao modo de falha A, pois a chapa de reforço fica na face superior do banzo e $\beta \leq 0,85$.

Tabela 2 – Comparativo de resistências para montante comprimido

CARREGAMENTO COM MONTANTE COMPRIMIDO (38,1x3,2)							ANÁLISE DE RESULTADOS	
Carga no Banzo(%) (110x60x4,8)	Espessura (mm)	(N _{1,rd}) _{ref}	(N _{1,rd}) _{s/ref}	[(N _{1,rd}) _{ref} + (N _{1,rd}) _{s/ref}]	N _{ansys}	(*)	(**)	
Compressão	90	2	12,05	11,63	21,53	43,00	0,28	0,50
	50	2	12,05	32,23	40,26	57,58	0,21	0,70
	10	2	12,05	44,61	51,51	63,20	0,19	0,82
Tração	10	2	12,05	44,61	51,51	65,18	0,18	0,79
	50	2	12,05	44,61	51,51	67,47	0,18	0,76
	90	2	12,05	44,61	51,51	65,43	0,18	0,79
Compressão	90	4	48,21	11,63	54,40	56,40	0,85	0,96
	50	4	48,21	32,23	73,13	84,60	0,57	0,86
	10	4	48,21	44,61	84,38	90,15	0,53	0,94
Tração	10	4	48,21	44,61	84,38	91,76	0,53	0,92
	50	4	48,21	44,61	84,38	93,60	0,52	0,90
	90	4	48,21	44,61	84,38	84,92	0,57	0,99

onde:

$(N_{1,rd})_{s/ref} = (N_{1,rd})_{s/ref} (NBR 16239) * k_n$ (Esta é a equação proposta)

$(*) = (N_{1,rd})_{ref} / N_{ansys}$;

$(**) = [(N_{1,rd})_{ref} + (N_{1,rd})_{s/ref}] / N_{ansys}$;

$(N_{1,rd})_{ref}$ é a resistência do reforço

As resistências estão em kN

Tabela 3 – Comparativo de resistências para montante tracionado

CARREGAMENTO COM MONTANTE TRACIONADO (38,1x3,2)							ANÁLISE DE RESULTADOS	
Carga no Banzo(%) (110x60x4,8)	Espessura (mm)	(N _{1,rd}) _{ref}	(N _{1,rd}) _{s/ref}	[(N _{1,rd}) _{ref} + (N _{1,rd}) _{s/ref}]	N _{ansys}	(*)	(**)	
Compressão	90	2	12,05	11,63	21,53	43,00	0,28	0,50
	50	2	12,05	32,23	40,26	58,58	0,21	0,69
	10	2	12,05	44,61	51,51	63,20	0,19	0,82
Tração	10	2	12,05	44,61	51,51	78,45	0,15	0,66
	50	2	12,05	44,61	51,51	76,11	0,16	0,68
	90	2	12,05	44,61	51,51	64,70	0,19	0,80
Compressão	90	4	48,21	11,63	54,40	56,38	0,86	0,96
	50	4	48,21	32,23	73,13	84,60	0,57	0,86
	10	4	48,21	44,61	84,38	90,14	0,53	0,94
Tração	10	4	48,21	44,61	84,38	100,00	0,48	0,84
	50	4	48,21	44,61	84,38	98,32	0,49	0,86
	90	4	48,21	44,61	84,38	86,10	0,56	0,98

onde:

$(N_{1,rd})_{s/ref} = (N_{1,rd})_{s/ref} (NBR 16239) \cdot k_n$

(Esta é a equação proposta)

$(*) = (N_{1,rd})_{ref} / N_{ansys}$;

$(**) = [(N_{1,rd})_{ref} + (N_{1,rd})_{s/ref}] / N_{ansys}$;

$(N_{1,rd})_{ref}$ é a resistência do reforço

As resistências estão em kN

4.1.1. Comparação dos resultados para o banzo com carga axial de compressão

Nesta parte do estudo serão apresentados gráficos comparativos, onde se pode observar um comportamento não linear da ligação, por meio de uma curva traçada por valores obtidos de uma carga de compressão aplicada de forma axial sobre o montante, para o estado limite último, e carga de plastificação, para um carregamento aplicado no banzo, variando sua porcentagem de compressão a tração.

