



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA**

SAMUEL DE OLIVEIRA NETO

***LIGAÇÃO TIPO LUVA APLICADA EM UMA
ESTRUTURA DE COBERTURA COM SISTEMA
TRELIÇADO MODULAR***

OURO BRANCO-MG
JUNHO DE 2022



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**

SAMUEL DE OLIVEIRA NETO

***LIGAÇÃO TIPO LUVA APLICADA EM UMA
ESTRUTURA DE COBERTURA COM SISTEMA
TRELIÇADO MODULAR***

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à Coordenação do
Curso de Graduação em Engenharia
Civil, da Universidade Federal de São
João del-Rei, *Campus* Alto Paraopeba,
como requisito parcial para a obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia
Civil

Orientador: Lucas Roquete Amparo

OURO BRANCO-MG
JUNHO DE 2022

Samuel de Oliveira Neto

**LIGAÇÃO TIPO LUVA APLICADA EM UMA
ESTRUTURA DE COBERTURA COM SISTEMA
TRELIÇADO MODULAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ / ____ / ____

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Lucas Roquete
Professor Orientador de PFC

Prof. Dr. Leandro Neves Duarte – UFSJ
Avaliador Convidado

Eng. Me. Matheus Miranda de Oliveira
Avaliador Convidado

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer ao meu orientador, Professor Dr. Lucas Roquete, por todo apoio, dedicação e paciência para que eu pudesse concluir esse trabalho. Citando suas aulas, não poderia deixar de dizer que suas provas eram as mais desafiadoras.

Agradeço a UFSJ e aos diversos professores que puderam compartilhar todo conhecimento ao longo desses anos de graduação.

Para minha amada esposa deixo aqui meu agradecimento pela motivação e carinho dedicado nesse tempo.

Aos meus pais por todo apoio e esforço durante toda minha educação e formação.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
3. METODOLOGIA	10
4. DIMENSIONAMENTO	10
4.1. Apresentação do modelo	10
4.2. Ligações com perfis tubulares circulares em aço sem costura	12
4.3. Dimensionamento das barras à compressão, tração e momento	14
4.4. Verificação da solda	17
4.5. Dimensionamento da ligação luva	18
4.6. Modelo de estudo	19
5. RESULTADOS	21
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ligação Tipo Luva.....	9
Figura 2 – Galpão e Módulo.....	11
Figura 3 - Ligação uni planar K com sobreposição.....	11
Figura 4 - FLP (Flambagem lateral da parede).....	16
Figura 5 - Módulo da treliça.....	20
Figura 6 – Esforços axiais solicitantes, de acordo com o Software SAP2000	21
Figura 7 - Ligações entre perfis tubulares	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modos de Falha A e D.....	12
Tabela 2 - Cálculo do Esforço Axial Resistente de Cálculo (NBR 16239:2013).....	13
Tabela 3 - Cálculo do Momento Fletor Resistente de Cálculo (NBR 16239:2013).....	14
Tabela 4 - Procedimento para cálculo da ligação luva (Adaptado de Roquete 2018).....	19
Tabela 5 - Propriedades geométricas dos perfis utilizados.....	20
Tabela 6 - Combinações de ações.....	20
Tabela 7 - Parâmetros adotados.....	21
Tabela 8 - Esforços solicitantes.....	21
Tabela 9 - Verificação das barras.....	22
Tabela 10 - Solda.....	22
Tabela 11 - Parâmetros luva.....	23
Tabela 12 - Propriedades geométricas da luva.....	23
Tabela 13 - Resistência calculada da luva.....	24
Tabela 14 - Condições gerais para ligações tubulares circulares.....	25
Tabela 15 - Dimensionamento ligação T.....	25
Tabela 16 - Dimensionamento ligação N.....	26
Tabela 17 - Dimensionamento ligação KT.....	26

LIGAÇÃO TIPO LUVA APLICADA EM UMA ESTRUTURA DE COBERTURA COM SISTEMA TRELIÇADO MODULAR

Samuel de Oliveira Neto¹

samuelneto182@hotmail.com

Lucas Roquete¹

lucasroquete@gmail.com

*¹ Departamento de Tecnologia em engenharia Civil Computação e Humanidades,
Universidade Federal de São João del Rei – UFSJ - Campus Alto Paraopeba, Ouro
Branco/MG, Brasil*

Resumo. Uma 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 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 e em prescrições normativas. 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.*

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. (Araújo *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. (2015), Roquete et al. (2017), Roquete (2018), Oliveira et al. (2020), Oliveira (2019) dissertação, Roquete et al. (2021) e 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, 2001). 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.

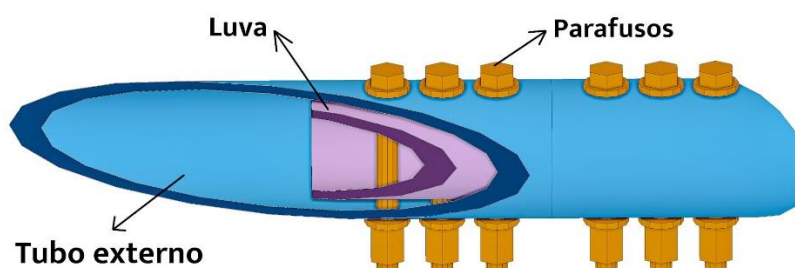


Figura 1 - Ligação Tipo Luva

Esse estudo tem como premissa 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 e prescrições normativas.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e dimensionar, com perfis tubulares circulares de aço, um módulo treliçado utilizando a ligação luva como peça de emenda das barras, facilitando a montagem e construção de uma estrutura de cobertura. O intuito é permitir uma pré-fabricação do módulo de forma que o utilizador possa encaixar os módulos com a ligação luva e chegar no vão necessário.

