

**UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS – UNIEVANGÉLICA
CAMPUS CERES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANA JÚLIA FIGUEIREDO
MARIA EDUARDA RODRIGUES FERREIRA**

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

PUBLICAÇÃO Nº: 04

**CERES / GO
2023**

**ANA JÚLIA FIGUEIREDO
MARIA EDUARDA RODRIGUES FERREIRA**

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

PUBLICAÇÃO Nº: 04

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADORA: Ma. JÉSSICA NAYARA DIAS

CERES / GO: 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

FIGUEIREDO, ANA JÚLIA; FERREIRA, MARIA EDUARDA RODRIGUES.

Análise do Comportamento de Perfis Metálicos *Light Steel Frame* Tipo Cantoneiras. 2023
xi, 23 P, 297 mm (ENC/UniEVANGÉLICA, Bacharel, Engenharia Civil, 2023).

TCC – UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Cantoneiras

2. *Light steel frame*

3. Conexões parafusadas

4. Carga de ruptura

I. ENC/UNI

II. Análise do Comportamento de Perfis Metálicos *Light*

Steel Frame Tipo Cantoneiras

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FIGUEIREDO, A. J. FERREIRA, M. E. R. Análise do Comportamento de Perfis Metálicos *Light Steel Frame* Tipo Cantoneiras. TCC, Publicação ENC. PF-001A/23, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 23 p. 2023.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ana Júlia Figueiredo; Maria Eduarda Rodrigues Ferreira.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise do Comportamento de Perfis Metálicos *Light Steel Frame* Tipo Cantoneiras.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2023

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Ana Júlia Figueiredo

76372-000 - Pilar de Goiás/GO - Brasil

Maria Eduarda Rodrigues Ferreira

76360-000 - Itapaci/GO - Brasil

**ANA JÚLIA FIGUEIREDO
MARIA EDUARDA RODRIGUES FERREIRA**

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

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:



**JÉSSICA NAYARA DIAS, Mestra (Universidade Evangélica de Goiás –
UnIEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(ORIENTADOR)**



**IGOR CEZAR SILVA BRAGA, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG)
(EXAMINADOR EXTERNO)**



**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (Universidade Evangélica de Goiás –
UnIEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: CERES/GO, 11 de dezembro de 2023.

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

Ana Júlia Figueiredo¹
Maria Eduarda Rodrigues Ferreira²
Jessica Nayara Dias³

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.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil da Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: annajulliaf04@gmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil da Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: mariaeduardar534@gmail.com

³ Titulação, professor do curso da Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: jessicadias.engenharia@gmail.com

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Sistema construtivo no Brasil	6
2.2 Propriedades do aço	6
2.3 <i>Light Steel Frame</i>	7
2.4 Falhas em conexões parafusadas.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Materiais.....	11
3.2 Métodos	13
<i>3.2.1 Condições de realização dos ensaios</i>	<i>13</i>
<i>3.2.2 Análise dos esforços resistentes obtidas experimentalmente</i>	<i>14</i>
<i>3.2.3 Determinação do Coeficiente de Ponderação dos Esforços</i>	<i>14</i>
<i>3.2.4 Determinação do Esforço Resistente de Cálculo</i>	<i>14</i>
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1 Análise da carga de ruptura de cada modelo ensaiado.....	15
4.2 Determinação do Esforço de Cálculo dos Perfis Ensaçados.....	18
5 CONCLUSÃO.....	19
REFERÊNCIAS	20
ANEXO A.....	23

1 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 (SOUZA; RIPPER, 1998).

De acordo com Bellei (1998), 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 (GOMES et al., 2013). 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 (KULAK; FISHER; STRUIK, 1988; SALMON; JOHNSON; MALHAS, 2009).

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 (BELLEI, 1998).

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 (GORGOLEWSKI, 2006).

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 (LEE et al., 2014).

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 (COSTA, 2020).

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, os mesmos 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.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema construtivo no Brasil

A aplicação de novos métodos construtivos pode caracterizar uma redução significativa no uso de insumos e operações nos canteiros de obras. Mas, no cenário brasileiro se cultua a utilização de processos tradicionais na construção em detrimento das tecnologias avançadas, fazendo com que gere improvisação nos canteiros e baixa eficiência nos recursos (GOMES; SOUZA; TRIBESS, 2013).

No Brasil, as tradicionais alvenarias em blocos de concreto ou cerâmico e revestimentos em argamassa, sendo lançados manualmente ou até mesmo de uma forma mecânica, ainda são predominantes. Um fator que pode contribuir para que novas tecnologias sejam implementadas é a apresentação do impacto que isso pode causar nos custos de um empreendimento. O sistema de produção de fachadas merece destaque, pois pode representar de 15% a 20% dos custos totais, como é o exemplo das vedações externas, esquadrias, revestimentos em argamassa, revestimentos em gesso e acabamentos (MEJICOVSKY; SETTLEMYRE, 2003).

Embora tenham muitos pontos positivos nos novos sistemas criados, os profissionais que se propõem a implantar outros métodos, como o LSF, acabam encontrando algumas dificuldades, como: Custo direto mais alto do sistema LSF em relação ao tradicional, pois como a demanda é pequena boa parte dos produtos são importados; instalação do produto; e a baixa qualificação dos profissionais que pode ocasionar patologias (ROCHA, 2017).

2.2 Propriedades do aço

Segundo Dias (2008) as propriedades mecânicas do aço são determinadas através de seu comportamento quando submetidos a esforços, indicando assim sua capacidade de resistência e transmissão de esforços aplicados sem que tenha uma ruptura ou deformação. Desse modo, o Quadro 1 apresenta a definição das principais propriedades mecânicas dos aços.

