

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PERFIS METÁLICOS *LIGHT STEEL FRAME* TIPO CANTONEIRAS

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF *LIGHT STEEL FRAME* METAL PROFILES CORNER TYPE

Ana Júlia Figueiredo¹, Maria Eduarda Rodrigues Ferreira², Joaquim Orlando Parada³, Eduardo Martins Toledo⁴, Jéssica Nayara Dias⁵

¹ Graduação em Engenharia Civil/UniEVANGÉLICA – Campus Ceres: anajuliaempowered@gmail.com

² Graduação em Engenharia Civil/UniEVANGÉLICA – Campus Ceres: mariaeduardar534@gmail.com

³ Professor do curso de Engenharia Civil/UniEVANGÉLICA – Campus Ceres: joaquim.parada@unievangelica.edu.br

⁴ Professor do curso de Engenharia Civil/FACEG: eduardomtoledo@gmail.com

⁵ Professora do curso de Engenharia Civil/UniEVANGÉLICA – Campus Ceres: jessicadias.engenharia@gmail.com

Resumo: A engenharia civil sempre desempenhou um papel importante em uma sociedade, proporcionando o desenvolvimento econômico necessário para suprir as demandas existentes para a melhora da qualidade de vida da população. Dessa forma, o desenvolvimento tecnológico se mostra fundamental para o avanço contínuo desse setor, fazendo com que existam melhores resultados. O *Light Steel Frame* – LSF é uma inovação em estrutura de aço leve, e vem sendo um método construtivo bastante difundido em diversos países, apresentando inúmeras vantagens em relação aos métodos tradicionais. O pleno entendimento das limitações dos elementos construtivos necessários nesse sistema é indispensável, pois falhas podem ocorrer no caso de utilização inadequada. Partindo do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades mecânicas que regem o comportamento de perfis do tipo cantoneiras, confeccionadas e comercializadas pela empresa Isoeste Metálica, localizada na cidade de Anápolis-GO, quanto a carga e o mecanismo de ruptura do perfil analisado. Nesse sentido, os testes foram realizados na sede da própria empresa, onde se montou uma estrutura com alguns dispositivos auxiliares, como: Aplicador de carga, célula de carga, transmissor de carga e apoios. Ao longo do ensaio, foram testados 16 perfis do tipo cantoneiras que foram divididos em dois grupos, L60x30x1.25mm – ZAR400 e L90x30x2.30mm – ZAR400, que foram aplicados nas ligações entre os perfis do sistema ISOTELHADO, sendo feita a verificação entre banzos e estrutura de apoio e as ligações entre as terças e os banzos. Deste modo, cada perfil foi submetido a uma série de carregamentos com o intuito de obter sua carga de ruptura. Com os resultados, foi possível observar que os perfis com espessura de 1,25 mm passaram em todos os casos pelas etapas de deformação plástica em seu mecanismo de ruptura até chegar ao seu colapso por meio do arrancamento de parafusos, enquanto os perfis com espessura de 2,30 mm mostraram que os modelos que sofreram colapso, por arrancamento de parafusos, falharam antes mesmo de obter grandes deformações. Apesar dos resultados alcançados terem sido satisfatórios, de acordo com a empresa, não foi possível identificar o tipo de esforço que ocasionou na falha dos componentes, sendo necessário, para próximos testes, um maior controle tecnológico durante a realização dos ensaios, de modo a reduzir as incertezas.

Palavras-chave: Cantoneiras. *Light steel frame*. Conexões parafusadas. Carga de ruptura.

Abstract: Civil engineering has always played an important role in society, providing the economic development necessary to meet existing demands to improve the population's quality of life. In this way, technological development is fundamental for the continuous advancement of this sector, resulting in better results. The Light Steel Frame – LSF is an innovation in light steel structure and has been a widespread construction method in several countries, presenting numerous advantages over traditional methods. Full understanding of the limitations of the construction elements required in this system is essential, as failures may occur in the case of inappropriate use. Based on the above, the objective of this work was to evaluate the mechanical properties that govern the behavior of angle profiles, manufactured and sold by the company Isoeste Metálica, located in the city of Anápolis-GO, in terms of load and rupture mechanism of the analyzed profile. In this sense, the tests were carried out at the company's headquarters, where a structure was set up with some auxiliary devices, such as: Load applicator, load cell, load transmitter and supports. Throughout the test, 16 angle profiles were tested and divided into two groups, L60x30x1.25mm – ZAR400 and L90x30x2.30mm – ZAR400, which were applied to the connections between the profiles of the ISOTELHADO system, with verification being carried out between flanges and support structure and connections between the purlins and the chords. In this way, each profile was subjected to a series of loads to obtain its breaking load. With the results, it was possible to observe that the profiles with a thickness of 1.25 mm went through plastic deformation stages in their rupture mechanism in all cases until they reached their collapse through the pulling out of screws, while the profiles with a thickness of 2.30 mm showed that the models that suffered collapse, due to screws being pulled out, failed even before obtaining large deformations. Although the results achieved were satisfactory, according to the company, it was not possible to identify the type of effort that caused the failure of the components, making it necessary, for future tests, to have greater technological control during the tests, in order to reduce the uncertainties.

