



ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE LIGAÇÃO TIPO LUVA EM PERFIS TUBULARES COM PARAFUSOS CRUZADOS

Lucas Roquete Amparo

lucasroquete@gmail.com

DTECH, Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ

Campus Alto Paraopeba, Fazenda do Cadete, 36420-000, Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil.

Lucas Alves Escanio

Arlene Maria Cunha Sarmanho

Caio Orsi Vieira Ramos Pereira

lucasaescanio@gmail.com

arlene.sarmanho@gmail.com

caio.orsi.pereira@gmail.com

Escola de Minas, DECIV, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

Campus Morro do Cruzeiro, 35400-000, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

João Alberto Venegas Requena

requena@fec.unicamp.br

FEC, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

FEC, DES, 1 andar, 13083-852, Campinas, São Paulo, Brasil

Abstract. *Este trabalho apresenta um estudo de uma nova tipologia de ligação denominada como luva. O trabalho tem como objetivo a avaliação dos modos de falha nos perfis tubulares, submetidos à tração, conectados por um tubo interno (luva) por meio de parafusos passantes aos tubos, cruzados a 90°. Os estudos foram realizados por análises numéricas e experimentais. O programa experimental, realizado no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da UFOP, foi constituído por ensaios de cinco protótipos submetidos à tração. Para analisar o comportamento desta ligação e seus possíveis modos de falha, foi desenvolvido um modelo numérico via método dos elementos finitos. O modelo numérico calibrado poderá ser parametrizado de modo a avaliar a influência na ligação com a modificação das características dos protótipos, permitindo a análise dos modos de falha da ligação. Dessa forma é possível a proposição de formulações analíticas para o dimensionamento dessa nova tipologia de ligação.*

Keywords: *Estruturas metálicas, Perfis tubulares, Ligações, Análise numérica.*

1 INTRODUÇÃO

Os perfis de aço de seção tubular tem sido amplamente empregados em sistemas de coberturas treliçados para grandes vãos. Estes perfis possuem 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.

Além das vantagens estruturais, os perfis tubulares também possuem vantagens estéticas, proporcionando maior harmonia com o ambiente, permitindo a estrutura ficar aparente sem prejudicar o conforto estético. Os perfis tubulares também possuem menor área de pintura quando comparados com os perfis de seção aberta, proporcionando economia com proteções à corrosão e também na manutenção dos perfis, já que não possuem cantos e arestas que permitem o acúmulo de sujeira e poeira.

Diversas pesquisas estão sendo realizadas com perfis tubulares, em âmbito teórico, numérico e experimental e visando a utilização destes perfis na construção civil e o desenvolvimento de novas tipologias de ligação que sejam mais adequadas à fixação dos elementos. (Choo et al (2006), Beke e Kyocak (2008), Fleischer e Puthli (2006), Samara (2007), Kindman et al (2008), Mayor (2010), Nunes (2012), Vieira (2011), Silva (2012), Amparo (2014), Amparo et al (2014), Simões et al (2014) e Amparo et al (2015)).

Visando a otimização de montagem de sistemas treliçados compostas por perfis tubulares de seção circular propõe-se um tipo de ligação entre perfis tubulares chamada de "luva". A ligação proposta foi desenvolvida visando a união de barras tubulares de módulos de treliça e visando a facilidade no transporte e na montagem de sistemas de cobertura treliçados. A ligação tipo "luva" é uma nova tipologia de ligação e é composta por dois tubos externos (banzos) ligados internamente por um outro tubo (luva) através de parafusos passantes. Fig. 1 ilustra uma representação de uma ligação tipo "luva" com parafusos em linha e 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.

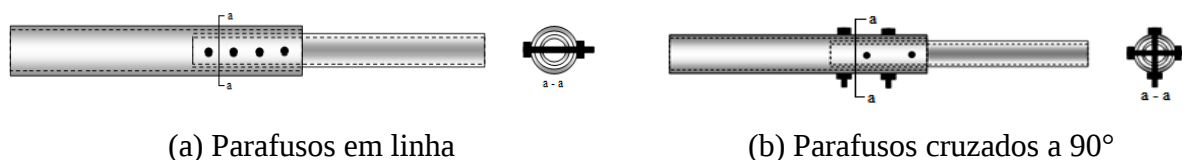


Figura 1. Representação da ligação tipo luva

Este trabalho tem como objetivo a obtenção de um modelo numérico calibrado da ligação em luva parafusada submetida à tração, que permita a análise do comportamento, verificação dos modos de falha, deslocamentos e resistência dessas ligações. Será apresentada a modelagem numérica deste tipo de ligação assim como os seus resultados, que foram comparados com os resultados das análises experimentais de Amparo (2014). Com este modelo numérico será possível avaliar a viabilidade da utilização deste tipo de ligação, prevendo o seu modo de falha.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item são descritos os materiais e métodos dos ensaios experimentais. A definição do modelo (características geométricas do modelo utilizado e a caracterização do material ensaiado) e suas condições de contorno são essenciais para nortear tais ensaios.