Quadro 1 – Propriedades Mecânicas dos Aços

Propriedade Mecânica	Especificação
Elasticidade	Que se define pela capacidade de voltar ao seu estado original, mesmo após sucessivas aplicações de forças.
Ductilidade	Que é a capacidade do material em ser deformado plasticamente sem que haja um colapso, resumindo sem quebrar ou romper.
Tenacidade	Sendo a capacidade do material em absorver energia em seu regime elástico e plástico quando submetidos a uma carga de impacto.
Resiliência	Capacidade dos materiais em absorver energia no regime elástico.
Fragilidade	Sendo o antônimo de ductilidade.
Dureza	Capacidade do material em não ser riscado ou ser abrasivo.
Fadiga	Decorrente de repetitivos esforços, chegando ao colapso do material em níveis de tensões inferiores a que ele pode realmente suportar.

Fonte: PFEIL E PFEIL (2009)

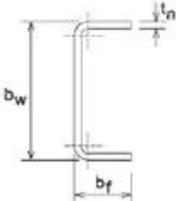
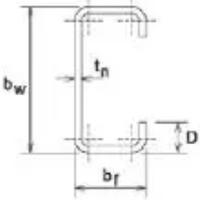
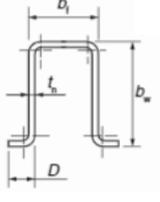
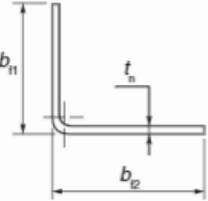
De acordo com Callister (1999), materiais metálicos podem ser construídos a partir de combinações de elementos metálicos, pois possuem em sua estrutura atômica elétrons não localizados (não estão ligados a nenhum átomo em específico). Dependendo do seu arranjo atômico, muitas propriedades podem ser atribuídas a esses átomos. Dessa forma, os metais são conhecidos pela ótima condutibilidade de calor e eletricidade, além de serem muito resistentes e deformáveis fazendo com que sejam utilizados em muitas aplicações estruturais.

2.3 Light Steel Frame

Elementos de aço como o LSF são usados em construções residenciais há muito tempo. Embora a cultura do Brasil não favoreça esse método, a utilização vem crescendo bastante, com um destaque em elementos de vedação externa, construção de escolas, habitações unifamiliares, hospitais e edifícios de até quatro pavimentos e retrofit, que são técnicas de recuperação de edificações antigas (LAWSON; OGDEN, 2008).

O sistema construtivo LSF é caracterizado pelo uso de perfis leves de aço zincado formado a frio, formando estruturas esbeltas vedadas com painéis ou chapas industrializadas (MEDEIROS *et al.*, 2014). O Quadro 2 mostra os perfis especiais e utilização, relacionando a seção transversal com a sua denominação de acordo com a NBR 15253 (ABNT, 2014).

Quadro 2 – Perfis especiais e utilização.

Seção Transversal	Denominação ABNT NBR 6355: 2003	Utilização
	U Simples U b _w x b _f x t _n	Guia Ripa Bloqueador Safena
	U enrijecido U _e b _w x b _f x D x t _n	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola C _r b _w x b _f x D x t _n	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais L b _{f1} x b _{f2} x t _n	Cantoneira

Fonte: Adaptada de NBR 15253 (ABNT, 2014)

Existem algumas denominações da NBR 6355 (ABNT, 2012) a respeito das conexões utilizadas, como barras que possuem seção transversal formadas por perfis H, I, U, tubular ou L; entre elas estão as cantoneiras (L) que fazem parte da utilização em perfis especiais. No dimensionamento de barras tracionadas a propriedade geométrica que demanda uma atenção maior é a área da seção transversal. E quando se trata da região das ligações o cuidado deve ser maior, pois a área efetiva pode ser inferior à área bruta da seção transversal.

2.3.1 Perfis do Tipo Cantoneira

O perfil do tipo Cantoneira tem como função sustentar cargas a partir de uma solução leve e esbelta, contando com uma enorme diversidade de aplicação em construções. De acordo com Nardin (2008), esse tipo de perfil é produzido a partir da conformação de chapas finas, pois a fabricação com dimensões cada vez mais esbeltas pode acarretar uma diminuição no custo da construção metálica.

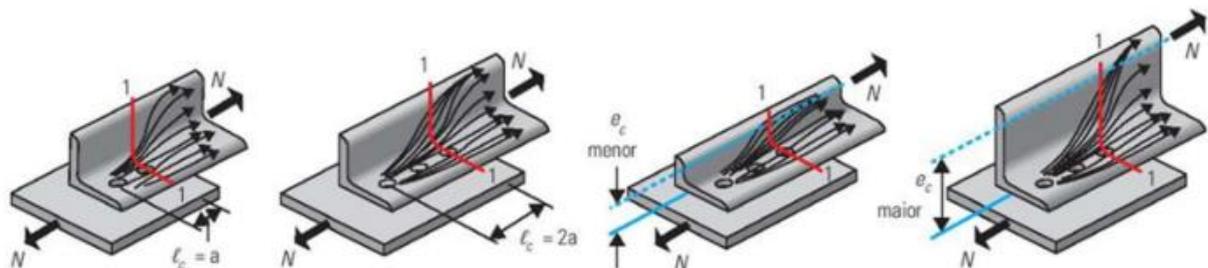
Quando submetidas à compressão podem sofrer flambagem por flexão (a mais comum), flambagem por torção ou flexotorção, que vai depender do vínculo, seja ele livre, rotulado ou engastado; da esbelteza e do tipo de aço. Cantoneiras de abas iguais com a esbelteza local elevada (relação comprimento/espessura da aba), podem estar sujeitas à perda de estabilidade em elementos componentes da seção transversal da barra. Pode ocorrer antes mesmo que a tensão crítica seja determinada a partir da análise global atingida (ocorrência de instabilidade local das abas). Devendo ser evitada com a redução da relação comprimento/espessura da região instável (PFEIL, 2010).