Keywords: Corners. Light steel frame. Screwed connections. Breaking load.

INTRODUÇÃO

A expansão acelerada da construção civil, acabou provocando a necessidade da procura por inovações, aumentando assim a aceitação implícita de maiores riscos dentro de alguns limites. E essa progressão do desenvolvimento tecnológico fez com que houvesse um aumento da familiaridade sobre estruturas e materiais,

juntamente com o estudo e análise de erros que aconteciam [1].

De acordo com [2], após o aço começar a ser produzido de uma forma industrial surgiram as primeiras obras do material por volta de 1750. Entre elas, seu emprego estrutural se deu em 1757, na Inglaterra, onde uma ponte de ferro foi feita, e a utilização em edifícios deu início em Chicago (EUA), no ano de 1880. Segundo relatos a primeira obra de grande porte construída no Brasil em

ferro fundido foi a Paraíba do Sul, no Rio de Janeiro, feita por volta de 1857 e estando em uso até os dias de hoje.

Ainda hoje, no Brasil, a construção civil é predominantemente artesanal, possuindo técnicas que tem como característica um desperdício de material altíssimo e baixa produtividade. Dessa forma, processos que relacionam a industrialização nesse setor vêm sendo estudados com o intuito de racionalizar os procedimentos usados no cotidiano, para que tecnologias mais eficientes sejam aplicadas [3]. Nesse sentido, as estruturas metálicas têm sido cada vez mais solicitadas, pelo fato de haver uma grande agilidade na construção e baixo peso próprio dos perfis em relação a outros materiais. O aço tem outras vantagens como, possuir menor variabilidade em suas propriedades por ser industrializado. Embora se sobressaia em muitos aspectos, as regiões das conexões nas estruturas metálicas são pontos mais propensos à ruptura pela razão da concentração de tensões e a transposição dos esforços [4].

As principais vantagens do uso de estruturas metálicas são: Alta resistência do material aos esforços de tensão como, compressão, cisalhamento, tração, flexão entre outras, fazendo com que a estrutura suporte carregamentos grandes possuindo uma área de seção transversal pequena em relação a outros materiais; possuem uma grande margem de segurança no trabalho pelo fato de ser único e homogêneo com propriedades bem definidas; uma montagem que permite um curto prazo de construção e possibilita o reaproveitamento do material restante da construção. Porém, nem todos os tipos de aço são resistentes à corrosão e quando expostos a altas temperaturas, boa parte da resistência mecânica é perdida [2].

Entre algumas alternativas de processos construtivos industrializados se encontra o *Light Steel Frame* (LSF) que é uma estrutura em aço leve. Esses perfis estão tendo seu uso difundido pelas inúmeras vantagens apresentadas, como: Elevada resistência, estabilidade dimensional, baixo peso e resistência a danos por insetos. Como o sistema é pré-fabricado, as atividades de execução

são previamente concebidas ainda na fase de projeto fazendo com que requisitos no processo de industrialização sejam atendidos [5].

Os elementos estruturais podem ser conectados por uma ligação, sendo possível transferir força e/ou momento fletor de um elemento estrutural aos elementos de suporte. A melhor seleção do sistema se torna possível com conexões bem elaboradas na fase de detalhamento. Por intermédio delas, formas distintas de união entre as peças podem existir, sendo classificadas como ligações parafusadas, soldadas e de encaixe [6].

Um dos perfis com maior utilização na conexão de peças metálicas são os perfis L, conhecidos como cantoneiras. São compostas por duas abas, simétricas ou não, gerando um ângulo de 90 graus. Além de apresentarem extrema importância na estabilidade das estruturas, possuem uma menor complexidade em sua fabricação e versatilidade para serem conectadas a outros elementos estruturais. Estes perfis possuem uma grande utilização em estruturas de contraventamento, sistemas treliçados, e elementos de ligação como galpões, e torres de transmissão [7].

