



IDENTIFICAÇÃO DE MODOS DE FALHA EM PERFIS TUBULARES COM LIGAÇÃO TIPO LUVA E PARAFUSOS CRUZADOS A 90° USANDO UM MODELO NUMÉRICO

Lucas Roquete ^{a,b}

Arlene Maria Cunha Sarmanho ^a

Lucas Alves Escanio ^a

Diego Luiz Costa e Souza ^b

Matheus Miranda Oliveira ^a

lucasroquete@gmail.com

arlene.sarmanho@gmail.com

lucasaescanio@gmail.com

diego-7-souza@hotmail.com

theus.mo@gmail.com

^a Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto/MG, Brasil

^b Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil Computação e Humanidades, Universidade Federal de São João del Rei -UFSJ- Campus Alto Paraopeba, Ouro Branco, MG, Brazil

Abstract. *Este trabalho apresenta um estudo numérico de um novo tipo de conexão denominada luva, empregado em perfil tubular de seção circular. A ligação tipo luva é um modelo de conexão inovador para seções tubulares facilitando e reduzindo o custo de montagem das estruturas, além de economizar tempo. Esta ligação pode ser uma alternativa mais barata e de mais fácil montagem comparada com as ligações flangeadas, que são amplamente empregadas em sistemas treliçados com grades vãos. A conexão é usada para unir dois tubos e é constituída por um tubo interno (luva), que está conectado aos tubos externos por meio de parafusos passantes por ambos os tubos. Um modelo numérico com parafusos cruzados a 90 ° foi desenvolvido usando o método dos elementos finitos, com uso do software ANSYS. Os parâmetros considerados na investigação foram o diâmetro e a espessura dos tubos. Desta forma, foi possível identificar a influência da distribuição de tensões nos tubos e avaliar possíveis modos de falha para essa conexão.*

Palavras-Chave: Perfil tubular, análise numérica, ligação luva, ligações e ligações parafusadas.

CILAMCE 2017

Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering
P.O. Faria, R.H. Lopez, L.F.F. Miguel, W.J.S. Gomes, M. Noronha (Editores), ABMEC, Florianópolis, SC, Brazil,
November 5-8, 2017.

INTRODUCTION

O uso de perfis tubulares nas estruturas proporciona maior harmonia com o ambiente, o que se torna ideal para melhores aspectos estéticos. Essa tipologia de perfil apresenta ótimo desempenho estrutural aos esforços de tração, compressão, torção ou mesmo a esforços combinados, seu uso adequa-se perfeitamente aos sistemas treliçados em que os esforços axiais são dominantes (Amparo, 2014).

Visando a aplicabilidade dos perfis tubulares e levando em consideração a necessidade de emenda das barras, usadas para o vencimento de grandes vãos, inúmeros estudos são realizados, em âmbito teórico, numérico e experimental com o objetivo de desenvolvimento de novas tipologias de ligação e propostas de metodologias de dimensionamento.

Novas tipologias de ligação em perfis tubulares vem sendo estudadas em diversos estudos como em Vieira (2011), Silva (2012), Amparo (2014), Amparo et al (2014), Simões et al (2014), Vieira (2014), Amparo et al (2015a), Amparo et al (2015b), Luo et al (2016), Vieira et al (2016) e Amparo et al (2016).

A ligação chamada de luva, proposta para ligação de emenda de barras de treliças, é composta por dois tubos externos (banzos de uma treliça) ligados internamente por um outro tubo (luva) através de parafusos passantes. Fig. 1 ilustra uma representação da ligação com parafusos cruzados. Os parafusos da ligação em luva ficam praticamente imperceptíveis à distância, dando a impressão de um tubo contínuo contribuindo para harmonia estética da estrutura.

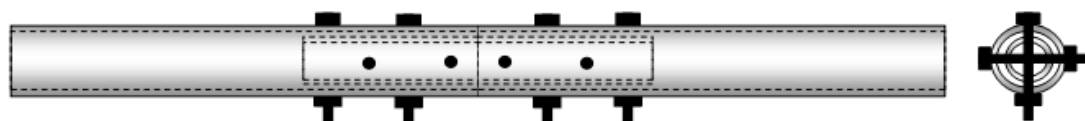


Figura 1. Representação esquemática de uma ligação tipo luva cruzados a 90°

Este trabalho tem como objetivo avaliar os modos de falha da ligação luva em perfis tubulares, submetidos à tração, por meio de parafusos passantes aos tubos, cruzados a 90° por meio da variação do diâmetro e da espessura dos tubos. Para analisar essa influência no comportamento desta ligação e em seus possíveis modos de falha, foi desenvolvido um modelo numérico via método dos elementos finitos. O modelo numérico foi calibrado por meio de ensaios experimentais. Desta forma, foi possível identificar a influência da distribuição de tensões nos tubos e avaliar possíveis modos de falha para essa conexão.

1 ANÁLISE NUMÉRICA

Para avaliação do comportamento da ligação um modelo numérico da ligação luva foi desenvolvido utilizando o software de elementos finitos ANSYS versão 12.1. Neste item são apresentadas as características e propriedades do modelo numérico em análise.