2.4 Falhas em conexões parafusadas

Existem muitas formas em que as conexões podem ser realizadas, como é o exemplo de parafusos, rebites e soldas. A conexão de parafuso desempenha uma execução com facilidade à montagem e desmontagem, por isso é muito utilizada. Mas essa região se torna propensa a ruptura pelo fato das tensões serem amplificadas devido à transferência de esforços para a aba conectada (Shear Lag), e também pela diminuição da seção transversal e à amplificação da tensão devido a presença dos furos (ANDERSON, 2005).

Um exemplo de ruptura das conexões metálicas é por seção líquida, que pode acontecer por fratura do perfil próximo ao furo dos conectores. Nessa região a distribuição das tensões não é uniforme, pois nesse lugar acontece a transferência dos esforços para os conectores e a área na seção transversal fica menor com a presença dos furos, fazendo com que se torne uma região de relevância ao projetar, porque uma ruptura na conexão pode afetar todo o sistema (HANCOCK, 2016). A Figura 1 ilustra as linhas de tensões na área efetiva na região de conexões com influência do comprimento da conexão:

Figura 1 – Linhas de tensões com influência do comprimento da conexão (à esquerda) e com a modificação do comprimento (à direita).

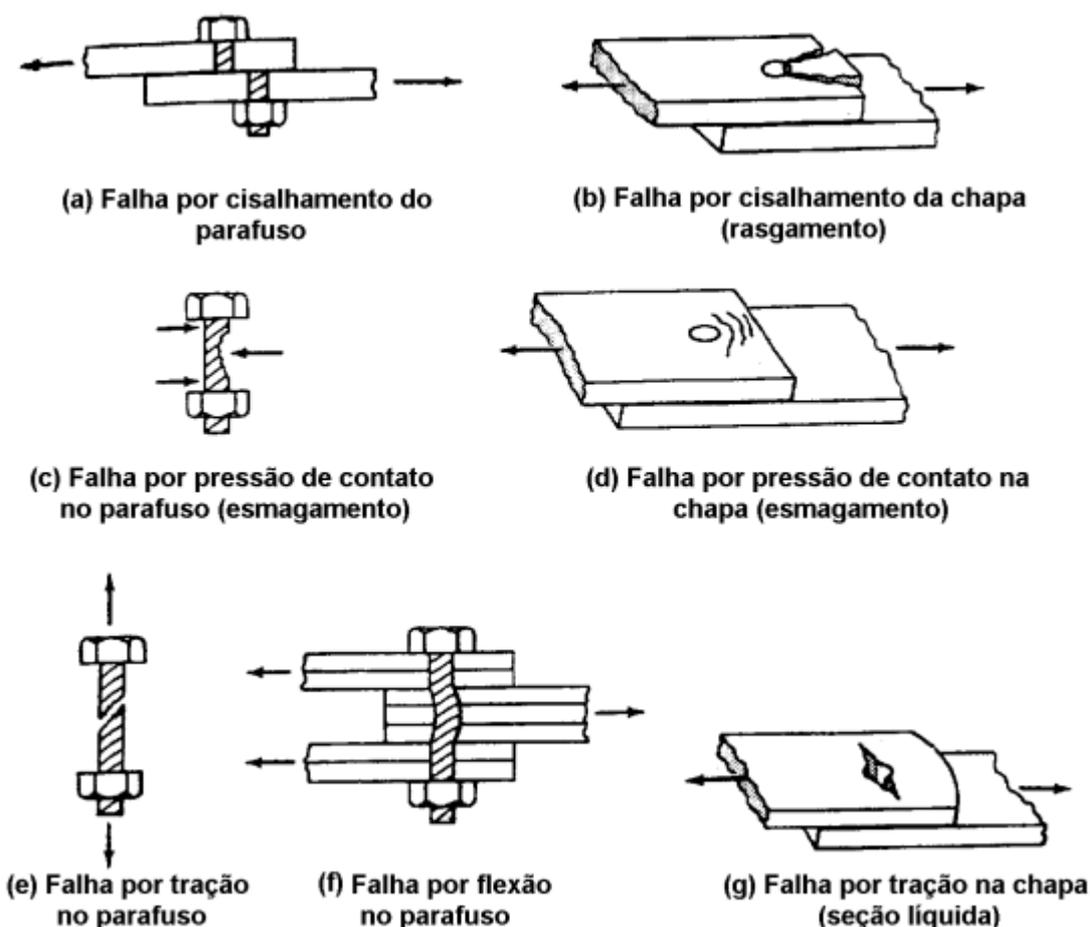


Fonte: Fakury, Silva, Caldas (2016).

As conexões são em boa parte assimétricas, possuindo uma falta de linearidade de tensões. Dessa maneira, as tensões na vizinhança dos conectores serão concentradas em maior quantidade em sua aba conectada, mas é necessário que se transmita aos conectores sem que cause cisalhamento do parafuso ou fratura na seção conectada (CARRIL; YU; LABOUBE, 1995).

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2022), o estado limite último está relacionado ao colapso, ou qualquer outra forma de dano estrutural, que possa impossibilitar o uso dessa estrutura. Assim, quando a tensão de tração atuante ao longo do comprimento da barra e em sua seção bruta acaba se igualando aos valores de resistência de escoamento do aço, então o elemento se alonga de uma forma excessiva até que se encontre em uma situação de escoamento generalizado. Dessa maneira, os modos de falha ou estado limite último que podem controlar a resistência de uma conexão parafusada se encontram na Figura 2.