3. METODOLOGIA

A partir dos estudos apresentados por Amparo (2014), Amparo et al. (2015), Roquete et al. (2017), Roquete (2018), Oliveira (2019) dissertação, Oliveira et al. (2020), Roquete et al. (2021) e Roquete et al. (2022), que avaliaram o comportamento da ligação luva submetida a tração e compressão, foi elaborado um sistema de cobertura treliçado que aplica a ligação como conexão dos módulos.

Para determinação dos esforços solicitantes do sistema treliçado foi utilizado o software SAP2000 e para verificação e dimensionamento foram utilizadas as formulações propostas por Oliveira (2020), Roquete et al. (2021) e Roquete et al. (2022), assim como formulações apresentadas em prescrições normativas vigentes, apresentadas no item de dimensionamento.

4. DIMENSIONAMENTO

4.1. Apresentação do modelo

Para este trabalho foi definido um galpão e um modelo de módulo conforme apresentado na Figura 2. 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): *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) dissertação, Oliveira et al.(2020), Roquete et al. (2021) e Roquete et al. (2022).

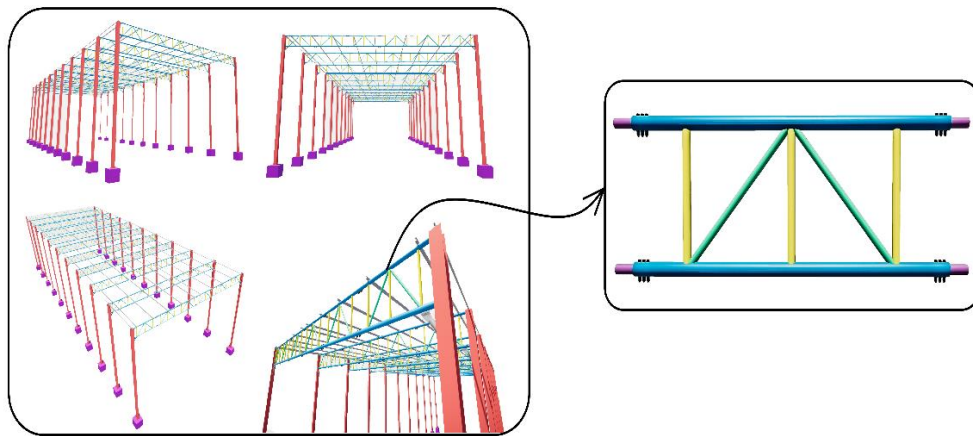


Figura 2 – Galpão e Módulo

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

- 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 podem ser do tipo "T", "N", "K" e a "KT".

As ligações soldadas utilizadas no presente trabalho são classificadas pela NBR 16239 (2013), do tipo T, N, e KT com sobreposição, conforme Figura 3. 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).

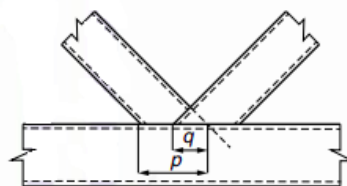
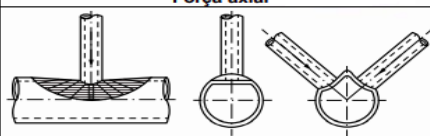
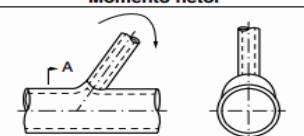
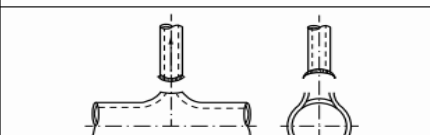
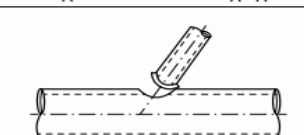


Figura 3 - Ligação uni planar K com sobreposição

4.2. Ligações com perfis tubulares circulares em aço sem costura

A NBR 16329 (2013), define 2 modos de falha referentes às ligações soldadas contidas nesse trabalho: modos A e D, sendo cada um dos mecanismos de ruptura ilustrados na Tabela 1. O *Modo A* é referente à plastificação da face ou de toda a seção transversal do banzo, junto a diagonais ou montantes; e o *Modo D* à ruptura por punção da parede do banzo na área de contato com diagonais ou montantes.

Tabela 1 - Modos de Falha A e D

Modo	Força axial	Momento fletor
A		
D		

O valor da força resistente de cálculo das ligações deve ser tomado como o menor valor encontrado entre os modos de falha A e D, desde que sejam atendidas às seguintes condições:

- $0,2 \leq d_i / d_0 \leq 1,0$;
- $10,0 \leq d_0 / t_0 \leq 50,0$;
- $10,0 \leq d_i / t_i \leq 50,0$.