1.1 Modelo

A criação do modelo numérico foi baseada nos ensaios experimentais realizados por Amparo (2014). O método numérico empregado para análise foi o Método dos Elementos Finitos com uso do software ANSYS 12.1 (ANSYS, 2009). O modelo numérico foi gerado para

ligação luva com cinco parafusos cruzados a 90°, tubo externo com diâmetro de 88,9 mm e espessura de 5,5 mm e 6,0 mm e tubo interno (luva) com diâmetro de 73,0 mm também com espessura variando. As espessuras dos tubos internos usadas nas análises foram 4,0;4,5;5,0;5,5;6,0;6,4;7,1;8,0;8,8 e 10,0 mm. Os parafusos do modelo possuíam diâmetro de 12,7 mm.

O modulo de elasticidade considerado nas análises foi $E = 200\,000$ MPa e o coeficiente de Poisson 0,3. As demais características mecânicas estão apresentadas na Tabela 1. Os parafusos considerados foram ASTM A325.

Tabela 1. Características dos modelos

Tubos		Parafusos	
f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
350	485	635	825

A configuração geométrica do modelo é apresentada na Fig. 2, apenas um tubo externo conectado por outro tubo interno por meio de parafusos. A simplificação do modelo é baseada nos ensaios experimentais de Amparo (2014). Uma outra simplificação adotada foi a não modelagem da cabeça dos parafusos. Segundo Vieira (2016) em testes numéricos realizados com modelos com e sem a cabeça dos parafusos foi observado que o comportamento do modelo numérico foi o mesmo em ambas as situações, já que neste tipo de ligação os parafusos estão submetidos, em grande parte, ao cisalhamento com uma parcela de flexão. Para melhor ajuste da malha foram criadas linhas por meio da subdivisão de áreas, como pode ser observado na Fig. 2.

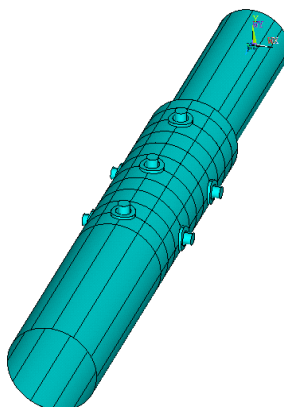


Figura 2. Configuração do modelo simulado

Para as análises foi utilizada a linguagem de programação do software ANSYS 12.1, APDL (ANSYS Parametric Design Language) com o objetivo de automatizar a construção do modelo e facilitar suas variações de geometria com controle de todas as características inseridas no modelo numérico.

A solução dos modelos foi feita pela realização de uma análise não linear considerando as propriedades mecânicas do aço dos tubos e dos parafusos. Houve a aplicação de deslocamento ao invés da aplicação de força. O deslocamento, no sentido do comprimento do perfil, é imposto nos nós de extremidades e com isso são obtidas as reações de carregamento.

Com relação a não linearidade do material, foi utilizado a opção do programa que considera um material multilinear (Multilinear Isotropic Hardening). Foi usado uma configuração com três pontos para representar a curva tensão versus deformação do aço dos tubos e parafusos, as deformações correspondentes ao final de cada trecho foram definidas com base no diagrama tensão versus deformação dos aços de alta resistência e baixo carbono apresentado por Salmon e Johnson (1990). A configuração para os parafusos está representada na Fig. 3(a) e para os tubos na Fig. 3(b).