Observa-se nas Figuras 9, 10, 11 e 12 que o método proposto apresenta resultados relativamente próximos aos resultados obtidos pelo modelo numérico, levando-se a concluir que há uma contribuição do reforço, adicionando uma parcela significativa na resistência da ligação. Este fato já tinha sido observado em estudos anteriores para ligações reforçadas sem a aplicação de carga axial no banzo (Brasil, 2013).

Vale ainda ressaltar que houve uma diminuição da capacidade da ligação quando uma carga de compressão é aplicada axialmente no banzo. Este fato torna-se importante uma vez que a norma não menciona, em suas expressões para o cálculo da resistência da ligação tipo “T” com chapa de reforço, o emprego do parâmetro k_n . A resistência da ligação é reduzida quando multiplicada pelo parâmetro k_n , apresentando assim, valores abaixo de 1,0 para aplicação de cargas axiais de compressão no banzo.

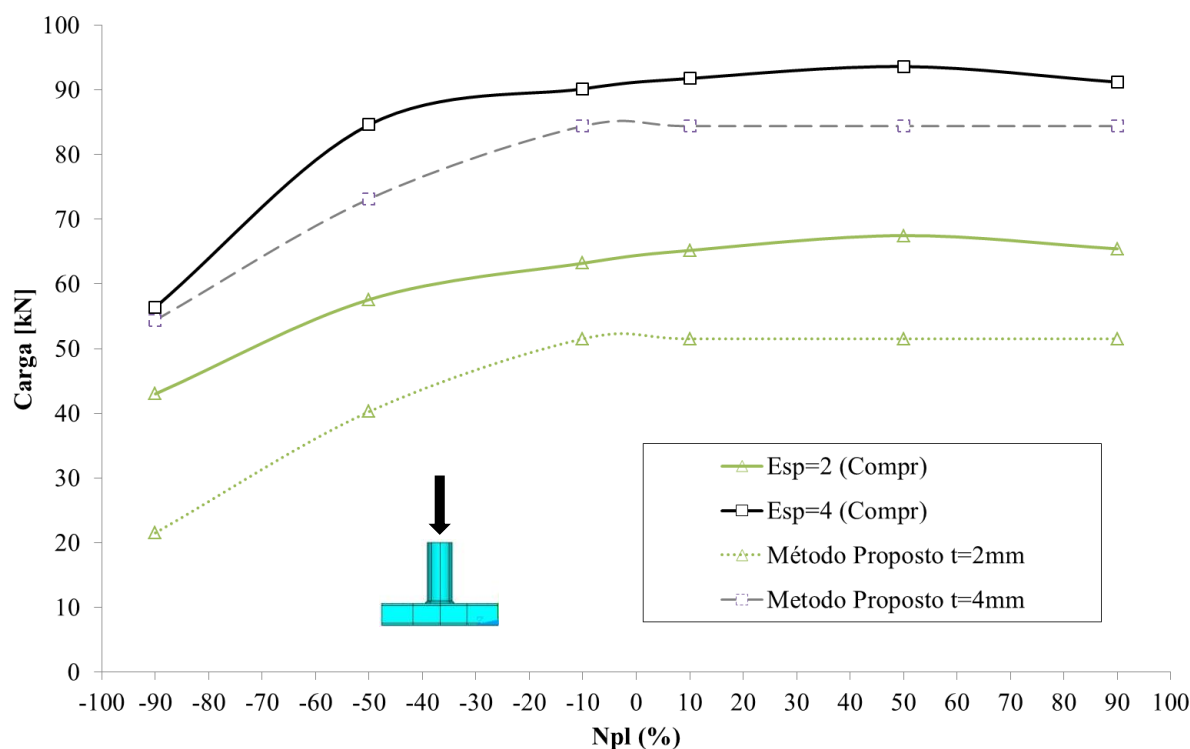


Figura 9 – Comparativo dos resultados obtidos com os dados da Tabela 1 com banzo 110x60x4,8 e montante 38,1x3,2

