



2025

## Recomendações para emendas em vigas de aço de perfil “I” laminado ou soldado submetidas à flexão a partir de revisão bibliográfica

Pedro Afonso Leite Torrezan <sup>a</sup>; Christiane Areias Trindade <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Aluno de Graduação em Engenharia Civil, [pedro.torrezan@ufms.br](mailto:pedro.torrezan@ufms.br)

<sup>b</sup> Professora Orientadora, Doutora, [christiane.trindade@ufms.br](mailto:christiane.trindade@ufms.br)

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

### RESUMO

O elevado uso do aço na construção civil como material estrutural levanta a necessidade de estudos diante das suas finalidades. O dever de projetar uma estrutura que atenda aos requisitos satisfatórios de segurança e qualidade são cruciais para que esse material seja bem aproveitado. Dentro deste aspecto, é fundamental a discussão do uso de emendas nas peças que compõem a infraestrutura, visto que surgem desafios como: a necessidade em vencer grandes vãos, a reutilização desse material com elevado custo e atender aos arranjos estruturais de projetos. O presente estudo visa, a partir de revisão bibliográfica, estudar e avaliar o comportamento de emendas em vigas de aço enquanto submetidas ao esforço de flexão, considerando seus tipos de aplicações, além de classificar quais casos são mais favoráveis ao empregar essa alternativa na construção civil. Nessa revisão, constata-se a preferência na utilização de emendas com ligação de solda de penetração total, e, na impossibilidade de utilização desta, priorizar o uso de emendas parafusadas com chapa de extremidade estendida e com parafusos de alta resistência, evitando o uso deste tipo no meio do vão da viga.

**Palavras-chave:** viga, aço, emenda, solda, parafuso, flexão simples.

### ABSTRACT

The high use of steel in civil construction as a structural material raises the need for studies regarding its purposes. The duty to design a structure that meets satisfactory safety and quality requirements is crucial for this material to be well used. Within this aspect, it is essential to discuss the use of splices in the parts that make up the infrastructure, since challenges arise such as: the need to overcome large spans, the reuse of this material that has high cost and meeting the structural arrangements of projects. The present study aims, based on a bibliographic review, to study and evaluate the behavior of splices in steel beams while subjected to bending stress, considering their types of applications, in addition to classifying which cases are most favorable to using this alternative in civil construction. In this review, it is noted that there is a preference for using splices with full penetration welding connections, and, if this is not possible, prioritizing the use of bolted splices with extended end plates and with high-strength bolts, avoiding the use of this type in the middle of the beam span.

**Keywords:** beam, steel, splice, weld, bolt, simple bending.

## 1. INTRODUÇÃO

O século XVIII foi marcado pelo grande aumento no uso de aço nas construções civis, enfatizado pelas suas características úteis para sua aplicação no ramo. A maior resistência, durabilidade e ductilidade em relação aos materiais anteriormente utilizados colaboraram para que seja progressivamente mais empregado.

À medida que, gradativamente, as construções cresciam em escala, o uso do aço estrutural tornou-se muito maior. Consequentemente, para atender a demanda desse material, diversas fábricas siderúrgicas surgiram, onde sua produção é padronizada. Considerando que essas vigas de aço são feitas em usinas que produzem perfis em comprimentos específicos, há questionamento sobre o seu reaproveitamento nas obras em casos de sobra de material ou de vãos superiores ao comprimento da peça de fábrica.

Surge, então, a possibilidade de emendar esses elementos, a fim de reutilizá-los e não haver desperdício de material. Esse processo requer atendimento à solicitação da estrutura, sendo assim, avaliar os tipos de perfis, suas emendas permitidas e suas possíveis rupturas tornam-se necessárias no cenário atual.

Para contribuir com a necessidade salientada, a realização de experimentos e avaliação de seus resultados auxiliam para que projetistas e fabricantes considerem suas condições e adaptem seus métodos de forma mais segura, eficiente e econômica.

O presente estudo visa estudar e avaliar o comportamento de emendas em vigas de aço, enquanto submetidas ao esforço de flexão, por meio dos resultados experimentais encontrados na revisão bibliográfica, e a partir disso indicar a viabilidade do uso de emendas nas vigas, considerando os tipos de aplicação e posições das emendas.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Propriedades do aço estrutural

O aço estrutural, segundo Chiaverini (1996, *apud* Pfeil, 2022, p.1), é uma liga ferro-carbono com teor de carbono variando de 0,008% a 2,11%. A presença do carbono no aço aumenta sua resistência, mas diminui sua ductilidade. Com a finalidade de categorizar conforme a quantidade de carbono em sua liga, a norma NBR 6215 (ABNT, 2011) estabelece os parâmetros apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Categorias de aço pela quantidade de carbono.

Categoria	Teor de carbono (C)
Aço baixo carbono	$0,02\% < C < 0,25\%$
Aço médio carbono	$0,25\% \leq C < 0,60\%$
Aço alto carbono	$0,60\% \leq C < 2,00\%$

Fonte: Autor (2025)

A mesma norma cita a existência de aço ligado, que além do carbono em sua composição, também contém outros elementos de liga, com o objetivo de alterar suas propriedades.

Para Pfeil (2022), essas variedades nas composições químicas fazem o aço ser dividido em dois principais grupos, denominando-os como: aços-carbono e aços de baixa liga. Cada qual serve para atender aos requisitos relativos às condições em que o material é exposto e às solicitações a que é submetido.

Para melhor compreensão, a norma NBR 7007 (ABNT, 2022) padroniza a nomenclatura do aço através de suas propriedades mecânicas. O grau do aço é caracterizado por duas letras, sendo elas:

- *BR* que significa baixa resistência;
- *MR* que significa média resistência;
- *AR* que significa alta resistência.

Em seguida, possui um valor que representa a resistência ao escoamento mínima do aço em MPa. Quando contém a sigla “COR”, indica que possui resistência à corrosão.

A tabela 2 a seguir demonstra os valores para cada grau do aço laminado.

Tabela 2 - Grau do aço e sua resistência mínima ao escoamento.

Grau do aço	Resistência ao escoamento mínima (MPa)
BR 190	190
MR 250	250
AR 350	345
AR 350 COR	345
AR 415	415

Fonte: NBR 7007 (ABNT, 2022)

Além da norma brasileira, a American Society for Testing and Materials (ASTM) também traz classificações de aço, através do livro *Form and Style for ASTM Standards* (ASTM, 2022), sendo base para diversos países e para o próprio Brasil. Sua nomenclatura consiste em:

*A* que é para produtos e materiais ferrosos

*F* que é para produtos e materiais de uso final

O número que sucede a letra representa o valor da resistência ao escoamento mínima, em quilolibra-força por polegada quadrada (ksi).

A tabela 3 a seguir, elaborada a partir das normas ASTM A36/A36M (2019), ASTM A307 (2021), A572/A572M (2021) e ASTM F3125/F3125M (2015), exemplifica os principais aços utilizados na construção civil

Tabela 3 - Nomenclaturas para ASMT.

Material	Especificação ASTM	Especificação ABNT NBR 7007	Resistência ao escoamento mínima (ksi)	Resistência ao escoamento mínima (MPa)
Aço-carbono	A36	MR 250	36	250
Aço de baixa liga	A572-50	AR 350	50	345
	A572-60	AR 415	60	415
Parafuso comum	A307 A	-	-	-
	A307 B	-	-	-
Parafuso de alta resistência	A325 <sup>a</sup>	-	92	660
	A490 <sup>a</sup>	-	130	940

<sup>a</sup> Ambas são categorias da norma ASTM F3125 (2015), referente à parafusos de alta resistência

Fonte: Autor (2025)

Percebe-se que a nomenclatura da ASTM é utilizada também no Brasil quando refere-se a parafusos comuns e parafusos de alta resistência, já que não há nomenclatura própria pela norma técnica NBR 7007 (ABNT, 2022).

## 2.2. Perfis de aço

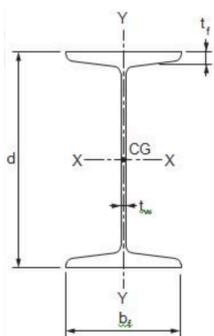
Para este estudo, serão vistos os tipos de perfis que são mais utilizados como vigas dentro da construção civil: o perfil I, o perfil W e o perfil VS.

Os tipos perfis de aço laminados, I e W, são classificados pela norma técnica NBR 15980 (ABNT, 2024).

O perfil I, mostrado na figura 1, é descrito como:

Perfis duplamente simétricos, com faces de aba não paralelas, que têm na superfície interna das abas uma inclinação de aproximadamente 16,67 %, ou seja, uma inclinação entre 9° e 10°. (ABNT, NBR 15980, 2024, p. 2)

Figura 1 - Perfil I.

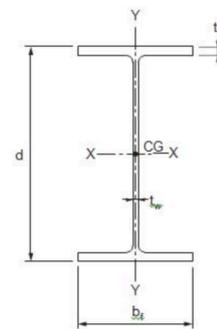


Fonte: NBR 15980 (ABNT, 2024)

O perfil W, mostrado na figura 2, é descrito como:

Perfis I e H duplamente simétricos, com faces de aba paralelas, sendo a espessura da alma menor que a espessura das abas. (ABNT, NBR 15980, 2024, p. 2)

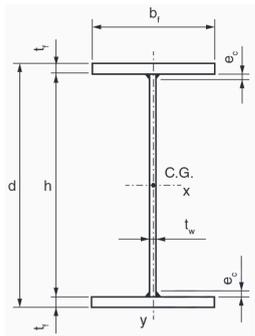
Figura 2 - Perfil W.



Fonte: NBR 15980 (ABNT, 2024)

Já os tipos perfis de aço soldados, VS, são classificados pela norma técnica NBR 5884 (ABNT, 2013). O perfil VS, mostrado na figura 3, tem relação altura largura no intervalo:  $1,5 < \frac{d}{b_f} \leq 4$ .

Figura 3 - Perfil VS.



Fonte: NBR 5884 (ABNT, 2013)

Quando não faz parte da tabela do anexo B da norma NBR 5884 (ABNT, 2013), mas atende à condição de relação de altura de perfil sobre a largura da mesa e é duplamente simétrico, é denominado perfil PS.

### 2.3 Flexão em vigas de aço

Segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2024), para o dimensionamento de uma viga de aço, surge a necessidade de atender ao método dos estados-limite, sendo eles denominados estados-limite últimos (ELU) e estados-limite de serviço (ELS).

Este método tem como objetivo garantir a segurança no dimensionamento de uma estrutura, avaliando seu desempenho enquanto submetida às ações mais desfavoráveis em toda sua vida útil e enquanto desempenha em suas condições habituais.

As condições referentes aos estados-limite últimos são descritas pelas inequações 1 e 2.

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \tag{1}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \tag{2}$$

Onde:

$M_{Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo;

$M_{Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo;

$V_{Sd}$  é a força cortante solicitante de cálculo;

$V_{Rd}$  é a força cortante resistente de cálculo.

A condição referente aos estados-limite de serviço é descrita pela inequação 3.

$$\delta_{ser} \leq \delta_{lim} \tag{3}$$

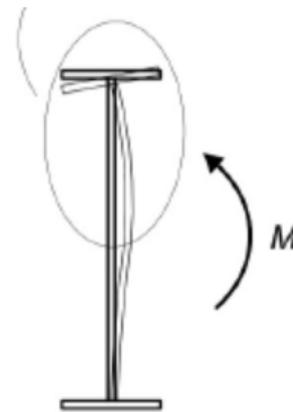
Onde:

$\delta_{ser}$  é o deslocamento de serviço;

$\delta_{lim}$  é o deslocamento limite.

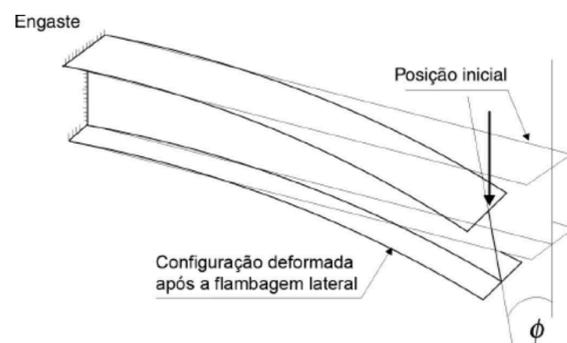
Para atender a esses requisitos, Pfeil (2022) sugere que no dimensionamento de vigas de aço à flexão, sejam consideradas a flambagem local de mesa ou alma, FLM ou FLA, e a flambagem lateral com torção, FLT. No primeiro caso (figura 4), a viga apresenta alteração, causada pela instabilidade das chapas que compõem o perfil quando submetida ao esforço de momento fletor. No segundo caso (figura 5), a viga apresenta deslocamentos laterais e rotações de torção, causados pela instabilidade perpendicular ao plano principal de flexão.

Figura 4 - Flambagem local.



Fonte: Pfeil (2022)

Figura 5 - Flambagem lateral com torção.



Fonte: Pfeil (2022)

Torna-se necessário verificar ambas as situações, para que se tenha um resultado satisfatório. Para isso, é necessário antes saber qual o comportamento de uma viga biapoiada ao ser submetida a uma carga distribuída crescente.

Segundo Pfeil (2022), enquanto a máxima tensão aplicada for menor do que a tensão de escoamento do aço, seu comportamento é linear. Essa relação resulta na equação 4, que designa o momento de início de plastificação.

$$M_y = W \cdot f_y \tag{4}$$

Onde:

$M_y$  é o momento fletor de início de plastificação;

$f_y$  é a tensão de escoamento do aço;

$W$  é o módulo elástico da seção.