Diante do exposto, este trabalho objetiva uma análise do comportamento de perfis metálicos LSF com a conexão de cantoneiras. Este estudo avalia perfis metálicos de aço leve de modo a analisar resultados experimentais fornecidos pela empresa Isoeste Metálica, localizada no Distrito Agroindustrial da cidade de Anápolis – GO, especializada nessa área. Dois modelos de cantoneiras foram ensaiados: L60x30x1.25mm – ZAR400 e L90x30x2.30mm – ZAR400, eles têm a aplicação em ligações entre perfis do sistema ISOTELHADO, da empresa mencionada. Os ensaios foram realizados em parceria com a empresa, em sua sede.

MATERIAL E MÉTODOS

Dentro dos critérios da engenharia estrutural, assegurar um desempenho satisfatório dos elementos estruturais e da estrutura como um todo, respeitando condições econômicas de modo a não tornar o processo

inviável, é um dos principais objetivos a serem cumpridos. Assim, o acompanhamento, a análise e interpretação de resultados de testes experimentais em perfis, que compõem estruturas em aço, se torna essencial de modo a garantir o cumprimento desse requisito. Neste trabalho, os ensaios foram realizados pela empresa Isoeste Metálica, parceira da instituição de ensino, e acompanhados, em projeto de pesquisa, pelas integrantes desse trabalho. A empresa cedeu os resultados obtidos, bem como concedeu entrevistas com os profissionais responsáveis pela execução dos mesmos sobre os dados obtidos.

Materiais

Nesse trabalho, o estudo consistiu em acompanhar e avaliar testes experimentais realizados em perfis do tipo Cantoneira em LSF. Foram avaliados dois modelos de perfis: L60x30x1.25mm – ZAR400 e L90x30x2.30mm – ZAR400. Ambos são aplicados nas ligações entre os perfis do sistema ISOTELHADO, portanto são verificadas as ligações entre banzos e estrutura de apoio e as ligações entre as terças e os banzos. A Figura 4 ilustra a forma como a fixação é feita com a cantoneira ligando os elementos.

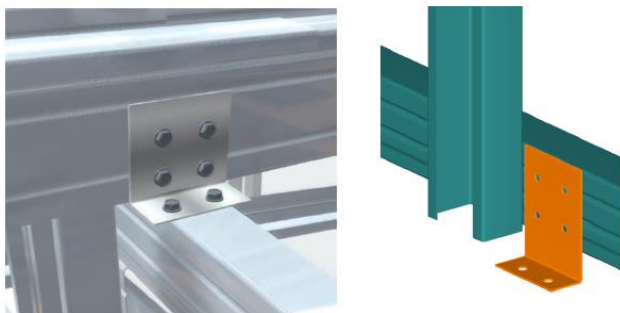


Figura 1 - Ligação com cantoneiras entre perfis do sistema ISOTELHADO: (a) terço-estrutura; (b) terço-banzo [8].

A fixação apresentada na Figura 1 é feita da seguinte forma: Ligação Banzo/Estrutura (Figura 1.a) onde são utilizados 4 parafusos no banzo e 2 na estrutura e ligação terço/Banzo (Figura 1.b) onde são usados 4 parafusos na terço e 2 parafusos no banzo. Tendo como material para sua fabricação o ZAR400, com espessura da chapa de 1,25mm, a cantoneira L60x30x1.25mm tem as dimensões e furações apresentadas na Figura 2. Nesta, tem-se a vista superior do elemento de ligação em (a), a vista lateral esquerda em (b) e vista frontal em (c).

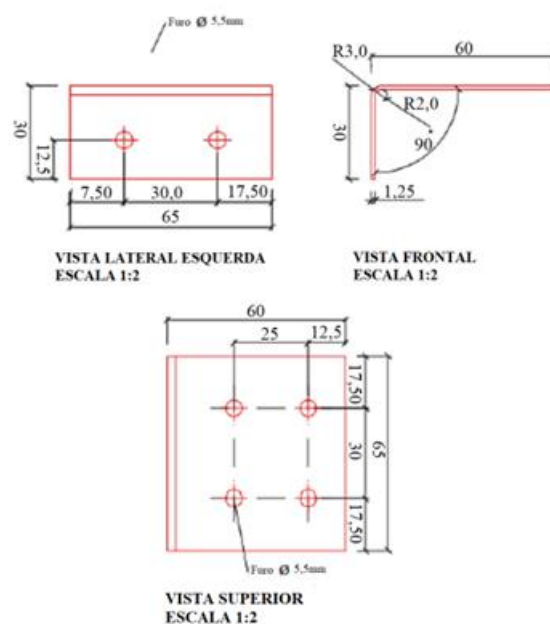


Figura 2 - Dimensões e furações da cantoneira L60x30x1.25mm [8].

A cantoneira de ligação (L90x30x2,30mm), por sua vez, foi fabricada em aço CIVIL300, com espessura de chapa de 2,30mm, conforme apresentado na Figura 3, que traz a vista frontal da mesma em (a), a superior em (b) e a lateral em (c).