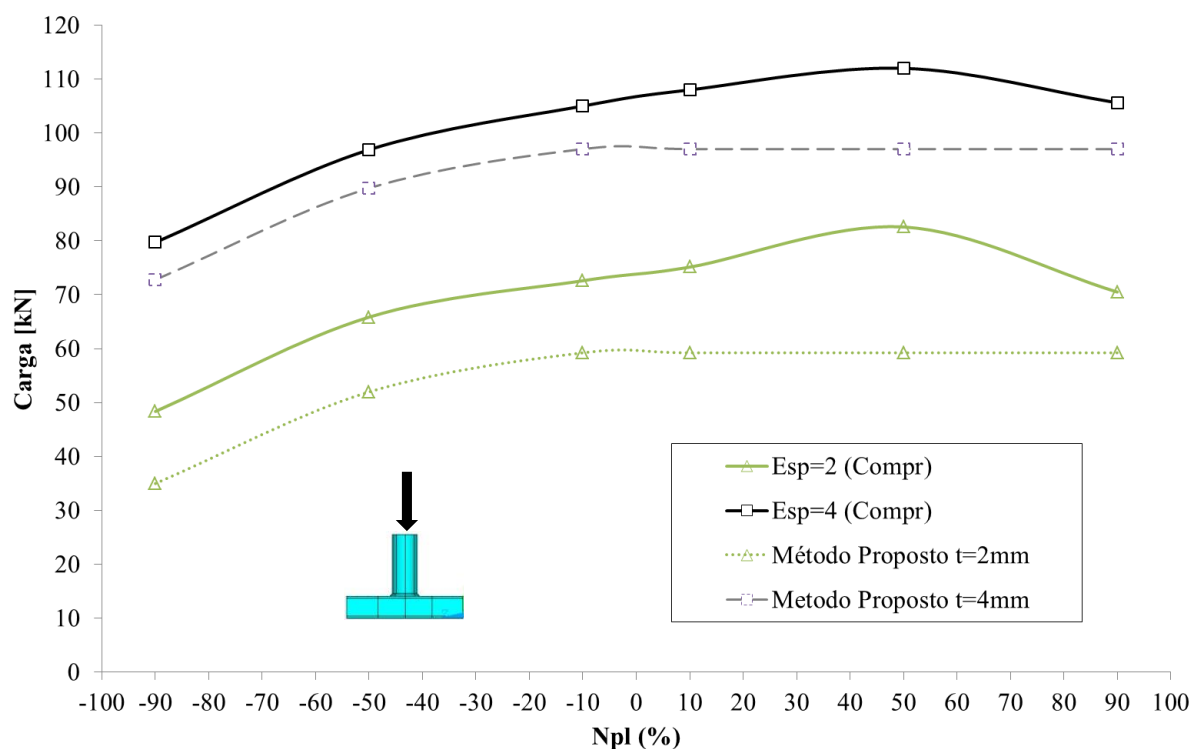


Figura 10 – Comparativo dos resultados obtidos com os dados da Tabela 1 com banzo 110x60x4,8 e montante 48,3x4,0

