



A: XXXIX-0000

APLICAÇÃO DA LIGAÇÃO LUVA EM UMA ESTRUTURA DE COBERTURA COM SISTEMA TRELIÇADO MODULAR

USE OF SLEEVE CONNECTION IN ROOF STRUCTURE WITH TRUSS SYSTEM

Lucas Roquete (1); Matheus M. de Oliveira (P)(2); Samuel O. Neto (3);
Arlene M. C. Sarmanho (4);

- (1) Dr. Prof., Dep. Tec. em Eng. Civil, Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil.
- (2) Eng. Civil, MSc, Doutorando, Dep. Eng. Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.
- (3) Dep. Tec. em Eng. Civil, Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil.
- (4) Dra. Profa., Dep. Eng. Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.

Endereço para correspondência: lucasroquete@ufsj.edu.br; matheusmoliveira4@gmail.com; (P) Apresentador

Área temática: Projeto e Construção de Estruturas.

Resumo

Uma boa solução para o vencimento de grandes vãos é o uso de perfis de aço com seção tubular. Esses perfis possuem excelentes características relacionadas a resposta aos esforços estruturais. Perfis com comprimentos menores são mais viáveis devido a facilidade de transporte, porém para conectá-los há necessidade de se realizar ligações de emenda. Para atender requisitos de eficácia e estética foi proposta uma nova tipologia de ligação de emenda de barras, a ligação tipo luva. Essa ligação consiste na união entre dois tubos externos por um outro de menor diâmetro através de parafusos passantes. Esse estudo tem como objetivo apresentar a ligação tipo luva como uma solução construtiva conectando módulos treliçados para sistemas de cobertura. A tipologia modular proposta é composta somente por perfis tubulares circulares, formando uma treliça por ligações soldadas entre banzos, diagonais e montantes. Em cada extremidade dos banzos a luva é utilizada possibilitando a conexão entre eles. Os esforços solicitantes foram obtidos no dimensionamento de uma estrutura com o programa SAP2000. A capacidade resistente do sistema treliçado foi avaliada de acordo com os possíveis modos de falha apresentados na literatura. Os resultados foram comparados, avaliados e apresentaram viabilidade do uso estrutural do modulo treliçado com a ligação tipo luva.

Palavras-chave: Estruturas de aço; Perfil tubular circular; Ligação luva; Ligações parafusadas; Ligações de emenda.

Abstract

A good solution for large spans is the use of steel profiles with a tubular section. These profiles have excellent characteristics related to the structural response. Profiles with shorter lengths are more viable due to the ease of transport, but to connect them it is necessary to make splice connections. To meet the requirements of efficiency and aesthetics, a new typology of bar splicing connection was proposed, the sleeve connection. This connection consists of the union between two external tubes by another one of smaller diameter through bolts. This study aims to present the sleeve connection as a constructive solution connecting truss modules for roofing systems. The proposed modular typology is composed only of circular hollow sections. The sleeve is used at each end, enabling the connection between them. The efforts were obtained by SAP2000 software. The load capacity of the truss system was evaluated according to the possible failure modes presented in the literature. The results were compared, evaluated and showed viability of the structural use of the truss modules with the sleeve connection.

Keywords: Steel structures; Tubular profile; Sleeve connection; Bolted connections; Splice connection.



1. INTRODUÇÃO

A rapidez de execução, estética e alta resistência a cargas são fatores que contribuem para o uso intensificado dos elementos estruturais metálicos. Dentre as estruturas metálicas os perfis tubulares em aço podem ser considerados uma solução para elementos estruturais que precisam vencer grandes vãos, pois são mais leves, econômicos e propiciam um aspecto agradável na estrutura. Desta forma infere-se que os tubos de aço se popularizam e possibilitam, de acordo com a criatividade, novas soluções para problemas atuais (Araujo et al., 2016).