De acordo com ARAÚJO et al. (2016) as seguintes exigências gerais devem ser atendidas no projeto de ligações soldadas:

a) os ângulos θ_i entre o banzo e as diagonais e entre montantes e diagonais adjacentes não podem ser inferiores a 30° . Recomenda-se que sejam adotados ângulos em torno de 45° ;

b) as extremidades dos tubos que se encontram em uma ligação devem ser preparadas de modo que a forma da seção transversal não seja modificada. Ligações de tubos com extremidades amassadas não são previstas;

c) em ligações com sobreposição, a dimensão deve ser suficiente para garantir a adequada transferência dos esforços de uma barra para a outra. A razão de sobreposição deve ser maior ou igual a 25%, ou seja, $\lambda_{ov} \geq 25\%$.

d) as seções dos banzos deixar no intervalo de $15 \leq d_0 / t_0 \leq 30$ para seções circulares;

e) a espessura nominal da parede dos perfis tubulares não pode ser inferior a 2,5mm;

f) procurar dimensionar as diagonais com seções mais esbeltas, tentando manter a relação t_1/t_0 a menor possível e a relação d_1/d_0 a maior possível. Para evitar dificuldades na execução das soldas, deve-se limitar $d_1/d_0 \leq 0,7$.

Para determinação da força axial resistente de cálculo (N_{Rd}) e momento resistente de cálculo (M_{Rd}) de ligações entre banzos, montantes e diagonais foram utilizadas as formulações apresentadas nas Tabelas 2 e 3, conforme NBR 16239 (2013). Elas se referem somente a ligações do tipo T, N, K e KT para perfis tubulares circulares com sobreposição.

Tabela 2 - Cálculo do Esforço Axial Resistente de Cálculo (NBR 16239:2013)

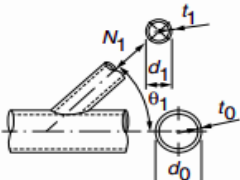
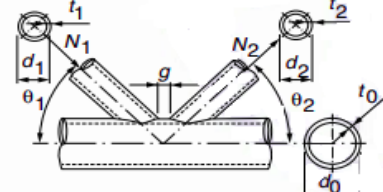
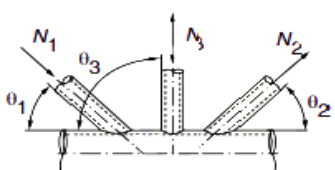
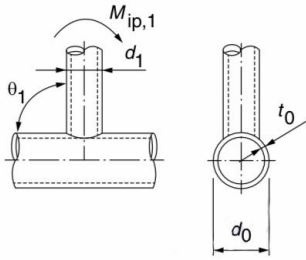
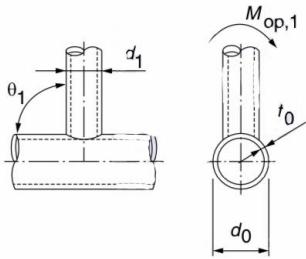
<p style="text-align: center;">Modo de falha A – Ligações T e Y (ver Figura 6 b)</p> 	$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} (3,08 + 15,62\beta^2) / \gamma_{a1}$
<p style="text-align: center;">Modo de falha A – Ligações K e N com atastamento e com sobreposição (ver Figura 6 a)</p> 	$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen}\theta_1} \left(1,98 + 11,22 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{a1}$ $N_{2,Rd} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} N_{1,Rd}$
KT	
<p>A diagonal 1 é comprimida e a diagonal 2 é tracionada</p> 	$N_{1,Sd} \text{sen}\theta_1 + N_{3,Sd} \text{sen}\theta_3 \leq N_{1,Rd} \text{sen}\theta_1$ $N_{2,Sd} \text{sen}\theta_2 \leq N_{1,Rd} \text{sen}\theta_1$ <p>Onde</p> <p>$N_{1,Rd}$ é o valor de $N_{1,Rd}$ para uma ligação K da Tabela 2, mas com $\frac{d_1}{d_0}$ substituída por: $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}$</p>
Modo de falha D – Ligações K, N e KT com atastamento e todas as T, Y e X [i = 1, 2 ou 3]	
Quando $d_i \leq d_0 - 2t_0$: $N_{i,Rd} = 0,66 f_{y0} t_0 \pi d_i \left(\frac{1 + \text{sen}\theta_i}{2 \text{sen}^2\theta_i} \right) / \gamma_{a1}$	
Fatores K_g e K_p	
$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(-0,5q/t_0 - 1,33)} \right)$ para ligações com sobreposição	
<p>Para $n_p < 0$: $k_p = 1 + 0,3n_p$ $0,3n_p^2$</p> <p>Para $n_p \geq 0$: $k_p = 1,0$</p> <p>onde $n_p = \sigma_{0p,Sd} / f_{y0}$, considerando $\sigma_{0p,Sd}$ com o sinal negativo para compressão</p>	

Tabela 3 - Cálculo do Momento Fletor Resistente de Cálculo (NBR 16239:2013)

Modo de falha A – ligações T, X, e Y	
	$M_{ip,1,Rd} = 5,34 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\text{sen} \theta_1} \sqrt{\gamma \beta} k_p / \gamma_{a1}$
Modo de falha A – ligações K, N, T, X e Y	
	$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\text{sen} \theta_1} \frac{2,97}{1 - 0,81\beta} k_p / \gamma_{a1}$
Modo de falha D – Ligações K e N com afastamento e todas as T, Y e X	
<p>Quando $d_1 \leq d_0 - 2t_0$:</p> $M_{ip,1,Rd} = 0,60 f_{y0} t_0 d_1^2 \frac{1,1 + 3,3 \text{sen} \theta_1}{4 \text{sen}^2 \theta_1} / \gamma_{a1}$ $M_{op,1,Rd} = 0,60 f_{y0} t_0 d_1^2 \frac{3,3 + 1,1 \text{sen} \theta_1}{4 \text{sen}^2 \theta_1} / \gamma_{a1}$	

4.3. Dimensionamento das barras à compressão, tração e momento

As barras com seções tubulares submetidas a força axial de compressão (barras comprimidas), assim como as tracionadas, aparecem usualmente compondo treliças planas que funcionam como cobertura (tesouras de cobertura) e estruturas de grandes vãos como passarelas. Esses elementos funcionam como treliças e quando solicitados, os esforços devem ser comparados com os estados limite de cada caso.