Ao superar o valor de tensão de escoamento máxima do aço, o comportamento da viga é plástico. Enquanto o momento fletor aplicado aumenta, todos os pontos da viga plastificam até a seção inteira atingir a plastificação total.

Nesse caso, as áreas de compressão e tração na distribuição de tensões ficam iguais. Sendo assim, a equação 5 designa o momento de plastificação total.

$$M_p = Z \cdot f_y \quad (5)$$

Onde:

$M_p$  é o momento fletor de plastificação total;

$f_y$  é a tensão de escoamento do aço;

$Z$  é o módulo plástico da seção.

### 2.3.1 Flambagem local

A flambagem local pode ocorrer na mesa ou na alma da viga quando comprimida pelo momento fletor, e sua ocorrência depende da esbeltez desses elementos. Para calcular a esbeltez da mesa e da alma, a norma NBR 8800 (ABNT, 2024) apresenta as equações 6 e 7, respectivamente.

$$\lambda_{\text{mesa}} = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} \quad (6)$$

$$\lambda_{\text{alma}} = \frac{h_w}{t_w} \quad (7)$$

Onde:

$\lambda_{\text{alma}}$  e  $\lambda_{\text{mesa}}$  são a esbeltez de cada componente;

$b_f$  é a largura total da mesa;

$t_f$  é a espessura da mesa;

$h_w$  é a distância entre as faces internas das mesas;

$t_w$  é a espessura da alma;

A distância mencionada entre as faces internas das mesas deve desconsiderar a curvatura da mesa em casos de vigas com perfil I.

Os valores de esbeltez obtidos devem ser comparados aos parâmetros de esbeltez limites

fornecidos pela norma NBR 8800 (ABNT, 2024) relativos ao perfil analisado.

De acordo com a norma NBR 8800 (2024) as classificações de esbeltez são:

- Seção compacta - quando o momento nominal atinge o momento de plastificação total, não ocorre flambagem local e  $\lambda \leq \lambda_p$ ;
- Seção semicompacta - quando o momento nominal é maior do que o momento de início de plastificação porém menor do que o momento de plastificação total e  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ ;
- Seção esbelta - quando o momento nominal não atinge o momento de plastificação inicial e  $\lambda > \lambda_r$ .

Onde:

$\lambda_p$  é o parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação;

$\lambda_r$  é o parâmetro de esbeltez correspondente ao início de plastificação.

Segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2024), o momento resistente de projeto é obtido pela equação 8.

$$M_{Rd} = \frac{M_n}{\gamma_{a1}} \quad (8)$$

Onde:

$M_n$  é o momento nominal;

$\gamma_{a1}$  é o coeficiente de segurança de aço estrutural para estados limites de escoamento e flambagem, em que para combinações normais  $\gamma_{a1} = 1,1$ .

Sendo o momento nominal para seções compactas mostrado na equação 9, para seções semicompactas na equação 10 e para seções esbeltas na equação 11.

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y \quad (9)$$

$$M_n = M_p - \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \cdot (M_p - M_r) \quad (10)$$

$$M_n = M_{cr} = W \cdot f_{cr} \quad (11)$$

A norma NBR 8800 (ABNT, 2024) dispõe as condições relativas às seções estudadas, para que sejam obtidos os valores de  $M_r$  e  $M_{cr}$ .

### 2.3.2 Flambagem lateral com torção

A flambagem lateral com torção pode ocorrer pela instabilidade lateral. O momento fletor submete as mesas da viga à compressão e tração, e, por haver maior deflexão lateral na parte comprimida, gera torção na seção. Essa torção resulta no empenamento da viga.

Não estão sujeitas à flambagem lateral com torção casos em que a viga está contida lateralmente de forma contínua, o que surge como alternativa para evitar esse fenômeno.

No caso do presente estudo, serão consideradas somente vigas submetidas à flexão com dois eixos de simetria.

A norma NBR 8800 (ABNT, 2024) classifica as vigas conforme sua esbelteza, fator importante para o cálculo do momento crítico, que ocasiona essa instabilidade. A equação 12 apresenta o cálculo da esbelteza.

$$\lambda_b = \frac{L_b}{r_y} \quad (12)$$

Onde:

$\lambda_b$  é a esbelteza da viga;

$L_b$  é o comprimento da viga;

$r_y$  é o raio de giração em torno do eixo  $y$ .

De acordo com a norma NBR 8800 (ABNT, 2024) as classificações da viga são:

- Viga curta - quando o momento nominal atinge o momento de plastificação total, não ocorre a flambagem lateral com torção e  $\lambda_b \leq \lambda_p$ ;
- Viga intermediária - quando a viga apresenta ruptura por flambagem lateral inelástica e  $\lambda_p < \lambda_b \leq \lambda_r$ ;
- Viga longa - quando atinge o estado-limite de flambagem lateral por torção em regime elástico e  $\lambda_b > \lambda_r$ .

Os valores de esbelteza obtidos devem ser comparados aos parâmetros de esbelteza limites fornecidos pela norma NBR 8800 (ABNT, 2024).

A norma NBR 8800 (ABNT, 2024) estabelece que o momento resistente de projeto é obtido pela equação 8, em que o momento nominal é relativo à classificação da viga.

Sendo o momento nominal para vigas curtas mostrado na equação 13, para vigas intermediárias na equação 14 e para vigas longas na equação 15.

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y \quad (13)$$

$$M_n = M_p - \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \cdot (M_p - M_r) \quad (14)$$

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left(1 + 0,0039 \cdot \frac{J \cdot L_b^2}{C_w}\right)} \quad (15)$$

Onde:

$C_b$  é o fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme;

$E$  é o módulo de elasticidade do aço.

$I_y$  é o momento de inércia da seção em relação ao eixo que passa pelo plano médio da alma;

$C_w$  é a constante do empenamento da seção transversal;

$J$  é a constante de torção da seção transversal.

### 2.3.3 Esforço cortante resistente

A viga quando submetida a um esforço cortante sofre uma tensão que pode ser considerada uniforme na seção. Sendo assim, a equação 16 representa a tensão cisalhante em perfil I.

$$\tau_d = \frac{V_d}{A_w} \quad (16)$$

Sendo:

$$A_w = h \cdot t_w \quad (17)$$

Onde:

$\tau_d$  é a tensão cisalhante;

$V_d$  é o esforço cortante;

$A_w$  é a área efetiva de cisalhamento;

$h$  é a altura total da seção.

Segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2024), é necessário obter o esforço cortante resistente de projeto referente a cada caso, apresentados nas equações 18, 19 e 20. Calculando a esbelteza da alma através da equação 7, ela pode ser comparada aos parâmetros de esbelteza nas equações 22 e 23.

- Para  $\lambda_{alma} \leq \lambda_p$ :

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (18)$$

- Para  $\lambda_p < \lambda_{alma} \leq \lambda_r$ :

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda_{alma}} \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (19)$$

- Para  $\lambda_{alma} > \lambda_r$ :

$$V_{Rd} = 1,24 \cdot \left( \frac{\lambda_p}{\lambda_{alma}} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (20)$$

Sendo:

$$V_{pl} = A_w \cdot 0,6 \cdot f_y \quad (21)$$

$$\lambda_p = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} \quad (22)$$

$$\lambda_p = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} \quad (23)$$

Onde:

$V_{Rd}$  é o esforço cortante resistente de projeto;

$V_{pl}$  é o esforço cortante nominal;

$k_v$  é o fator de modificação para enrijecedor;

Considerando que no presente trabalho não haverá foco em enrijecedores, não são apresentados seus métodos de dimensionamento.

### 2.3.4 Deslocamentos

A verificação da condição referente aos estados-limites de serviço, equação 3, contempla a limitação de deslocamento máximo da viga.

Segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2024), os deslocamentos limites estão dispostos por uma tabela para cada tipo de viga. Para obter o deslocamento da viga, é necessário analisar três situações de combinações de ações.

- Combinação quase permanente:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \sum_{i=1}^n \delta_{gik} + \sum_{j=1}^m \psi_2 \delta_{qik} \quad (24)$$

- Combinação frequente:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \sum_{i=1}^n \delta_{gik} + \psi_1 \delta_{q1k} + \sum_{j=2}^m \psi_2 \delta_{qjk} \quad (25)$$

- Combinação rara:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \sum_{i=1}^n \delta_{gik} + \delta_{q1k} + \sum_{j=2}^m \psi_1 \delta_{qjk} \quad (26)$$

Onde:

$\delta_{m\acute{a}x}$  é o deslocamento máximo;

$\delta_{gk}$  é o deslocamento de ações permanentes características;

$\delta_{qk}$  é o deslocamento de ações variáveis características;

$\psi$  são os fatores de redução para ações variáveis.

### 2.2. Emendas

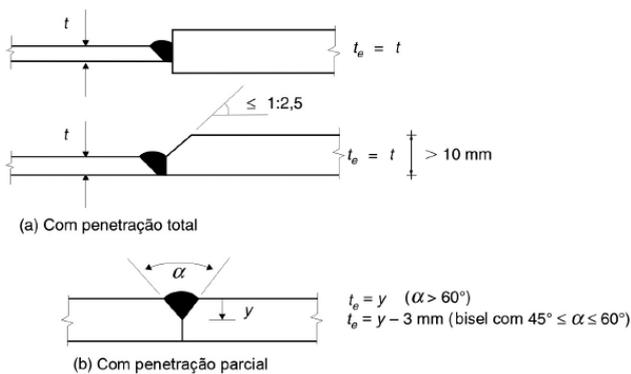
A necessidade em aplicar emendas em vigas estruturais surge pelas peças serem fabricadas em tamanhos padronizados ou pelas limitações em seu transporte. Sendo ela uma alternativa viável para essas questões em um projeto, seu estudo e compreensão tornam-se necessários.

Emendas podem ser definidas pela união de duas ou mais peças através de uma ligação. Dentre os variados tipos, as mais utilizadas em emendas em vigas de aço são: solda de entalhe de penetração total, solda de filete em chapa ou em transpasse, parafusada com chapas na mesa e alma e parafusada com chapa de extremidade.

A norma NBR 14762 (ABNT, 2010) não cita a utilização de emendas, mas comenta a utilização de soldas de penetração em juntas de topo. A força solicitante deve atender às equações 28, 29 e 30, citadas posteriormente, de força resistente de cálculo para essa ligação soldada.

A norma NBR 8800 (ABNT, 2024) cita como possível emenda a utilização de solda de entalhe de penetração total, mencionando que em emendas de peças fletidas não é permitido o uso de solda de penetração parcial, mostradas na figura 6.

Figura 6 - Tipos de penetração de solda.

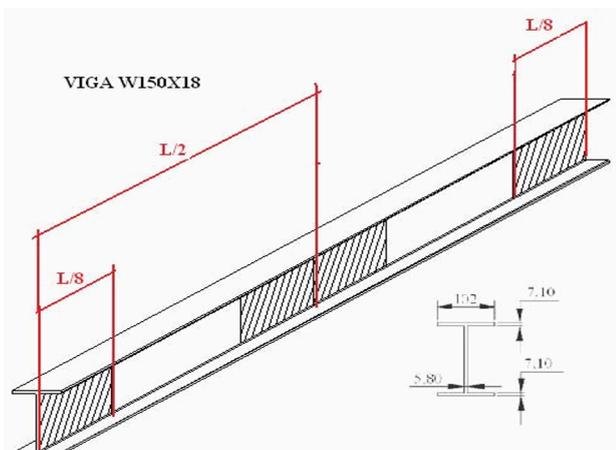


Fonte: Pfeil (2022)

A norma NBR 8800 (ABNT, 2024) também cita sobre restrições referentes às emendas em perfis pesados, com alma ou mesa de espessura maior que 50 mm. Nesses casos, devem ser fornecidos ensaios de impacto Charpy com entalhe em V, em que o resultado deve apresentar tenacidade mínima de 24 J de energia absorvida à 21 °C de temperatura máxima.

Segundo a EEMUA (*Engineering Equipment and Materials Users Association*) 158 (2014), há recomendações para utilização de emendas de solda. Primeiramente, cita que deve ser feita a ligação de solda de penetração total em todas as emendas. Também, no caso de emendas em vigas, há restrições de localização das emendas em relação ao seu vão entre apoios. Considerando que L representa esse comprimento, a organização orienta a não fazer emendas nas regiões de áreas iguais a L/8 das extremidades do vão ou na área central com valor L/4 do vão, ilustrados nas hachuras da figura 7. Apesar de não justificar, a preferência de local se deve possivelmente pelas regiões apresentarem maiores tensões de flexão e cisalhamento.

Figura 7 - Regiões para emenda com solda restringidas pela EEMUA 158 (2014).



Fonte: Machado (2013)

Pfeil (2022) cita que para emendas soldadas é preferencial que se use solda de penetração total ao invés de solda de filete com chapas laterais, pois esse segundo método desvia as tensões e diminui a resistência à fadiga da emenda. Já as soldas de penetração total permitem uma transmissão direta de tensões.

Sobre as emendas com conectores, também cita a necessidade da placa de emenda da mesa possuir a mesma espessura e a placa da alma possuir ao menos 80% da espessura em relação às suas respectivas partes. A utilização de ligações na mesa e na alma são recomendadas para resistir a esforço cortante e momento fletor.