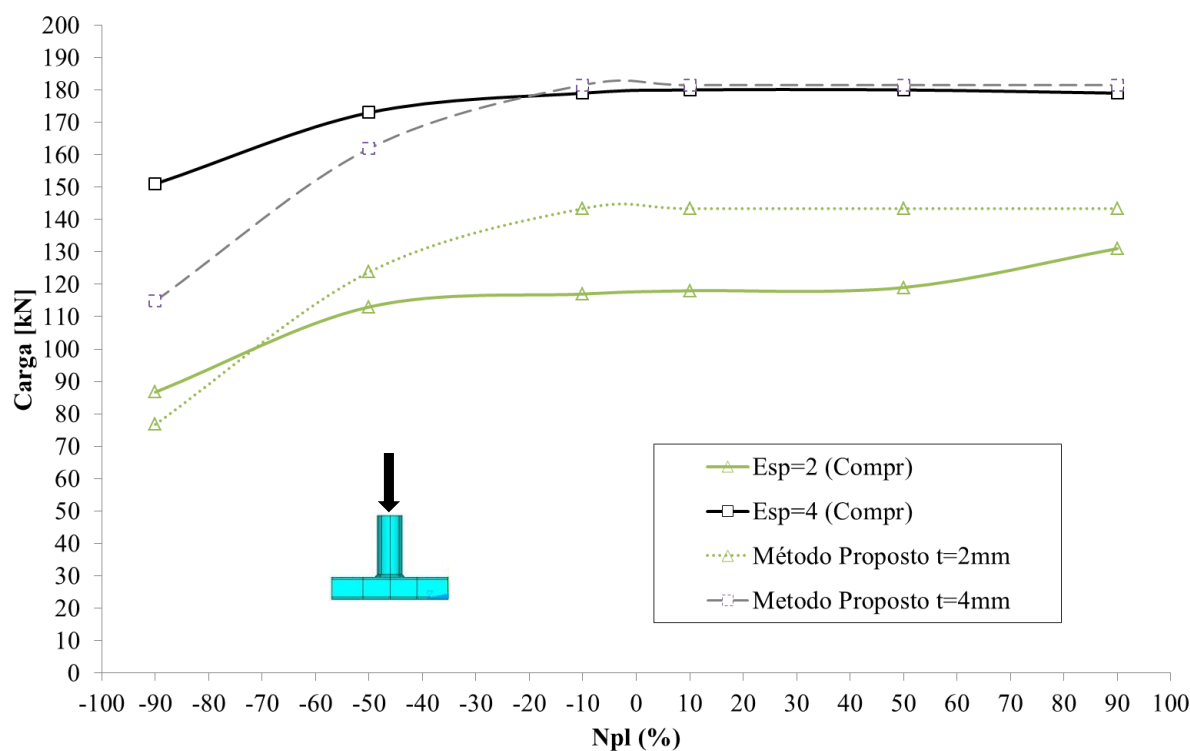


Figura 11 – Comparativo dos resultados obtidos com os dados da Tabela 1 com banzo 200x120x8,0 e montante 88,9x4,0

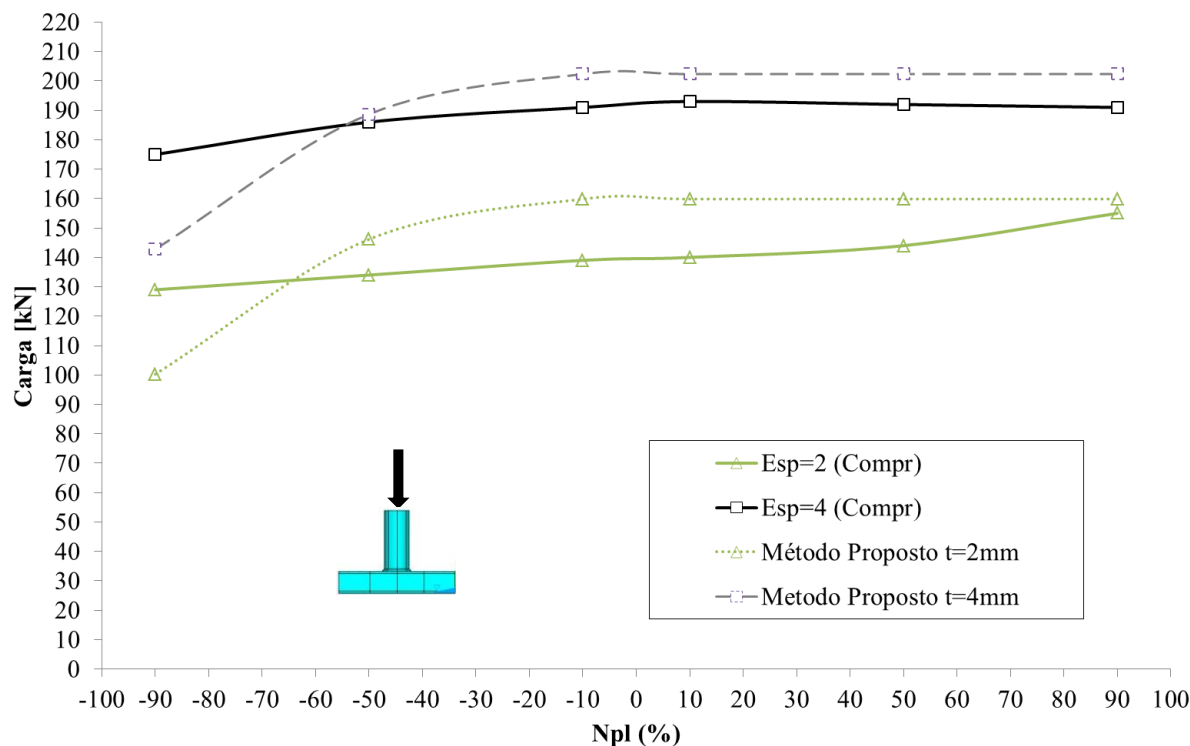


Figura 12 – Comparativo dos resultados obtidos com os dados da Tabela 1 com banzo 200x120x8,0 e montante 101,6x5,0