Figura 2 – Prováveis falhas em conexões parafusadas



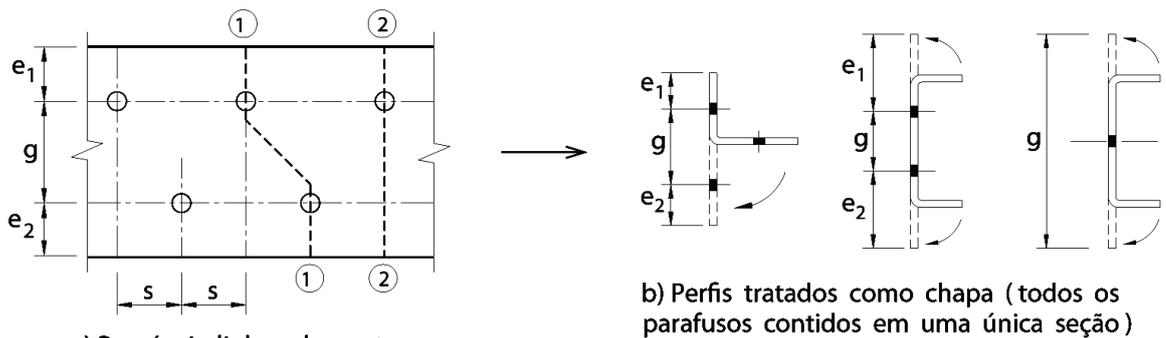
Fonte: Adaptada de Salmon e Johnson (2009).

A falha pode acontecer no metal base ou até mesmo no parafuso, dependendo das medidas destes elementos, como: Largura e espessura do metal base, diâmetro do parafuso e o comprimento, distância entre os parafusos e também da localização deles em relação às bordas do metal base. Dessa forma, quando o parafuso é menor diante as dimensões do metal base a falha provável é o cisalhamento no parafuso (a); a falha por esmagamento do parafuso acontece dificilmente (c); caso o diâmetro do parafuso seja a grande mediante as dimensões do metal base a falha deverá ocorrer junto a ele, por esmagamento (d) ou rasgamento (b); se a relação comprimento/diâmetro é grande a flexão pode estar ocorrendo (f) e quando a seção base é

bruscamente reduzida pela presença de furos, pode acontecer a ruptura por tração na seção líquida (g) (COSTA, 2007).

A NBR 14762 (ABNT, 2010), estabelece os critérios de dimensionamento para barras submetidas ao esforço de tração. Eles se relacionam ao escoamento da seção bruta, ruptura da seção líquida fora da região da ligação e a ruptura da seção líquida na região da ligação. Essa norma define área líquida da seção transversal do perfil para ligações parafusadas em zig-zag, sendo as prováveis linhas de ruptura, considerando que a seção crítica é aquela que corresponde ao menor valor da área líquida. A Figura 3 representa as possíveis linhas de ruptura mencionadas.

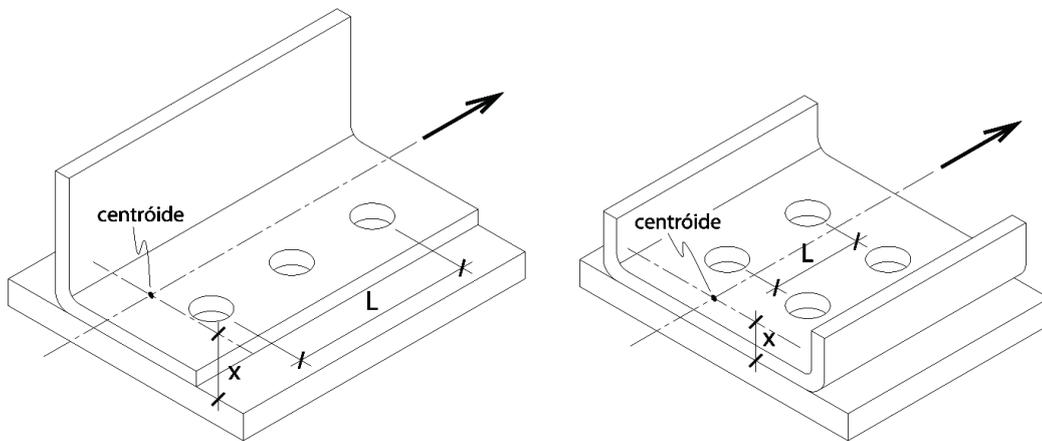
Figura 3 – Linhas de ruptura e grandezas para cálculo do coeficiente C_t .



a) Prováveis linhas de ruptura

b) Perfis tratados como chapa (todos os parafusos contidos em uma única seção)

- 1-1: linha de ruptura com segmento inclinado
- 2-2: linha de ruptura perpendicular à solicitação



c) Ligação parafusada em perfis

Fonte: NBR 14762 (ABNT, 2010)

De acordo com Yip e Cheng, a eficiência da seção líquida depende do comprimento da conexão (L), da excentricidade (\bar{x}), das relações entre a largura plana da seção e sua espessura (w/t) e entre a largura plana da seção e o diâmetro do parafuso (w/d), além do comprimento dos elementos desconectados que se relacionam ao elemento conectado.