2.1 Seção tubular e identificação dos corpos de prova

As características dos perfis de seção tubular utilizados neste trabalho são apresentadas na Tabela 1, as dimensões apresentadas são comumente usadas em estruturas treliçadas. A identificação dos protótipos foi feita baseada disposição cruzada ou alinhada dos parafusos, este estudo apresenta apenas uma avaliação dos protótipos com parafusos cruzados. A simbologia foi demarcada nos corpos-de-prova a fim de se organizar os procedimentos de ensaio. Utilizou-se parafusos estruturais CISER ASTM A325, com diâmetro de 12,7 mm e comprimento de 114,3 mm.

Tabela 1. Identificação dos protótipos

Identificação Dos Protótipos	Números de Protótipos	Números de Parafusos	Tubo externo				Tubo interno			
			Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Resistência do aço		Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Resistência do aço	
					escoamento	ruptura			escoamento	ruptura
f_y	f_u	f_y	f_u							
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)							
CC-5-X2Y3	2	5	88,9	5,5	375,0	474,0	73,0	5,5	399,5	539,5

2.2 Condições de ensaio

Para a realização dos ensaios foram utilizados apenas dois tubos, um externo e um interno, representando o banzo e a luva, respectivamente. O posicionamento dos protótipos na máquina de ensaios somente foi possível mediante a utilização de um perfil “T” soldado nos tubos de tal forma que permitisse o encaixe dos protótipos na máquina de ensaio e a transmissão uniforme do carregamento de tração para os mesmos (Fig. 2).



Figura 2. Esquema geral da fixação dos tubos na máquina de ensaio

3 ANÁLISE NUMÉRICA

Para avaliação do comportamento de uma nova concepção estrutural faz-se uso das análises experimentais e numéricas. Análises experimentais são mais dispendiosas, demandam mais recursos, tempo na sua realização e preparo, devido a isso opta-se pelas análises numéricas que são mais rápidas e econômicas podendo variar diversos parâmetros do modelo de forma rápida e com boa precisão, todavia para conhecer o real comportamento do modelo em análise torna-se necessária a realização de análises experimentais para calibração do respectivo modelo. Neste item será descrita a metodologia utilizada na análise numérica.

3.1 Modelo numérico

O método numérico empregado para análise foi o Método dos Elementos Finitos através do software ANSYS 12.1 (ANSYS, 2009). Observa-se que os modelos de elementos finitos têm seus resultados sensíveis às condições de contorno, refinamento da malha e o tipo de elemento utilizado. Estes aspectos são descritos a seguir.

3.1.1 Tipo de Elementos

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. 3. Este é um elemento de sólido estrutural homogêneo de ordem superior que possui 20 nós e que aceita malhas irregulares, possibilitando a aplicação de carga em qualquer direção. O elemento possui três graus de liberdade por nó.

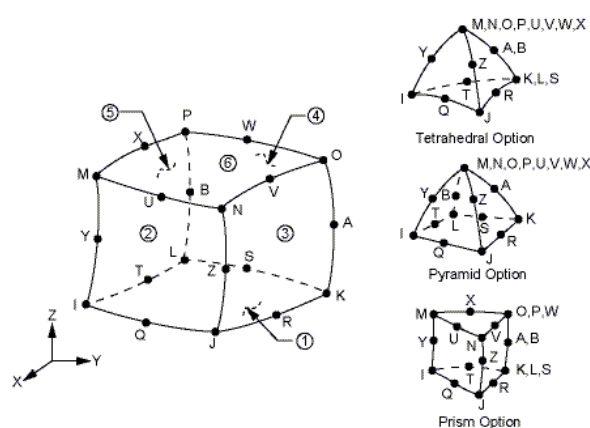
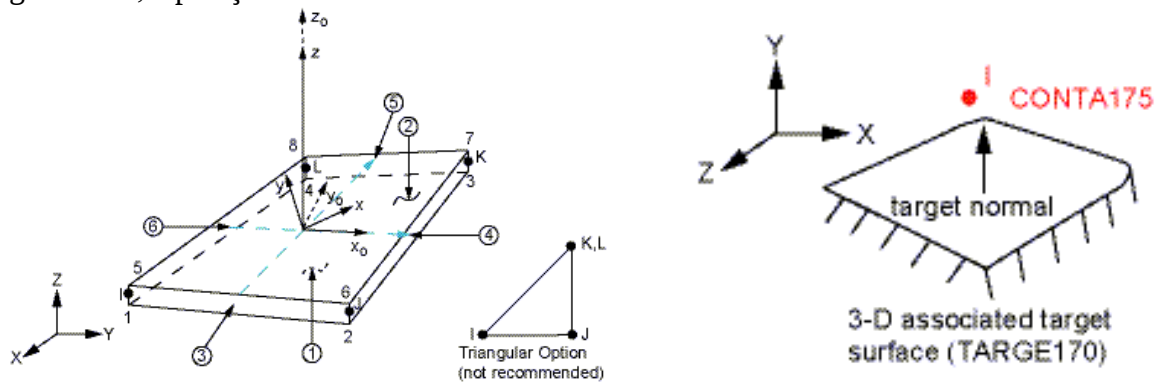


