



Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2025**
10º Congresso Latino-americano da Construção Metálica
09 de setembro de 2025, São Paulo - SP, Brasil

Tema: Infraestrutura (projeto e elementos construtivos)

**ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE EMENDAS DE ESTACAS METÁLICAS
PARA FUNDAÇÕES CARREGADAS AXIALMENTE EM COMPRESSÃO**

Pedro Wellington G. N. Teixeira¹

Dirney Cury Filho²

Pedro Mamere de Almeida³

Gustavo Alves⁴

Resumo

O uso de perfis laminados de aço como estacas de fundação oferece benefícios em diversas condições geotécnicas e para estruturas que transmitem esforços concentrados elevados ao solo. Essas estacas são compostas por segmentos que exigem emendas para atingir a profundidade de projeto, sendo essa etapa relevante em termos de tempo e desempenho. Este trabalho apresenta estudos teóricos e experimentais sobre emendas de estacas de perfis tipo HP da Gerdau, utilizando cobrejuntas formadas a partir do mesmo perfil da estaca e solicitadas por forças normais de compressão. Como não há metodologia de ensaio normatizada sobre o tema, trata-se de um estudo pioneiro no Brasil. São apresentados os cálculos considerados necessários para a verificação analítica da segurança e resultados de três ensaios, com discussão sobre os modos de falha observados. Propõe-se uma nova metodologia de verificação analítica que considera instabilidades locais da alma e das talas de mesa, tratadas como colunas de seção "T", segundo a NBR 8800. Sugere-se ainda o uso de um parâmetro $\alpha \leq 1,0$ para representar a colaboração das soldas de topo. Por fim, discute-se ainda a possibilidade de redução da espessura efetiva dos cordões de solda por corrosão. O objetivo é contribuir para maior eficiência no projeto de estruturas geotécnicas com perfis de aço.

Palavras-chave: Perfis HP; Estacas de fundação; Emendas de estacas de aço comprimidas.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF STEEL PILE SPLICES FOR FOUNDATIONS AXIALLY LOADED IN COMPRESSION

Abstract

The use of rolled steel profiles as foundation piles offers benefits under various geotechnical conditions and for structures that transmit high concentrated loads to the ground. These piles are composed of segments that require splicing to reach the design depth, making this step relevant in terms of time and performance. This study presents theoretical and experimental investigations on splices of Gerdau's HP-type steel piles from, using joint covers (splints) made from the same pile profile and subjected to axial compressive forces. As there is no standardized testing methodology on the subject, this is considered a pioneering study in Brazil. The paper presents the necessary calculations for analytical safety verification and results from three splice tests, discussing the observed failure modes. A new analytical verification methodology is proposed, considering local buckling of the web near the splice and instability of the flange splice plates, treated as "T" section columns according to NBR 8800. Additionally, the use of a parameter $\alpha \leq 1.0$ is suggested to account for the contribution of butt welds, along with considering effective weld throat thickness reduction due to corrosion, to align with common profile design practices. The aim is to contribute to more efficient design of geotechnical structures using steel profiles.

Keywords: HP sections; Foundation piles; Axially loaded compression steel pile splices.

¹ Engenheiro Civil/Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo / São Paulo, SP, Brasil.

² Engenheiro Civil/Mestrado em Engenharia Geotécnica pela Universidade Estadual de Campinas, 2016.

³ Engenheiro Civil/Graduado pela Universidade Federal de São Carlos, 2018.

⁴ Engenheiro Civil/Graduado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2024.

1 INTRODUÇÃO

As estacas metálicas são normalmente formadas por segmentos que precisam ser emendados para que se alcancem as profundidades de projeto. A execução das emendas constitui-se em uma etapa que demanda tempo considerável no processo de execução de uma estaca metálica e uma eventual redução do tempo de execução das emendas passa a ser, em muitas obras, um fator importante para a produtividade do processo de cravação.

Diante do exposto, torna-se necessário buscar entender melhor o funcionamento de uma emenda de estaca de aço. Neste trabalho apresentam-se estudos teóricos e experimentais realizados em emendas de estacas de aço. Estudam-se emendas de perfis tipo HP da Gerdau, com a tipologia indicada no manual de estacas metálicas [4].