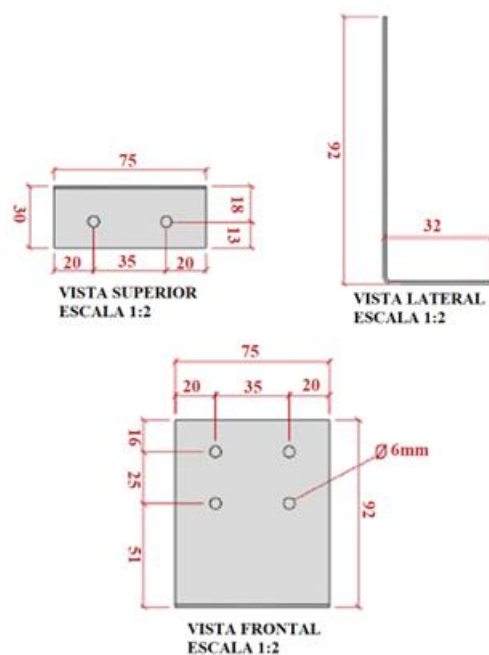


Figura 3 - Dimensões e furações da cantoneira L90x30x2.30mm [8].

Para a realização dos ensaios, foram utilizados dispositivos auxiliares, que são apresentados no Quadro 1, com suas funções e/ou especificações de uso. Alguns desses dispositivos podem ser visualizados logo abaixo, nas imagens disponibilizadas. Na Figura 4.a é possível

observar o aplicador de carga, prensa hidráulica presa à estrutura; na Figura 4.b pode-se observar a estrutura de transmissão de carga, que é uma estrutura com os perfis do sistema ISOTELHADO, conforme descrito no Quadro 1; na Figura 4.c é possível observar os apoios utilizados, que são pórticos com base em perfis laminados. Os apoios utilizados nos ensaios foram montados de forma que se evitasse que a plastificação dos apoios interferisse nos resultados dos ensaios.



Figura 4 - Dispositivos Auxiliares: (a) Aplicador de Carga – Prensa Hidráulica; (b) Transmissor de Carga; (c) Pórticos de apoio [8].

Métodos

Partindo do exposto, trata-se de um trabalho de estudo de caso, onde foi realizada uma análise do material disponibilizado pela empresa Isoeste Metálica, e, por intermédio dos dados disponibilizados e entrevistas com profissionais da empresa, foi possível avaliar os ensaios realizados nos perfis cantoneiras quanto a condição de determinação do esforço resistente da ligação quanto aos esforços de arrancamento. De forma geral, são apresentados, nos tópicos que seguem, as condições de realização dos ensaios, que interferem significativamente nos resultados obtidos, e a forma como foi determinado o coeficiente de ponderação dos esforços, conforme prescrito em [9].

Condições de realização dos ensaios

Durante a realização dos ensaios, primeiramente a carga foi aplicada na célula de carga, que contabilizou o valor da força resistente em quilogramas. A célula de carga é um dispositivo que descarrega na estrutura auxiliar de transmissão, e a terça, por sua vez, já carregada, transmite os esforços diretamente para a cantoneira. Ao todo, foram elaborados 16 ensaios, sendo eles 4 repetições de cada modelo de ligação (considerando 2 ou 3 parafusos). A Figura 5 apresenta a forma como os ensaios foram divididos.

Análise dos esforços resistentes obtidas experimentalmente

Os perfis do tipo Cantoneira em LSF, foram avaliados neste trabalho sobre a condição de determinação do esforço resistente da ligação quanto aos esforços de arrancamento. Esse mecanismo de esforço geralmente é o mais crítico, levando-se em consideração sistemas de cobertura submetidos à esforços de sucção pela ação do vento, sendo as telhas fixadas mecanicamente nas terças.

Determinação do Coeficiente de Ponderação dos Esforços

Documentos técnicos como a NBR 14762 (ABNT, 2010), AISI S100 (2016) e EN 1993-1-3 (2006), são comumente utilizados para a determinação do esforço de cálculo dos perfis formados a frio. Conforme [9], o esforço resistente de cálculo deve ser calculado pela relação entre o valor nominal do esforço resistente e o coeficiente de ponderação da resistência γ , que é obtido através da Eq. (1).