4.1.2. Comparação dos resultados para o banzo com carga axial de tração

Novamente, observa-se nas Figuras 13, 14, 15 e 16 que o método proposto apresenta resultados relativamente próximos aos resultados obtidos pelo modelo numérico, levando-se a concluir que há uma contribuição do reforço, adicionando uma parcela significativa na resistência da ligação quando se aplica carga axial de tração no banzo. Este fato também foi observado em estudos anteriores para ligações reforçadas sem a aplicação de carga axial no banzo (Brasil, 2013). Este fato pode ser explicado pela contribuição da chapa de reforço no aumento do valor da resistência da ligação.

Como foi observado para cargas de compressão aplicadas axialmente no banzo, observou-se também uma redução significativa na resistência da ligação, ao ser aplicada carga axial de tração no banzo. Portanto, esta observação torna-se importante uma vez que, a norma não menciona, em suas expressões para o cálculo da resistência da ligação tipo “T” com chapa de reforço, o emprego do parâmetro k_n .

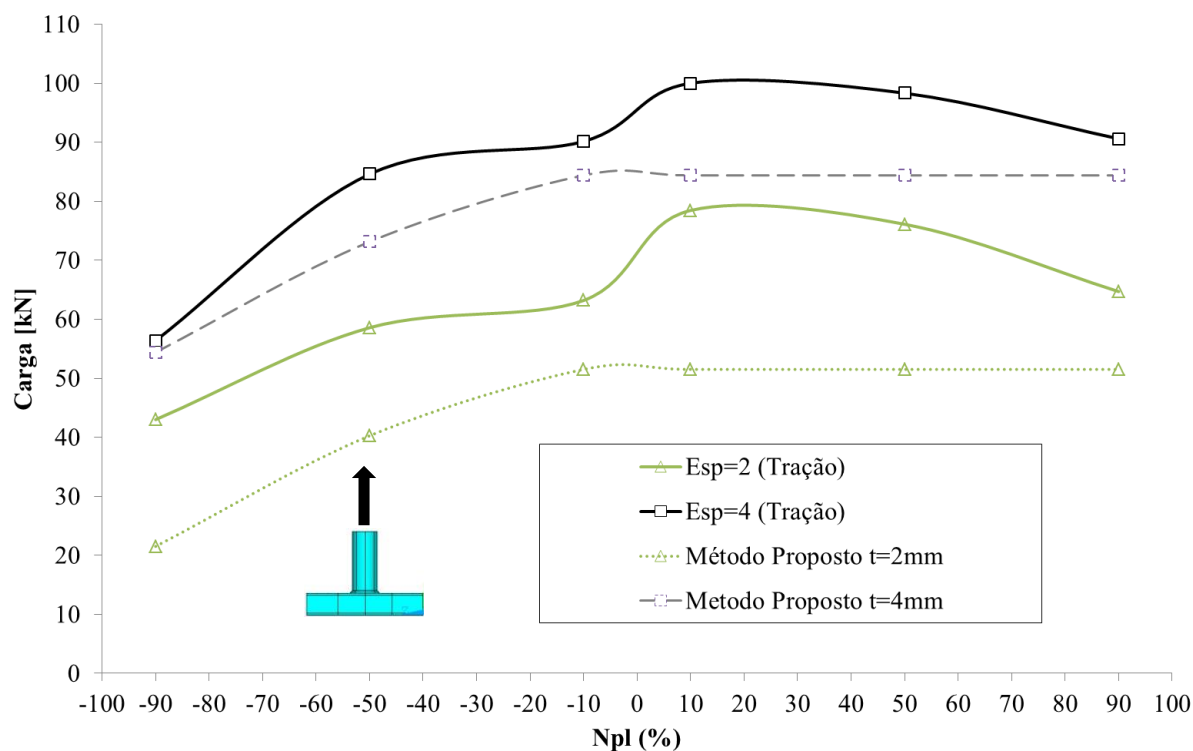


Figura 13 – Comparativo dos resultados obtidos com os dados da Tabela 1 com banzo 110x60x4,8 e montante 38,1x3,2