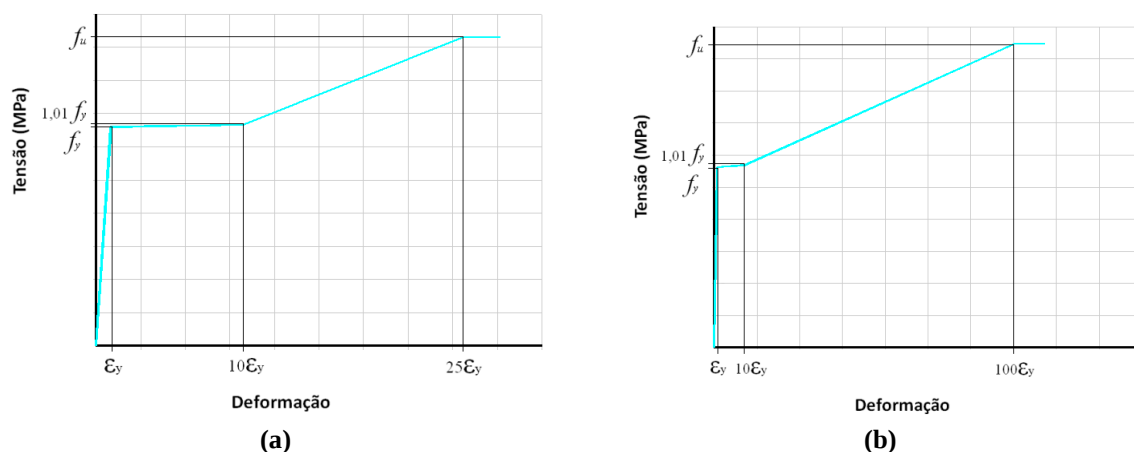


Figura 3. Relação constitutiva dos materiais

1.2 Elementos finitos, malha e condições de contorno

Foram utilizados dois tipos de elementos diferentes na luva, um deles foi o elemento tipo sólido para representar os parafusos e para modelar os tubos foi utilizado um elemento tipo casca. O elemento sólido escolhido foi o SOLID186, Fig.4. Este é um elemento de sólido estrutural homogêneo de ordem superior que possui 20 nós e que aceita malhas irregulares (neste caso, superfícies curvas que implicam na geração de malhas irregulares), possibilitando a aplicação de carga em qualquer direção. O elemento possui três graus de liberdade por nó. Para os tubos foi escolhido o elemento SHELL181, Fig. 5, é um elemento estrutural homogêneo de casca com quatro nós que aceita malhas irregulares, possibilitando também a aplicação de carga em qualquer direção. O elemento possui seis graus de liberdade por nó (translações e rotações em X, Y e Z).

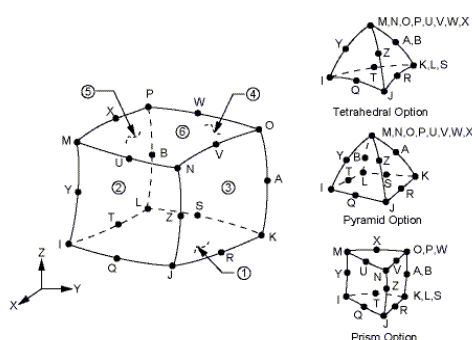


Figura 4. Elemento sólido SOLID 186
Fonte: ANSYS (2009)

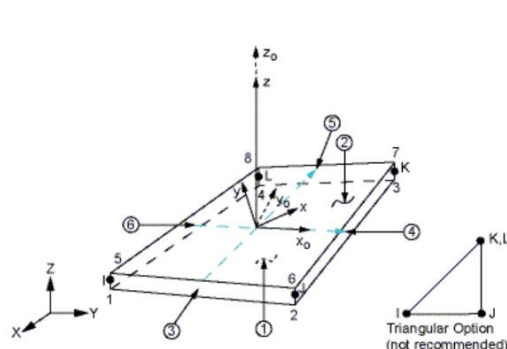


Figura 5. Elemento de casca SHELL 181
Fonte: ANSYS (2009)

O modelo numérico também leva em consideração o contato entre as áreas dos furos dos tubos com as áreas laterais dos parafusos utilizando o tipo de contato (Surface-to-Surface). Este contato é feito utilizando os elementos TARGE170 e CONTA174, Fig.6.

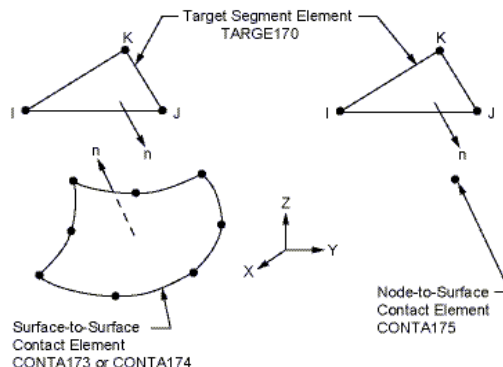


Figura 6. Elementos do par e contato superfície-superfície: CONTA 174 e TARGE 170

Fonte: ANSYS (2009)

A geração da malha em um modelo poder feita de forma livre ou mapeada. No modelo apresentado utilizou-se a malha livre. As áreas dos modelos foram subdivididas o que permitiu a geração de uma malha comportada, sem distorções dos elementos. O tamanho da malha adotado, variou de 4 a 7 mm para os elementos SHELL181 e de 4 mm a 5 mm para SOLID186. A Fig. 7 apresenta a malha em um dos modelos estudados.

Para estabelecer as condições de contorno, os nós das extremidades dos tubos foram acoplados de forma que o deslocamento aplicado no tubo interno fosse igualmente distribuído ao longo da extremidade do tubo (Fig. 8(a)). Nestes nós foi aplicado um deslocamento de 25 mm (direção horizontal), simulando a tração aplicada pela prensa, uniformemente distribuída pelos nós. Em alguns modelos a solução somente convergia para deslocamentos de até 20 mm. Para a condição de extremidade engastada, os deslocamentos da extremidade do tubo externo foram impedidos em todas as direções (x,y e z), simulando a fixação do tubo na prensa onde foram ensaiados os protótipos (Fig. 8(b)).

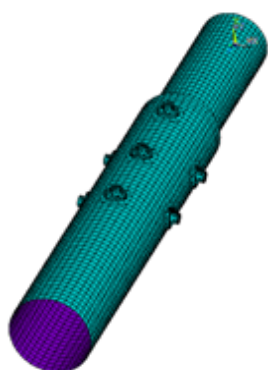


Figura 7. Malha do modelo.