Quadro 1 - Dispositivos auxiliares utilizados para a realização dos ensaios [8]

Dispositivos	Funções / Especificações
Aplicador de Carga	Constituído por uma prensa hidráulica com a capacidade de 50 toneladas de carga.
Célula de Carga	Localizada entre a prensa e a estrutura de transmissão da carga. Contabiliza o valor da resistência em quilogramas, a célula de carga descarrega na estrutura auxiliar de transmissão.
Transmissor de Carga	Perfis do sistema ISOTELHADO: perfil UE70 como caibro e perfil UE90 como terça, esses perfis são fabricados no aço ZAR400 com a espessura de 0,80mm.
Apoios	Dois pórticos com base em perfis laminados, e colunas e vigas com perfis U enrijecidos com o intuito de garantir rigidez no elemento fixado.

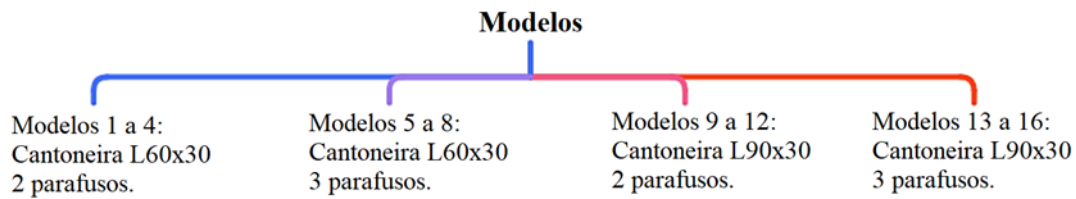


Figura 5 - Modelos de ensaio realizado.

$$\gamma = 1/[1,52 \cdot (X_m \cdot X_f) \cdot e^{-\beta \cdot \sqrt{\delta_m^2 + \delta_f^2 + C_p \cdot \delta_t^2 + 0,044}}] \quad (1)$$

Onde:

e – Base do logaritmo natural, igual a 2,718;

C_p - Fator de correção, obtido de acordo com o número de ensaios (n);

n – Número de ensaios;

m – Grau de liberdade, igual a $n - 1$;

β – Índice de confiabilidade-alvo, que pode assumir os valores (1,5 para vigas com a mesa tracionada conectada a painel e mesa comprimida livre; 2,5 para barras; 3,5 para ligações);

δ_t – Coeficiente de variação obtido nos ensaios (relação entre o desvio padrão e o valor médio), tomado sempre maior ou igual a 6,5 %;

As variáveis abaixo apresentadas são obtidas utilizando a Tabela A.1, contida na NBR 14762 (ABNT, 2010), apresentada no Anexo A deste trabalho.

X_f – Valor médio do fator fabricação;

X_m – Valor médio do fator material;

δ_f – Coeficiente de variação do fator fabricação;

m – Coeficiente de variação do fator material.

Determinação do Esforço Resistente de Cálculo

Após a determinação do valor de carga suportado, de forma experimental, aquela obtida pela medição na célula de carga, deve-se determinar o esforço resistente de cálculo (F_d), que é aquele que será efetivamente considerada no projeto, como o valor que o perfil verificado resiste, uma vez que o valor do esforço nominal (F_n), obtido de forma experimental, é minorado pelo coeficiente de ponderação obtido por intermédio da Eq. (1) para se chegar a esse valor. Dessa forma, esse dado será obtido através da Eq. (2).

$$F_d = \frac{F_n}{\gamma} \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da carga de ruptura de cada modelo ensaiado.

Conforme o ensaio realizado para a determinação da carga de ruptura das ligações, de acordo com o modelo ensaiado, que é apresentado na Figura 5, pôde-se obter os valores, em quilograma-força (kgf) e mecanismos de ruptura (observados no momento da falha) de cada ensaio, que são apresentados na Tabela 1 para os perfis do tipo L60x30x1,25 mm.

Tabela 1 – Dados obtidos durante ensaio para o perfil L60x30x1,25 mm.

Modelo	Quantidade de Parafusos	Carga de Ruptura (kgf)	Média da Carga (kgf)	Mecanismo de ruptura
1	2	250	230,75	Arrancamento dos parafusos
2		210		
3		220		
4		243		
5	3	449	407	Arrancamento dos parafusos
6		380		
7		369		
8		430		

Através da análise da Tabela 1, e com base em observações de campo durante a realização dos ensaios, observou-se que, para esses perfis, que possuem espessura de 1,25 mm, o mecanismo de ruptura passou, em todos os casos, pelas etapas de deformação plástica até chegar no colapso da ligação por intermédio do arrancamento dos parafusos. Outro fator que pode ser facilmente observado é que a carga suportada, com a utilização de 3 parafusos, mostrou um ganho considerável em relação aos ensaios com 2 parafusos, da ordem de 76,4%.