Sendo assim, o presente trabalho analisará emendas em vigas que sejam ligadas por:

- Solda de entalhe de penetração total;
- Parafusos com chapas.

### 2.2.1. Classificações de ligações

Conforme a norma NBR 14762 (ABNT, 2010), ligações são constituídas por elementos de ligação (chapas, cantoneiras e cobrejuntas) e meios de ligação (soldas e parafusos). Há duas classificações principais de ligações, sendo elas: ligação com conectores e ligação com solda. São aplicadas no momento em que o arranjo estrutural as solicita, seja em nós de treliça, ligações de elementos estruturais ou emendas em peças, as quais serão abordadas neste trabalho.

Para Pfeil (2022), as ligações podem ser classificadas de acordo com sua rigidez à rotação, sendo os três tipos:

- Ligação flexível - a rotação relativa entre os elementos é permitida, possibilitando um comportamento próximo de uma rótula;
- Ligação semirrígida - comportamento intermediário aos casos de ligação flexível e ligação rígida;
- Ligação rígida - sua rigidez impede quase que completamente a rotação relativa entre os elementos, possibilitando o comportamento de uma ligação contínua.

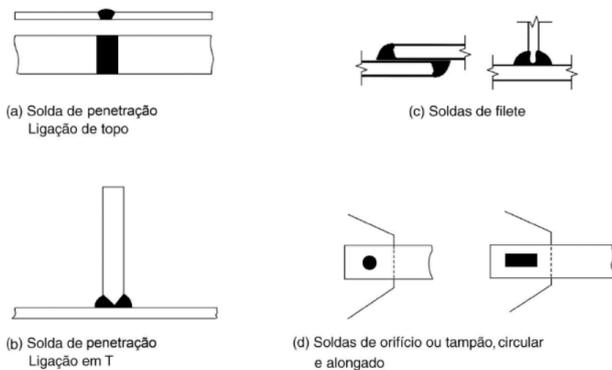
No caso de emendas em vigas, o objetivo é a transmissão de esforço cortante e momento fletor, aproximando a conexão para o comportamento de elemento único e contínuo, sendo o ideal, então, que a emenda se comporte como uma ligação rígida e impeça a rotação relativa entre as partes.

**2.2.2. Ligações soldadas**

Pfeil (2022) define a solda pela união por coalescência do material, havendo fusão das partes adjacentes. Nos casos mais comuns, a fusão ocorre pelo calor proveniente do arco voltaico existente entre o eletrodo metálico e o aço a soldar.

Dentre as classificações de posição da solda em relação ao material-base, temos a solda de entalhe de penetração, a solda de filete e a solda de tampão e ranhura. O primeiro aplica o metal da solda entre as peças que serão interligadas (figura 8.a e 8.b), o segundo aplica o metal da solda nas laterais dos elementos que serão interligados (figura 8.c) e o terceiro aplica a solda em orifícios de um dos componentes (figura 8.d).

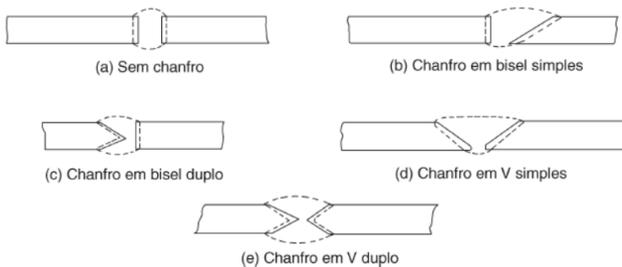
Figura 8 - Posições da solda em relação ao material-base.



Fonte: Pfeil (2022)

A solda de penetração, tem diversos tipos de entalhe no material-base para aplicação da solda, como mostrado na figura 9. Porém, deve ser observada a possibilidade de sua aplicação em emendas, conforme mencionado anteriormente.

Figura 9 - Tipos de entalhe no material-base.



Fonte: Pfeil (2022)

Considerando que a resistência é dada pela área efetiva da solda, temos a equação 27. Ela pode ser melhor visualizada pela figura 6 em soldas de penetração.

$$A_w = t \cdot l \tag{27}$$

Onde:

$A_w$  é a área efetiva da solda;

$t$  é a espessura da solda;

$l$  é o comprimento da solda.

Para a solda de penetração total, sua espessura se dá pela menor espessura dos metais-base da ligação.

Seu dimensionamento deve ser feito de forma que a sua resistência de cálculo em um estado-limite último seja igual ou superior à solicitação de cálculo. Segundo Pfeil (2022), considerando que pode haver ruptura na solda ou no material-base, devem ser calculadas as resistências para cada caso.

- Resistência de cálculo da solda de entalhe penetração total:

$$R_d = \frac{A_w \cdot 0,6 \cdot f_w}{\gamma_{w1}} \tag{28}$$

- Resistência de cálculo do metal-base:

$$R_d = \frac{A_g \cdot 0,6 \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \tag{29}$$

Onde:

$R_d$  é a resistência de cálculo;

$A_g$  é a área do metal-base em contato com a solda;

$f_w$  é a resistência à ruptura da solda;

$f_y$  é a resistência ao escoamento do aço (metal-base);

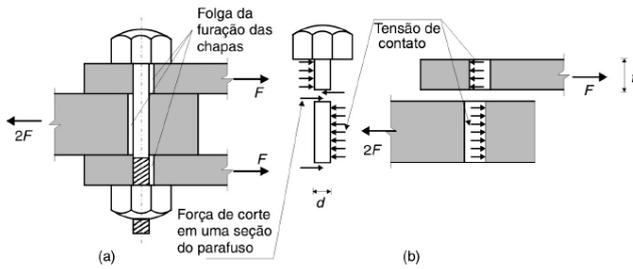
$\gamma_{w1}$  é o coeficiente de minoração da resistência de solda, em que para combinações normais  $\gamma_{w1} = 1,25$ .

**2.2.3. Ligações parafusadas**

De acordo com Pfeil (2022), há dois tipos de classificação para essas ligações: tipo apoio e tipo atrito. A primeira é mais usual a utilização de parafusos comuns e a segunda permite somente a utilização de parafusos de alta resistência, ambos mencionados na tabela 3.

A ligação tipo apoio se dá pela tensão de apoio ou contato, gerada pela transferência direta de esforços entre o conector e as chapas, mostrada na figura 10.

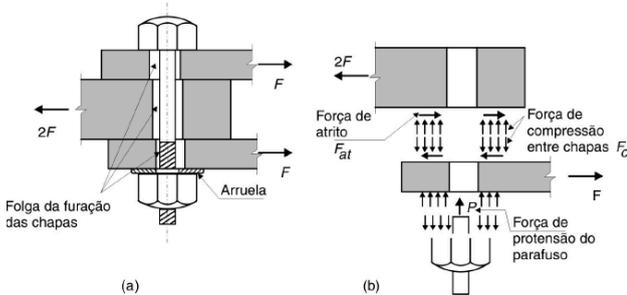
Figura 10 - Ligação tipo apoio.



Fonte: Pfeil (2022)

Já a ligação tipo atrito se dá pelo impedimento de movimentação entre as chapas, gerada pela força de protensão no parafuso, força de compressão entre as chapas e força de atrito, mostrada na figura 11.

Figura 11 - Ligação tipo atrito.



Fonte: Pfeil (2022)

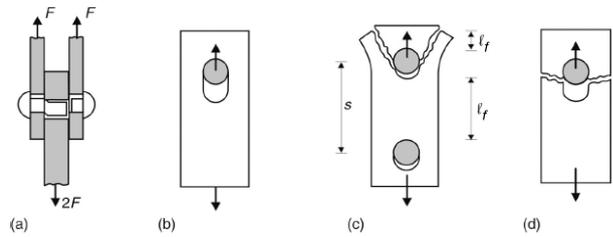
Em ambos os casos há importância em dimensionar e detalhar a ligação, sendo necessário respeitar as furações e espaçamentos previstos pela norma NBR 8800 (ABNT, 2024).

Segundo Pfeil (2022), seu dimensionamento se dá pela análise dos possíveis tipos de ruptura em que a ligação está sujeita. Dentre os tipos de ruptura temos:

- Ruptura por corte do fuste do conector (figura 12.a);
- Ruptura por ovalização do furo por plastificação local da chapa na superfície de contato do fuste do conector (figura 12.b) ou ruptura por rasgamento da chapa entre o furo e a borda ou entre dois furos consecutivos (figura 12.c);
- Ruptura por rasgamento da chapa entre o furo e a borda ou entre dois furos consecutivos (figura 12.d).

Em cada caso devem ser analisadas as resistências e comparadas à força solicitante, atendendo os estados-limites últimos.

Figura 12 - Tipos de ruptura em ligações com conectores.



Fonte: Pfeil (2022)

A resistência de projeto dos conectores se dá pela equação 01.

$$R_{dv} = \frac{R_{nv}}{\gamma_{a2}} \quad (30)$$

Onde:

$R_{dv}$  é a resistência de projeto dos conectores;

$R_{nv}$  é a resistência nominal para um plano de corte;

$\gamma_{a2} = 1,35$  para combinações normais de ações.

Sendo a resistência nominal para cada parafuso comum a equação 31 e para cada parafuso de alta resistência a equação 32.

$$R_{nv, comum} = 0,45 \cdot A_g \cdot f_u \quad (31)$$

$$R_{nv, alta res.} = 0,56 \cdot A_g \cdot f_u \quad (32)$$

Onde:

$A_g$  é a área da seção transversal do parafuso;

$f_u$  é a resistência ao escoamento do parafuso.

A resistência nominal para o segundo caso de ruptura se dá pela equação 33 para ovalização do furo e pela equação 34 para rasgamento da chapa.

$$R_{nv, ovaliz.} = 2,4 \cdot d \cdot t \cdot f_u \quad (33)$$

$$R_{nv, rasgam.} = 1,2 \cdot l_f \cdot t \cdot f_u \quad (34)$$

Onde:

$d$  é o diâmetro nominal do conector;

$t$  é a espessura da chapa;

$f_u$  é a resistência à ruptura por tração do aço da chapa;

$l_f$  distância entre a borda do furo e a extremidade da chapa ou a borda do furo consecutivo.

A resistência de projeto quando submetida à tração para escoamento da seção bruta se dá pela equação

35, para ruptura da seção líquida efetiva se dá pela equação 36 e para cisalhamento de bloco se dá pelo menor valor obtido pelas equações 37 e 38.

$$R_d = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (35)$$

$$R_d = \frac{A_{nv} \cdot f_u}{\gamma_{a2}} \quad (36)$$

$$R_d = \frac{0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{a2}} \quad (37)$$

$$R_d = \frac{0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{a2}} \quad (38)$$

Onde:

$f_y$  é a resistência ao escoamento do aço da chapa;

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço da chapa;

$A_{nv}$  é a área líquida cisalhada efetiva;

$A_{gv}$  é a área bruta cisalhada;

$A_{nt}$  é a área líquida tracionada;

$C_{ts}$  é o coeficiente de redução da área líquida. em que para tensão de tração uniforme  $C_{ts} = 1$ .

### 3. METODOLOGIA

Para a realização da revisão bibliográfica, foram obtidos estudos e trabalhos experimentais que avaliaram a resistência das emendas enquanto submetidas à flexão.

A obtenção da base de dados utilizada no presente estudo foi feita através das plataformas Google Acadêmico, Science Direct e ResearchGate. Sua coleta foi realizada através de uma pesquisa utilizando palavras chave nas plataformas, como: emenda em viga, emenda com solda, emenda com parafuso, splice beam, bolted splice, welded splice.

As principais considerações para que o trabalho em questão pudesse ser analisado neste estudo foram:

- Viga tipo I ou W;
- Emenda soldada de penetração total ou emenda parafusada com chapas na alma e na mesa ou chapa de extremidade;
- Submetida à flexão.

Além disso, a partir de cada artigo, foi feita a obtenção de valores importantes para a análise nos ensaios, sendo:

- Valores de carga última;
- Deslocamentos;
- Deformações.

## 4. TRABALHOS EXPERIMENTAIS PUBLICADOS

### 4.1. Trabalhos sobre emendas soldadas

#### 4.1.1. Avaliação de emendas soldadas em perfis laminados sujeitos à flexão estática

Apresentado por Machado (2013), este estudo traz uma análise sobre uma viga laminada tipo W 150 x 18 ASTM-A572, de tamanho igual a 3000 mm, com emendas soldadas de penetração total, solicitada por flexão simples.

Foi utilizada a solda tipo MIG, sem mais especificações. Seu tipo de entalhe foi realizado com chanfro em V duplo.

Neste estudo não foram utilizadas contenções laterais ou enrijecedores nas vigas experimentais.

Para a pesquisa, foram desenvolvidas 24 vigas, cada qual com suas respectivas características, demonstradas na tabela 10. Cada tipo de viga teve 3 amostras A, B e C.

Tabela 10 - Vigas experimentais de Machado (2013).