Trata-se de emenda na qual são empregadas cobrejuntas (talas) formadas a partir de cortes no mesmo perfil da estaca. Tal solução apresenta como vantagens a garantia de propriedades geométricas e mecânicas compatíveis entre a estaca e os elementos da emenda.

Neste artigo estudam-se emendas solicitadas por forças normais de compressão. Não existe metodologia de ensaio normatizada sobre este assunto. Dessa forma, sob alguns aspectos, trata-se de um estudo pioneiro no Brasil.

A metodologia empregada consistiu em: estudo inicial das características das emendas com a tipologia usual; desenvolvimento teórico mostrando as verificações julgadas necessárias; realização de ensaios de algumas emendas. No total foram realizados três ensaios.

Ao final, propõe-se nova metodologia de verificação analítica, considerando:

- Efeitos de flambagem local da alma próximo à emenda;
- Efeitos da flambagem das talas de mesa, tratadas como colunas de seção “T”, conforme a NBR 8800;
- O uso de um parâmetro $\alpha \leq 1,0$ para a colaboração das soldas de topo;
- A possibilidade de redução da espessura efetiva dos cordões de solda por corrosão, para ficar compatível com o que se faz para os perfis;

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Generalidades

Inicialmente é importante descrever a tipologia da emenda estudada neste trabalho. Trata-se da emenda descrita na referência [4], que cita o emprego de talas nas mesas e alma dos perfis. Essas talas são soldadas com soldas de filete em todo o contorno. Além disso, há solda de topo em todo o perímetro da junção entre as estacas.

De acordo com o manual, “as talas podem ser obtidas de chapas de aço com resistência equivalente a dos perfis, mas, por uma questão de praticidade, as emendas são tradicionalmente executadas utilizando-se um segmento do próprio perfil, recortado conforme mostrado na Figura 5, do qual se obtêm as talas de mesas e de alma que irão compor as emendas da estaca na obra.” A seguir, apresenta-se ilustração da forma de obtenção das talas conforme manual (figura 1).

Por análise da sugestão do manual, pode-se observar que:

- A área da seção transversal é mantida igual na emenda, a menos de eventuais perdas de material no corte das talas da alma;

- O tipo de material é garantido ser o mesmo do perfil;

Logo, a tipologia proposta pelo manual traz vantagens do ponto de vista de garantia das propriedades geométricas e mecânicas do material adicionado na emenda.

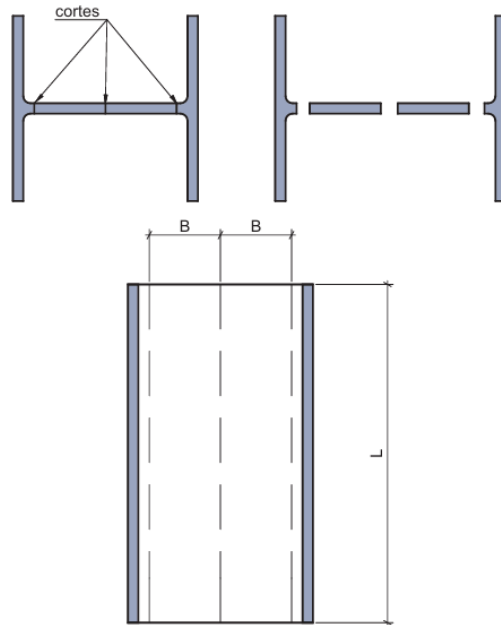


Figura 1 – Ilustração da forma de obtenção das talas da emenda sugeridas na referência [4].

Na figura 2 e figura 3 apresentam-se detalhes adicionais da emenda estudada.

Na sequência são discutidos aspectos da análise teórica aplicados à tipologia de emenda estudada. Por fim, neste item apresenta-se ainda a metodologia empregada nos ensaios realizados.