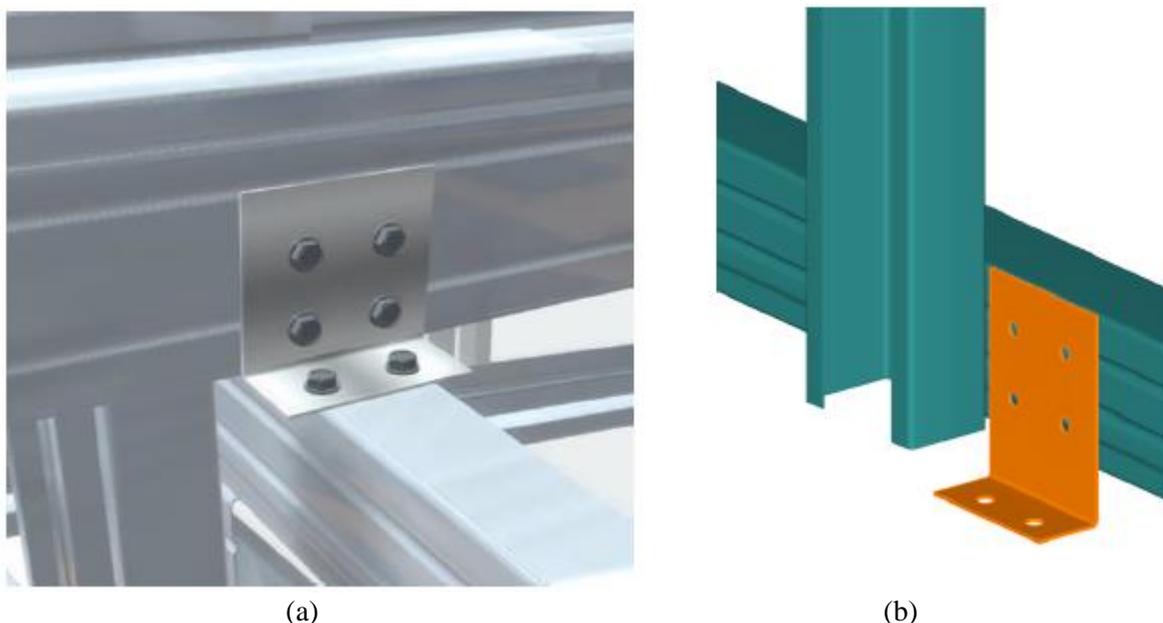
3 MATERIAL E MÉTODOS

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.

3.1 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.

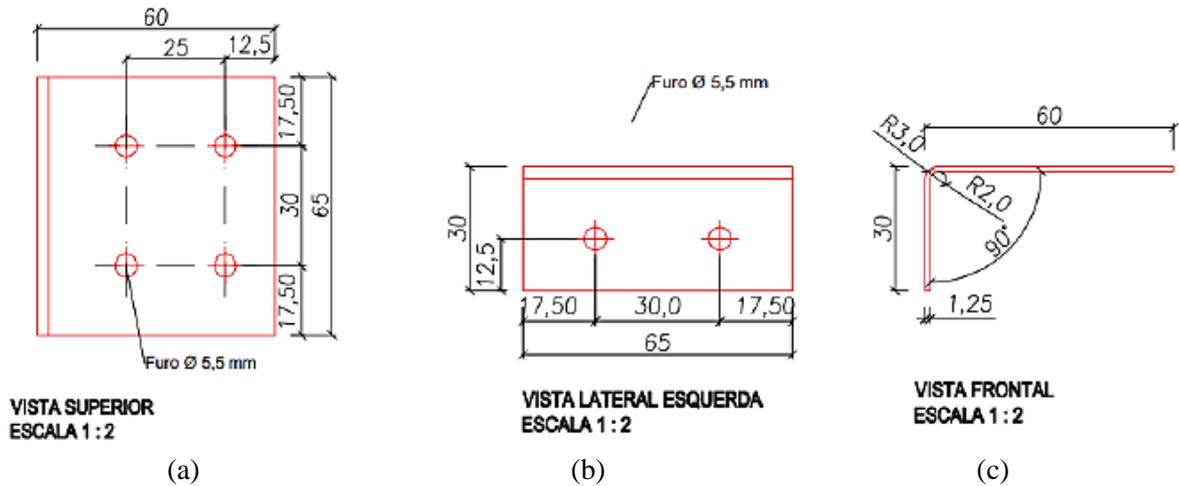
Figura 4 – Ligação com cantoneiras entre perfis do sistema ISOTELHADO: (a) terça-estrutura; (b) terça-banzo



(a)
Fonte: Isoeste Metálica (2022)

A fixação apresentada na Figura 4 é feita da seguinte forma: Ligação Banzo/Estrutura (Figura 4.a) onde são utilizados 4 parafusos no banzo e 2 na estrutura e ligação Terça/Banzo (Figura 4.b) onde são usados 4 parafusos na terça 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 5. Nesta, tem-se a vista superior do elemento de ligação em (a), a vista lateral esquerda em (b) e vista frontal em (c).

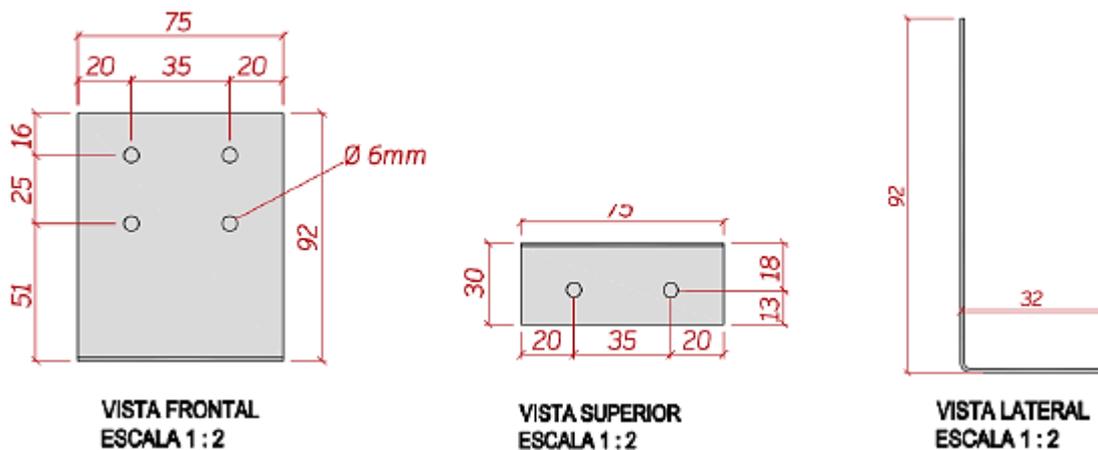
Figura 5 – Dimensões e furações da cantoneira L60x30x1.25mm.