Figura 3. Elemento sólido SOLID 186 FONTE: ANSYS (2009)

Para modelar os tubos, foi escolhido o elemento SHELL181, Fig. 4(a). Este 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). Sendo esta escolha baseada em estudos anteriormente realizados por Vieira (2011). Para o contato entre o tubo e os parafusos, utilizou-se o par de elementos CONTA 175 e TARGE 170. Esses dois elementos em conjunto formam um par de contato, sendo determinada uma superfície CONTA 170 e pelo menos um nó CONTA 175, Fig. 4(b). Onde o contato é simulado de modo que os

esforços atuem de forma perpendicular à superfície determinada. A Fig. 4(b) apresenta a geometria, a posição dos nós e o sistema de coordenadas do elemento de contato.



(a) Elemento de casca SHELL 181

(b) Elemento de contato CONTA 175

Figura 4. Elemento de casca e de contato FONTE: ANSYS (2009)

3.1.2 Malha

O refinamento da malha é fundamental para a qualidade dos resultados. Buscou-se então um refinamento adequado ao problema, buscando maior precisão com menor custo computacional. Foram testados vários níveis de refinamento e comparados. Sendo assim, o tamanho da malha que apresentou resultado satisfatório foi de 7 mm para os elementos SHELL181 e de 4 mm para SOLID186.

3.1.3 Condições de contorno

Para estabelecer as condições de contorno, os nós das extremidades dos tubos foram acoplados para que o deslocamento aplicado no tubo interno fosse igualmente distribuído ao longo da extremidade do tubo (Fig. 5(a)).

Para estabelecer 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. 5(b)). Nos nós da extremidade do tubo interno foi aplicado um deslocamento de 19 mm na direção z (horizontal), simulando a tração aplicada pela prensa, uniformemente distribuída pelos nós.

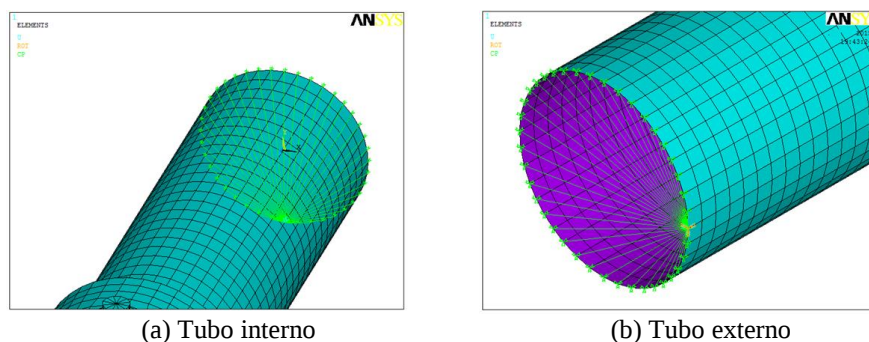


Figura 5. Condições de contorno implementadas no modelo de elementos finitos: (a) acoplamento dos nós para aplicação do deslocamento no tubo interno; (b) acoplamento dos nós para impedir o deslocamento e a rotação da extremidade do tubo externo.

3.2 Geometria do modelo

Devido ao processo de instrumentação dos parafusos para análise experimental houve uma redução do diâmetro do parafuso, na região de aplicação dos extensômetros. Dessa forma o modelo numérico apresenta 10,7 mm de diâmetro dos parafusos. Os tubos foram modelados com comprimento idêntico aos tubos ensaiados, 435 mm para o tubo externo e 395 mm para o tubo interno (“luva”).

Uma simplificação adotada foi a não modelagem da cabeça dos parafusos. Segundo VIEIRA (2014) 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 que o contato entre os parafusos e os tubos produzisse melhores respostas criou-se um volume com a mesma espessura do tubo, simulado como sólido e não casca, em uma região próxima dos furos, e de diâmetro definido como o diâmetro do furo mais o tamanho do elemento utilizado. A Fig. 6 apresenta o detalhe dos volumes criados próximos ao furo e a geometria do modelo simulado.