Entretanto, quando é preciso vencer grandes vãos a utilização dos perfis tubulares pode ocasionar um desafio de projeto, uma vez que não se tem disponível no mercado da construção civil um tubo que se estende por todo comprimento da estrutura, já que os tubos fabricados são vendidos e entregues em barras de menor comprimento. Cria-se, então, a necessidade de um mecanismo para conectar um tubo ao outro permitindo sua continuidade. Visando apresentar uma solução para otimização desse processo, foi proposto através de Amparo (2014), Amparo et al. (2014), Roquete et al. (2017), Roquete (2018), Oliveira (2019), Oliveira et al. (2020), Roquete et al. (2021) e Roquete et al. (Roquete et al., 2022) uma nova tipologia de ligação de emenda de barras, a ligação tipo luva, conforme Figura 1. Essa ligação consiste na união entre dois tubos externos por um outro de menor diâmetro através de parafusos passantes.

Tendo em vista que o mercado está sempre à procura de soluções mais eficientes, as treliças projetadas a partir de perfis tubulares, apresentam uma capacidade de vencer maiores vãos com menor número de nós, o que torna o custo de fabricação menor (Wardenier et al., 2010). Assim, a ligação tipo luva foi desenvolvida para atender os requisitos de eficácia e estética, apresentando-se como uma alternativa para montagem de uma estrutura treliçada.

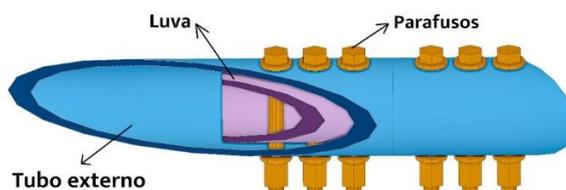


Figura 1. Ligação Tipo Luva

O presente estudo tem como objetivo apresentar o dimensionamento da ligação tipo luva como uma solução construtiva conectando módulos treliçados para sistemas de cobertura. A tipologia modular proposta é composta somente por perfis tubulares circulares, formando uma treliça por ligações soldadas entre banzos, diagonais e montantes. Em cada extremidade dos banzos a luva é utilizada possibilitando a conexão entre eles. Os esforços solicitantes foram obtidos no dimensionamento de uma estrutura com o software SAP2000. A capacidade resistente do sistema treliçado e da ligação luva foi avaliada de acordo com os possíveis modos de falha apresentados na literatura e prescrições normativas.

2. REVISÃO TEÓRICA

Para verificação dos esforços resistentes das barras da treliça, assim como a capacidade resistente das ligações utilizou-se a prescrição normativa ABNT NBR 8800 (2008): Projeto de



estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. E a NBR 16239 (2013): Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares. Para ligação luva, não prevista em normas, o dimensionamento foi feito baseando-se nos estudos apresentados por Roquete (2018), Oliveira (2019), Oliveira et al. (2020), Roquete et al. (2021).

A partir de aspectos construtivos apresentados na NBR 16239 (2013), destacam-se algumas informações referentes a esse estudo para o módulo do trabalho:

- Ligações somente com perfis tubulares circulares;
- Excentricidade zero;
- Ligações tubulares com sobreposição.

O tipo de ligação entre as diagonais, montantes e banzos, tem grande importância no desempenho estrutural da treliça de perfis tubulares. As ligações soldadas utilizadas no presente trabalho são classificadas pela NBR 16239 (2013), do tipo T, N, e KT com sobreposição. O dimensionamento das ligações, no que diz respeito a geometria e relações entre montantes, diagonais e banzos são determinadas na NBR 16239 (2013) e as resistências das soldas utilizadas nas ligações seguem o prescrito na NBR 8800 (2008).

2.1 Dimensionamento da ligação luva

A verificação da ligação luva é feita conforme formulações e parâmetros definidos por Roquete (2018), Oliveira et al. (2020) e Roquete et al. (2021).