Em uma barra circular tracionada ligada somente por solda a outro perfil circular pode ocorrer somente o estado-limite último de escoamento da seção bruta (plastificação). Para que esse estado limite não ocorra considera-se que a força axial de escoamento ($A_g \cdot f_y$), dividido pelo coeficiente de ponderação de resistência, seja maior que força axial de tração solicitante de cálculo $N_{t,Sd}$, Equação 4.1.

$$N_{t,Sd} \leq \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (4.1)$$

onde A_g é a área bruta da seção transversal, f_y a resistência ao escoamento do aço e γ_{a1} o coeficiente de ponderação igual a 1,1.

Se a equação não for satisfeita, a barra se encontra em situação de escoamento generalizado (plastificação) e sofrerá um alongamento excessivo, o que pode causar a ruína do sistema do qual faz parte.

Em uma barra comprimida de seção tubular circular pode ocorrer flambagem local por flexão.

Se as dimensões da seção transversal e o comprimento de flambagem por flexão da barra comprimida forem tais que esse estado-limite não possa ocorrer, o colapso se dará por escoamento da seção bruta.

A força axial de compressão resistente nominal de uma barra, para instabilidade global por flexão é dada pela Equação 4.2.

$$N_{c,Rk} = \frac{\chi \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (4.2)$$

onde o produto $A_g \cdot f_y$ é a força de escoamento da seção bruta, e χ é um fator adimensional, menor ou igual a 1,0, que leva em conta as influências das tensões residuais.

O fator χ para perfis tubulares laminados a quente, conforme a NBR 16239 (2013), está de acordo com a Equação 4.3.

$$\chi = \frac{1}{(1 + \lambda_0^{4,48})^{\frac{1}{2,24}}} \quad (4.3)$$

Onde:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} \quad (4.4)$$

O índice de esbeltez reduzido, λ_0 , é determinado conforme as condições a seguir.

i) Para seções tubulares se for obedecida a condição (4.5), a flambagem local não ocorre e torna-se o fator de redução total Q igual a 1,0;

$$\frac{d}{t} \leq 0,11 \cdot \frac{E_a}{f_y} \quad (4.5)$$

ii) Se a relação $\frac{d}{t}$ ultrapassar o limite definido na Equação (4.5), mas não $0,45 \cdot \frac{E_a}{f_y}$, deve ser usado o valor da Equação (4.6) para o fator de redução total associado à flambagem local;

$$Q = \frac{0,0379}{\frac{d}{t}} \cdot \frac{E_a}{f_y} \cdot \frac{2}{3} \quad (4.6)$$

iii) Não são previstos perfis em que $\frac{d}{t}$ supere $0,45 \cdot \frac{E_a}{f_y}$.

Na Equação (4.4), N_e é a menor força axial de flambagem elástica por flexão da barra em relação aos eixos x e y, conforme Equação 4.7, em função de propriedades mecânicas e geométricas e condições da barra comprimida, módulo de elasticidade, momento de inércia e comprimento de flambagem.

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E_a \cdot I_x}{(KL)_y^2}; \quad N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E_a \cdot I_y}{(KL)_x^2} \quad (4.7)$$

Para o momento resistente, as seções tubulares circulares são axissimétricas e possuem capacidade resistente muito elevada a torção, razões pelas quais não sofrem flambagem lateral com torção, o único estado-limite aplicável a elas é a flambagem local da parede (FLP). Trata-se de um fenômeno onde a parede da seção transversal sofre flambagem, causada pelas tensões normais de compressão, conforme ilustrado na Figura 4. Os deslocamentos na parede causados pela flambagem se atenuam e desaparecem à medida que o momento fletor e a tensão de compressão diminuem (Araújo et al., 2016).

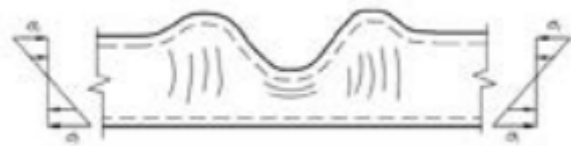


Figura 4 - FLP (Flambagem lateral da parede)

Para esse estudo, como $\lambda \leq \lambda_p$, não ocorre flambagem da parede e sim o escoamento total da seção transversal e o momento resistente é igual a Equação 4.8.

$$M_{Rk} = M_{pl} = Z \cdot f_y \quad (4.8)$$

Sendo λ o parâmetro de esbeltez da seção transversal, λ_p o parâmetro de esbeltez correspondente a plastificação, Z o módulo de resistência plástico, f_y o valor da resistência de escoamento do aço e $M_{Rk} = M_{pl}$ o momento resistente igual ao momento de plastificação. Os valores de λ e λ_p são conforme Equação 4.9.

$$\lambda = \frac{d}{t}; \quad \lambda_p = \frac{0,07 \cdot E_a}{f_y} \quad (4.9)$$

onde d é o diâmetro externo da seção transversal e t a espessura da parede.