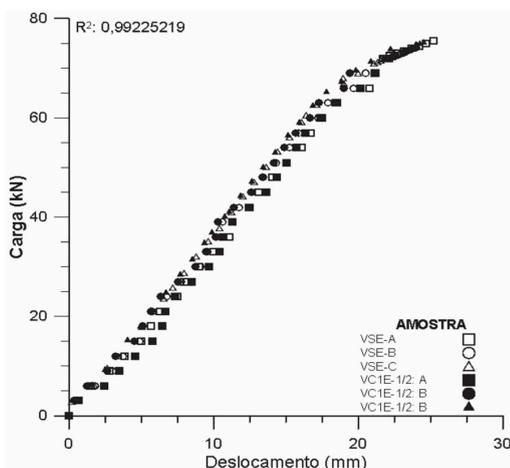
Nomenclatura	Classificação
VSE	Viga de referência: sem emenda
VC1E-1/2	Viga com uma ligação soldada no meio do vão
VC1E-1/3	Viga com uma ligação soldada a 1/3 do apoio
VC1E-1/4	Viga com uma ligação soldada a 1/4 do apoio
VC1E-1/8	Viga com uma ligação soldada a 1/8 do apoio
VC2E-1/3	Viga com duas ligações soldadas a 1/3 dos dois apoios
VC2E-1/4	Viga com duas ligações soldadas a 1/4 dos dois apoios
VC2E-1/8	Viga com duas ligações soldadas a 1/8 dos dois apoios

Fonte: Machado (2013)

De acordo com o próprio autor, os deslocamentos verticais das vigas atenderam ao valor limite determinado por norma NBR 8800 (ABNT, 2024) para viga de piso. No trabalho não constam os valores de deslocamento máximo das vigas.

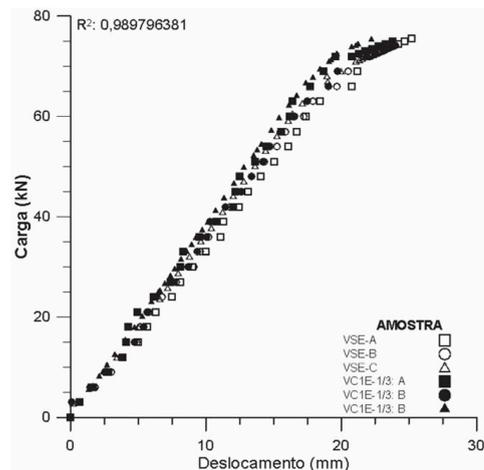
As figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 a seguir trazem os gráficos de carga pelo deslocamento das vigas com emendas em relação às vigas de amostra. Percebe-se a similaridade entre os gráficos através do coeficiente de determinação  $R^2$ .

Figura 17 - Gráfico das vigas VC1E-1/2 de Machado (2013).



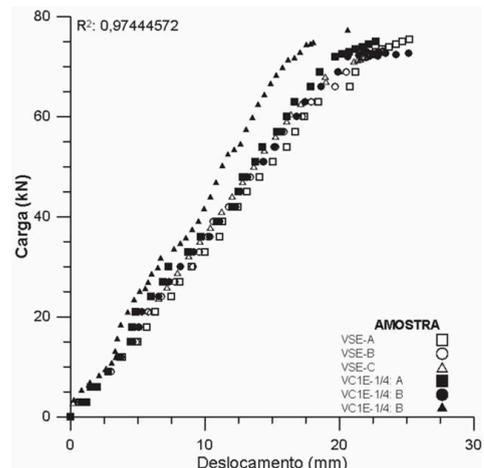
Fonte: Machado (2013)

Figura 18 - Gráfico das vigas VC1E-1/3 de Machado (2013).



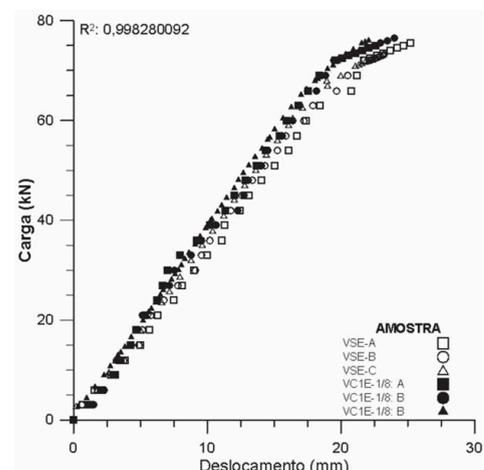
Fonte: Machado (2013)

Figura 19 - Gráfico das vigas VC1E-1/4 de Machado (2013).



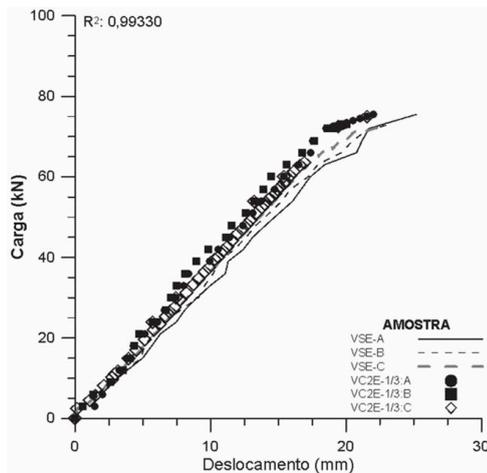
Fonte: Machado (2013)

Figura 20 - Gráfico das vigas VC1E-1/8 de Machado (2013).



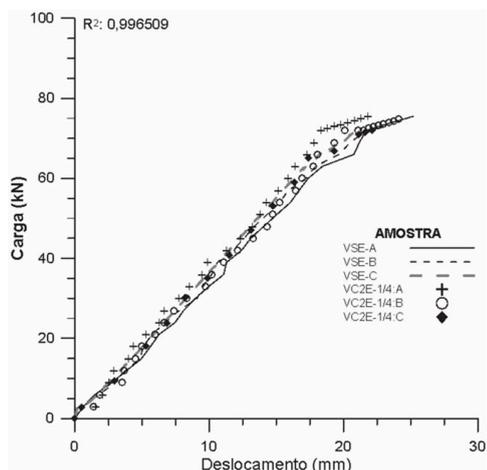
Fonte: Machado (2013)

Figura 21 - Gráfico das vigas VC2E-1/3 de Machado (2013).



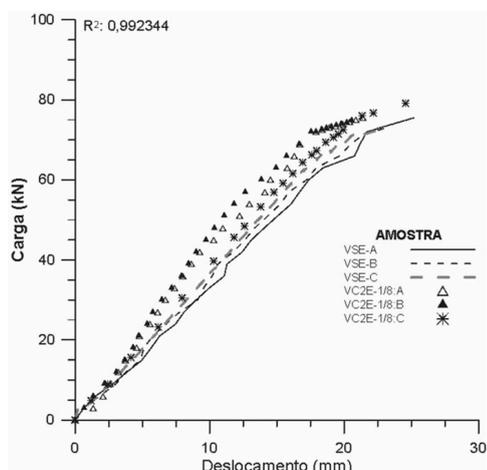
Fonte: Machado (2013)

Figura 22 - Gráfico das vigas VC2E-1/4 de Machado (2013).



Fonte: Machado (2013)

Figura 23 - Gráfico das vigas VC2E-1/8 de Machado (2013).



Fonte: Machado (2013)

Machado (2013) afirma que a carga máxima na deformação plástica ficou aproximadamente entre 72 e 80 kN, e que as vigas estudadas não apresentaram flambagem local na mesa, flambagem local na alma e flambagem lateral com torção.

O autor conclui que, em condições de execução de solda por mão de obra qualificada e qualidade assegurada por ensaios Charpy e por partícula magnética, as vigas de perfis laminados com emendas de solda de penetração total têm capacidade resistente e de comportamento semelhante às vigas sem emenda.

Machado (2013) também observa que as soldas possuem resistências padrões esperadas, notando a menor capacidade de absorção de energia das mesmas, através dos ensaios de tenacidade de Charpy.

Por fim, deixa recomendações de execução de verificações na qualidade da solda, pelo menos através de ensaios de ultrassom, na execução da emenda por solda de penetração total. Assim feito, conclui que as vigas em conformidade com essas condições têm comportamento equivalente às vigas sem emenda.

#### 4.1.2. Análise experimental da resistência à flexão simples de vigas de aço tipo "I" compostas de perfis laminados dotadas de emendas soldadas

Apresentado por Borges (2016), este estudo traz uma análise sobre uma viga laminada tipo W 250 x 22,3 ASTM-A572, de tamanho igual a 3000 mm, com emendas soldadas de penetração total, solicitada por flexão simples, com vão livre entre apoios igual a 2850 mm.

Foi utilizada a solda tipo MIG da classe ASME AWS ER70S-6, com diâmetro 1,2 mm e resistência à tração de 480 MPa. Seu tipo de entalhe foi realizado com chanfro em V duplo, com ângulo do bisel igual a 45°.

Nas extremidades da viga foram soldadas contenções laterais para diminuir o deslocamento lateral na região dos apoios e fazer melhor análise do desempenho das emendas. Em uma viga foram instalados enrijecedores a 750 mm dos apoios.

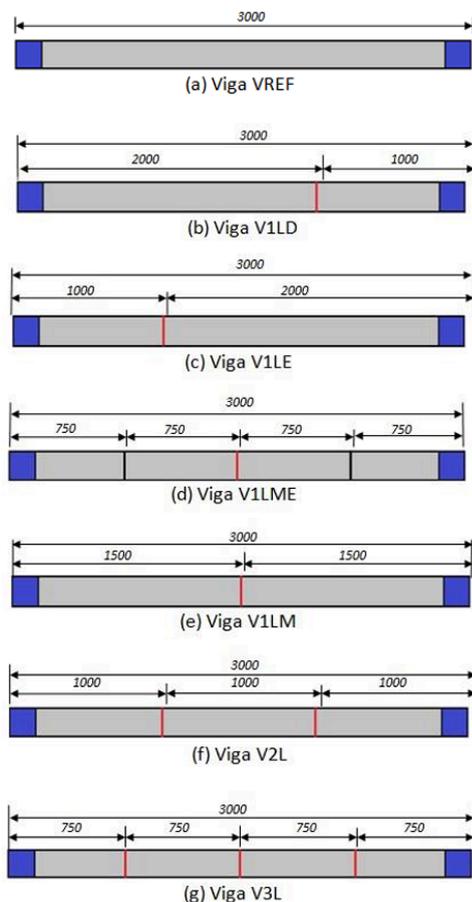
Para a pesquisa, foram desenvolvidas 7 vigas, cada qual com suas respectivas características, demonstradas na tabela 5 e ilustradas na figura 13.

Tabela 5 - Vigas experimentais de Borges (2016).

Nomenclatura	Classificação
VREF	Viga de referência: sem emenda
V1LD	Viga com uma ligação soldada a 1000 mm do apoio da direita
V1LE	Viga com uma ligação soldada a 1000 mm do apoio da esquerda
V1LME	Viga com uma ligação soldada no meio do vão e enrijecedores a 750 mm dos dois apoios
V1LM	Viga com uma ligação soldada no meio do vão e sem enrijecedores
V2L	Viga com duas ligações soldadas a 1000 mm dos dois apoios
V3L	Viga com três ligações soldadas: uma no meio do vão e duas a 750 mm dos dois apoios

Fonte: Borges (2016)

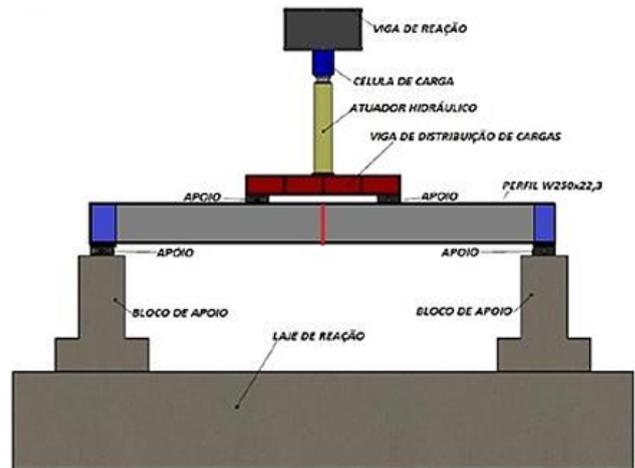
Figura 13 - Ilustração das vigas de Borges (2016).



Fonte: Borges (2016)

Para melhor visualização, o esquema estrutural do ensaio pode ser visualizado na figura 14.

Figura 14 - Esquema estrutural do ensaio de Borges (2016).



Fonte: Borges (2016)

Os valores obtidos pelo ensaio de carga última para escoamento do aço, os resultados estimados para carga última de cálculo segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2024) e modos de falha em cada viga podem ser observados na tabela 6.

Tabela 6 - Resultados de carga última de Borges (2016).