De forma análoga, para os perfis ensaiados do tipo L90x30x2,30 mm, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Através da análise da Tabela 2, é possível observar que 2, dos 8 ensaios apresentaram, como mecanismo de falha, a ruptura do perfil da ligação. Em campo, observou-se ainda que, para esse perfil, os modelos que sofreram colapso por arrancamento dos parafusos, falharam antes de obter grandes deformações. Outro fator importante a ser observado, é que, para este caso, o uso de 3 parafusos na ligação não permitiu que o perfil obtivesse uma capacidade de suporte consideravelmente maior, obtendo um ganho de apenas 14,94% em detrimento da ligação com uso de 2 parafusos. No entanto, os valores suportados, em kgf, em relação ao experimento com o perfil L60x30x1,25 mm, foram maiores, o que, segundo os profissionais consultados durante o experimento, se deve a sua maior espessura.

O Gráfico 1 apresenta o valor médio das cargas de ruptura dos perfis avaliados no ensaio, em kN, de acordo com a quantidade de parafusos de ligação.

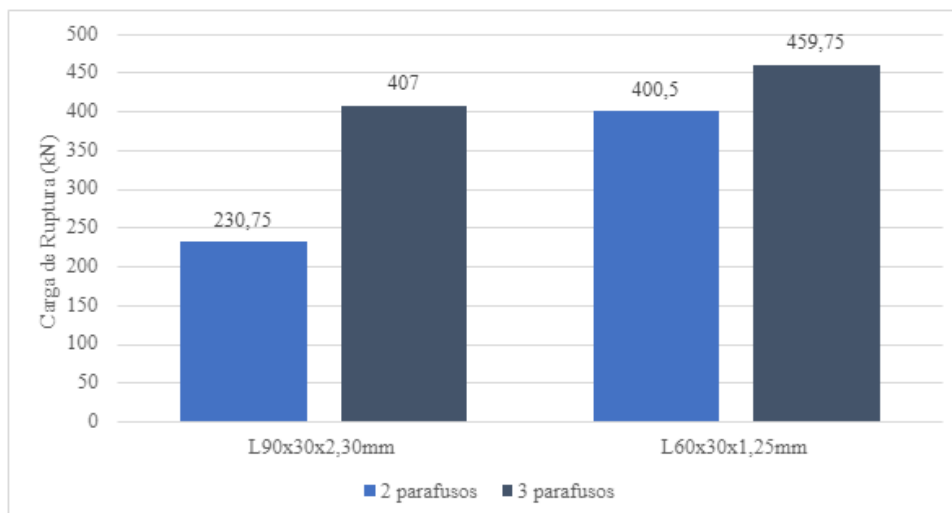
De acordo com [10], quando se tem ligações onde as chapas de extremidade apresentam espessuras pequenas, o que pode acarretar problemas de esmagamento das mesmas, é necessário que se utilize um número maior de parafusos na ligação de modo a aumentar a capacidade resistente da mesma, uma vez que ocorre uma distribuição de esforços entre esses conectores.

Em seu trabalho [11] realizaram um experimento com 30 corpos de prova de ligações parafusadas com 4 tipos diferentes de aço e 3 tamanhos de parafusos comerciais com porcas sextavadas, onde todas as ligações possuíam apenas uma seção perpendicular à força aplicada de parafusos. Nesse estudo, foi comparado o comportamento das ligações em relação às espessuras analisadas. Como resultado, os autores observaram que a falha predominante se deu por esmagamento da parede do furo e os resultados foram mais satisfatórios para chapas que apresentavam maior espessura, ou seja, as ligações apresentavam maior resistência nestas situações. [12] por sua vez, afirma que a ocorrência do modo de instabilidade depende, dentre outros fatores, do comprimento da barra (L), da espessura (t), da forma da seção transversal, da esbelteza global (λ) da barra e local (b/t) dos elementos que compõem a seção transversal e imperfeições geométricas iniciais, excentricidades de carregamento, tensões residuais entre outros.

A Figura 6.a mostra uma cantoneira L60x30x1,25 mm ligada por 3 parafusos, antes da realização dos ensaios. Por sua vez, a Figura 6.b apresenta a mesma cantoneira após a falha com arrancamento dos parafusos.

Tabela 2 – Dados obtidos durante ensaio para o perfil L90x30x2,30 mm.

Modelo	Quantidade de Parafusos	Carga de Ruptura (kgf)	Média da Carga (kgf)	Mecanismo de ruptura
9	2	359	400,5	Arrancamento dos parafusos
10		449		
11		350		
12		444		
13	3	457	459,75	Arrancamento dos parafusos
14		434		
15		509		
16		439		

Gráfico 1 – Média das cargas de ruptura de acordo com o perfil avaliado.**Figura 6** - Ligação da cantoneira (a) antes da realização do ensaio e (b) após o ensaio. [8].