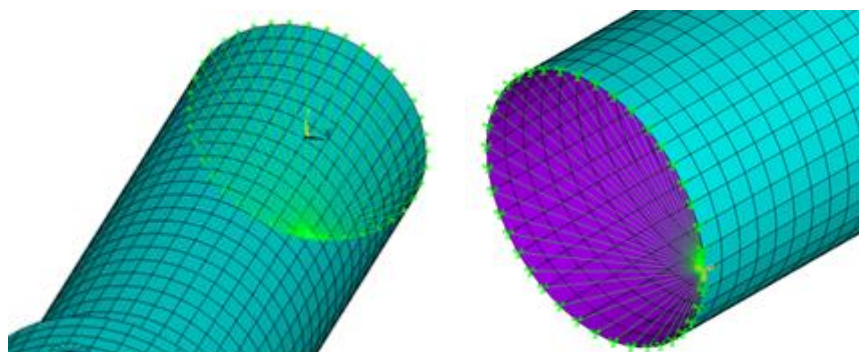


Figura 8. Condições de contorno: (a) acoplamento dos nós do tubo interno; (b) acoplamento dos nós do tubo externo.

2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

2.1 Calibração do modelo numérico

Os modelos estudados foram calibrados por meio dos resultados experimentais de Amparo (2014). A Fig. 9 apresenta as curvas força versus deslocamento dos modelos experimentais da série (CC) dos protótipos CC-5X2Y3/1 e CC-5-X2Y3/2 (ligação luva com 5 parafusos cruzados a 90°, configuração geométrica idêntica ao modelo numérico) (Amparo, 2014) e do modelo numérico.

Observa-se (Fig. 9) que a curva do modelo numérico apresenta um comportamento semelhante às curvas dos modelos experimentais, com pequenas diferenças nos níveis de carga e de inclinações. Na fase elástica o comportamento do modelo numérico é aproximadamente o mesmo dos protótipos ensaiados. As diferenças podem ser atribuídas às imperfeições existentes nos protótipos da ligação. Apesar das diferenças observadas, avaliando o aspecto geral do comportamento das curvas dos modelos numérico e experimental, pode-se afirmar que o modelo numérico representa de forma adequada o modelo ensaiado, principalmente quando se observa um comportamento linear, com proporcionalidade de carga e deslocamento, na fase inicial de carregamento, fase elástica.

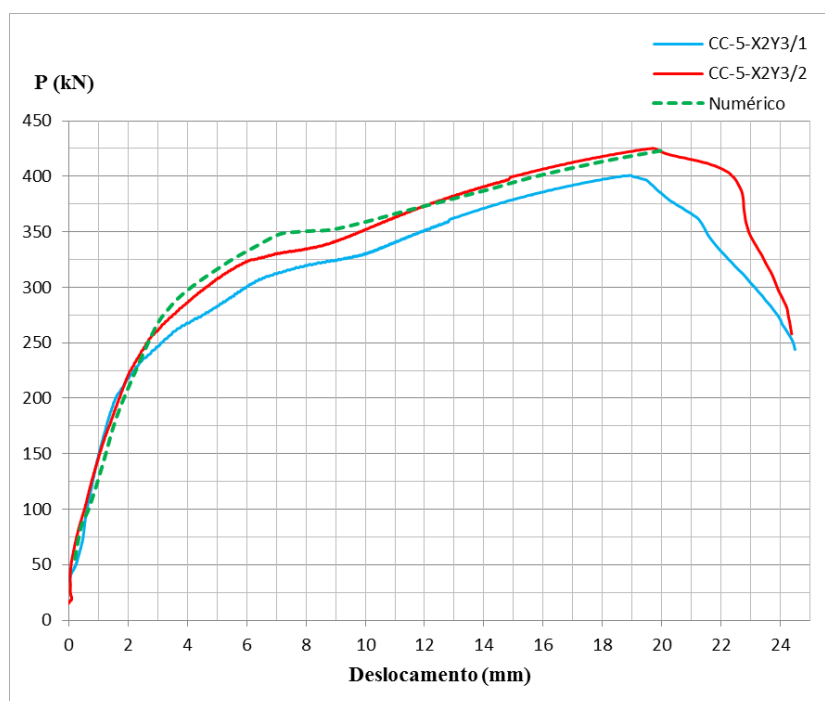


Figura 9. Curvas de força versus deslocamento dos modelos numérico e experimental.

2.2 Análise dos modelos estudados

Os modos de falha serão admitidos com base na distribuição de tensões de von Mises, de forma que serão caracterizados quando os materiais atingirem as tensões de ruptura ou a tensão de escoamento. No caso dos parafusos, ocorrerá a falha por flexão quando a fibra mais solicitada atingir a tensão de escoamento. Na Fig. 10 é representada a configuração da distribuição de tensão de von Mises para um dos modelos simulados, caracterizando, por

exemplo, falha por ovalização dos furos/ruptura da seção líquida na diagonal (Fig. 10(a)) e flexão dos parafusos (Fig. 10(b)).