VIGA	$P_u$ (kN)	$P_{u, est}$ (kN)	Modo de falha
VREF	160,00	146,70	FLT/FLM
V1LD	163,00	146,70	FLT/FLM
V1LE	175,00	146,70	FLT/FLM
V1LME	160,00	146,70	FLT/FLM
V1LM	166,00	146,70	FLT/FLM
V2L	123,00	146,70	FLT/FLM
V3L	135,00	146,70	FLT/FLM

Fonte: Borges (2016)

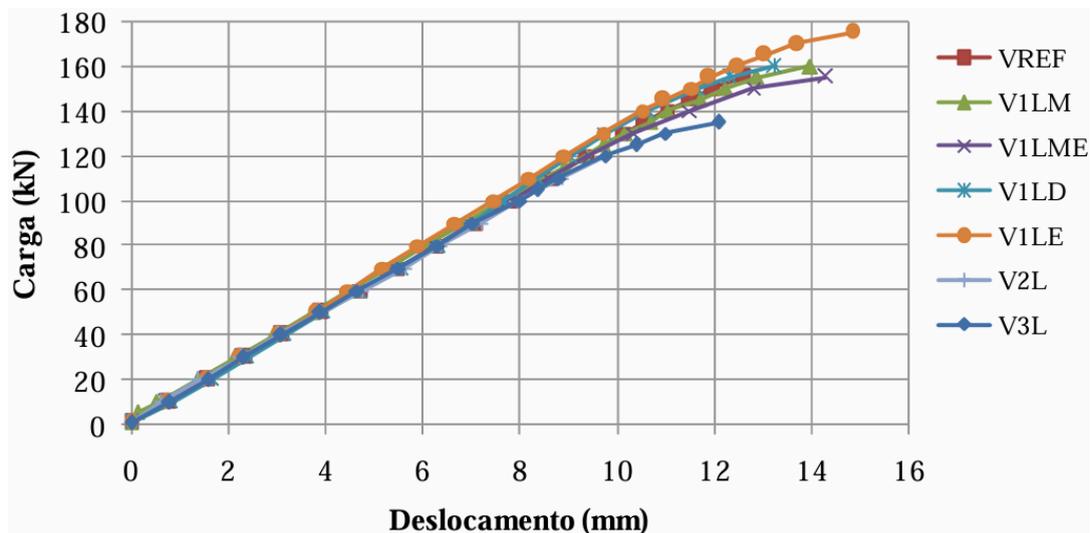
Os deslocamentos verticais obtidos pelo ensaio, os resultados teóricos de cálculo e os valores máximos estimados pela norma NBR 8800 (ABNT, 2024) podem ser observados na tabela 7 e figura 15. Já as deformações máximas de tração e compressão nos componentes da viga podem ser visualizados na figura 16.

Tabela 7 - Deslocamentos verticais de Borges (2016).

VIGA	$\delta_{ensaio}$ (mm)	$\delta_{teórico}$ (mm)	$\delta_{máximo}$ (mm)
VREF	12,60	12,02	8,57
V1LD	13,26	12,41	8,57
V1LE	14,84	13,58	8,57
V1LME	14,30	12,02	8,57
V1LM	13,97	12,41	8,57
V2L	9,78	9,31	8,57
V3L	12,09	10,47	8,57

Fonte: Borges (2016)

Figura 15 - Deslocamentos verticais de Borges (2016).



Fonte: Borges (2016)

Figura 16 - Deformações máximas de Borges (2016).

Viga	Alma				Mesa			
	$\epsilon_{máx}$ comp	$\epsilon_{máx}$ tração	$\epsilon_{máx}$ . comp.	$\epsilon_{máx}$ . tração	$\epsilon_{máx}$ comp	$\epsilon_{máx}$ tração	$\epsilon_{máx}$ . comp.	$\epsilon_{máx}$ . tração
			$\epsilon_y$	$\epsilon_y$			$\epsilon_y$	$\epsilon_y$
VREF	-1,35	1,57	-0,25	0,29	-1,95	1,75	-0,29	0,26
V1LM	-1,54	1,37	-0,28	0,25	-1,73	2,3	-0,26	0,35
V1LME	-1,25	2,67	-0,23	0,49	-6,39	3,96	-0,96	0,60
V1LD	-1,23	0,63	-0,22	0,11	-1,10	0,66	-0,17	0,10
V1LE	-2,15	0,08	-0,40	0,015	-2,12	1,24	-0,32	0,19
V2L	-0,93	0,65	-0,17	0,12	-0,58	0,32	-0,09	0,05
V3L	-1,92	0,80	-0,35	0,15	-1,01	0,88	-0,15	0,13

$\epsilon_{máx.comp.}$  = Deformação máxima de compressão

$\epsilon_{máx.tração}$  = Deformação máxima de tração

$\epsilon_y$  do aço da alma = 5,42‰

$\epsilon_y$  do aço da mesa = 6,64‰

$\epsilon_y$  do aço da contenção lateral e enrijecedores = 5,41‰

Fonte: Borges (2016)

Os deslocamentos laterais máximos, obtidos pelos LVDTs (*linear variable differential transformer*) posicionados próximos aos apoios, podem ser visualizados pela tabela 8.

Tabela 8 - Deslocamentos laterais máximos de Borges (2016).

VIGA	LVDT-1 (mm)	LVDT-2 (mm)	Sentido da torção
VREF	-0,33	0,15	Anti-horário
V1LD	0,15	0,10	Anti-horário
V1LE	0,00	0,04	Horário
V1LME	0,59	0,51	Horário
V1LM	0,00	-0,02	Horário
V2L	0,77	-0,93	Anti-horário
V3L	-0,01	0,69	Horário

Fonte: Borges (2016)

Os momentos fletores resistentes de cálculo dos ensaios e de cálculo segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) para cada modo de ruptura podem ser visualizados pela tabela 9.

Tabela 9 - Momentos fletores de Borges (2016).

VIGA	$M_{ensaio}$ (kNm)	$M_{Rd,FLA}$ (kNm)	$M_{Rd,FLM}$ (kNm)	$M_{Rd,FLT}$ (kNm)
VREF	91,60	84,00	84,00	49,20
V1LD	93,30	84,00	84,00	49,20
V1LE	100,20	84,00	84,00	49,20
V1LME	91,60	84,00	84,00	49,20
V1LM	95,00	84,00	84,00	49,20
V2L	70,40	84,00	84,00	49,20
V3L	77,30	84,00	84,00	49,20

Fonte: Borges (2016)

Borges (2016) constata que nenhuma solda sofreu ruptura durante os ensaios de flexão simples. Ainda salienta que as vigas com uma emenda soldada apresentaram cargas de ruptura superiores às vigas de referência. Porém, as vigas com mais de uma emenda soldada apresentaram cargas de ruptura

menores, possivelmente pelas soldas não ficarem coplanares.

O autor também afirma que os deslocamentos laterais foram amenizados graças à utilização de contenções laterais, que também auxiliaram na obtenção das cargas últimas, evitando colapso prévio.

Em relação aos deslocamentos verticais, considera que seus valores obtidos de ensaio, que foram semelhantes aos teóricos, provaram uma maior rigidez, se comparadas às vigas com emendas parafusadas de Pereira (2014).

Por fim, conclui que todas as vigas com emendas soldadas atingiram cargas superiores à 84 kN, que é a carga máxima de serviço para a viga de referência. Sendo assim, afirma que, se bem executadas, essa ligação pode ser utilizada como emenda para vigas metálicas.

## 4.2. Trabalhos sobre emendas parafusadas

### 4.2.1. Ligações em estruturas de aço utilizando emendas com parafusos de alta resistência solicitadas na flexão simples

Apresentado por Pereira (2014), este estudo traz uma análise sobre uma viga laminada tipo W 250 x 22,3 ASTM-A572, de tamanho igual a 3000 mm, com emendas parafusadas na alma e nas mesas, solicitada por flexão simples, com vão livre entre apoios igual a 2850 mm.

Foram utilizados parafusos de alta resistência tipo ASTM A325 3/4 x 2", com porca sextavada 3/4", 10 fios de rosca e arruela lisa 3/4" x 44 x 2,0 mm. A chapa utilizada foi de espessura 6,3 mm com furos de medidas padronizadas.

Em algumas vigas foram instalados enrijecedores para evitar esmagamento das mesas, localizados nas extremidades da viga e a 750 mm de cada extremidade.

Para a pesquisa, foram desenvolvidas seis vigas, cada qual com suas respectivas características, demonstradas na tabela 11 e ilustradas na figura 24.

Tabela 11 - Vigas experimentais de Pereira (2014).

Nomenclatura	Classificação
VREF1 e VREF2	Vigas de referência: sem emenda
V1LD	Viga com uma emenda parafusada com chapa na mesa e na alma a um terço do apoio da direita
V1LE	Viga com uma emenda parafusada com chapa na mesa e na alma a um terço do apoio da esquerda
V1LM	Viga com uma emenda parafusada com chapa na mesa e na alma no meio do vão e sem enrijecedores
V1LME	Viga com uma emenda parafusada com chapa na mesa e na alma no meio do vão e enrijecedores nas extremidades e a 750 mm dos dois apoios
V2L	Viga com duas emendas parafusadas com chapa na mesa e na alma a 1000 mm dos dois apoios
V3L	Viga com três emendas parafusadas com chapa na mesa e na alma: uma no meio do vão e duas a 750 mm dos dois apoios

Fonte: Pereira (2014)

Figura 24 - Ilustração das vigas de Pereira (2014).



Figura 3.4 - Viga de referência sem emenda (VREF1, VREF2)

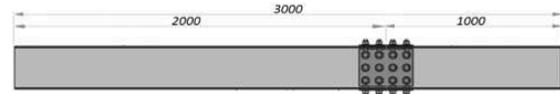


Figura 3.5 - Viga com uma ligação à direita

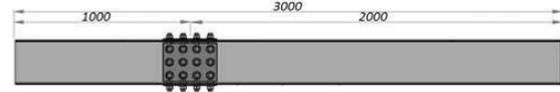


Figura 3.6 - Viga com uma ligação à esquerda

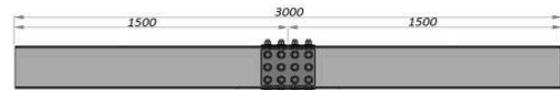


Figura 3.7 - Viga com uma ligação central

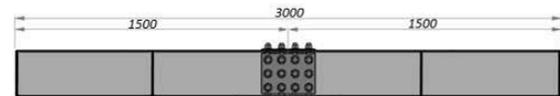


Figura 3.8 - Viga com uma ligação central e uso de enrijecedores

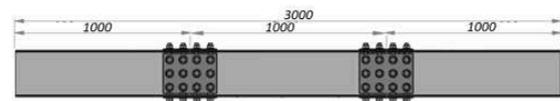


Figura 3.9 - Viga com duas ligações

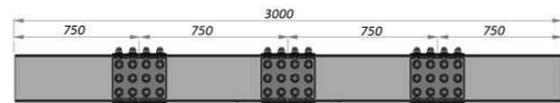
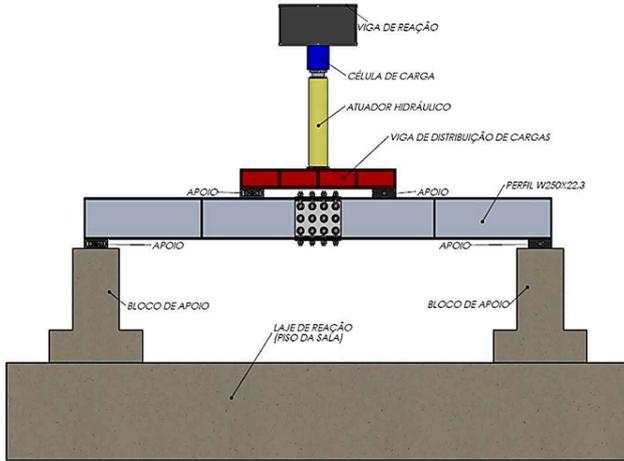


Figura 3.10 - Viga com três ligações

Fonte: Pereira (2014)

Para melhor visualização, o esquema montado do ensaio pode ser visualizado na figura 25.

Figura 25 - Esquema montado do ensaio de Pereira (2014).



Fonte: Pereira (2014)

Os valores obtidos pelo ensaio de carga última para escoamento do aço, os resultados estimados para carga última de cálculo segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2024) e modos de falha em cada viga podem ser observados na tabela 12.

Tabela 12 - Resultados de carga última de Pereira (2014).

VIGA	$P_u$ (kN)	$P_{u,est}$ (kN)	Modo de falha
VREF1	135,00	146,70	FLT/FLM
VREF2	171,25	146,70	FLT/FLM
V1LD	138,00	146,70	FLT/FLM
V1LE	140,00	146,70	FLT/FLM
V1LM	135,00	146,70	FLT/FLM
V1LME	133,50	146,70	FLT/FLM
V2L	145,20	146,70	FLT/FLM
V3L	126,40	146,70	FLT/FLM

Fonte: Pereira (2014)

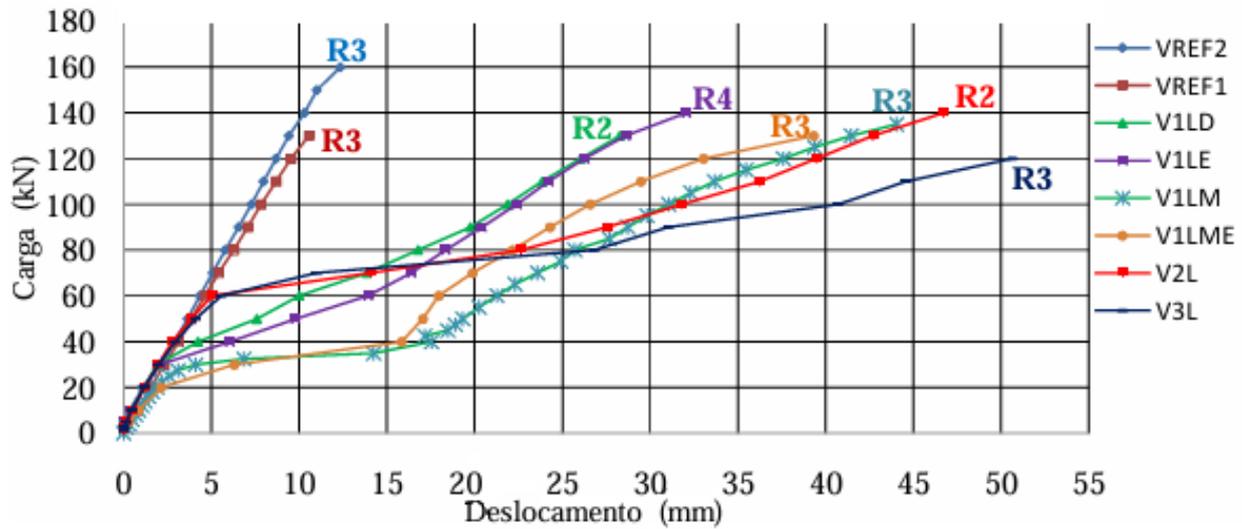
Os deslocamentos verticais obtidos pelo ensaio, os resultados teóricos de cálculo e os valores máximos estimados pela norma NBR 8800 (ABNT, 2024) podem ser observados na tabela 13 e figura 26. Já as deformações máximas de tração e compressão nos componentes da viga podem ser visualizados na figura 27.