Fonte: Isoeste Metálica (2022)

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 6, que traz a vista frontal da mesma em (a), a superior em (b) e a lateral em (c).

Figura 6 – Dimensões e furações da cantoneira L90x30x2.30mm.



Fonte: Isoeste Metálica (2022)

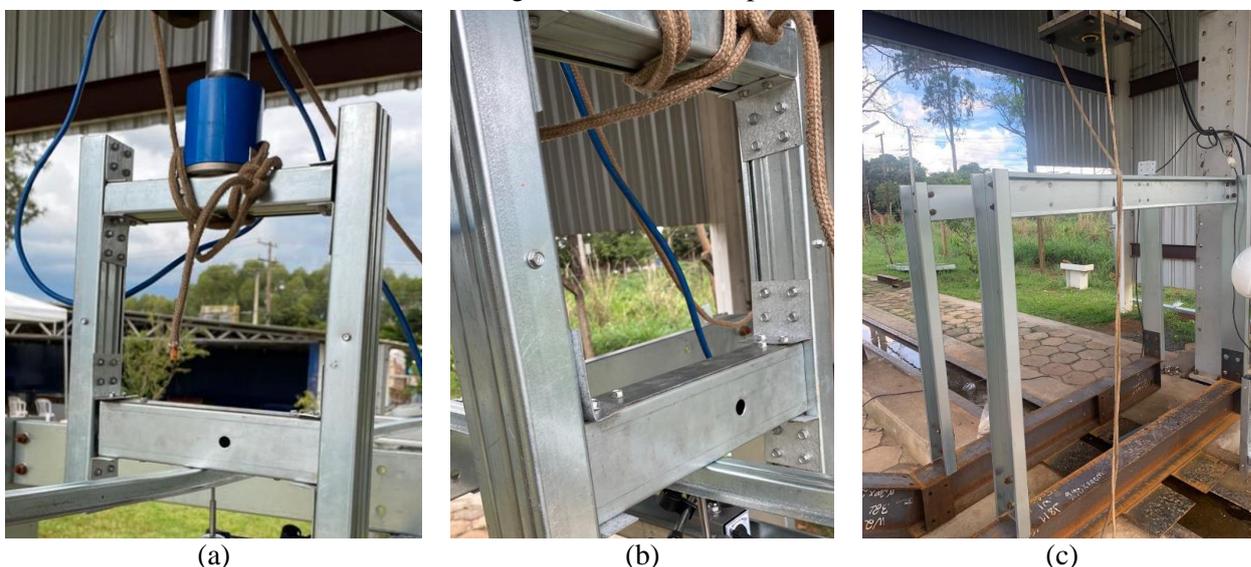
Para a realização dos ensaios, foram utilizados dispositivos auxiliares, que são apresentados no Quadro 3, com suas funções e/ou especificações de uso. Alguns desses dispositivos podem ser visualizados logo abaixo, nas imagens disponibilizadas. Na Figura 7.a é possível observar o aplicador de carga, prensa hidráulica presa à estrutura; na Figura 7.b pode-se observar a estrutura de transmissão de carga, que é uma estrutura com os perfis do sistema ISOTELHADO, conforme descrito no Quadro 3; na Figura 7.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.

Quadro 3 – Dispositivos auxiliares utilizados para a realização dos ensaios

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.

Fonte: Isoeste Metálica (2022)

Figura 7 – Dispositivos Auxiliares: (a) Aplicador de Carga – Prensa Hidráulica; (b) Transmissor de Carga; (c) Pórticos de apoio



Fonte: Isoeste Metálica (2022)

3.2 Métodos

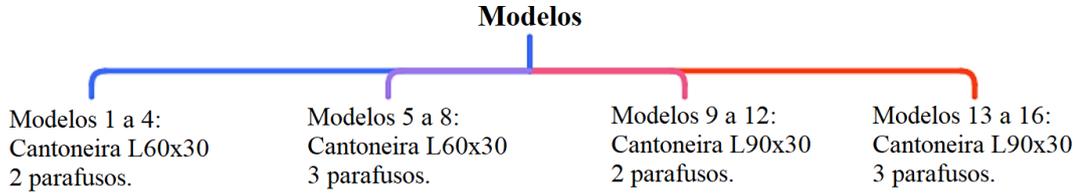
Partindo do exposto, trata-se de um trabalho de estudo de caso, onde foi realizada uma análise do material disponibilizado pela empresa Isoeste Metálica, e, por intermédio dos dados disponibilizados e entrevistas com profissionais da empresa, foi possível avaliar os ensaios realizados nos perfis cantoneiras 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 pela NBR 14762 (ABNT, 2010).

3.2.1 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 8 apresenta a forma como os ensaios foram divididos.

Figura 8 – Modelos de ensaio realizados



Fonte: Próprio Autor (2023)

3.2.2 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.

3.2.3 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 a NBR 14762 (ABNT, 2010), 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).

$$\gamma = 1/[1,52 \cdot (X_m \cdot X_f) \cdot e_0^{-\beta \cdot \sqrt{\delta_m^2 + \delta_f^2 + C_p \cdot \delta_t^2 + 0,044}}] \quad (1)$$

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.

3.2.4 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).