Um ponto importante para o dimensionamento da ligação luva a tração é a esbeltez relativa, seu valor dever ser $\lambda_{rel} \geq 1,6$, garantindo assim a não ocorrência de falha no tubo interno da ligação. A avaliação da capacidade resistente da ligação luva é função da identificação da resistência para os 5 possíveis modos de falha:

- Modo 1: Escoamento da seção bruta (ESB);
- Modo 2: Ruptura da seção líquida (RSL);
- Modo 3: Cisalhamento do parafuso (CP);
- Modo 4: Ovalização do furo (OF); e
- Modo 5: Flexão dos parafusos (FP).

Para o dimensionamento adequado a seguinte verificação, (Eq. 1) deve ser realizada:

$$F_{Sd} \leq F_{Rd} \quad (1)$$

O menor valor entre os 5 modos define a resistência de cálculo da ligação luva, F_{Rd} , Eq. 2:

$$F_{Rd} = \min(N_{t,Rd1}; N_{t,Rd2}; F_{v,Rd}; F_{c,Rd}; F_{b,Rd}) \quad (2)$$

onde:

$N_{t,Rd1}$ – Força axial de tração resistente de cálculo (Modo 1 - ESB);

$N_{t,Rd2}$ – Força axial de tração resistente de cálculo (Modo 2 - RSL);

$F_{v,Rd}$ – Força de cisalhamento resistente de cálculo, por plano de corte (Modo 3 - CP);

$F_{c,Rd}$ – Força total resistente de cálculo à pressão de contato na parede dos furos, referente a ovalização dos furos (Modo 4 - OF);

$F_{b,Rd}$ – Força resistente de cálculo à flexão dos parafusos (Modo 5 – FP).

As formulações para cada modo, são apresentadas na Tabela 1.



Tabela 1. Procedimento para cálculo da ligação luva (Adaptado de Roquete 2018)

$F_{Rd} = \min(N_{t,Rd1}; N_{t,Rd2}; F_{v,Rd}; F_{c,Rd}; F_{b,Rd})$		
$\lambda_{rel} \geq 1,6$	$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_{TE}}{\lambda_{TI}}; \lambda_{TE} = \frac{D_{ext}}{t_{ext}}; \lambda_{TI} = \frac{D_{int}}{t_{int}}$	
	Modo 1 - ESB	
	$N_{t,Rd1} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$	
	Modo 2 - RSL	$\frac{l_c}{D_{ext}} \leq 3,00 \text{ e } \frac{d_b}{\lambda_{rel}} \leq 12,0$
	$N_{t,Rd2} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \begin{cases} A_e = C_t A_n \\ A_n = A_g - 2 d t_{ext} \\ C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c}; e_c = \frac{D}{2} \end{cases}$	
	<i>para $n < 4$: $l_c = l_{f1} + (n - 1)l_{f2}$</i> <i>para $n \geq 4$: $l_c = l_{f1} + 3l_{f2}$</i>	
	Modo 3 - CP	
	$F_{v,Rd} = 2n \frac{\alpha A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$	
	<i>quando o plano de corte na rosca: $\alpha = 0,4$</i> <i>quando o plano de corte fora da rosca: $\alpha = 0,5$</i>	
	Modo 4 - OF	
	$F_{c,Rd} = 2n \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$	
Modo 5 - FP	$5,75 \leq \frac{D_{ext}}{d_h} \leq 7,68$	
Para $n = 3 \text{ ou } 4$ $\left\{ F_{b,Rd} = \frac{n f_{y,b} W_b \pi D_{int}}{3 d x} / \gamma_{a1} \right.$		
Para $n = 5 \text{ ou } 6$ $\left\{ F_{b,Rd} = \frac{n f_{y,b} W_b \pi D_{int}}{3,5 d x} / \gamma_{a1} \right.$		
$x = \frac{(D_{ext} - t_{ext}) - (D_{int} - t_{int})}{2}$		
λ_{rel} – Esbeltez relativa dos tubos; λ_{TE} – Esbeltez do tubo externo; λ_{TI} – Esbeltez do tubo interno; D_{ext} – Diâmetro do tubo externo; t_{ext} – Espessura do tubo externo; D_{int} – Diâmetro do tubo interno; t_{int} – Espessura do tubo interno; d_b – Diâmetro do parafuso; d – Diâmetro do furo ($d_b + \text{folga}$); n – Número de parafusos; l_c – Comprimento efetivo da ligação; l_{f1} – Distância de furo a borda; l_{f2} – Distância de furo a furo; A_g – área bruta da seção do tubo; A_e – área líquida efetiva da seção do tubo; A_n – área líquida da seção do tubo;	A_b – área da seção do parafuso $A_b = 0,25\pi d_b^2$ C_t – Coeficiente de redução da área líquida; e_c – Excentricidade da ligação; D – Diâmetro do tubo externo, se obedecido $\lambda_{rel} \geq 1,6$; f_y – Resistência ao escoamento do aço do tubo; f_t – Resistência à ruptura do aço do tubo; $f_{y,b}$ – Resistência ao escoamento do parafuso; $f_{u,b}$ – Resistência à ruptura do parafuso; W_b – Módulo de resistência elástico da seção do parafuso; γ_{a1} e γ_{a2} – Coeficientes de ponderação da resistência; $N_{t,Rd1}$ – Força axial de tração resistente de cálculo (Modo 1); $N_{t,Rd2}$ – Força axial de tração resistente de cálculo (Modo 2); $F_{v,Rd}$ – Força de cisalhamento resistente de cálculo, por plano de corte (Modo 3); $F_{c,Rd}$ – Força total resistente de cálculo à pressão de contato na parede dos furos, referente a ovalização dos furos (Modo 4); $F_{b,Rd}$ – Força resistente de cálculo à flexão dos parafusos (Modo 5).	