Na Figura 7, é possível observar os mecanismos de falha na cantoneira L90x30x2,30 mm, em (a) ligada por 2 parafusos, e apresentando falha por arrancamento dos parafusos e em (b) com 3 parafusos e com falha pelo mesmo mecanismo. Na Figura 7.b é importante observar que o perfil inferior, no qual a cantoneira está ligada, também falhou durante o processo, sofrendo considerável deformação, o que compromete a afirmação de que a falha ocorreu no elemento ligante.

Através da análise das Figuras 6 e 7, que apresentam imagens da falha dos elementos, é possível observar que não se pode definir o tipo de esforço que ocasionou na falha dos componentes da ligação, em normal, cortante ou de momento, uma vez que a falha ocorreu, na verdade, de forma global, ou seja, ocorreu uma deformação conjunta dos elementos da ligação. A análise dos resultados e das imagens obtidos dos momentos da falha, deixam claro que o objetivo dos ensaios,

considerando as ligações avaliadas neste trabalho (Banzo/Estrutura e Terça/Banzo), era de determinar apenas qual a carga suportada por elas.

**Figura 7** - Comportamento das cantoneiras (a) e (b). [8].

O comportamento mecânico de ligações parafusadas tem influência significativa na forma como a distribuição dos esforços e os deslocamentos ocorrem nas estruturas, sendo importante, dessa forma, conhecer a rigidez da mesma [13]. De modo a validar testes experimentais que visam estimar o comportamento da estrutura mediante a aplicação de carregamentos, o autor afirma que a análise de esforço na estrutura em aço deve incluir a influência do comportamento de ligações, como a realizada nesse trabalho, e complementa ressaltando que em fases iniciais de projeto, as ligações não estão dimensionadas de forma definitiva, sendo necessário que haja testes experimentais que avaliem seu comportamento.

Determinação do Esforço de Cálculo dos Perfis Ensaaiados.

Tomando por base [9], foi calculado o coeficiente de ponderação de esforços γ , que foi obtido pela Eq. (1), já apresentada. Esse valor foi utilizado em conjunto com o valor da média dos esforços nominais (F_n) obtidas para cada grupo para a obtenção do valor da resistência de cálculo (F_d) dos mesmos, conforme a Eq. (2). Os dados obtidos para a Cantoneira L60x30x1,25 mm são apresentados na Tabela 3. De forma análoga, os dados mencionados anteriormente foram também calculados para a Cantoneira L90x30x2,30 mm. A Tabela 4 apresenta uma síntese dos valores obtidos por intermédio das Eq. (1) e (2).

A análise das Tabelas 3 e 4 permite observar que para os diferentes ensaios realizados obteve-se valores distintos para o coeficiente de ponderação. Segundo [14] esses coeficientes, que ponderam as ações e as resistências são definidos por meio de técnicas de confiabilidade, de modo que, a partir da definição de um nível aceitável para a probabilidade de falha, possa ser determinado fatores de segurança específicos para o elemento avaliado que assegurem a não ocorrência da falha dele.

O autor ressalta que a análise de confiabilidade depende, essencialmente, da qualidade dos dados relacionados ao problema em análise, ou seja, dos resultados experimentais, e da precisão do modelo matemático utilizado [14].

Em relação aos valores dos esforços de cálculo observado, a análise das Tabelas 3 e 4 permite observar um ganho da capacidade de suporte com a utilização de 3 parafusos, em detrimento da ligação que possui apenas 2, bastante significativo, o que já era esperado. Segundo [13] é intuitivo admitir que, em uma ligação constituída por diversos parafusos, a força externa aplicada será distribuída igualmente entre eles. Na prática, essa distribuição é estatisticamente indeterminada, pois depende de outros fatores, como por exemplo, a folga entre parafuso e furo, no entanto, análises aprofundadas mostram que, de forma geral, essa distribuição é aproximadamente uniforme. Dessa forma, considerando que nos casos ensaiados a distribuição dos esforços aplicados se deu de forma uniforme entre os parafusos, é razoável admitir que a maior quantidade de parafusos culmina em um aumento da capacidade resistente da ligação.

Tabela 3 – Dados de cálculo para a cantoneira L60x30x1,25 mm.

Tipo de Ensaio	Modelo	Fator de Ponderação (γ)	Esforço de Cálculo - F_d (kgf)
2 parafusos (chapas 0,80x0,80mm)	1, 2, 3 e 4	1,59	145,13
3 parafusos (chapas 0,80x0,80mm)	5, 6, 7 e 8	1,68	242,26

Tabela 4 – Dados de cálculo para a cantoneira L90x30x2,30 mm.