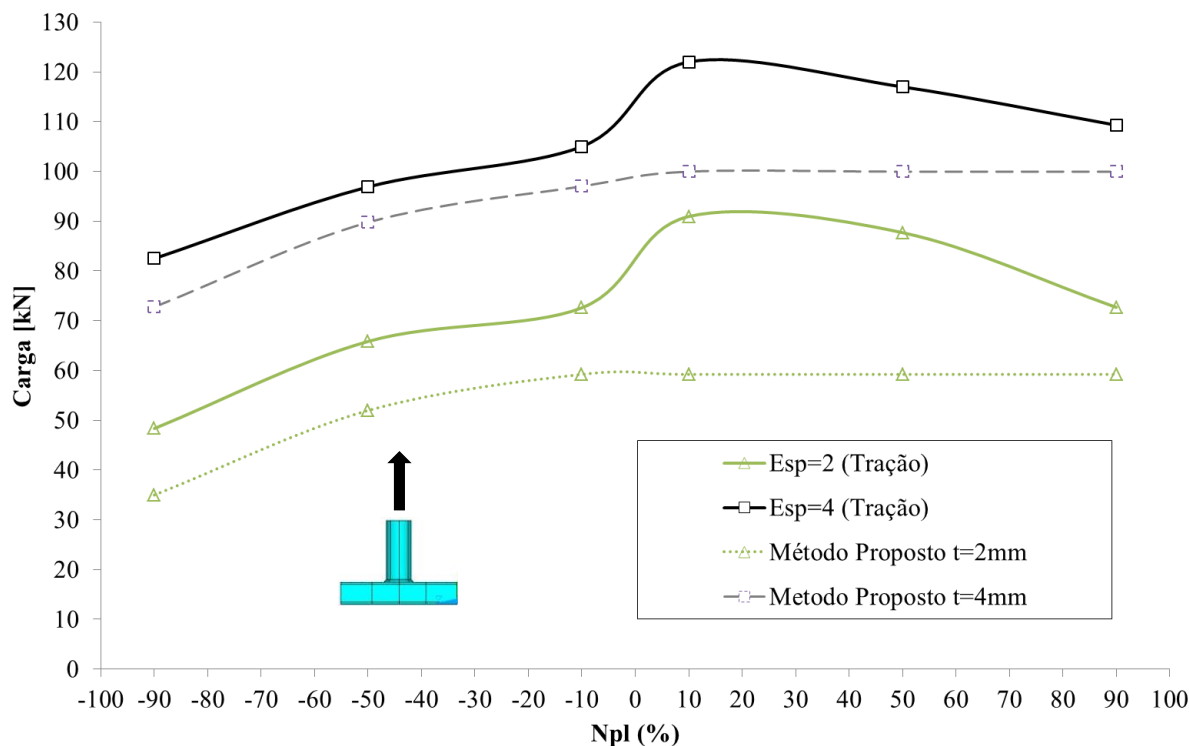


Figura 14 – Comparativo dos resultados obtidos com os dados da Tabela 1 com banzo 110x60x4,8 e montante 48,3x4,0