3. MODELO DESENVOLVIDO

Para este trabalho foram definidos um galpão e um modelo de módulo treliçado. O sistema treliçado foi simulado com cargas usuais de um galpão com vão de até 18m. Os esforços referentes ao vento, foram determinados de acordo com a NBR 6123 (2013): Forças devidas ao vento em edificações. O software SAP2000 foi usado para determinação dos esforços solicitantes de cálculo. Para verificação dos esforços resistentes das barras da treliça, assim como a capacidade resistente das ligações utilizou-se a prescrição normativa ABNT NBR 8800 (2008) e a NBR 16239 (2013). O módulo da treliça adotado para estudo é apresentado na Figura 2, comprimento igual a 3 metros e as propriedades geométricas de cada barra que o compõe na Tabela 2.

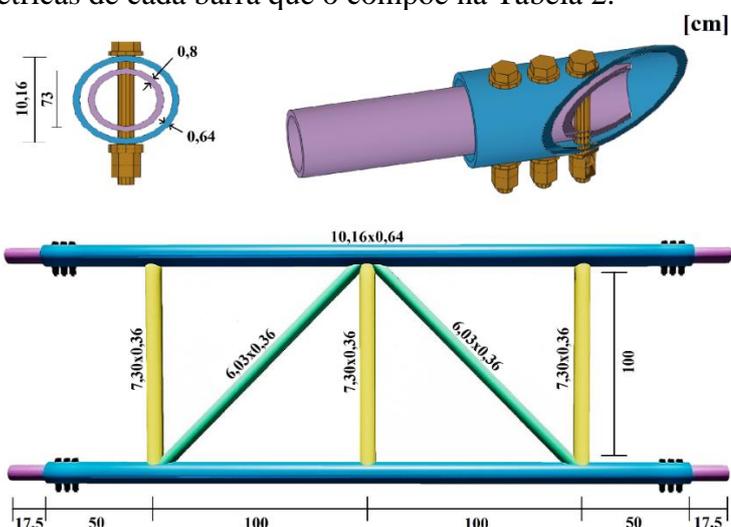


Figura 2. Módulo da treliça

Tabela 2. Propriedades geométricas dos perfis utilizados

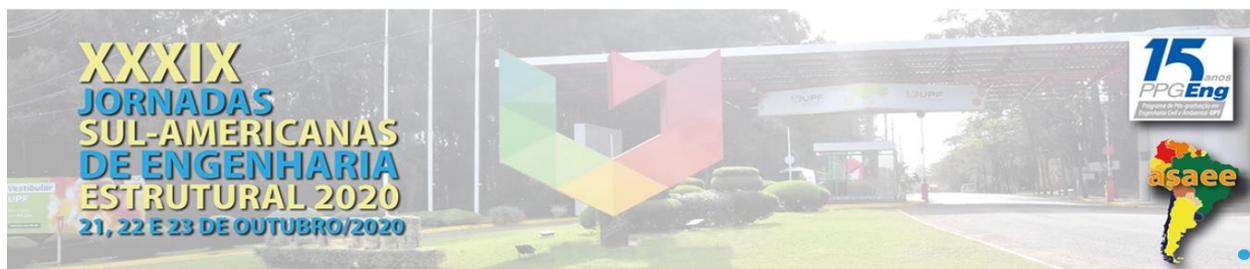
UN	Banzo Inferior	Banzo Superior	Montante	Diagonal 1	Diagonal 2
	HSS101.6X6.4	HSS101.6X6.4	HSS73.0X3.6	HSS60.3X3.6	HSS60.3X3.6
D ₀ mm	101,6	101,6	73	60,3	60,3
t ₀ mm	6,4	6,4	3,6	3,6	3,6

Para todos os perfis utilizados foi considerado a tensão de escoamento igual a 350 MPa, tensão última de ruptura igual a 485 MPa, módulo de elasticidade igual a 200 GPa. Para dimensionamento da solda foi adotada a tensão de escoamento igual a 485MPa. O ângulo entre as barras foi de 45°.

Para determinação dos esforços solicitantes, a estrutura foi simulada no software SAP 2000. As combinações de ações, usadas para aplicação no galpão são apresentados na Tabela 3. Os carregamentos aplicados foram: Sobrecarga (SC) mínima de 0,25 kN/m²; Peso das telhas (SC) considerado é 1,15 kN/m²; Peso próprio da estrutura (PP) determinado pelo SAP2000; e Vento de acordo com NBR 6123 (2013).