Tabela 13 - Deslocamentos verticais de Pereira (2014).

VIGA	$\delta_{ensaio}$ (mm)	$\delta_{teórico}$ (mm)	$\delta_{máximo}$ (mm)
VREF1	10,55	11,83	8,57
VREF2	12,35	14,56	8,57
V1LD	28,28	11,83	8,57
V1LE	32,54	12,74	8,57
V1LM	44,03	12,29	8,57
V1LME	39,31	11,83	8,57
V2L	46,23	12,74	8,57
V3L	50,63	10,92	8,57

Fonte: Pereira (2014)

Figura 26 - Deslocamentos verticais de Pereira (2014).



Fonte: Pereira (2014)

Figura 27 - Deformações máximas de Pereira (2014).

Viga	$P_u$ (kN)	$\epsilon$ máx. compressão	$\epsilon$ máx. tração	$\epsilon$ máx. compressão $\epsilon_y$	$\epsilon$ máx. tração $\epsilon_y$
VREF1	135,00	-1,49	1,45	-0,20	0,19
VREF2	171,25	-1,83	2,86	-0,24	0,37
V1LD	138,00	-1,24	3,04	-0,16	0,39
V1LE	140,00	-1,35	6,94	-0,17	0,89
V1LM	135,00	-1,47	1,06	-0,19	0,14
V1LME	133,50	-1,03	1,08	-0,13	0,14
V2L	145,20	-1,62	1,58	-0,21	0,21
V3L	126,40	-1,23	1,34	-0,16	0,17

 $\epsilon$  máx. compressão – Deformação máxima da mesa comprimida $\epsilon$  máx. tração – Deformação máxima da mesa tracionada $\epsilon_y$  do aço da mesa = 7,53‰ $\epsilon_y$  do aço da alma = 4,00‰ $\epsilon_y$  do aço da chapa de ligação = 7,77‰

Fonte: Pereira (2014)

Os deslocamentos laterais máximos, obtidos pelos LVDTs (*linear variable differential transformer*) posicionados na região dos apoios, podem ser visualizados pela tabela 14.

Tabela 14 - Desloc. laterais máx. de Pereira (2014).

VIGA	LVDT-1 (mm)	LVDT-2 (mm)	Sentido da torção
VREF1	2,88	-1,38	Anti-horário
VREF2	10,46	-4,11	Anti-horário
VILD	-1,63	-2,58	Horário
VILE	-8,58	-3,36	Anti-horário
VILM	2,22	0,00	Horário
VILME	0,65	-0,11	Horário
V2L	-11,78	-41,70	Horário
V3L	-7,09	5,50	Anti-horário

Fonte: Pereira (2014)

Os momentos fletores resistentes de cálculo dos ensaios e de cálculo segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) para cada modo de ruptura podem ser visualizados pela tabela 15.

Tabela 15 - Momentos fletores de Pereira (2014).

VIGA	$M_{ensaio}$ (kNm)	$M_{Rd,FLA}$ (kNm)	$M_{Rd,FLM}$ (kNm)	$M_{Rd,FLT}$ (kNm)
VREF1	82,35	83,96	83,96	25,96
VREF2	104,46	83,96	83,96	25,96
VILD	54,18	83,96	83,96	25,96
VILE	85,40	83,96	83,96	25,96
VILM	82,35	83,96	83,96	25,96
VILME	81,43	83,96	83,96	25,96
V2L	88,57	83,96	83,96	25,96
V3L	77,10	83,96	83,96	25,96

Fonte: Pereira (2014)

Pereira (2014) afirma que o uso das emendas parafusadas apresentou um bom comportamento, indicado pela ausência de ruptura nos parafusos. O principal modo de ruptura apresentado foram as flambagens locais e a flambagem lateral com torção.

O autor também observou que a viga VILE apresentou maior carga de ruptura, enquanto que também apresentou maior flambagem lateral por torção. A mesma viga e a VILD, em comparação com as vigas VILM e VILME, apresentaram menor escorregamento da chapa de ligação.

Por fim, observou que os deslocamentos verticais das vigas com emendas parafusadas foram muito superiores se comparadas às vigas de sem emendas. Esse fato se deve pela possível relação entre rigidez da viga e quantidade de emendas, sendo ela menor à medida que aumenta essa quantidade.

#### 4.2.2. Experimental study on bolt-spliced prefabricated steel frame beams

Apresentado por He e Zhang (2020), este estudo traz uma análise sobre uma viga com perfil soldado tipo PS 267 x 100 x 8 x 8, de tamanho igual a 4000 mm, com emendas parafusadas, solicitada por flexão simples, com vão livre entre apoios igual a 3000 mm.

A pesquisa contou com três tipos de emendas de vigas, demonstradas na tabela 16 e ilustradas na figura 29.

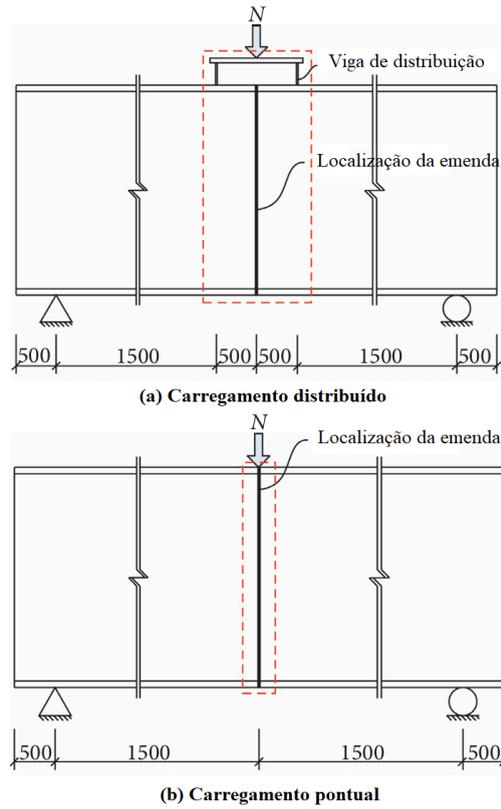
Tabela 16 - Vigas experimentais de He e Zhang (2020).

Nomenclatura	Classificação
PB	Viga protótipo: sem emendas
FLB	Viga com uma emenda parafusada com chapa de extremidade no meio do vão
EPB	Viga com uma emenda parafusada com chapa de extremidade estendida no meio do vão
CPB	Viga com uma emenda parafusada com chapa na mesa e na alma no meio do vão

Fonte: He e Zhang (2020)

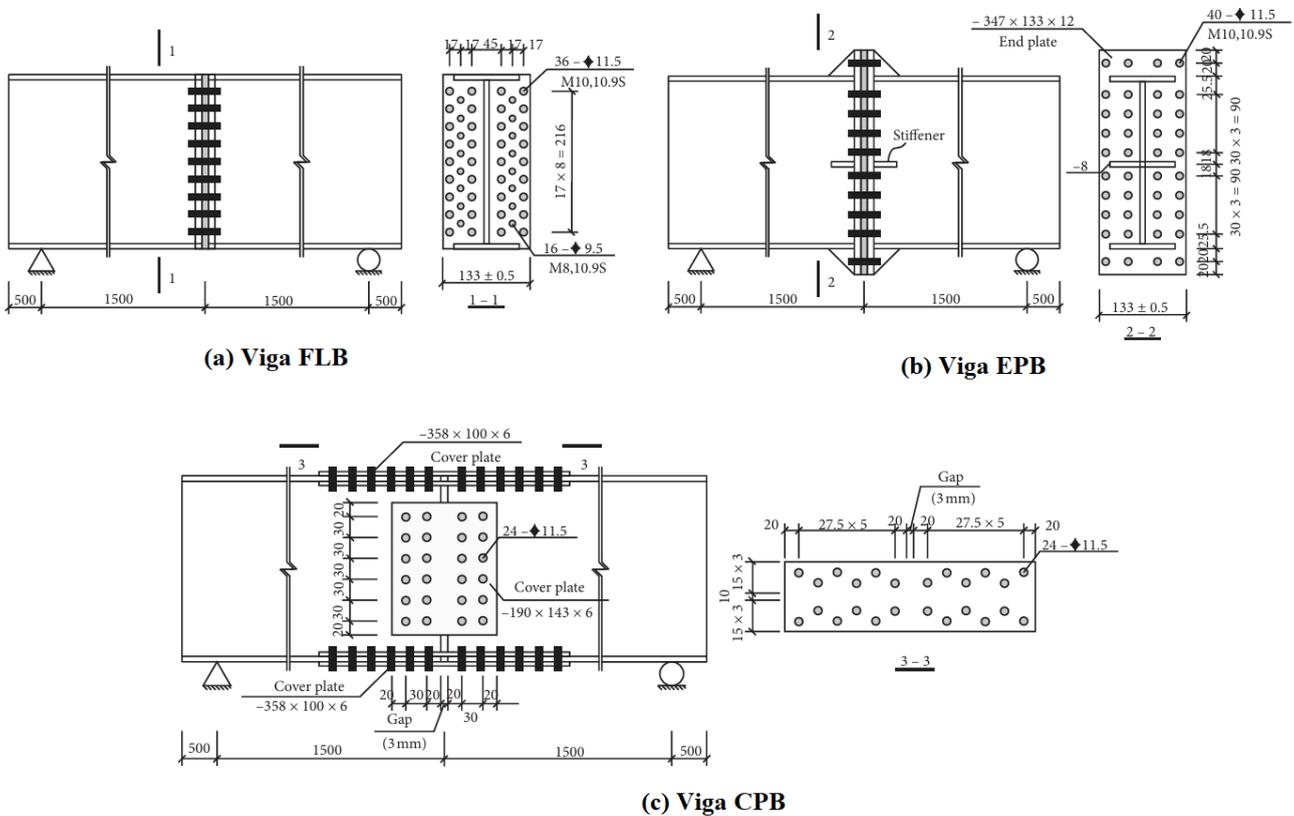
Já a tabela 17 apresenta todas as 12 vigas preparadas. Seus nomes, seguidos pelos números 1 ou 2, representam o tipo de carregamento aplicado, ilustrados na figura 28. Os caracteres *S1* e *S2* servem para diferenciar as vigas tipo FLB, que são idênticas. Os caracteres *F0*, *F1* e *F2* denotam, respectivamente, vigas com 0, 1 e 2 chapas de 4 mm adicionadas entre a emenda de chapa de extremidade. Os caracteres *N*, *SW* e *H* representam, respectivamente, parafusos comuns, parafusos comuns com arruela de pressão e parafusos de alta resistência.

Figura 28 - Tipos de carregamento de He e Zhang (2020).



Fonte: He e Zhang (2020)

Figura 29 - Ilustração das vigas de He e Zhang (2020).



Fonte: He e Zhang (2020)

Tabela 17 - Caracterização das vigas experimentais de He e Zhang (2020).