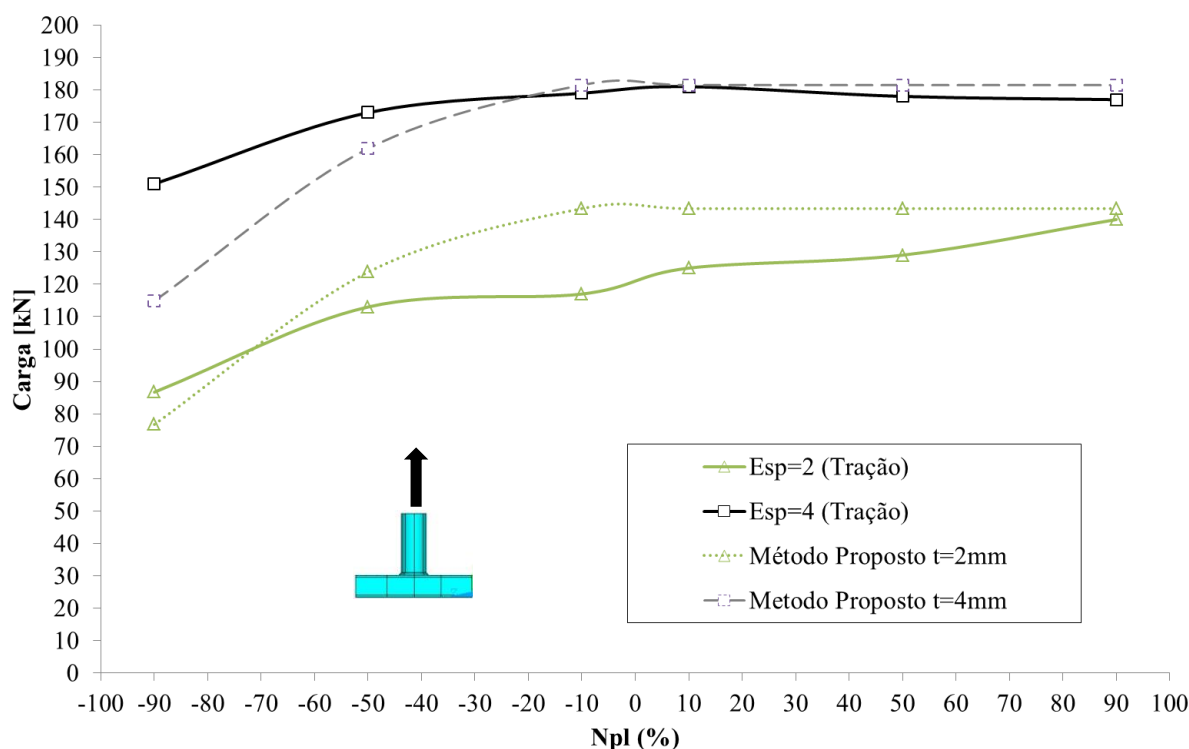


Figura 15 – Comparativo dos resultados obtidos com os dados da Tabela 1 com banzo 200x120x8,0 e montante 88,9x4,0