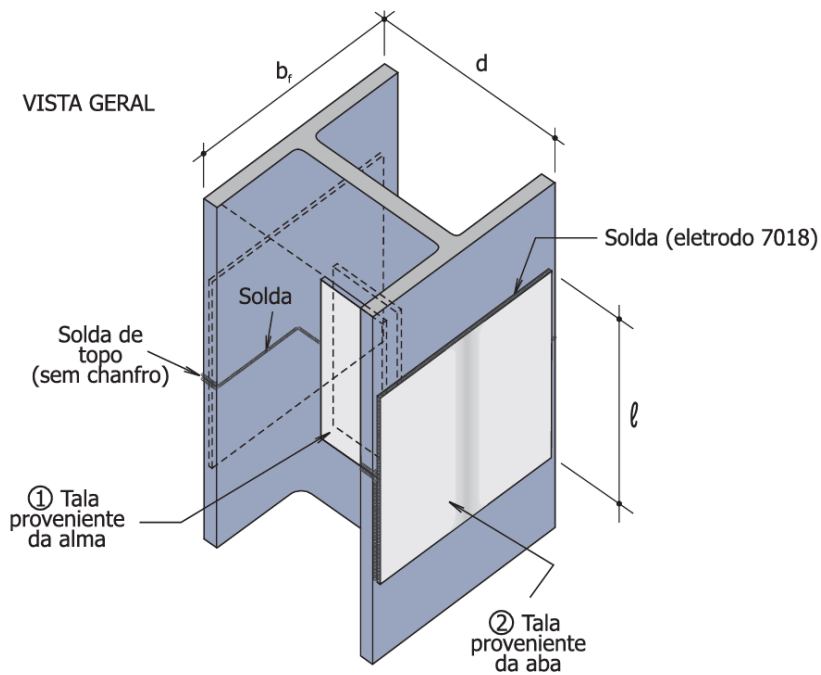
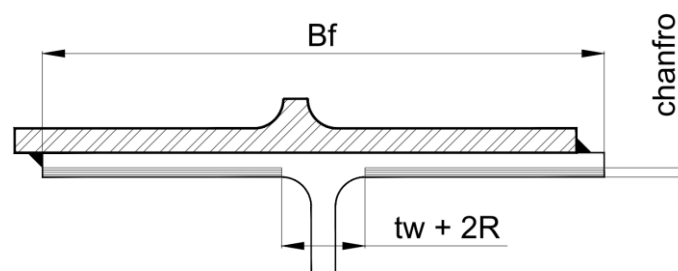
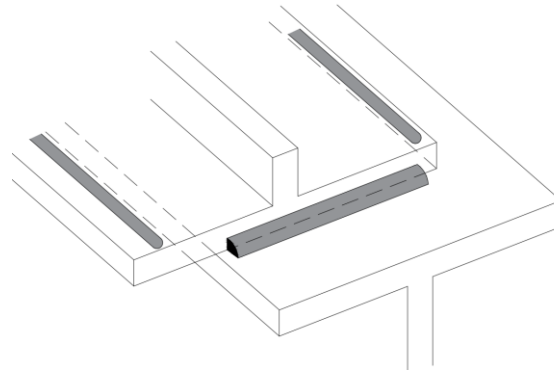


Figura 2 – Ilustração esquemática da emenda proposta no Manual Gerdau [4]. Observações: (a) na figura não aparece de forma nítida, na tala da mesa, o trecho de ligação entre alma e mesa (este trecho tem influência importante na resistência); (b) a indicação de solda de topo sem chanfro requer considerações especiais. (c) figura reproduzida do manual [4].



(a)



(b)

Figura 3 – Complemento da figura 2: (a) detalhe da tala de mesa e do comprimento da solda de topo (com chanfro) na mesa – $B_f - (t_w + R)$; (b) Solda da tala da mesa em lados opostos de um plano comum – (ver item 6.2.6.2.6.d da NBR 8800).

2.2 Análise teórica

2.2.1 Verificações a serem feitas

De maneira geral, a verificação analítica da segurança da emenda deve contemplar a resistência do metal de solda e a resistência do metal base. É importante considerar aspectos de instabilidade nessas verificações. Além disso, no caso de emendas tracionadas, é necessário fazer a verificação de colapso por rasgamento.