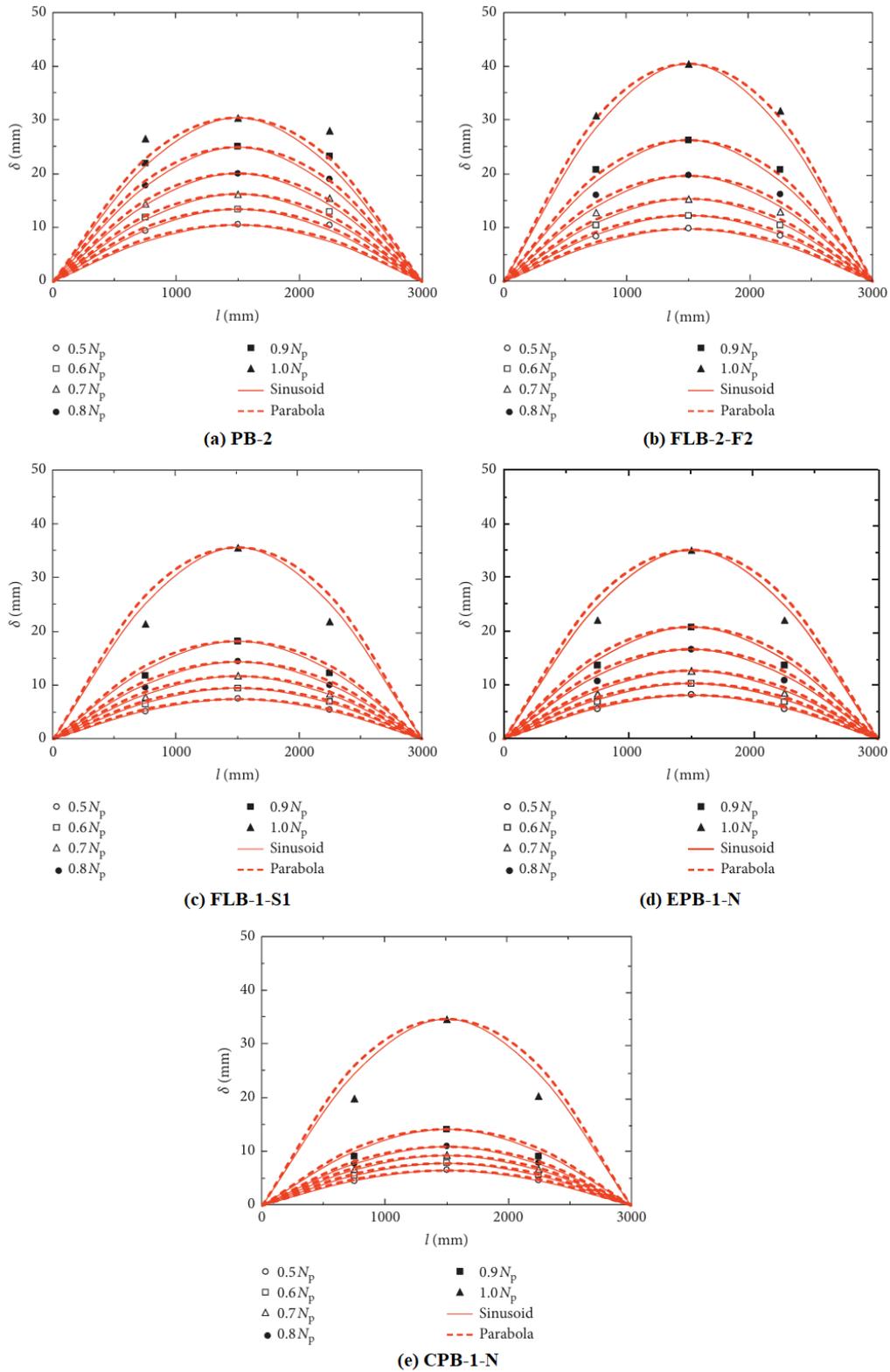
Viga	Tipo de carregamento	Chapas intermediárias	Tipo de parafuso
PB-2	Duas cargas simétricas de viga de dist.	-	-
FLB-1-S1	Carga única e direta no meio do vão	-	-
FLB-1-S2	Carga única e direta no meio do vão	-	-
FLB-2-F0	Duas cargas simétricas de viga de dist.	-	-
FLB-2-F1	Duas cargas simétricas de viga de dist.	1 x 4 mm	-
FLB-2-F2	Duas cargas simétricas de viga de dist.	2 x 4 mm	-
EPB-1-N	Carga única e direta no meio do vão	-	Parafuso comum
EPB-1-SW	Carga única e direta no meio do vão	-	P. comum c/ arruela de pressão
EPB-1-H	Carga única e direta no meio do vão	-	Parafuso de alta resistência
CPB-1-N	Carga única e direta no meio do vão	-	Parafuso comum
CPB-1-SW	Carga única e direta no meio do vão	-	P. comum c/ arruela de pressão
CPB-1-H	Carga única e direta no meio do vão	-	Parafuso de alta resistência

Fonte: He e Zhang (2020)

He e Zhang (2020) apresentam os gráficos de deslocamento vertical enquanto submetidas à carga última para as vigas em destaque, conforme a figura 30.

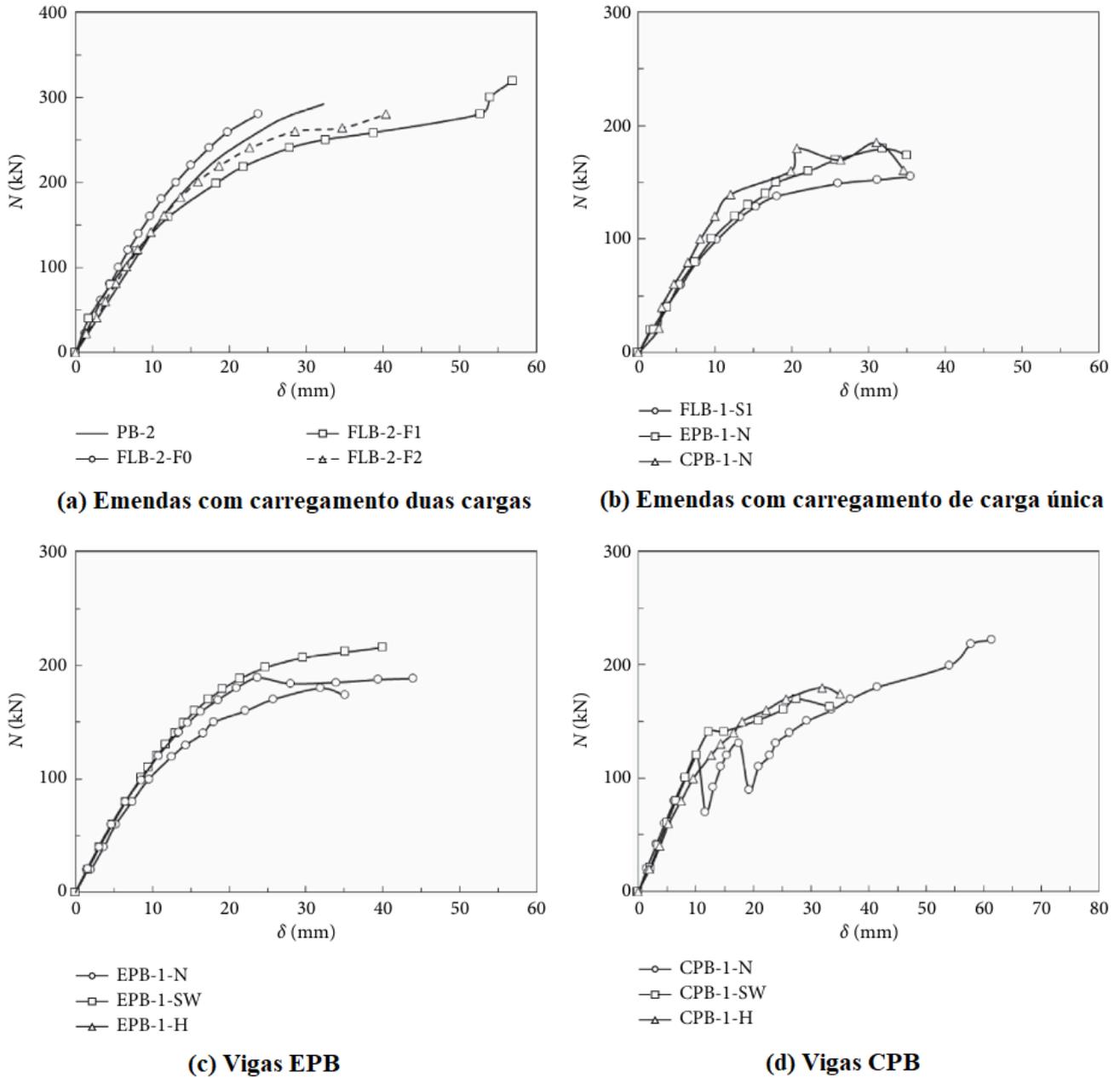
Os autores também apresentam os gráficos de deslocamento vertical, mostrados na figura 31.

Figura 30 - Gráficos de deslocamento vertical na carga  $N_p$  de He e Zhang (2020).



Fonte: He e Zhang (2020)

Figura 30 - Gráficos de deslocamento vertical de He e Zhang (2020).



Fonte: He e Zhang (2020)

A tabela 18 apresenta os momentos de escoamento e seus deslocamentos verticais no meio do vão, como também os momentos máximos e seus deslocamentos verticais no meio do vão.

Tabela 18 - Momentos máximos e deslocamentos verticais máximos de He e Zhang (2020).

Viga	$M_y$ (kNm)	$\Delta_r$ (mm)	$M_p$ (kNm)	$\Delta_p$ (mm)
PB-2	127,80	24,20	144,00	30,30
FLB-1-S1	102,10	17,60	116,40	35,50
FLB-1-S2	93,10	14,40	108,90	45,10
FLB-2-F0	126,00	18,90	140,00	23,80
FLB-2-F1	123,90	33,40	159,50	56,90
FLB-2-F2	121,50	23,60	140,00	40,40
EPB-1-N	116,70	20,30	135,00	31,90
EPB-1-SW	142,20	21,80	162,00	39,90
EPB-1-H	125,60	18,10	141,80	23,70
CPB-1-N	118,00	18,80	138,80	31,00
CPB-1-SW	132,80	40,00	166,50	61,40
CPB-1-H	108,80	17,30	127,10	27,40

Fonte: He e Zhang (2020)

He e Zhang (2020) observam que nas vigas tipo FLB e CPB surgem, respectivamente, aberturas e deslocamentos das mesas durante o carregamento, o que não ocorre no caso de vigas EPB.

Os autores também concluem que as chapas intermediárias nas vigas FLB aumentam a deformabilidade e diminuem a rigidez da emenda. Nos casos de carga pontual, as vigas FLB e EPB possuem menor rigidez do que as vigas CPB, enquanto que a resistência das vigas EPB e CPB é maior do que as vigas FLB.

Por fim, notam que a resistência com o uso de parafusos comuns com arruelas de mola ou de parafusos de alta resistência é quase a mesma, enquanto que somente o uso de parafusos comuns não atinge essa resistência. Adicionalmente, o mesmo ocorre com o uso de diferentes parafusos com as vigas CPB.

## 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Considerando as menções teóricas anteriores e os resultados obtidos pelos variados autores, podem ser feitas comparações.

Borges (2016) apresenta diversas tabelas em que podem ser comparados os resultados obtidos pelos

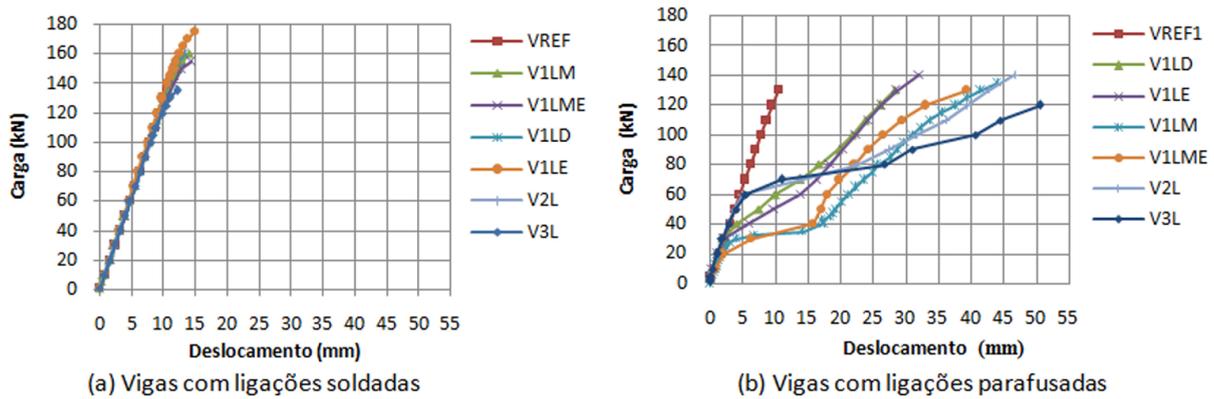
trabalhos de Borges (2016) e Pereira (2014). A tabela 19 e as figuras 31, 32 e 33 a seguir apresentam suas diferenças.

Tabela 19 - Relação das cargas últimas e deslocamentos verticais máximos obtidos nos trabalhos de Borges (2016) e Pereira (2014).

VIGA	$\frac{P_{u,parafusada}}{P_{u,soldada}}$	$\frac{\Delta_{ensaio\ parafusada}}{\Delta_{ensaio\ soldada}}$
VREF	0,84	0,84
V1LD	0,85	2,13
V1LE	0,80	2,19
V1LME	0,83	2,75
V1LM	0,81	3,15
V2L	1,18	4,72
V3L	0,94	4,18

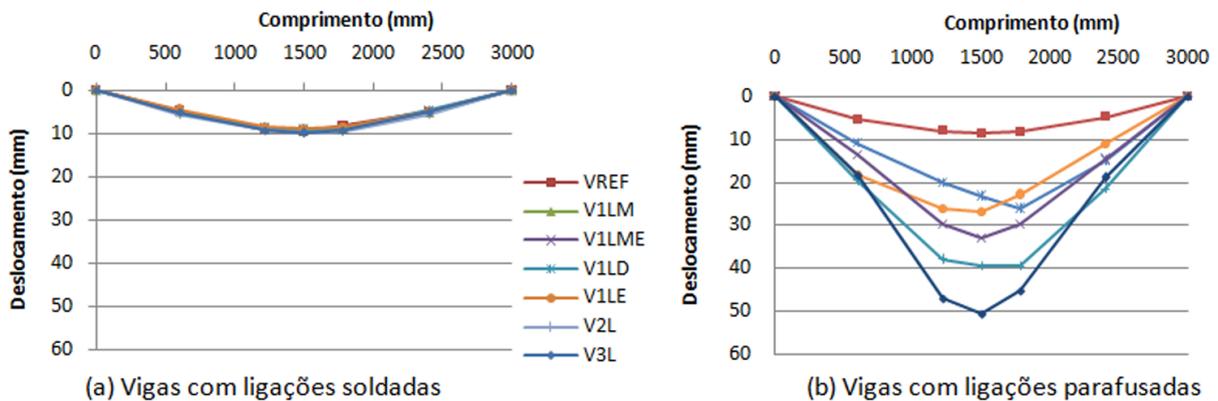
Fonte: Borges (2016)

Figura 31 - Comparação de deslocamentos verticais entre Borges (2016) e Pereira (2014).