Tabela 3. Combinações de ações

ELS	ELU
PP + SC	1,4 PP + 1,5 SC
PP + Vento	PP + 1,4 Vento
	1,4 PP + 1,5 SC + 0,84 Vento



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os resultados obtidos no dimensionamento do sistema, a partir das formulações apresentadas no item 4. Sendo base para cálculo dos estados limites últimos dos tubos, parafusos, soldas e ligações a NBR 8800 (2008) e NBR 16239 (2013).

As verificações foram feitas por meio da implementação em planilhas das formulações necessárias para os cálculos. De acordo com o *software* SAP2000, na Tabela 4 apresenta-se de forma detalhada os valores dos esforços solicitantes de cálculo de cada barra do módulo do galpão.

Tabela 4. Esforços solicitantes

		Banzos	Montante	Diagonais	UN
Esforço de tração	$N_{t,sd}$	170,59	26,27	69,07	kN
Esforço de compressão	$N_{c,sd}$	-114,07	-26,49	-62,97	kN
Esforço de cisalhamento	V_{sd}	14,10	82,57	82,57	kN
Momento	$M_{0,sd}$	7,23	5,00	4,93	kN.m

Os resultados da força resistente a compressão, à tração, ao cisalhamento e ao momento resistente são apresentados na Tabela 4. Comparando-se aos valores de solicitações, apresentados na Tabela 5, pode-se notar que os valores da capacidade resistente das barras são maiores que a solicitação, o que demonstra uma análise satisfatória para o dimensionamento. Os resultados se mostram favoráveis, visto que os valores de $N_{c,Rd}$, $N_{t,Rd}$, V_{Rd} e M_{pl} em todos os casos maiores que as solicitações $N_{t,sd}$, $N_{c,sd}$, V_{sd} e $M_{0,sd}$.