Para o efeito da força cortante adota-se o estado limite para perfis circulares como a área efetiva de cisalhamento sendo a metade da área bruta, e assim o valor força cortante resistente nominal, V_{Rk} , é

igual a Equação 4.10.

$$V_{Rk} = 0,5 \cdot \tau_{cr} \cdot A_g \quad (4.10)$$

Nas Equações 4.11 e 4.12, τ_{cr} é a tensão de flambagem elástica por cisalhamento da parede circular, obtida pelo maior valor:

$$\tau_{cr} = \frac{1,60 \cdot E_a}{\sqrt{\frac{L_v}{d} \cdot \left(\frac{d}{t_d}\right)^4}} \leq 0,60 \cdot f_y \quad (4.11)$$

$$\tau_{cr} = \frac{0,78 \cdot E_a}{\left(\frac{d}{t_d}\right)^2} \leq 0,60 \cdot f_y \quad (4.12)$$

onde t_d é 0,93 vez a espessura t de cálculo da parede da seção transversal para tubos com costura e t para tubos sem costura, e L_v a distância entre as seções de forças cortantes máxima e nula.

Observa-se que quando a Equação (4.11) ou a Equação (4.12) fornece valor igual ou superior a $0,60 \cdot f_y$, o colapso ocorre por escoamento e, quando ambas fornecem valores inferiores a $0,60 \cdot f_y$, por flambagem. No dimensionamento, deve ser atendida a seguinte condição (4.13) de sollicitação menor que resistência:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (4.13)$$

4.4. Verificação da solda

As ligações do módulo se dão por meio de solda e sua verificação conforme NBR 8800 (ABNT, 2008). Para determinar a força resistente de projeto para penetração total, sob ação de tração ou compressão baseada no escoamento do aço, calcula-se conforme Equação 4.14.

$$F_{w,Rd} = 0,6 \cdot A_w \cdot \frac{f_w}{1,35} \quad (4.14)$$

sendo:

$$A_w = l_{ef} \cdot a_w \quad \left\{ \begin{array}{l} l_{ef} = 2 \cdot \pi \cdot r_w \cdot K_a \\ K_a = \frac{1 + \frac{1}{\text{sen}\theta}}{2} \\ r_w = \frac{d_2}{2} + \frac{d_w}{4} \end{array} \right.$$

onde: a_w menor distância medida da raiz à face plana teórica da solda; l_{ef} o comprimento efetivo de

solda; f_y é a resistência ao escoamento do aço; $\gamma_{a1} = 1,1$ o fator de fator de redução das resistências do aço no escoamento.

4.5. Dimensionamento da ligação luva

A verificação da ligação luva é feita conforme formulações e parâmetros definidos por Oliveira (2019) e Roquete et al. (2021) e Roquete et al. (2022).

Um ponto importante para o dimensionamento da ligação luva é a esbelteza 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 (4.15) deve ser satisfeita:

$$F_{Sd} \leq F_{Rd} \quad (4.15)$$

O menor valor entre os 5 modos define a resistência de cálculo da ligação luva, F_{Rd} , Equação 4.16.

$$F_{Rd} = \min(N_{t,Rd1}; N_{t,Rd2}; F_{v,Rd}; F_{c,Rd}; F_{b,Rd}) \quad (4.16)$$

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 4.

Tabela 4 - Procedimento para cálculo da ligação luva (Adaptado de Roquete 2018)

$F_{Rd} = \min(N_{t,Rd1}; N_{t,Rd2}; F_{v,Rd}; F_{c,Rd}; F_{b,Rd})$		
$\lambda_{rel} \geq 1,6$	$\lambda_{TE} = \frac{\lambda_{TE}}{\lambda_{TI}}; \lambda_{TE} = \frac{D_{ext}}{t_{ext}}; \lambda_{TI} = \frac{D_{int}}{t_{int}}$	
	Modo 1 - ESB	
	$N_{t,Rd1} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$	
	Modo 2 - RSL	$\frac{l_c}{D_{ext}} \leq 3,00 \text{ e } \frac{d_b}{\lambda_{rel}} \leq 12,0$
	$N_{t,Rd2} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \begin{cases} A_e = C_t A_n \\ A_n = A_g - 2 d t_{ext} \\ C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c}; e_c = \frac{D}{2} \end{cases}$ <p style="text-align: center;">para $n < 4$: $l_c = l_{f1} + (n - 1)l_{f2}$ para $n \geq 4$: $l_c = l_{f1} + 3l_{f2}$</p>	
	Modo 3 - CP	$F_{v,Rd} = 2n \frac{\alpha A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$ quando o plano de corte na rosca: $\alpha = 0,4$ quando o plano de corte fora da rosca: $\alpha = 0,5$
Modo 4 - OF	$F_{c,Rd} = 2n \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$	
Modo 5 - FP	$5,75 \leq \frac{D_{ext}}{d_b} \leq 7,68$	
	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_u - 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).	

4.6. Modelo de estudo

O módulo da treliça adotado para estudo é apresentado na Figura 5 e as propriedades geométricas de cada barra que o compõe na Tabela 5.