A seguir, discutem-se aspectos da resistência do metal de solda e do metal base à luz da norma brasileira, ABNT NBR 8800 [1]. A verificação de colapso por rasgamento não será apresentada neste trabalho por ser aplicável ao caso de emendas tracionadas.

2.2.2 Resistência do metal de solda

Deve ser feita conforme o item 6.2.5.2.c da NBR 8800, que estabelece o seguinte:

“Para um grupo de filetes carregado concêntricamente, formado por elementos situados longitudinalmente e transversalmente à direção da força aplicada, a força resistente de cálculo combinada $F_{w,Rd}$ é o maior valor entre:

$$F_{w1,Rd} = F_{w\ell,Rd} + F_{wt,Rd} \quad \text{Equação 1}$$

e

$$F_{w2,Rd} = 0,85 F_{w\ell,Rd} + 1,5 F_{wt,Rd} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$F_{w,Rd}$ é a força resistente de cálculo total dos filetes de solda situados longitudinalmente à direção da força aplicada, obtida da Tabela 8 da NBR8800;

$F_{w,Rd}$ é a força resistente de cálculo total dos filetes de solda situados transversalmente à direção da força aplicada, obtida da Tabela 8 da NBR8800”.

$$F_{w,Rd} = 0,6 A_w f_w / \gamma_{w2} \quad \text{Equação 3}$$

Ainda de acordo com a NBR 8800, “O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.”

2.2.3 Resistência do metal base

Deve ser feita conforme o item 6.5 da NBR 8800, devendo-se considerar:

- a) Para emendas de estacas tracionadas, o item 6.5.3:

“A força de tração resistente de cálculo de elementos de ligação tracionados deve ser o menor valor obtido, conforme segue:

para o estado-limite último de escoamento:

$$F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}} \quad \text{Equação 4}$$

para o estado-limite último de ruptura:

$$F_{Rd} = \frac{f_u A_e}{\gamma_{a2}} \quad \text{Equação 5}$$

Onde $\gamma_{a1} = 1,1$ e $\gamma_{a2} = 1,35$.

- b) Para emendas de estacas comprimidas, o item 6.5.4:

“A força de compressão resistente de cálculo de elementos de ligação comprimidos deve ser o menor valor obtido, conforme segue:

$$F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}} \quad \text{Equação 6}$$

para o estado-limite último de flambagem, aplicável quando $KL/r > 25$, devem ser usadas as prescrições de 5.3.” O item 5.3 da NBR 8800 trata de dimensionamento de barras prismáticas submetidas à força axial de compressão.

2.2.4 Aplicação das expressões a uma família de perfis HP

As expressões acima foram aplicadas à família de perfis HP310 com as talas de dimensões conforme o Manual Técnico da GERDAU [4], chegando aos resultados que estão resumidos na figura 4.