Tabela 5. Verificação das barras

Parâmetro	UN	Banzo Inferior	Banzo Superior	Montante	Diagonal 1	Diagonal 2
Compressão						
$N_{c,Rd}$	kN	1957,01	1957,01	691,36	400,55	400,55
Tração						
Escoamento da Seção Bruta						
$N_{t,Rd}$	kN	2579,60	2579,60	1331,71	908,66	908,66
Cortante						
F_{Rd}	kN	773,88	773,88	399,51	272,60	272,60
Momento Fletor Resistente						
$M_{Rd} = M_{pl}$	kN.m	25,61	25,61	7,65	5,11	5,11

A verificação da solda também está de acordo com o as solicitações de cálculo, conforme Tabela 6. Os valores de $F_{w,Rd}$ são suficientes para garantir a resistência do módulo.

Tabela 6. Solda

	Diagonal	Montante
$F_{w,Rd}$	181,60	150,44

Com as condições de validade de acordo com a NBR 16239 (2013) foi possível prosseguir o dimensionamento das ligações para avaliar a capacidade resistente de cada tipo, conforme o módulo treliçado. De acordo com a Tabela 7 percebe-se que os modos de falha A e B (NBR 16239, 2013) para a ligação T foram favoráveis, seus valores apresentam resistência elevada frente as solicitações.



Tabela 7. Dimensionamento ligação T

T		
Modo de Falha A		
	UN	Montante
n_p	-	-0,09
K_p	-	0,97
$N_{1,Rd}$	kN	1339,17
$N_{1,Sd}/N_{1,Rd}$	-	0,02
$M_{ip,1,Rd}$	kN.m	123,58
$M_{op,1,Rd}$	kN.m	6,55
$M_{ip,1,Sd}/M_{ip,1,Rd}$	-	0,06
$M_{op,1,Sd}/M_{op,1,Rd}$	-	0,76
Modo de Falha D		
$N_{1,Rd}$	kN	308,23
$N_{1,Sd}/N_{1,Rd}$	-	0,09
$M_{ip,1,Rd}$	kN.m	12,53
$M_{op,1,Rd}$	kN.m	23,28
$M_{ip,1,Sd}/M_{ip,1,Rd}$	-	0,40
$M_{op,1,Sd}/M_{op,1,Rd}$	-	0,21

As ligações, na presença de momento fletor, devem atender a condição da Eq. (3), de acordo com Araújo et al. (2016).

$$\frac{N_{i,Sd}}{N_{i,Rd}} + \left(\frac{M_{ip,i,Sd}}{M_{ip,i,Rd}} \right)^2 + \frac{M_{op,i,Sd}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (3)$$

Na ligação T, o valor para o Modo A é 0,78 e para o Modo D é 0,46, ambos menores que 1,0, portanto, de acordo com a Eq. (3).

Para ligações N, com condições de validade de acordo com a tabela 14 da NBR 16239 (2013), pode-se calcular o Modo A, já que para ligações do tipo N não é válido o Modo D. O valor para a Eq. (3), nesse caso, é 0,88 e 0,80 para montante e diagonal, respectivamente. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Dimensionamento ligação N

N			
Modo de Falha A			
	UN	Montante	Diagonal 1
n_p	-	-0,09	0,10
K_p	-	0,97	1,00
K_g	-	-	1,94
$N_{1,Rd}$	kN	1339,17	281,10
$N_{1,Sd}/N_{1,Rd}$	-	0,02	0,25
$M_{op,1,Rd}$	kN.m	5,84	7,04
$M_{op,1,Sd}/M_{op,1,Rd}$	-	0,86	0,71

Para ligação KT também não se considera o modo de falha do tipo D. Os resultados são apresentados na Tabela 9. Os valores para Eq. (3) são 0,91, 0,97 e 0,95.