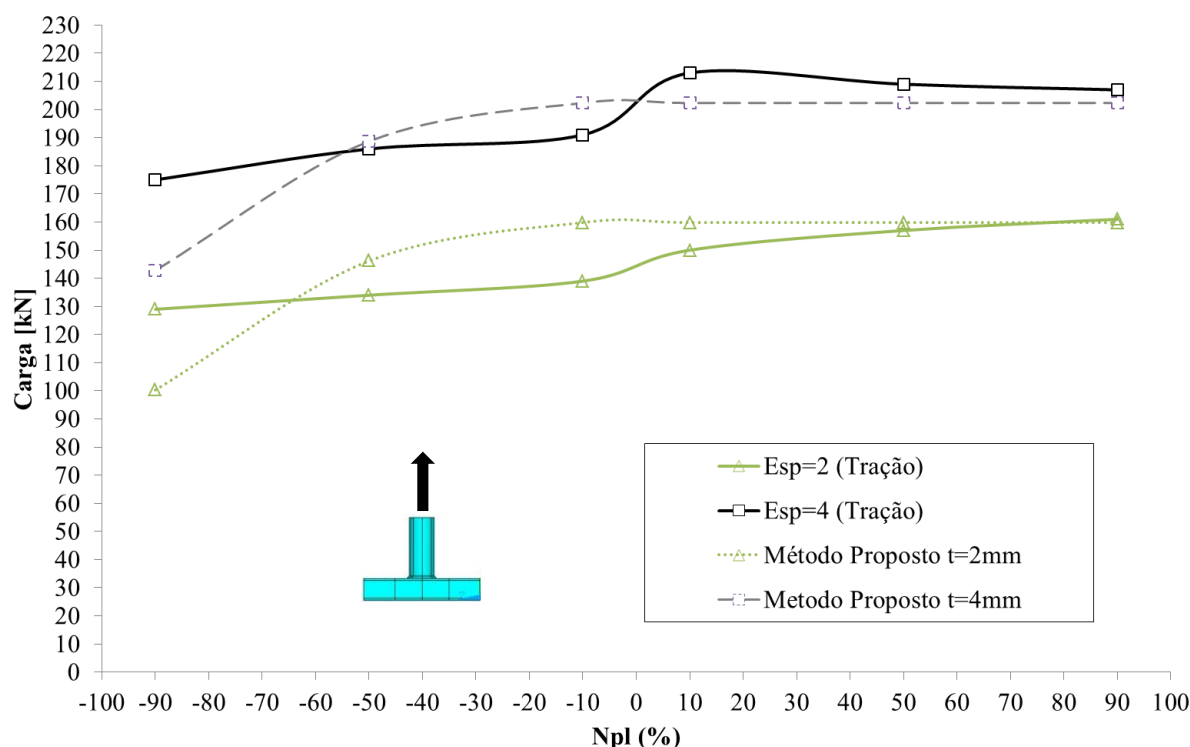


Figura 16 – Comparativo dos resultados obtidos com os dados da Tabela 1 com banzo 200x120x8,0 e montante 101,6x5,0

5 CONCLUSÕES

Este artigo reportou os resultados de uma análise numérica para ligações tipo “T” com reforço. Um conjunto de modelos numéricos com elementos de casca SHELL 181 foi desenvolvido usando o programa de elementos finitos Ansys 12.0 (2010) sendo devidamente calibrado com resultados experimentais (Brasil, 2013). A proposta foi estudar a influência do carregamento aplicado no banzo em relação à resistência da ligação com chapa de reforço. Portanto, foi considerada uma carga axial aplicada sobre o montante sob a forma de deslocamento prescrito, de tração e outra de compressão, separadamente, combinadas com cargas de tração e compressão aplicadas axialmente no banzo.

Deve ser citada também a diferença entre os resultados obtidos devido à aplicação da carga axial sobre o montante e o banzo, na forma de tração e compressão, levando-se a concluir que em todos os gráficos apresentados, as curvas referentes ao carregamento de tração no montante combinado com carregamento de tração no banzo, evidenciam que as considerações apresentadas pela norma NBR 16239 (2013) estão em desacordo com os resultados apresentados pelo modelo de elementos finitos adotado neste estudo, uma vez que a norma preconiza que não tem influência este tipo de carregamento na resistência da ligação.

Conclui-se ainda que o método proposto apresentou resultados satisfatórios para utilização da chapa de reforço em ligações tipo “T” com aplicação de carregamento axial no banzo. Multiplicando o parâmetro proposto “ k_n ” pela equação da norma NBR 16239 (2013) por meio da qual se obtém a resistência da ligação. Para confirmação desta proposta, se faz

necessário à realização da análise de mais modelos numéricos, e até estudos experimentais para confirmar a validação deste método proposto.

REFERÊNCIAS

Ansys 12.0 ®, 2010. ANSYS - Inc. Theory Reference.

Brazil, D. R., 2013. Análise de ligações tubulares T com reforço de chapa. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

Kosteski, N., Packer, J.A., Puthli, R.S., 2003. A finite element method based yield load determination procedure for hollow structural section connections, *Journal Constructional Steel Research*, vol. 59, nº 4, p. 427-559.

Lu, L.H., de Winkel, G.D., Yu, Y., Wardenier, J., 1994. Deformation limit for the ultimate strength of hollow section joints, 6th International Symposium on Tubular Structures, Melbourne, Australia, p. 341-347.

Mendes, F. C., 2008. Análise Teórica-Experimental de Ligações Tipo “T”, “K” e “KT” com Perfis Metálicos Tubulares, Dissertação de Mestrado, UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto – PROPEC.

NBR 16239, 2013. Projetos de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edificações com Perfis Tubulares.

Santos, M. L., Lima, L. R. O. de, Freitas, A. M. S., Vellasco, P. C. G. da S., Silva, J. G. S. da, Neves, L. F. da C., 2011. Modelagem Numérica de Ligações “K” Tubulares entre RHS e CHS, In CMNE - Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia, Coimbra, Portugal.

Vegte, G. J. van der, Choo, Y. S., Liang, J. X., Zettlemoyer, N., Liew, J. Y. R. Static strength of T-joints reinforced with doubler or collar plates. *Journal of structural engineering*, ASCE, p. 129-138, Janeiro 2005.