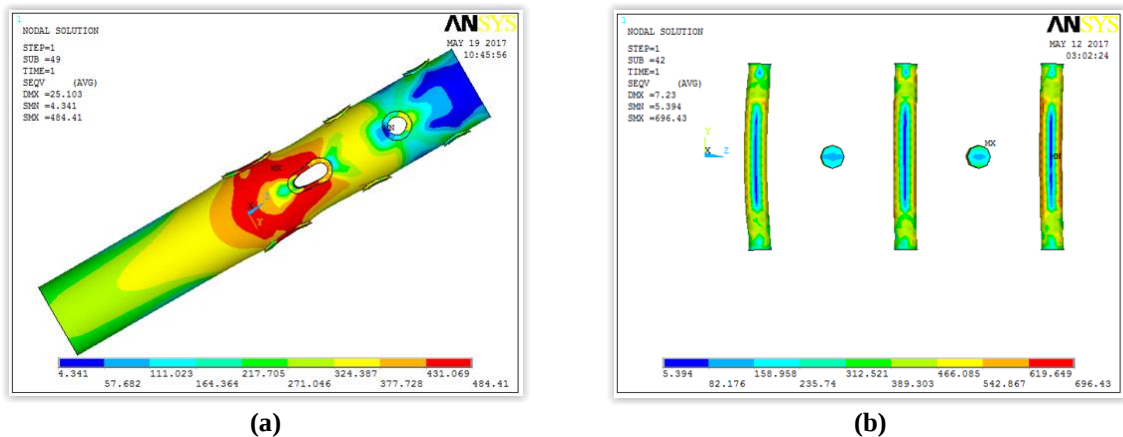


Figura 10. Distribuição de tensão de von Mises: (a) tubo e (b) parafusos

Neste trabalho não serão apresentadas todas as configurações de distribuição de tensão de von Mises para todos os modelos simulados.

Neste item serão apresentados separadamente os resultados para o conjunto de modelos simulados com tubo externo de 88,9 mm com espessura 5,5 mm (TE 88,9x5,5) e para o conjunto de modelos com tubo externo de 88,9 mm com espessura 6,0 mm (TE 88,9x6,0), ambas com tubo interno luva de 73 mm com diversas espessuras.

2.2.1 Modelos TE 88,9x5,5

Como descrito anteriormente as simulações ocorreram por meio de aplicação de um deslocamento de 25 mm na extremidade do tubo interno. A Fig. 11 apresenta as curvas força versus deslocamento obtidas para cada modelo.

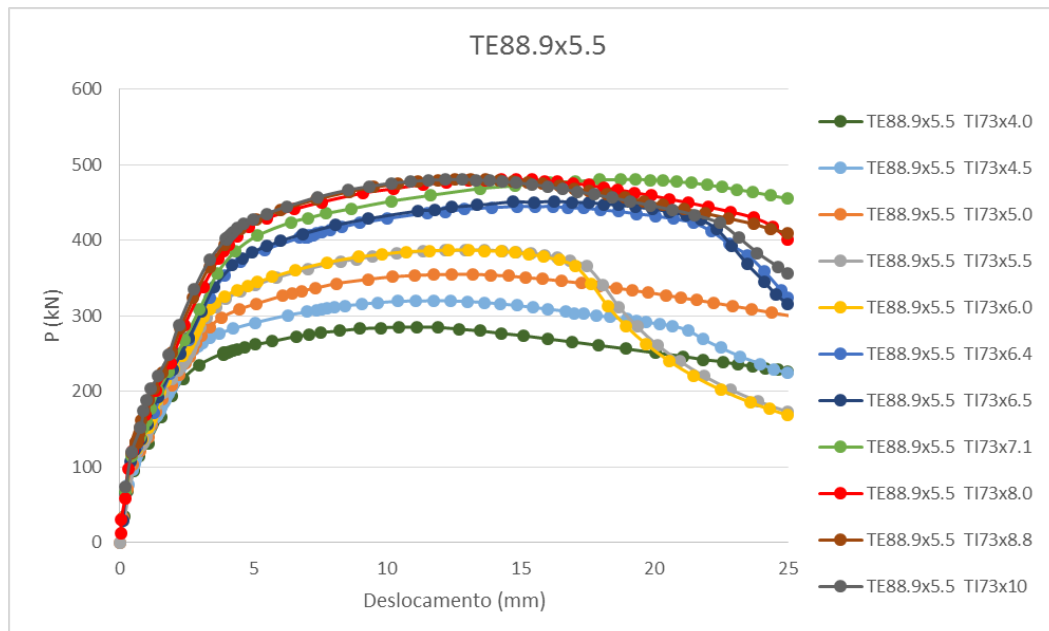


Figura 11. Curvas de força versus deslocamento para a série TE88,9x5,5

Observa-se na Fig. 11 que houve, em todas as curvas, um comportamento aproximadamente linear para pequenos deslocamentos. A partir de um certo nível de deslocamento os modelos perdem rigidez, deixando de apresentar linearidade entre a carga e o deslocamento, até a capacidade final. Há um ganho considerável de capacidade máxima à medida que se aumenta as espessuras. Porém, as espessuras de 5,5 e 6,0 apresentam o mesmo nível de carregamento (387 kN) e a capacidade máxima para essa série de modelos foi de 481 kN, observada em todos os modelos com espessura de 7,1-8,0-8,8-10,0.