Tabela 9. Dimensionamento ligação KT

KT				
Modo de Falha D				
	UN	Montante	Diagonal 1	Diagonal 2
n_p	-	-0,09	0,10	0,10
K_p	-	0,97	1,00	1,00
K_g	-	-	1,94	1,94
$N_{1,Rd}$	kN	1339,17	296,32	296,32
$N_{1,Sd}/N_{1,Rd}$	-	0,02	0,23	0,21
$M_{0p,1,Rd}$	kN.m	5,64	6,80	6,80
$M_{0p,1,Sd}/M_{0p,1,Rd}$	-	0,89	0,74	0,74

Destaca-se que a flecha máxima de norma para galpões é dada por $\delta = \frac{L}{300}$, igual a 0,06m para esse estudo. De acordo com o Software SAP2000 o deslocamento máximo nos banzos encontrado é 0,05187m.

Seguindo o procedimento de cálculo proposto por Roquete et al. (2021) e a partir de características geométricas, na Tabela 10, apresentam-se os resultados necessários para aplicação das formulações. Destaca-se que, os parâmetros do Modo 2, 5 e a esbeltez são essenciais para aplicação das formulações, por isso foram analisados e assinalados com “OK”.

Tabela 10. Propriedades geométricas da luva

Descrição	Simbologia	Valor	UN
Esbeltez do tubo externo	λ_{TE}	15,88	-
Esbeltez do tubo interno	λ_{TI}	9,13	-
Área bruta da seção transversal do tubo	A_g	8107,32	mm ²
Área líquida efetiva da seção do tubo	A_e	1233,75	mm ²
Área da seção do parafuso	A_b	198,06	mm ²
Área líquida da seção do tubo	A_n	1914,11	mm ²
Coefficiente de redução da área líquida	C_t	0,64	-
Excentricidade da ligação	e_c	50,8	mm
Diâmetro do furo ($d_b + \text{folga}$)	d	17,38	mm
Distância de furo a borda	L_{f1}	47,64	mm
Distância de furo a furo	L_{f2}	47,64	mm
Comprimento efetivo da ligação	l_c	142,92	mm
Parâmetro x	x	15,1	mm
Verificações			
Parâmetro para o Modo 2: Ruptura da seção líquida (RSL)	l_c/D_{ext}	1,41	OK
Parâmetro para o Modo 2: Ruptura da seção líquida (RSL)	d_b/λ_{rel}	9,13	OK
Parâmetro para o Modo 5: Flexão dos parafusos (FP)	D_{ext}/d_b	6,40	OK
Esbeltez relativa dos tubos	λ_{rel}	1,74	OK

Para os 5 modos de falha são apresentados os resultados de resistência final de cálculo, Tabela 11. Assim, define-se que o modo de falha dominante, ou seja, o menor valor entre os 5 modos para calcular a resistência da luva, é o modo 5. Então, a resistência da ligação luva é dada por F_{Rd} igual a 199,89 kN.



Tabela 11. Resistência calculada da luva

Modo 1: Escoamento da seção bruta (ESB)	$N_{t,Rd1}$	2579,60	kN
Modo 2: Ruptura da seção líquida (RSL)	$N_{t,Rd2}$	443,24	kN
Modo 3: Cisalhamento do parafuso (CP)	$F_{v,Rd}$	281,68	kN
Modo 4: Ovalização do furo (OF)	$F_{c,Rd}$	219,07	kN
Modo 5: Flexão dos parafusos (FP)	$F_{b,Rd}$	199,89	kN

Dessa forma, compara-se com o resultado obtido anteriormente na Tabela 4. Observa-se que o valor de sollicitação na região de aplicação da ligação luva, é menor que a resistência (F_{Rd}), o que satisfaz o dimensionamento da ligação.

5. CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi criar um módulo treliçado e utilizar a ligação luva, com parafusos alinhados, como conexão entre eles. A ligação luva consiste na união entre dois tubos externos por um outro de menor diâmetro através de parafusos passantes. Propondo uma pré-fabricação, um módulo de treliça foi estudado de forma que o utilizador possa encaixar os módulos aplicando a ligação luva e obtendo o vão necessário e a estrutura idealizada.

Para as análises foram consideradas as formulações de dimensionamento apresentadas nas normas NBR 16239 (2013), NBR 8800 (2008), estudos de Araújo et al. (2016), Roquete et al. (2021) e Roquete et al. (2021). A partir delas foi possível avaliar a capacidade resistente da ligação tipo luva, assim como as ligações do sistema modular (banzo, montante e diagonal) e a treliça.

O sistema treliçado foi simulado com cargas usuais de um galpão com vão de até 18m, com o programa SAP2000. Por meio da análise, foram obtidas as sollicitações de projeto. As sollicitações foram comparadas com os valores de resistência.

A metodologia de cálculo utilizada se mostrou favorável para o tipo de estrutura escolhida para a treliça. Os resultados foram favoráveis e comprovam a eficácia da ligação luva para usos em telhados treliçados. A partir dos resultados apresentados é possível afirmar que o uso dessa tipologia de ligação em uma situação real é possível e viável.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

REFERÊNCIAS

- Amparo LR (2014) *Análise Teórico-Experimental de Ligações Tipo Luva Compostas Por Perfis Tubulares Com Parafusos Em Linha e Cruzados*. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.
- Amparo LR, Araújo AHM, Requena JAV, et al. (2014) Analysis of CSH bolted sleeve connections. In: *EUROSTEEL 2014*, Nápoles, Itália, 2014.
- Araujo AHM de, Sarmanho AM, Batista E de M, et al. (2016) *Projeto de Estruturas de Edificações*



- Com Perfis Tubulares de Aço. Belo Horizonte: g.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008) *NBR 8800: Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013) *NBR 6123: Forças Devidas Ao Vento Em Edificações*. Rio de Janeiro: ABNT.
- NBR 16239 (2013) *Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edificações Com Perfis Tubulares*. 1st ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Oliveira MM de (2019) *Análise de Ligações Tipo Luva Sob Compressão*. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.
- Oliveira MM de, Roquete L, Sarmanho AMC, et al. (2020) Bearing failure in bolted sleeve connections with circular hollow sections under compression. *REM - International Engineering Journal* 73(2): 153–161. DOI: 10.1590/0370-44672019730115.
- Roquete L (2018) *Estudo de Ligações Tipo Luva Em Perfis Tubulares*. Tese de Doutorado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.
- Roquete L, Sarmanho AMC, Mazon AAO, et al. (2017) Influence of shear lag coefficient on circular hollow sections with bolted sleeve connections. *REM - International Engineering Journal* 70(4): 393–398. DOI: 10.1590/0370-44672014700220.
- Roquete L, Oliveira MM de, Sarmanho AMC, et al. (2021) Behavior and design formulation of steel CHS with sleeve connections. *Journal of Constructional Steel Research* 177: 106465. DOI: 10.1016/j.jcsr.2020.106465.
- Roquete L, Miranda de Oliveira M, Maria Cunha Sarmanho A, et al. (2022) Design of sleeve connections with cross-bolted on circular hollow sections under axial tension. *Engineering Structures* 250: 113393. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113393.
- Wardenier J, Packer JA, Zhao X-L, et al. (2010) *Hollow Sections in Structural Applications*. 2nd ed. Geneva: CIDECT.