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

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 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 8, 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		250		
2	2	210	230,75	Arrancamento dos parafusos
3		220		
4		243		
5		449		
6	3	380	407	Arrancamento dos parafusos
7		369		
8		430		

Fonte: Adaptado de Isoeste Metálica (2022)

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.

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

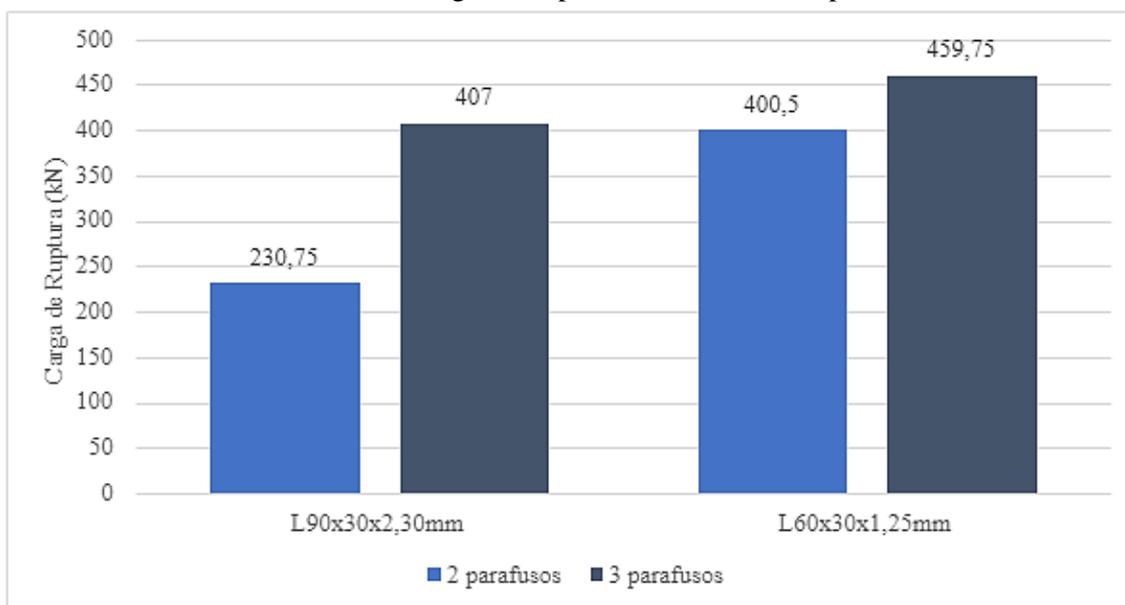
Modelo	Quantidade de Parafusos	Carga de Ruptura (kgf)	Média da Carga (kgf)	Mecanismo de ruptura
9		359		
10	2	449	400,5	Arrancamento dos parafusos
11		350		
12		444		
13		457		
14	3	434	459,75	Arrancamento dos parafusos
15		509		
16		439		

Fonte: Adaptado de Isoeste Metálica (2022)

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.

Gráfico 1 – Média das cargas de ruptura de acordo com o perfil avaliado.



Fonte: Próprio Autor (2023)

De acordo com Resende (2009), quando se tem ligações onde as chapas de extremidade apresentam espessuras pequenas, o que pode acarretar em 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, Gilchrist e Chong (1979), 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. Chodraui (2006), 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 9.a mostra uma cantoneira L60x30x1,25 mm ligada por 3 parafusos, antes da realização dos ensaios. Por sua vez, a Figura 9.b apresenta a mesma cantoneira após a falha com arrancamento dos parafusos.

Figura 9 – Ligação da cantoneira (a) antes da realização do ensaio e (b) após o ensaio.



(a)



(b)

Fonte: Isoeste Metálica 2022)

Na Figura 10, 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 10.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.

Figura 10 – Comportamento das cantoneiras (a) e (b).



(a)



(b)

Fonte: Isoeste Metálica 2022)

Através da análise das Figuras 9 e 10, 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.

Segundo Vasconcellos (2011), 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. 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.

4.2 Determinação do Esforço de Cálculo dos Perfis Ensaçados.

Tomando por base a NBR 14762 (ABNT, 2010), 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.

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

Fonte: Adaptado de Isoeste Metálica (2022)

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).

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

Fonte: Adaptado de Isoeste Metálica (2022)

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 Bolandim (2011), 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 do mesmo. 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.

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 Vasconcellos (2017), 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.

5 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

ALVES, Gustavo T.; **ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DE LIGAÇÕES VIGA MISTA-PILAR DE EXTREMIDADE COM CANTONEIRAS DE ASSENTO E ALMA.** Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2006.

ANDERSON, T. L. **Fracture mechanics** - fundamentals and applications. 3rd. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005. 630 p.

BELLEI, I. H. Edifícios industriais em aço: Projeto e cálculo 2ª Ed. Editora Pini. 1998, São Paulo.

BOLANDIM, Emerson Alexandro. **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.

CALLISTER, JR. W. D. **Engenharia de materiais: Uma introdução 5ª edição.** Editora LTC. 1999, Salt Lake City.

CARRIL, J. L.; LABOUBE, R. A.; YU, W.-W. Tensile and bearing capacities of bolted connections. Rolla: Center for Cold- Formed Steel Structures Library, 1994. 214 p.

CASTRO, Emerson Cardoso de. **Análise numérica de ligações parafusadas semirrígidas em perfis formados a frio.** 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

CHODRAUI, G.M.B. **Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão.** São Carlos, 2006. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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.

DIAS, L.A.M. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem.** Editora Ziguarte. São Paulo, 2008.

GILCHRIST, R. T., CHONG, K. P. Thin Light-Gage Bolted Connection without Washers. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 105, n. ST1, 1979.

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.