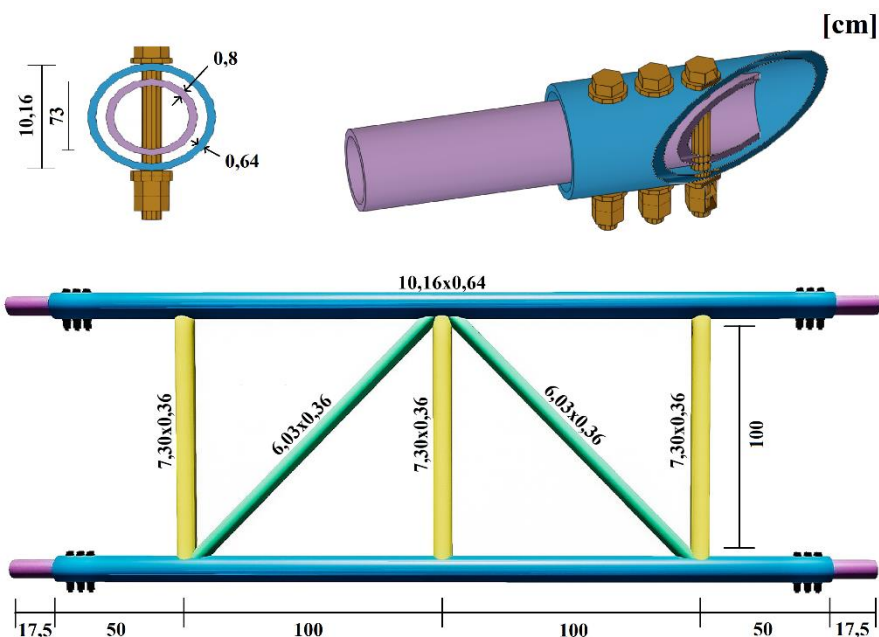


Figura 5 - Módulo da treliça

Tabela 5 - 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
I _x = I _y	mm ⁴	2178256,7	2178256,7	473813,9	258737,1	258737,1
K _x		1	1	1	1	1
K _y		1	1	1	1	1
Ne _x	kN	4299,7	4299,7	935,3	510,7	510,7
Ne _y	kN	1074,9	1074,9	233,8	127,7	127,7
A _g	mm ²	8107,32	8107,32	4185,39	2855,78	2855,78
Na	mm ²	1914,11	1914,11	784,90	641,26	641,26
r _x = r _y	mm	33,73	33,73	24,57	20,09	20,09
W	mm ³	42879,07	42879,07	12981,20	8581,66	8581,66
J	mm ⁴	4356513,39	4356513,39	947627,89	517474,30	517474,30
Z	mm ³	58090,84	58090,84	17354,45	11589,16	11589,16
W _t	mm ³	91111,62	91111,62	27235,87	18179,77	18179,77

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 6. 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 (1988).

Tabela 6 - 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

Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros globais utilizados em todo o dimensionamento considerado nesse estudo.

Tabela 7 - Parâmetros adotados

Parâmetros Globais					
f_y	350	MPa	θ_0	90	°
f_u	485	MPa	θ_1	45	°
f_w	485	MPa	θ_2	45	°
γ_{a1}	1,1	-	C_t	1	
γ_{a2}	1,35	-	$\sigma_{0p,Sd}$ (Banzo I)	36,25	N/mm ²
E	200000	MPa	$\sigma_{0p,Sd}$ (Banzo S)	-32,73	N/mm ²
L_x	1000	mm	A_0 (Banzo)	1914,11	mm ²
L_y	2000	mm	W_0 (Banzo)	42879,07	mm ³
d_w	5	mm	a_w	0,7075	-

5. RESULTADOS

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 programa SAP2000, na Tabela 8 apresenta-se de forma detalhada os valores dos esforços solicitantes de cálculo de cada barra do módulo do galpão. Na Figura 6, de forma reduzida e para facilitar os cálculos da verificação das barras, resume-se os esforços no módulo treliçado, tomando o maior valor de cada esforço.

Tabela 8 - 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

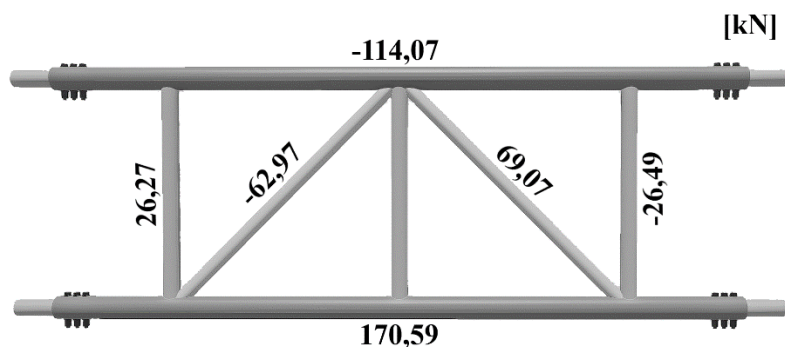


Figura 6 – Esforços axiais solicitantes, de acordo com o Software SAP2000

Os resultados da força resistente a compressão, à tração, ao cisalhamento e ao momento resistente são apresentados na Tabela 9. Comparando-se aos valores de solicitações, apresentados na Tabela 8, 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 $N_{c,sd}$, $N_{t,Rd}$, 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 9 - Verificação das barras

Parâmetro	UN	Banzo Inferior	Banzo Superior	Montante	Diagonal 1	Diagonal 2
Compressão						
D/t	-	15,88	15,88	20,28	16,75	16,75
Q	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
N_e	kN	4299,71	4299,71	935,27	510,73	510,73
$\lambda_{max} (<200)$	-	61,01	61,01	93,99	105,06	105,06
λ_0	-	0,81	0,81	1,25	1,40	1,40
χ	-	0,76	0,76	0,52	0,44	0,44
$N_{c,Rd}$	kN	1957,01	1957,01	691,36	400,55	400,55
		OK	OK	OK	OK	OK
Tração						
Escoamento da Seção Bruta						
A_e	mm ²	1914,11	1914,11	784,90	641,26	641,26
$N_{t,Rd}$	kN	2579,60	2579,60	1331,71	908,66	908,66
		OK	OK	OK	OK	OK
Cortante						
L_v	mm	9000	9000	9000	9000	9000
τ_{cr1}	MPa	1072,96	1072,96	669,75	772,98	772,98
τ_{cr2}	MPa	2466,35	2466,35	1708,42	2275,63	2275,63
τ_{crMax}	MPa	2466,35	2466,35	1708,42	2275,63	2275,63
$0,6 \cdot f_y$	MPa	210	210	210	210	210
F_{Rd}	kN	773,88	773,88	399,51	272,60	272,60
		OK	OK	OK	OK	OK
Momento Fletor Resistente						
λ	-	15,88	15,88	20,28	16,75	16,75
λ_p	-	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
$M_{Rd} = M_{pl}$	kN.m	25,61	25,61	7,65	5,11	5,11
		OK	OK	OK	OK	OK