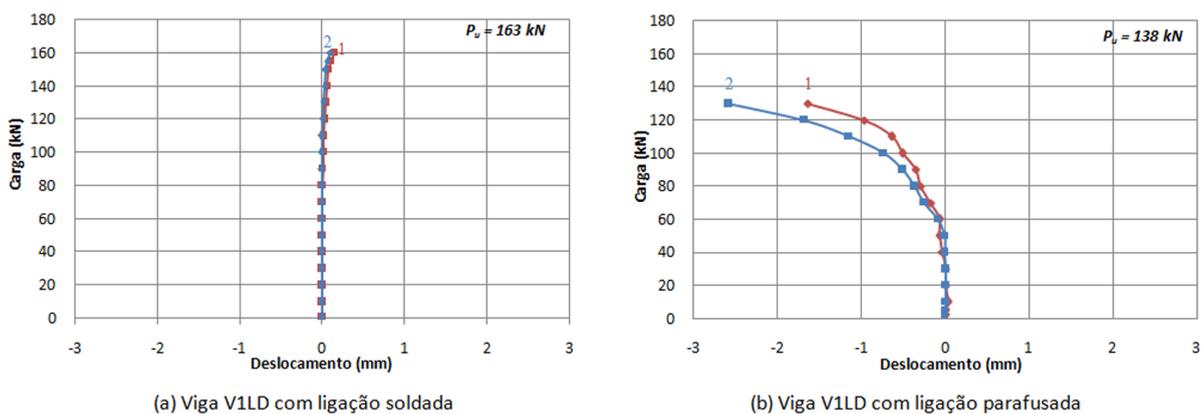
Fonte: Borges (2016)

Figura 32 - Comparação de deslocamentos verticais na carga de 120 kN entre Borges (2016) e Pereira (2014).



Fonte: Borges (2016)

Figura 33 - Comparação de deslocamentos laterais entre Borges (2016) e Pereira (2014).



Fonte: Borges (2016)

A principal diferença entre os ensaios comparados se deve pela utilização de contenções laterais no trabalho de Borges (2016), em que se destacam a disparidade nos deslocamentos laterais mostrada nos gráficos da figura 33.

De acordo com Borges (2016), a única exceção foi a comparação entre as vigas V1LME, pois ambas

possuíam enrijecedores que restringiram o deslocamento lateral e manifestaram resultados semelhantes.

Nos resultados dos trabalhos de Borges (2016) e Pereira (2014), observa-se na tabela 19 a grande diferença nos deslocamentos verticais, apresentando valores como 275% maiores em casos de emendas

únicas no meio com enrijecedores, demonstrando que a emenda soldada é mais rígida do que a emenda parafusada.

Para melhor visualização, as tabelas 20, 21 e 22 a seguir apresentam a relação entre momentos obtidos

das vigas ensaiadas pelo momento da viga referência de cada trabalho. Não constam valores do trabalho de Machado (2014) por já apresentar em seus gráficos o coeficiente de determinação  $R^2$ .

Tabela 20 - Relação dos deslocamentos e momentos obtidos no trabalho de Borges (2016).

VIGA	$\frac{\delta_{ensaio}}{\delta_{referência}}$	$\frac{M_{ensaio}}{M_{referência}}$
VREF	1,000	1,000
V1LD	1,052	1,019
V1LE	1,178	1,094
V1LME	1,135	1,000
V1LM	1,109	1,037
V2L	0,776	0,769
V3L	0,960	0,844

Fonte: Autor (2025)

Tabela 21 - Relação dos deslocamentos e momentos obtidos no trabalho de Pereira (2014).

VIGA	$\frac{\delta_{ensaio}}{\delta_{referência}}$	$\frac{M_{ensaio}}{M_{referência\ média}}$
VREF MÉDIA	1,000	1,000
V1LD	2,470	0,580
V1LE	2,842	0,914
V1LM	3,845	0,882
V1LME	3,433	0,872
V2L	4,038	0,948
V3L	4,422	0,825

Fonte: Autor (2025)

Tabela 22 - Relação dos deslocamentos e momentos obtidos no trabalho de He e Zhang (2020).

Viga	$\frac{\Delta_r}{\Delta_{r, referência}}$	$\frac{\Delta_p}{\Delta_{p, referência}}$	$\frac{M_y}{M_{y, referência}}$	$\frac{M_p}{M_{p, referência}}$
PB-2	1,000	1,000	1,000	1,000
FLB-1-S1	0,727	1,172	0,799	0,808
FLB-1-S2	0,595	1,488	0,729	0,756
FLB-2-F0	0,781	0,785	0,986	0,972
FLB-2-F1	1,380	1,878	0,970	1,108
FLB-2-F2	0,975	1,333	0,951	0,972
EPB-1-N	0,839	1,053	0,913	0,938
EPB-1-SW	0,901	1,317	1,113	1,125
EPB-1-H	0,748	0,782	0,983	0,985
CPB-1-N	0,777	1,023	0,923	0,964
CPB-1-SW	1,653	2,026	1,039	1,156
CPB-1-H	0,715	0,904	0,851	0,883

Fonte: Autor (2025)

Considerando os trabalhos de Borges (2016) e Pereira (2014), que abordam vigas com emendas com solda de penetração total, observa-se que ambos apresentam gráficos de deslocamentos verticais satisfatórios semelhantes às vigas de referência sem emenda, o que reforça a comparação anterior com a emenda parafusada. A tabela 20 ainda apresenta valores de deslocamento de 77,60% e 96,00% das vigas com duas e três emendas, respectivamente, comparadas ao deslocamento da viga de referência. Ressalta-se que para atingir esses resultados há que se ter o cuidado em fazer a solda dentro das exigências normativas.

No trabalho de He e Zhang (2020), as vigas com emendas parafusadas apresentaram rigidez relativa ao uso de diferentes tipos de parafusos. O uso de parafusos de alta resistência apresentou maiores resistências e menores deslocamentos, se comparados ao uso de parafusos comuns. Com a tabela 22, observa-se que os parafusos de alta resistência mostraram 98,50% de resistência da referência e 78,20% de deslocamento da referência. Já nos casos em que utilizou os parafusos comuns, apresentaram 93,80% de resistência da referência e 105,30% de deslocamento da referência. A utilização de arruela de mola apresenta resultados de 112,50%

de resistência da referência, porém 131,70% de deslocamento da referência. A ligação tipo atrito melhora a transmissão de momento fletor e esforço cortante, como também garante menor deslocamento da viga, mostrando sua eficiência em garantir maior rigidez à ligação.

No mesmo trabalho é observado que o uso de emendas parafusadas com chapas de extremidade estendida apresentam melhor rigidez, se comparadas às emendas parafusadas com chapas na alma e nas mesas. Isso pode ser observado nas suas semelhanças de valores de resistência e deslocamento com a viga sem emendas. Observa-se, também, que o uso de chapas de extremidade estendidas é melhor do que chapas de extremidade comuns, visto que sua maior resistência ao momento fletor ocasionou em uma ligação mais rígida.

Observando os trabalhos de Pereira (2014) e He e Zhang (2020), relacionados às emendas parafusadas, verifica-se que, apesar de apresentarem resistência última aceitável, ambos constataram grandes deformações e deslocamentos. Possivelmente essa circunstância foi comprometida pela baixa rigidez mostrada nas ligações parafusadas, além da falta de contenção lateral e falta de utilização de parafusos de

alta resistência nos ensaios, que intensificaram essa condição.

Em relação ao posicionamento das emendas soldadas na viga, é inconclusivo afirmar que o seu posicionamento compromete as resistências e deslocamentos da viga, por todos os casos apresentarem resultados aceitáveis se comparados às vigas de referência. No caso das vigas com emendas parafusadas, apesar de melhor desempenho pelas vigas em que as emendas não se encontravam no meio do vão, ainda constata-se um deslocamento elevado. É notável a diferença nos resultados pela quantidade de emendas parafusadas na viga, em que seu deslocamento intensificou de forma significativa..

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho investigou, através de revisão bibliográfica, a possibilidade de utilização de emendas em vigas de aço. A pesquisa apresentou que a possibilidade da execução destas ligações está sujeita a observações.

O atendimento às prescrições normativas é imprescindível para que as emendas atendam às solicitações e sirvam como alternativas nas vigas metálicas.

Em emendas parafusadas, o uso de parafusos de alta resistência é altamente recomendado, pois a transmissão de forças pelo atrito aumenta a rigidez da ligação, conseqüentemente melhora a transmissão de momento fletor e esforço cortante.

Em emendas soldadas, deve haver grande fiscalização em sua execução, dando preferência à realização de ensaios, além da utilização de mão de obra e materiais qualificados.

Considerando as advertências de localização de emendas, mencionadas no tópico 2.2 e discutidas nos resultados, é recomendável evitar uso de emendas no meio do vão para obter resultados mais satisfatórios.

A quantidade de emendas parafusadas compromete a rigidez da viga, sendo recomendável somente a utilização de uma emenda no vão. No caso das emendas soldadas, a quantidade não apresenta impacto significativo.

Recomenda-se também o uso de contenções laterais para as vigas de modo geral, visto que, quando utilizadas, impedem deslocamentos excessivos e garantem melhor desempenho das mesmas.

Por fim, baseado nos resultados dos trabalhos, recomenda-se preferencialmente utilizar ligação tipo

solda de penetração total em emendas de vigas metálicas. Na impossibilidade de implementação desse tipo de ligação, utilizar emenda parafusada com chapa de extremidade estendida e parafusos de alta resistência é a melhor opção, atentando ao posicionamento da emenda e à contenção da viga.

## 7. AGRADECIMENTOS

Deixo meus agradecimentos primeiramente a Deus, pelo Seu cuidado, conforto e amor dados a mim. Sem Ele, nada seria possível durante os anos de graduação.

Agradeço imensamente à orientadora deste trabalho, professora doutora Christiane, pelo zelo, paciência e direção neste estudo. Todo o conhecimento e tempo dispostos foram fundamentais para a realização do trabalho, para incentivo dos meus estudos e para servir como exemplo em meu crescimento profissional.

Também agradeço à minha noiva, meus pais e irmãos. Todos demonstraram seu amor para comigo nessa trajetória e me ajudaram a permanecer firme e percorrer todo o caminho.

Ao meu terapeuta Silvio, com quem tenho grande gratidão em ter me auxiliado quando necessitei, deixo meus agradecimentos também.

Por fim, agradeço a todos os amigos e colegas que estiveram presentes nessa trajetória e que contribuíram diretamente e indiretamente a mim.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Form and style for ASTM standards. West Conshohocken, PA: American Society of Testing and Materials, 2022.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. A36/A36M: Standard specification for carbon structural steel. EUA, 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. A307: Carbon steel bolts, studs, and threaded rod 60 000 PSI tensile strength. EUA, 2021.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. A572/A572M: Standard specification for high-strength low-alloy columbium-vanadium structural steel. EUA, 2021.

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. F3125/F3125M: High strength structural bolts, steel and alloy steel, heat treated, 120 ksi (830 MPa) and 150 ksi (1040 MPa) minimum tensile strength, inch and metric dimensions. EUA, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5884: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico - requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6215: Produtos siderúrgicos - terminologia. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7007: Aços-carbono e aços microligados para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural - requisitos. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15980: Perfis laminados de aço para uso estrutural - dimensões e tolerâncias. Rio de Janeiro, 2024.
- BORGES, R. S. F. Análise experimental da resistência à flexão simples de vigas de aço tipo "I" compostas de perfis laminados dotadas de emendas soldadas. **Revista eletrônica de engenharia civil**, Goiânia, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2016.
- BORGES, R. S. F. **Análise experimental da resistência à flexão simples de vigas de aço tipo "I" compostas de perfis laminados dotadas de emendas soldadas**. Orientador: Prof. Dr. Orlando Ferreira Gomes. 2015. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- HE, R; ZHANG, Z. Experimental study on bolt-spliced prefabricated steel frame beams. **Advances in civil engineering**, v. 2020, n. 6191475, p. 1-12, 2020.
- MACHADO, S. C. **Avaliação de emendas soldadas em perfis laminados sujeitos à flexão estática**. Orientador: Prof. Dr. Zacarias Martin Chamberlain Pravia. 2013. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013.
- PEREIRA, R. S. Ligações em estruturas de aço utilizando emendas com parafusos de alta resistência solicitadas na flexão simples. **Revista eletrônica de engenharia civil**, Goiânia, v. 8, n. 2, p. 27-42, 2014.
- PEREIRA, R. S. **Ligações em estruturas de aço utilizando emendas com parafusos de alta resistência solicitadas na flexão simples**. Orientador: Prof. Dr. Orlando Ferreira Gomes. 2014. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- PFEIL, W; PFEIL M. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 9. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2022.
- THE ENGINEERING EQUIPMENT AND MATERIALS USERS ASSOCIATION. **Publication 158: construction specification for fixed offshore structures**. 3. ed. Inglaterra, 2014.