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.

HANCOCK, G. **Cold-formed steel structures: Research review 2013-2014.** Advances in Structural Engineering, v. 19, n. 3, p. 393-408, 2016.

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.

Gomes, C. E. M., Vivan, A. L., Sichieri, E., Paliari, J. (2013). **Light steel frame na produção de moradias no brasil in: IX Congresso de Construção Metálica e Mista e I Congresso Luso-** 24 Brasileiro de Construção Metálica Sustentável, Porto, Portugal.

LAWSON, R. M.; OGDEN, R. G. **'Hybrid' Light Steel Panel and Modular Systems. Thin-Walled Structures**, v. 46, p. 720-730, 2008.

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.

MEDEIROS, J. S. et al. **Tecnologias de Vedação e Revestimento Para Fachadas**. Rio de Janeiro: Instituto do Aço Brasil; CBCA, 2014. (Série Manuais da Construção em Aço).

MEJICOVSKY, T.; SETTLEMYRE, K. **Achieving Innovation in Facades**. Architectural Engineering, 2003.

NARDIN, F. Â. A importância da estrutura metálica na construção civil. 2008. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídos por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais . Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

Rogers, C. A., Hancock, G. J. **Failure Modes of Bolted Sheet Steel Connections Loaded in Shear**. Research Report N0. R772, Centre for Advanced Structural Engineering, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia, 1998.

PFEIL, W; PFEIL, M. **Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. Editora LTC. 2008, Rio de Janeiro.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. Estruturas de Aço: **Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. 8ªed. Rio de Janeiro, LTC 2010;

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.

ROCHA, A. C. **Análise Comparativa de Planejamento e Custo de Fachadas de Edifício de Múltiplos Pavimentos Com as Tecnologias Tradicional E com Chapas Delgadas Estruturadas em Light Steel Framing**. São Paulo, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

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.

VASCONCELLOS, Alexandre Luiz. **Ligações em estruturas metálicas.** Volume 1 / Instituto Aço Brasil, Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil /CBCA, 2017.

Winter, G. **Tests on Bolted Connections in Light Gage Steel.** Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 82, n. ST2, pp. 920-1–920-25, 1956.

YIP, A. S.; CHENG, J. J. R. **Shear Lag in Bolted Cold-Formed Steel Angles and Channels in Tension.** 2000. 173 p. Structural Engineering Report N° 233 – Department of Civil & Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton: 2000.

ANEXO A

Tabela A.1 — Dados estatísticos para determinação do coeficiente de ponderação da resistência

Caso em análise	X_m	δ_m	X_f	δ_f
Barras submetidas à tração ou à compressão	1,10	0,10	1,00	0,05
Barras submetidas à flexão simples:				
- Momento fletor: barras estáveis lateralmente	1,10	0,10	1,00	0,05
- Flambagem lateral com torção	1,00	0,06	1,00	0,05
- Painel conectado à mesa tracionada	1,10	0,10	1,00	0,05
- Força cortante	1,10	0,10	1,00	0,05
- Momento fletor e força cortante combinados	1,10	0,10	1,00	0,05
Enrijecedores transversais de alma: força concentrada	1,10	0,10	1,00	0,05
Enrijecedores transversais de alma: força cortante	1,00	0,06	1,00	0,05
Barras submetidas à flexão composta	1,05	0,10	1,00	0,05
Força concentrada em seções sem enrijecedores transversais	1,10	0,10	1,00	0,05
Barras com seção transversal tubular	1,10	0,10	1,00	0,05
Painéis em geral submetidos à compressão ou flexão simples	1,10	0,10	1,00	0,05
Painéis em geral submetidos à flexão composta	1,05	0,10	1,00	0,05
Casos de barras não relacionados anteriormente	1,00	0,10	1,00	0,05
Ligações soldadas:				
- Solda de filete em superfícies planas: ruptura da solda	1,10	0,10	1,00	0,10
- Solda de filete em superfícies planas: ruptura do metal base	1,10	0,08	1,00	0,15
- Solda de filete em superfícies curvas	1,10	0,10	1,00	0,10
- Solda de tampão em furos: ruptura da solda	1,10	0,10	1,00	0,10
- Solda de tampão em furos: ruptura do metal base	1,10	0,08	1,00	0,15
- Solda de tampão em rasgos: ruptura da solda ou metal base	1,10	0,10	1,00	0,10
- Solda de resistência	1,10	0,10	1,00	0,10
Ligações parafusadas:				
Ruptura do parafuso por cisalhamento	1,10	0,08	1,00	0,05
Ruptura do parafuso por tração	1,10	0,08	1,00	0,05
Rasgamento entre furos ou entre furo e borda	1,10	0,08	1,00	0,05
Pressão de contato (esmagamento)	1,10	0,08	1,00	0,05
Ruptura por tração na seção líquida	1,10	0,08	1,00	0,05
Ligações parafusadas com parafusos auto-atarraxantes (providos ou não de ponta brocante):				
Ruptura do parafuso por cisalhamento	1,10	1,10	1,00	0,10
Ruptura do parafuso por tração	1,10	1,10	1,00	0,10
Rasgamento entre furos ou entre furo e borda	1,10	1,10	1,00	0,10
Pressão de contato (esmagamento) e inclinação do parafuso (tilting)	1,10	0,08	1,00	0,05
Ruptura por tração na seção líquida	1,10	1,10	1,00	0,10
Arrancamento do parafuso (pull-out) e rasgamento da chapa (pull-over)	1,10	1,10	1,00	0,10
Cisalhamento e rasgamento da chapa (pull-over) combinados	1,10	1,10	1,00	0,10
Casos de ligações não relacionados anteriormente	1,10	1,10	1,00	0,15

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 14762, 2010, pg. 68