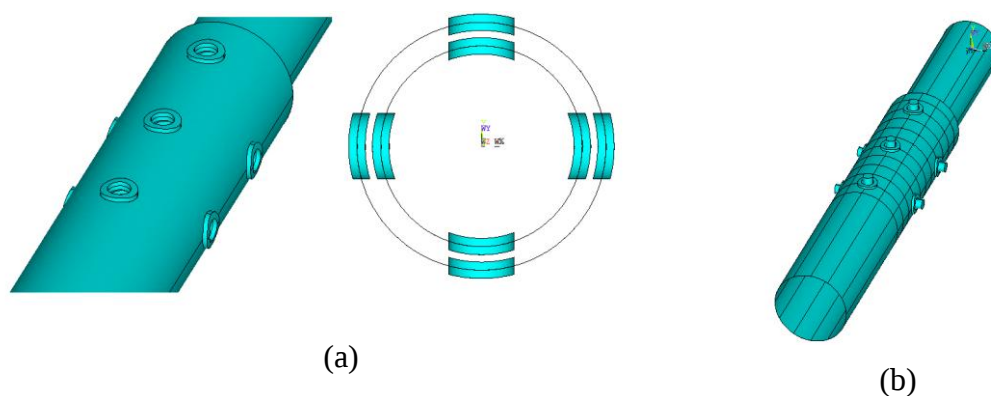


Figura 6. Configuração do modelo simulado: (a) detalhes do volume criado na região dos furos; (b) Configuração do modelo.

Para permitir a transmissão dos esforços entre o tubo interno e externo para os parafusos foram utilizados os elementos de contato apresentados no item 3.1.1. O tubo interno foi deslocado (Fig.7) para eliminar a folga existente entre os parafusos e os tubos. Evitando dessa maneira deslocamentos de corpo rígido devido à folga entre os parafusos e os tubos.

Os elementos de contato foram definidos considerando os nós ligados à superfície interna do volume criado ao redor dos furos e os nós da superfície dos parafusos, onde o coeficiente de atrito considerado foi de 0,3, também o comportamento do contato foi considerado *Bonded*.

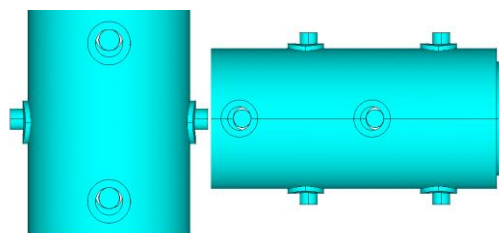


Figura 7. Configuração do modelo após o ajuste da folga

3.3 Análise não linear

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.

Para a análise do modelo foram consideradas a não linearidade física e geométrica. Para a não linearidade geométrica utilizou-se a formulação Lagrangeana, com a atualização da matriz de rigidez a cada iteração.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com a definição de parâmetros geométricos dos protótipos, a análise experimental se torna de suma importância como referência para os resultados obtidos numericamente. Os procedimentos foram executados no Laboratório de Estruturas (DECIV/EM/UFOP). Foram realizados dois ensaios com os corpos de prova descritos no item 2. Os protótipos usados para comparação e calibração do modelo foram ensaiados por Amparo (2014).

4.1 Prensa hidráulica, transdutores de deslocamentos e aquisição de dados

O equipamento, utilizado na aplicação da força centrada de tração, foi a prensa servo-hidráulica (INSTRON SATEC 5569), apresentada na Fig. 8. Os deslocamentos verticais, oriundos da carga de tração aplicada no protótipo, foram acompanhados por um transdutor de deslocamento (LVDT), localizado no perfil “T” soldado ao tubo.



Figura 8. Prensa hidráulica INSTRON

A aquisição de dados foi feita através do software da própria prensa Partner (Instron., 2008), que coletou os dados da célula de carga e também por um sistema de aquisição independente, Spider8 (Hottinger Baldwin Messtechnik., 2003a), responsável pelos transdutores de deslocamento. Todos os ajustes necessários foram feitos através de computador por meio do software de aquisição, Catman 4.5 (Hottinger Baldwin Messtechnik., 2003b). A Fig. 9 apresenta os sistemas mencionados.



Figura 9. Aquisição de dados

5 RESULTADOS DE DISCUSSÕES

Este item apresenta a comparação dos resultados numéricos e experimentais. Por meio dos resultados obtidos experimentalmente, foi possível a identificação dos modos de falha presentes na ligação, essenciais para validação e calibração do modelo numérico.