A verificação da solda também está de acordo com o as solicitações de cálculo, conforme Tabela 10. Os valores de $F_{w,Rd}$ são suficientes para garantir a resistência do módulo.

Tabela 10 - Solda

	Diagonal	Montante
K_a	1,21	1,00
r_w	31,40	31,40
l_{ef}	238,15	197,29
t_w	3,5375	3,5375
A_w	842,46	697,92
$F_{w,Rd}$	181,60	150,44

Para determinação dos esforços resistentes de cálculo da ligação luva utilizou-se os resultados apresentados por Roquete (2018), Roquete et al (2021). Inicialmente foram determinados os parâmetros geométricos e mecânicos, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros luva

Descrição	Simbologia	Valor	UN
Comprimento da luva	L_c	350	mm
Diâmetro do tubo interno	D_{int}	73	mm
Espessura do tubo interno	t_{int}	8	mm
Diâmetro do parafuso	d_b	15,88	mm
Resistência ao escoamento do parafuso	$f_{y,b}$	640	MPa
Resistência à ruptura do parafuso	$f_{u,b}$	800	MPa
Momento de inercia parafuso	I_b	6243,12	mm ⁴
Módulo de resistência elástico da seção do parafuso	W_b	393,14	mm ³
Número de parafusos	N	3	pc
Parâmetro que define o plano de corte (na rosca 0,4, fora 0,5)	A	0,4	-

Seguindo o procedimento de cálculo, Roquete et al. (2021) e a partir de características geométricas, na Tabela 12, 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 12 - 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 13. 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 $F_{Rd} = 199,89$ kN.

Tabela 13 - 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 8. Observa-se que o valor de solicitação na região de aplicação da ligação luva, é menor que a resistência (F_{Rd}), o que satisfaz o dimensionamento da ligação.

Como última fase de cálculo apresenta-se as verificações das ligações entre banzos, montante e diagonais. Na Figura 7 é apresentado os tipos de ligações presente no módulo treliçado em estudo, são elas: T, N e KT.

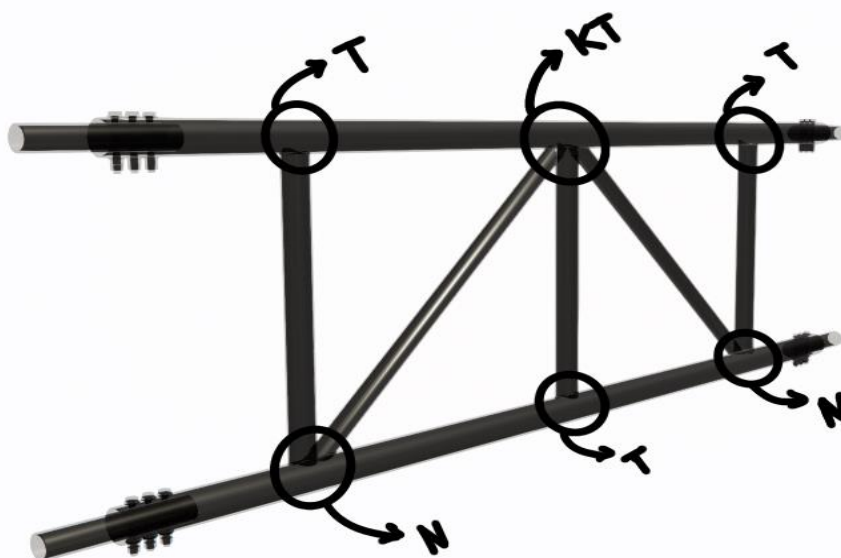


Figura 7 - Ligações entre perfis tubulares

As condições propostas na Tabela 14 estão de acordo com a NBR 16239 (2013). Vale ressaltar que segundo Araújo et al. (2016) é importante procurar dimensionar as diagonais com seções mais esbeltas que as demais, tentando manter a relação $\frac{t_1}{t_0}$ a menor possível e a relação $\frac{d_1}{d_0}$ a maior possível.

O autor também indica o limite $\frac{d_1}{d_0} \leq 0,7$ para facilitar a execução das soldas.