Tipo de Ensaio	Modelo	Fator de Ponderação (γ)	Esforço de Cálculo - F_d (kgf)
2 parafusos (chapas 0,80x1,25mm)	9, 10, 11 e 12	2,00	200,25
3 parafusos (chapas 0,80x1,25mm)	13, 14, 15 e 16	1,55	296,61

CONCLUSÃO

As observações realizadas neste trabalho, em perfis do tipo cantoneiras constituídos de LSF, avaliaram a carga, em quilograma-força (kgf), e o mecanismo de ruptura em testes experimentais feitos em dois modelos de cantoneiras: L60x30x1,25mm – ZAR400 e L90x30x2,30mm – ZAR400 em parceria com a empresa Isoeste Metálica. Com base em observações de campo, notou que os perfis que possuíam a espessura de 1,25 mm,

em todos os casos, passaram pelas etapas de deformação plástica em seu mecanismo de ruptura até chegar ao seu colapso por meio do arrancamento de parafusos; sendo possível analisar que a carga suportada com a utilização de 3 parafusos mostrou vantagens em relação aos ensaios feitos com 2 parafusos, da ordem de 76,4%.

Nos perfis com espessura de 2,30 mm, dois de oito ensaios apresentaram a falha por ruptura do perfil de ligação; mostrando que os modelos que sofreram colapso

por arrancamento de parafusos falharam antes mesmo de obter grandes deformações. Neste mesmo perfil foi possível observar que o uso de 3 parafusos na ligação não permitiu que o perfil obtivesse uma capacidade maior de suporte, pois seu ganho foi de apenas 14,94% em relação ao uso de dois parafusos, porém os resultados mostrados em kgf em relação ao perfil L60x30x1,25 mm, foram maiores.

Uma importante observação em relação aos ensaios e resultados obtidos é que não foi possível definir o tipo de esforço que ocasionou na falha dos componentes, em normal, cortante ou momento, pois a falha ocorreu em deformação conjunta dos elementos da ligação. Uma vez que os ensaios foram realizados pela empresa visando avaliar a quantidade de carga suportada pela ligação comercializada, os resultados atestaram a qualidade devido a capacidade de suporte dos elementos avaliados. No entanto, ensaios mais específicos, e com maior controle tecnológico, são indispensáveis para que se tenha uma melhor definição do comportamento não só das cantoneiras, mas da ligação como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. In: _____. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998. P. 13-81.
- 2 BELLEI, I. H. **Edifícios industriais em aço: Projeto e cálculo**. 2ª Ed. Editora Pini. 1998, São Paulo.
- 3 GOMES, A. P.; SOUZA, H. A.; TRIBESS, A. **Impact of Thermal Bridging on the Performance of Buildings Using Light Steel Framing in Brazil**. Applied Thermal Engineering, v. 52, p. 84-89, 2013.
- 4 KULAK, G. L.; FISHER, J. W.; STRUIK, J. H. **A. Guide to design criteria for bolted and riveted joints**. 2nd. ed. Chicago: JOHN WILEY & SONS, 1988. v. 15. 331 p.
- 5 GORGOLEWSKI, M. **Developing a simplified method of calculating U-values in light steel framing**. *Building And Environment*, Toronto, Canadá, v. 42, n. 1, p. 230-236, jan. 2007.
- 6 LEE, Yeong Huei; TAN, Cher Siang; MOHAMMAD, Shahrin; TAHIR, Mahmood Md; SHEK, Poi Ngian. Review on cold-formed steel connections. *The Scientific World Journal*, Cairo, v. 2014, p. 1-11, 2014.
- 7 COSTA, Brenda V. F.; **Análise Numérica das Tensões de Cantoneiras de Aço Formadas a Frio, sob Tração e Conectadas por Parafusos**. Universidade de Brasília: Departamento de engenharia civil e ambiental. Março, 2020.
- 8 ISOESTE METÁLICA. **Empresa Isoeste Metálica**. Disponível em: <https://www.isoestemetalica.com.br/>. Acesso em: 22 nov. 2023.
- 9 **ABNT NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídos por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- 10 RESENDE, Vitor Nuno Borges Silva. **Análise e Dimensionamento de Ligações Metálicas Segundo O EUROCÓDIGO 3: vantagens no uso de ligações semi-rígidas**. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2009.
- 11 GILCHRIST, R. T., CHONG, K. P. **Thin Light-Gage Bolted Connection without Washers**. *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol. 105, n. ST1, 1979.
- 12 CHODRAUI, G.M.B. **Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão**. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
- 13 VASCONCELLOS, Alexandre Luiz. **Ligações em estruturas metálicas**. Volume 1 / Instituto

Aço Brasil, Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil /CBCA, 2017.

- 14 BOLANDIM, Emerson Alexandre. **Análise de Confiabilidade em ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio.** 2011. 336 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.