5.1 Malha

A geração da malha em um modelo pode ser livre ou mapeada. No modelo apresentado foi utilizada a malha livre, pois esta apresenta melhor adaptação na região com furos e é menos dispendiosa em relação à malha mapeada. Para uma melhor organização da malha, principalmente na região próxima aos furos, a casca do tubo foi dividida em áreas menores, controlando o tamanho dos elementos que surgem na geração da malha livre, organizando-os principalmente nas regiões próximas aos furos. Na Fig. 6(b) pode-se observar a divisão das áreas dos tubos. A Fig. 10 apresenta-se a malha do modelo numérico.

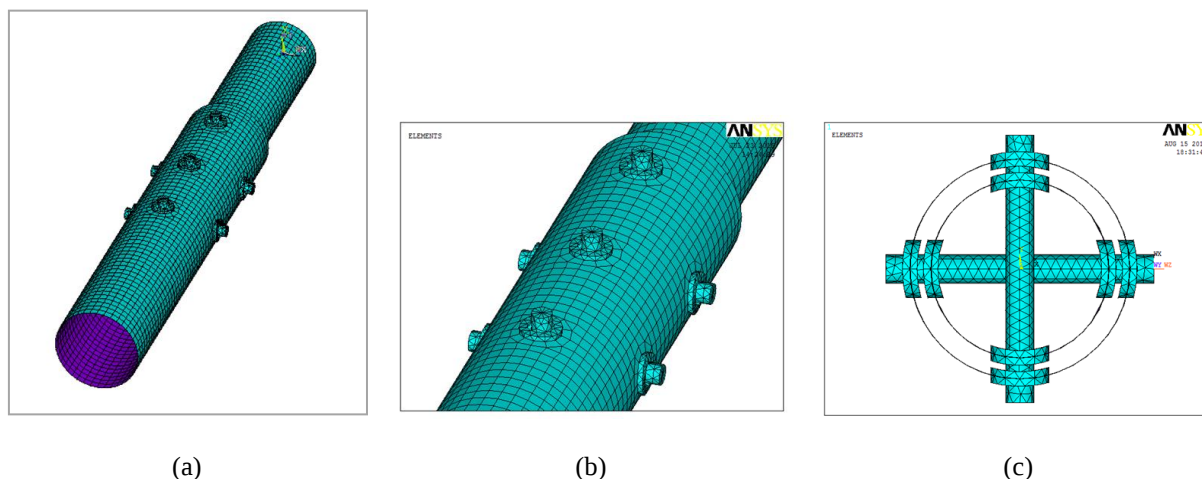


Figura 10. Configuração da malha do modelo numérico: (a) malha do modelo; (b) malha na região dos furos; (c) malha nos parafusos

5.1.1 Estudo e escolha da malha

Para definir um tamanho adequado de malha realizou-se um estudo com variação do tamanho dos elementos do tipo casca (SHELL181). Para a comparação foi analisada a influência desta variação, o número de elementos gerados, no tempo de processamento e também a influência desta variação em relação à força e o deslocamento.

Os tamanhos analisados da malha dos elementos tipo casca (SHELL181) foram 4 mm, 6mm e 7 mm e para os elementos sólido (SOLID186) somente de 4mm. As respectivas quantidades de elementos gerados estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de elementos gerados

Tamanho dos elementos (mm)	Quantidade de elementos
SHELL181	
4	25341
6	17875
7	14431

A quantidade de elementos produzidos na geração da malha influencia no tempo de processamento da análise. Quanto menor o tamanho da malha maior é a quantidade de elementos formados e quantos mais elementos presentes no modelo maior será o tempo de processamento da análise. Fato que foi comprovado nas análises, o modelo com malha de 4mm apresenta um maior tempo de processamento comparado com o modelo com 7 mm.

Para comparação do comportamento dos diferentes tamanhos de malha foi aplicado um deslocamento de 10 mm na extremidade do tubo interno e obtidos resultados de força e deslocamentos dos respectivos modelos em análise. A Fig.11 apresenta curvas de Força versus Deslocamento para o modelo com malha de 4 mm, 6 mm e 7 mm.