Pela Fig. 11 é possível agrupar as espessuras de acordo com a semelhança na configuração curva de carga versus deslocamento: espessuras de 4,0-4,5-5,0; espessuras 5,5-6,0; espessuras 6,4-6,5-7,1 e espessuras 8,0-8,8-10,0. Esses comportamentos podem estar associados ao tipo de falha que ocorre nos modelos, que serão apresentados adiante. Modelos com espessuras menores apresentam modo de falha diferente dos modelos com espessuras maiores. Essas curvas podem indicar a necessidade de avaliar esses modelos por influência da esbelteza.

2.2.2 Modelos TE 88,9x6,0

A Fig. 12 apresenta as curvas força versus deslocamento obtidas para cada modelo desta série.

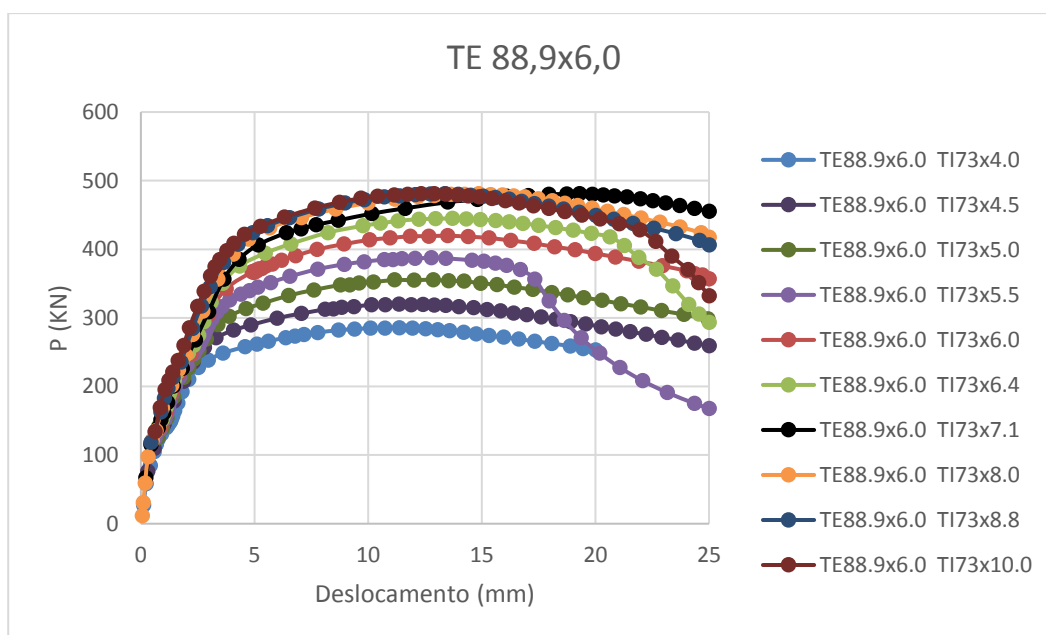


Figura 12. Curvas de Força versus Deslocamento para a série TE88,9x6,0

As mesmas considerações observadas para a série de modelos 88,9x5,5, apresentada anteriormente, são também observadas para a série 88,9x6,0. O que pode ser observado pelas Fig. 11 e Fig. 12. Comparando mesmas espessuras, não houveram diferenças significativas nos níveis de capacidade máxima de carregamento, uma vez que as diferenças foram nas casas decimais. Este fato pode ser explicado pela proximidade da espessura, visto que houve um acréscimo de apenas 0,5 mm de uma série para outra (5,5 mm e 6,0 mm). Isto também pode ser observado nas curvas apresentadas na Fig. 13 que contém algumas curvas de força versus

deslocamento de alguns dos modelos com mesma espessura de tubo interno, onde pode ser observado tal semelhança.