Tabela 14 - Condições gerais para ligações tubulares circulares

Condições	
Angulo θ_1 mínimo $\geq 30^\circ$	OK
Espessura mínima $\geq 2,5\text{mm}$	OK
Banzos dentro do limite $15 \leq d_0/t_0 \leq 30$	OK
Diagonais com seções esbeltas $d_1/d_0 \leq 0,7$ (Facilita solda)	OK
Limites de excentricidade $-0,55 \leq e/d_0 \leq 0,25$	OK
Montante / Banzos $0,2 \leq d_1/d_0 \leq 1,0$	OK
Diagonais / Banzos $0,2 \leq d_2/d_0 \leq 1,0$	OK
Diâmetro / Espessura (Banzos) $10 \leq d_0/t_0 \leq 50$	OK
Diâmetro / Espessura (Montante) $10 \leq d_1/t_1 \leq 50$	OK
Diâmetro / Espessura (Diagonal) $10 \leq d_2/t_2 \leq 50$	OK
Condição (Modo de falha D) $d_1 \leq d_0 - 2.t_0$	OK

Com as condições suficientes foi possível prosseguir o dimensionamento das ligações para avaliar a capacidade resistente de cada tipo, conforme o módulo treliçado. De acordo com a Tabela 15 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 15 - 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

Na Tabela 15 pode-se destacar os parâmetros n_p , k_p e a força axial resistente N_{Rd} que são calculados de acordo com a Tabela 2, os valores do momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} estão de acordo com Tabela 3.

As ligações na presença de momento fletor devem atender a condição da Equação (5.1), de acordo com Araújo et al. (2016).

$$\frac{N_{i,Sd}}{N_{i,Rd}} + \left(\frac{M_{ip,i,Sd}}{M_{ip,i,Rd}} \right)^2 + \frac{M_{op,i,Sd}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.1)$$

Na ligação T em questão os valores para o Modo A é 0,78 e para o Modo D é 0,46, são menores que 1,0, portanto, de acordo com a Equação (5.1).

Para ligações N, respeitada as condições da Tabela 14, pode-se calcular o Modo A, já que para ligações do tipo N não é válido o Modo D. O valor para a Equação (5.1), neste caso, é 0,88 e 0,80 para montante e diagonal, respectivamente. Os resultados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - 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
$M_{0p,1,Rd}$	kN.m	5,84	7,04
$M_{0p,1,Sd}/M_{0p,1,Rd}$	-	0,86	0,71

Para ligação KT também não se considera o modo D. Os resultados são apresentados na Tabela 17. Os valores para equação 5.1 são 0,91, 0,97 e 0,95.

Tabela 17 - Dimensionamento ligação KT

KT				
Modo de Falha A				
	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.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 solicitações de projeto. As solicitações 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.

Como trabalhos futuros, sugere-se a avaliação dos deslocamentos máximos do sistema treliçado por meio de uma análise numérica, outras dimensões de vãos e uma pesquisa de mercado para mensurar a aceitação do módulo no mercado da construção civil e sua otimização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMPARO, L. R. **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, 2014.

AMPARO, L. R.; ARAÚJO, A. H. M.; REQUENA, J. A. V.; SARMANHO, A. M. **Analysis of CSH bolted sleeve connections**. EUROSTEEL 2014. *Anais...*Nápole, Itália: 2014.

AMPARO, L. R.; ESCANIO, L. A.; SARMANHO, A. M.; PEREIRA, C. O. V. R. **Análise Numérica e experimental de ligação tipo luva em perfis tubulares com parafusos cruzados**. CILAMCE 2015. *Anais...*Rio de Janeiro: XXXVI Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 2015.

AMPARO, L. R.; SARMANHO, A. M.; ARAÚJO, A. H. M.; REQUENA, J. A. V. **Analysis of the possible failure modes in CSH bolted sleeve connections**. (E. Batista, Vellasco & Lima, Eds.) Tubular Structures XV. *Anais...*Rio de Janeiro: 2015.

ARAUJO, A. H. M. DE; SARMANHO, A. M.; BATISTA, E. DE M.; REQUENA, J. A. V.; FAKURY, R. H.; PIMENTA, R. J. **Projeto de estruturas de edificações com perfis tubulares de aço**. Belo Horizonte: g, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16239: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

OLIVEIRA, M. M. DE; **Análise de Ligações tipo Luva sob compressão**. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.

OLIVEIRA, M. M. DE; ROQUETE, L.; SARMANHO, A. M. C.; PEREIRA, D. J. R.; ALVES, V. **Bearing failure in bolted sleeve connections with circular hollow sections under compression**. REM - International Engineering Journal, v. 73, n. 2, p. 153–161, jun. 2020.

ROQUETE, L.; SARMANHO, A. M. C.; ESCANIO, L. A.; SOUZA, D. L. C. E; OLIVEIRA, M. M. DE. **Identificação de modos de falha em perfis tubulares com ligação tipo luva e parafusos cruzados a 90° usando um modelo numérico**. (XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Ed.) CILAMCE 2017. **Anais...** Florianópolis: 2017.

ROQUETE, L.; SARMANHO, A. M. C.; MAZON, A. A. O.; REQUENA, J. A. V. **Influence of shear lag coefficient on circular hollow sections with bolted sleeve connections**. REM - International Engineering Journal, v. 70, n. 4, p. 393–398, Dec. 2017.

ROQUETE, L. **Estudo de ligações tipo luva em perfis tubulares**. Tese de Doutorado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

ROQUETE, L.; OLIVEIRA, M. M. DE; SARMANHO, A. M. C.; XAVIER, E. M.; ALVES, V. N. Behavior and design formulation of steel CHS with sleeve connections. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 177, p. 106465, Feb. 2021.

ROQUETE, L.; MIRANDA DE OLIVEIRA, M.; MARIA CUNHA SARMANHO, A.; MARTINS XAVIER, E.; NICCHIO ALVES, V. **Design of sleeve connections with cross-bolted on circular hollow sections under axial tension**. Engineering Structures, v. 250, p. 113393, jan. 2022.

WARDENIER, J.; PACKER, J. A.; ZHAO, X.-L.; VEGTE, A. VAN DE. **Hollow sections in structural applications**. 2nd. ed. Genebra: CIDECT, 2010.