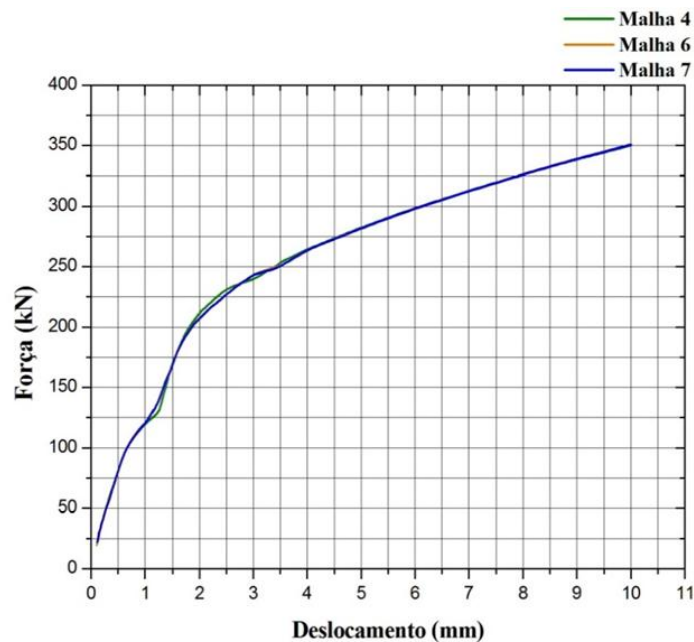


Figura 11. Curva Força versus Deslocamento

Comparando as três malhas analisadas observa-se um comportamento bastante semelhante, com relação à força e o deslocamento. Na Tabela 3 apresenta-se o valor do carregamento aplicado para um deslocamento de 10 mm para as respectivas malhas de 4 mm, 6 mm e 7 mm. O deslocamento no modelo numérico foi obtido medindo o deslocamento na extremidade do tubo interno e as cargas obtidas da reação na extremidade do tubo externo.

Tabela 3. Respetivo carregamento para 10mm de deslocamento

Malha	Força (kN)
4	350,2
6	350,8
7	350,9

É possível observar com por meio da curva da Fig. 11 e da Tabela 3 que a mudança no tamanho dos elementos tipo casca não influencia significativamente os resultados, apenas aumenta o número de elementos como pode ser evidenciado na Tabela 2, o que gera um maior gasto computacional e consequentemente em um maior tempo de processamento.

Dessa forma, optou-se por utilizar malhas de tamanho 4 mm para os elementos tipo sólidos (SOLID186) e de 7 mm para os elementos tipo casca (SHELL181) pois não apresentaram divergências de resultados comparados com malhas menores, nem dificuldade de convergência e sua escolha permite o ganho em tempo de processamento da análise.

5.2 Calibração do modelo numérico

Neste item será feita uma avaliação e calibração do modelo numérico por meio da comparação com os resultados experimentais dos protótipos CC-5X2Y3/1 e CC-5-X2Y3/2.

A Fig. 12 apresenta os protótipos após a realização dos ensaios, com os respectivos detalhes da região de ruptura.

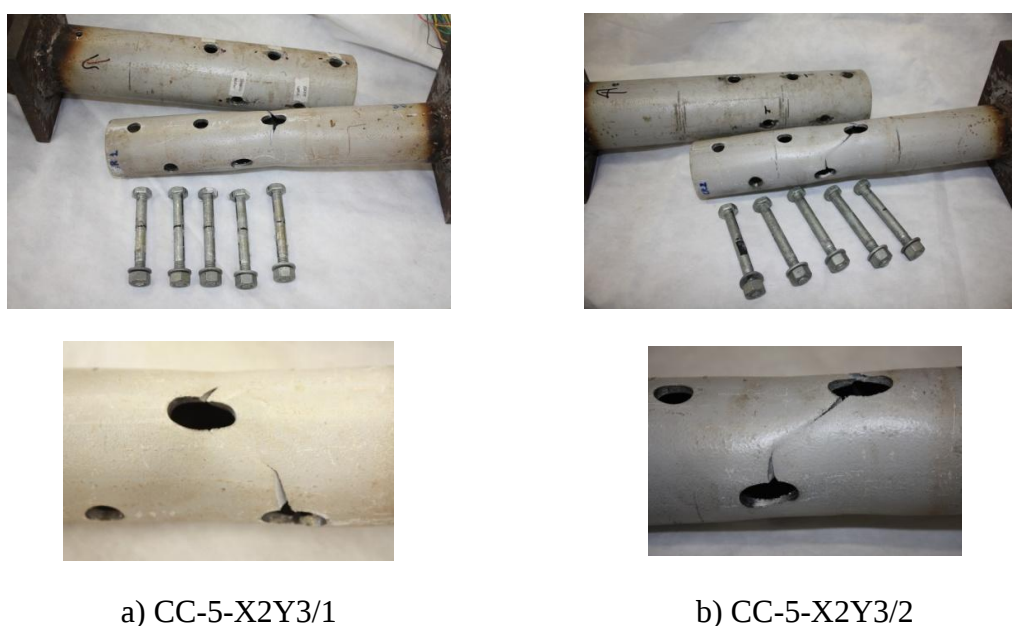


Figura 12. Configuração dos protótipos e detalhe da região de ruptura.

A ruptura foi caracterizada nos tubos internos da ligação (luva), foi observada a na configuração de rasgamento da seção, ocorrendo na diagonal entre os dois últimos furos do tubo interno. Conclui-se então que existe uma concentração de tensões nesta região em diagonal de um furo para o seguinte.