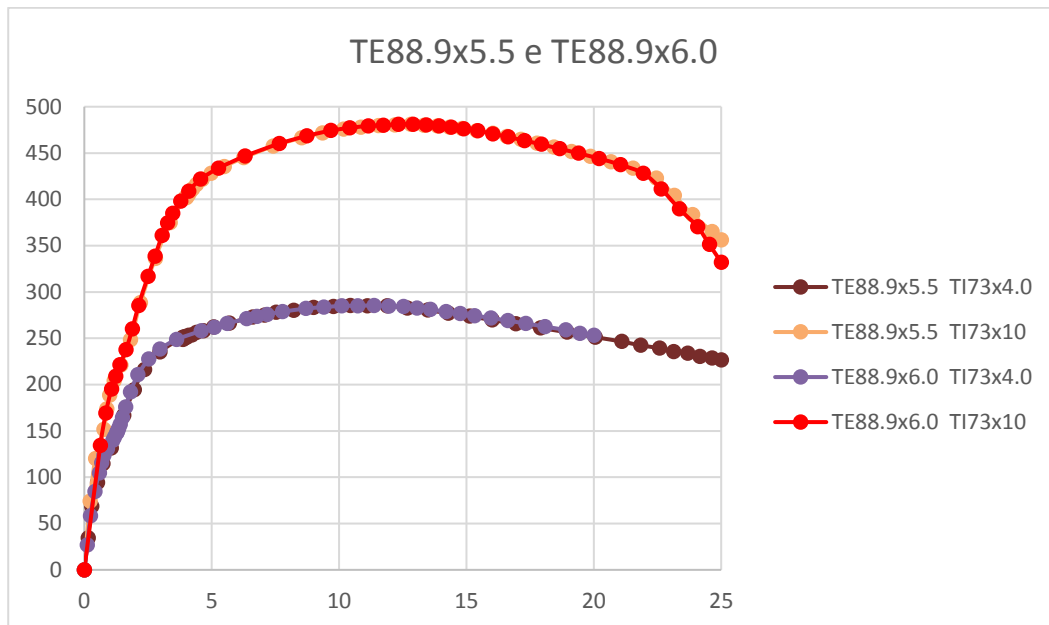


Figura 13. Curvas de Força versus Deslocamento para TE88,9x5,5 e TE88,9x6,0

Analisando as curvas da Fig. 13 percebe-se o quanto os resultados das séries se assemelham, pois, é possível observar apenas três das seis curvas traçadas, mesmo grupo de espessuras, o comportamento apresentado é praticamente o mesmo para ambas as séries, podendo assim serem considerados iguais.

Na análise e identificação dos modos de falha presentes em cada modelo foi observado o mesmo modo de falha para os modelos com espessuras de tubo interno iguais. O que será descrito a seguir.

2.2.3 Modos de falha

A Tabela 2 é apresentado os modos de falha identificados nos modelos analisados. Os modos de falha identificados nos modelos foram, de acordo com Salmon e Jhonson (2009): ovalização dos furos, ruptura da seção líquida (prescritos também pela ABNT NBR 8800, 2008) além da flexão nos parafusos (Amparo, 2014).

Os modos de falha, como já descrito, foram identificados segundo a distribuição de tensões de von Mises. Como mencionado anteriormente não houve diferença de modo de falha de uma série para outra, considerando mesma espessura de tubo interno.

Na Tabela 2 os modelos são identificados com a seguinte nomenclatura: TI, para tubo interno e TE, para tubo externo, em alguns casos, seguidos pelas dimensões do diâmetro e espessura, respectivamente.

Tabela 2. Modos de falha

TE88,9x5,5	TE88,9x6,0	Modos de falha
TI73x4,0	TI73x4,0	Ovalização dos furos no TI e Ruptura no TI
TI73x4,5	TI73x4,5	Ovalização dos furos no TI e Ruptura no TI
TI73x5,0	TI73x5,0	Ovalização dos furos no TI e Ruptura no TI/ Flexão nos parafusos
TI73x5,5	TI73x5,5	Ovalização dos furos no TI e Ruptura no TI/ Flexão nos parafusos
TI73x6,0	TI73x6,0	Ovalização dos furos no TI e Ruptura no TI/ Flexão nos parafusos
TI73x6,4	TI73x6,4	Ovalização dos furos no TI e Ruptura no TI/ Flexão nos parafusos
TI73x6,5	TI73x6,5	Ovalização dos furos no TI e Ruptura no TI/ Flexão nos parafusos
TI73x7,1	TI73x7,1	Ovalização dos furos no TI e Ruptura no TI/ Ovalização dos furos no TE e Ruptura no TE/ Flexão nos parafusos
TI73x8,0	TI73x8,0	Início de ovalização dos furos no TI e Ruptura no TI/ Ovalização dos furos no TE e Ruptura no TE/ Flexão nos parafusos
TI73x8,8	TI73x8,8	Ovalização dos furos no TE e Ruptura no TE/ Flexão nos parafusos
TI73x10,0	TI73x10,0	Ovalização dos furos no TE e Ruptura no TE/ Flexão nos parafusos

Foi observado que a ovalização dos furos e a ruptura são modos de falha que estão acoplados para essa tipologia de configuração geométrica estudada, presentes em todos os modelos analisados. A flexão excessiva dos parafusos não ocorreu para tubos com pequenas espessuras (4,0 e 5,0 mm).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi avaliar de forma qualificativa os modos de falha de uma ligação luva em perfis tubulares, submetidos à tração, por meio de parafusos passantes aos tubos, cruzados a 90° por meio da variação do diâmetro e da espessura dos tubos.

As análises foram realizadas para ligação luva com tubo externo com diâmetro de 88,9 mm e espessura de 5,5 mm e 6,0 mm e tubo interno (luva) com diâmetro de 73,0 mm também com espessura variando entre 4,0;4,5;5,0;5,5;6,0;6,4;7,1;8,0;8,8 e 10,0 mm. Os parafusos do modelo possuíam diâmetro de 12,7 mm.

Para analisar a influência da variação desses parâmetros no comportamento desta ligação e em seus possíveis modos de falha, foi desenvolvido um modelo numérico via método dos elementos finitos com uso do software ANSYS 12.1 (ANSYS, 2009) e calibrado por meio de resultados de ensaios experimentais desenvolvidos por Amparo (2014).