A Fig. 13 apresenta o comportamento do modelo numérico, após análise no software ANSYS. Uma comparação da configuração final do modelo experimental com o modelo numérico é apresentada na Fig. 14.

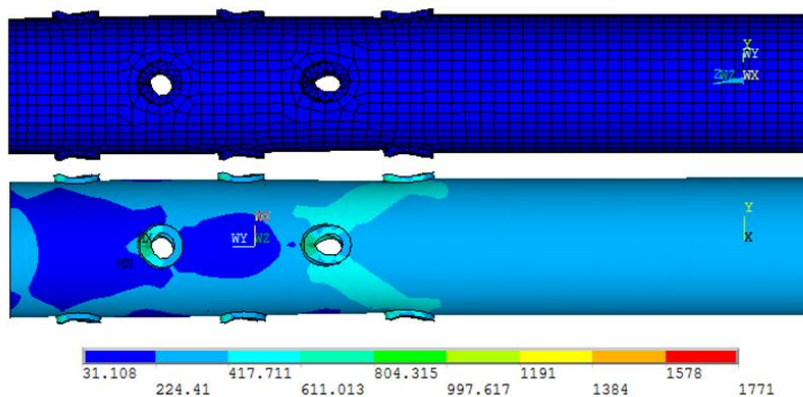


Figura 13. Configuração deformada e tensão de Von Mises no tubo interno

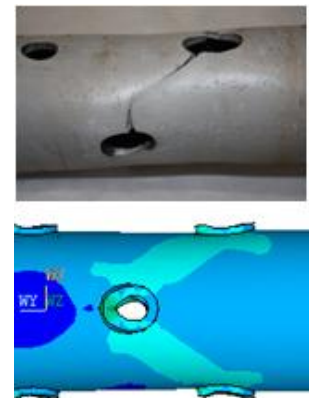


Figura 14. Modelo experimental e numérico

Observa-se que o modelo numérico conseguiu reproduzir o mesmo comportamento da luva, obtido no ensaio experimental. A configuração de rasgamento da seção ocorre na diagonal entre os dois últimos furos do tubo interno, existe então uma concentração de tensões nessa região, o que de fato pode ser observado no modelo numérico (Fig.14). Outro fator que pode ser observando em ambos modelos, experimental e numérico é a ovalização dos furos, que caracteriza um estado limite.

A Fig.15 apresenta as curvas Força *versus* Deslocamento dos modelos experimentais dos protótipos CC-5X2Y3/1 e CC-5-X2Y3/2 (Amparo, 2014) e do modelo numérico.

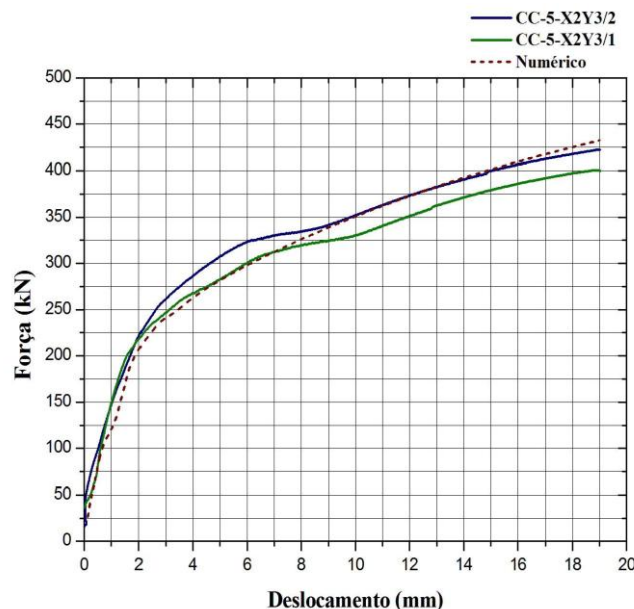


Figura 15. Curvas de Força *versus* Deslocamento dos modelos numérico e experimental

Observa-se 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. Essas diferenças podem ser atribuídas a imperfeições existentes no ensaio da ligação. Apesar das diferenças observadas, o comportamento da curva do modelo numérico comparado às do experimental sugere uma compatibilidade entre os modelos. O fato da curva numérica estar abaixo da curva experimental garante uma segurança na modelagem numérica.

Feitas estas comparações pode-se dizer que o modelo numérico está validado para representar o comportamento da ligação tipo luva para a série de protótipos com 5 parafusos cruzados a 90°.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi a calibração de um modelo numérico para avaliar o comportamento de uma nova tipologia de ligação chamada “luva”. A ligação tipo “luva” é composta por dois tubos externos (banzos) ligados internamente por um outro tubo (luva) através de parafusos passantes. Foram realizadas análises numéricas e experimentais.

Os protótipos foram constituídos por dois tubos, um externo e um interno, representando a “luva”, ligados por meio de parafusos passantes e cruzados a 90°. A identificação dos protótipos para as análises experimentais foi feita baseada nas características dos tubos usados para confecção dos protótipos.

O programa experimental, realizado no Laboratório de Estruturas da UFOP, foi constituído por ensaios de tração centrada. A geometria dos protótipos foi definida por Amparo (2014). A instrumentação adequada, juntamente com a aplicação da carga com controle de deslocamentos, atenderam aos objetivos do ensaio, mostrando-se adequadas e seguras. Permitindo uma adequada análise dos resultados experimentais.

Os resultados experimentais apresentaram elevadas capacidades de resistência e não apontaram, em nenhum dos protótipos ensaiados, fatores que comprometessem a viabilidade de utilização dessa nova tipologia de ligação. Verificando-se, portanto, condições satisfatórias para uso dessa nova tipologia de ligação.

Para o desenvolvimento do modelo numérico, foi utilizado o software de elementos finitos ANSYS 12.1. A partir das comparações realizadas com os ensaios experimentais, o modelo de elementos finitos mostrou-se adequado para a análise do comportamento da nova ligação.

No estudo da melhor configuração de refinamento de malha dos elementos, conclui-se que o uso de elementos de 7 mm em vez de 4 mm não prejudica a análise do comportamento da ligação. O uso de uma malha maior, ou seja, com menos elementos, reduziu o tempo computacional e não afetou os resultados da análise.

Os resultados experimentais e numéricos foram comparados a partir da análise numérica não linear, e indicaram boa correlação entre os modelos. Apesar das diferenças observadas nas curvas de Força versus Deslocamento dos modelos, o comportamento da curva do modelo numérico comparado às do experimental sugere uma compatibilidade entre os modelos. O modelo numérico apresenta segurança em relação ao modelo experimental, visto que a curva numérica apresentou um comportamento abaixo da curva experimental. Estas comparações permitem dizer que o modelo numérico está validado para representar o comportamento da ligação tipo luva para a série de protótipos com 5 parafusos cruzados a 90°.

Com esse modelo numérico calibrado poderão ser feitas análises paramétricas, variações das características dos tubos e parafusos (diâmetro, espessura, etc.) de modo a avaliar a influência da modificação das características dos protótipos no comportamento da ligação, permitido a análise dos possíveis modos de falha da ligação. Dessa forma é possível a proposição de formulações analíticas para o dimensionamento dessa nova tipologia de ligação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFOP, PROGRAD, CAPES, CNPq, FAPEMIG e a empresa Vallourec do Brasil.

REFERÊNCIAS

ABNT 2008. 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), 2009.

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., Freitas, A. M. S., Requena, J. A. V., Araújo, A. H. M., 2015. Analysis of the possible failure modes in CSH bolted sleeve connections. *Anais do 15º ISTS - Tubular Structures XV, International Symposium on Tubular Structures*, Rio de Janeiro, Brazil.

Beke P., Kvocak V. (2008). Analysis of joints created from various types of sections. *Eurosteel 2008*.

Choo, Y. S., Qian, X. D., Wardenier, J., (2006). Effects of boundary conditions and chord stresses on static strength of thick-walled CHS K-joints. *Journal of Constructional Steel Research* 62, p. 316–328.

Fleischer, O., Puthli, R., (2006). Evaluation of experimental results on slender RHS K gap joints. *Anais do 11º ISTS, International Symposium on Tubular Structures*, Québec, Canada.

Hottinger Baldwin Messtechnik., (2003a). Manual de operação Spider8 e Spider8-30.

Hottinger Baldwin Messtechnik., (2003b). Catman 4.5 Operating Manual.

Instron., (2008). Partner Operating Help - Version 8.4a.

Kindman R., Kraus M., Vette J. (2008). On the verification of hollow sections joints resistances. *Eurosteel 2008*.

Mayor, I. S., (2010). Análise Teórica-Experimental de ligações tipo K e KT composta por perfis tubulares de seção retangular e circular. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal de Ouro Preto.

Nunes, G. V., (2012). Estudo paramétrico de ligações tipo “T”, “K” e “KT” compostas por perfis tubulares de seção retangular e circular. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal de Ouro Preto.

Salmon, C. G. e Johnson, J. E. (2009). *Steel Structures – Design and Behavior*. EUA: Pearson.

Samarra, F. A., (2007). Estudo numérico – experimental de treliças tubulares planas para coberturas padronizadas para grandes vãos. *Dissertação de mestrado*. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

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.