Os resultados experimentais e numéricos foram comparados a partir da análise numérica não linear. O modelo de elementos finitos mostrou-se adequado para a análise do comportamento da nova ligação, baseando-se nas curvas de Força *versus* Deslocamento bem como na distribuição de tensão de von Mises.

Na análise e identificação dos modos de falha presentes em cada modelo foi observado grande similaridade no comportamento dos modelos, tanto em nível de capacidade máxima quanto para os modos de falha para os modelos com espessuras de tubo interno iguais. Estas semelhanças podem ser explicadas pela proximidade da espessura de um tubo para outro 5,5 mm e 6,0 mm, diferença de apenas 0,5 mm.

Os modos de falha identificados nos modelos foram a ovalização dos furos, a ruptura da seção líquida e a flexão nos parafusos. Observou-se que esses modos de falhas estão acontecendo em conjunto, de forma acoplada, ou seja, existe uma associação dos três modos para os modelos analisados.

Observou-se que a falha por flexão excessiva dos parafusos não ocorreu para tubos com pequenas espessuras (4,0 e 5,0 mm). Foi, então, observado que é possível agrupar os modelos de acordo com a esbeltez existente, separando-os de acordo com suas propriedades geométricas e segundo os comportamentos semelhantes para diferentes níveis de capacidade de carga.

Portanto, dessa forma, pode ser possível a avaliação mais criteriosa do modo de falha dominante no modelo. O que permitirá uma proposição de formulações analíticas para o dimensionamento dessa nova tipologia de ligação. Destaca-se, porém, a necessidade de avaliação isolada dos modos de falha presentes na ligação, bem como uma variação mais ampla dos parâmetros geométrico da ligação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFSJ, UFOP, CAPES, CNPq e FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 8800, 2008. *Projeto de Estrutura de Aço e de Estrutura Mista de Aço e Concreto de Edifícios*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ANSYS, 2009. *User's Manual*. Help, Inc. theory reference (version 12.1).
- Amparo, L.R., 2014. Análise Teórico-Experimental de ligações tipo luva compostas por perfis tubulares com parafusos em linha e cruzados. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal de Ouro Preto, MG.
- Amparo, L. R., Freitas, A. M. S., Requena, J. A. V., Araújo, A. H. M., 2014. Theoretical and experimental analysis of bolted sleeve connections for circular hollow sections. *Eurosteel 2014*, Napoles, Italy.
- Amparo, L. R., Escanio, L. A., Freitas, A. M. S., Pereira, C. O.V.R., Requena, J. A. V., 2015a. Análise numérica e experimental de ligação tipo luva em perfis tubulares com parafusos cruzados connections. *XXXVI Ibero-Latin American Congress in Computational Methods in Engineering – CILAMCE2015*, Rio de Janeiro, Brazil.
- Amparo, L. R., Freitas, A. M. S., Requena, J. A. V., Araújo, A. H. M., 2015b. Analysis of the possible failure modes in CSH bolted sleeve connections. *Tubular Structures XV*, Anais do 15º ISTS - International Symposium on Tubular Structures, Rio de Janeiro, Brazil.
- Amparo, L. R., Escanio, L. A., Freitas, A. M. S., Requena, J. A. V., 2016. Avaliação da influência da variação do número de parafusos na ligação tipo luva em perfis tubulares com parafusos cruzados. *XXXVII Ibero-Latin American Congress in Computational Methods in Engineering – CILAMCE2016*, Brasília, Brazil.
- Luo, F. J, Bai, Y., Yang, X. e Lu, Y., 2016. Bolted Sleeve Joints for Connecting Pultruded FRP Tubular Components. *Journal of Composites for Construction*. 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000580, 04015024.
- Salmon, C. G. e Johnson, J. E., 1990. *Steel Structures – Design and Behavior. Emphasizing Load and Resistance Factor Design*. Third Edition.
- Salmon, C. G. e Johnson, J. E., 2009. *Steel Structures – Design and Behavior. Emphasizing Load and Resistance Factor Design*, Fifth Edition.
- Silva, J. M., 2012. Análise teórica-experimental de ligações tipo tubulares tipo "luva". *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Simões, R., Jordão, S., Freitas, P., 2014. Ligações de emenda entre perfis tubulares. *Revista da Estrutura do Aço*, vol. 3, n. 2, pp. 168-186.
- Vieira, R. C., Vieira, R. F. Requena, J. A. V and Araújo, A. H.M. (2011). Numerical Analysis of CHS bolted sleeve connections. *Eurosteel 2011*, Budapest, Hungary.
- Vieira, R. C., 2014. Análise numérica e experimental de ligações tubulares de aço do tipo luva parafusada. *Tese de Doutorado*. Universidade Estadual de Campinas.
- Vieira, R. C., Requena, J. A. V., Sarmanho, A. M., Araújo, A. H.M., (2016). Análise numérica de ligação em luva parafusada para perfis tubulares circulares. *Revista da estrutura de Aço*. Volume 5. Número 1 (abril/2016). p. 1 – 20, Brasil.