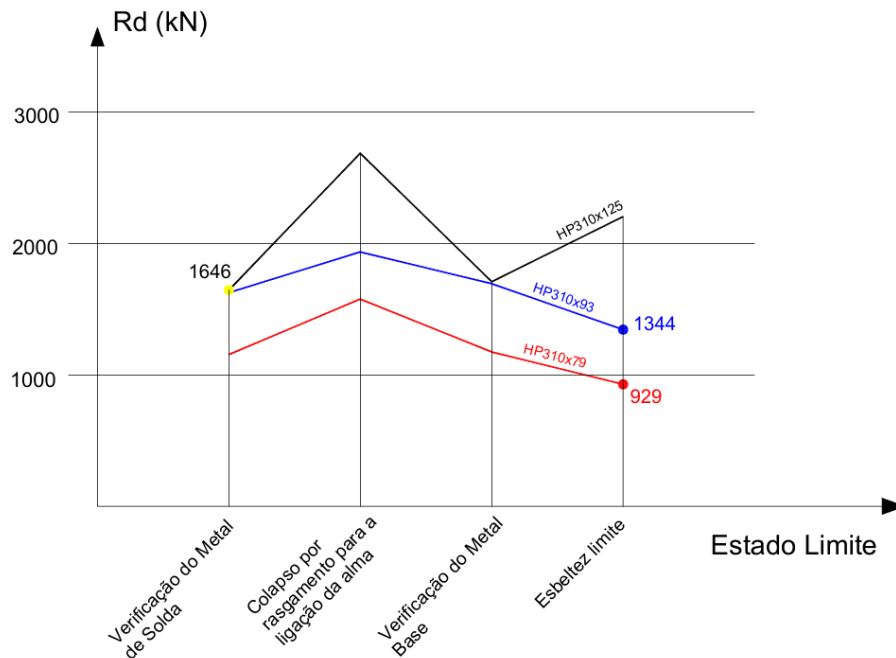


Figura 4 – Resultados do cálculo realizado com a nova metodologia para três perfis da família D310 mm [6].

2.3 Ensaios

Como parte da metodologia deste trabalho foram realizados ensaios de protótipos. A ideia inicial seria de realizar 4 ensaios, a saber:

- Ensaio 1: protótipo com talas de emenda apenas na alma, aqui denominado LPTA, ou seja, ligação por talas na alma;
- Ensaio 2: protótipo com talas de emenda apenas nas mesas, aqui denominado LPTMS, ou seja, ligação por talas nas mesas;
- Ensaio 3: protótipo com talas de emenda nas mesas e na alma, aqui denominado LPTA-MS, ou seja, ligação por talas na alma e nas mesas;
- Ensaio 4: protótipo com talas de emenda nas mesas, na alma e solda de topo sem chanfro, aqui denominado LINT, ou seja, ligação integral;

Os ensaios 1 a 3 seriam feitos todos de forma a garantir que o esforço seria integralmente transmitido pela emenda. Assim, no ensaio 1 seria aplicada a força diretamente na tala e nos ensaios 2 e 3 seria deixada uma folga entre os perfis.

A ideia de realizar ensaios com emendas apenas em alguns elementos justificou-se para permitir avaliar se a soma das parcelas das resistências das emendas de alma e mesa isoladas para obter a resistência – procedimento usual – seria satisfatório. Dessa forma, o ensaio 3 apresentaria como resultado, em tese e desconsiderando-se problemas de ensaios e outras incertezas, a soma dos resultados dos ensaios 1 e 2.

Infelizmente não foi possível realizar o ensaio 3, conforme previsto, por questões de tempo, haja vista que o programa de ensaios foi desenvolvido durante um trabalho de conclusão de curso. Dessa forma, foram feitos os ensaios 1, 2 e 4. As figuras 5, 6(a) e 6(b) ilustram a geometria dos protótipos.

Os perfis empregados foram:

- Ensaio LPTA: perfil HP 250x62 em aço ASTM A572 grau 50, e talas obtidas do mesmo perfil;
- Ensaio LPTMS: perfil HP 250x62 em aço ASTM A572 grau 50, e talas obtidas do mesmo perfil;
- Ensaio LINT: perfil HP 310x125 em aço ASTM A572 grau 50, e talas obtidas de perfil HP 310x79;

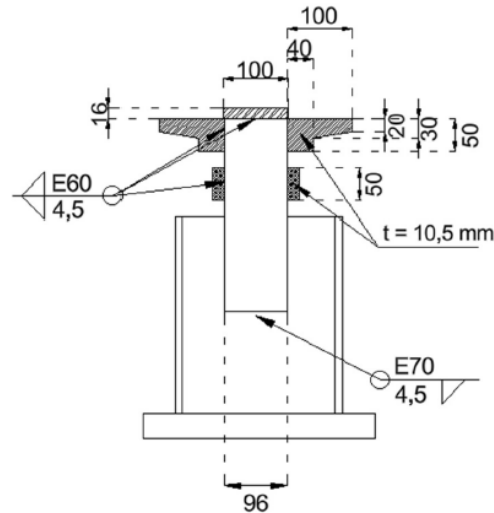
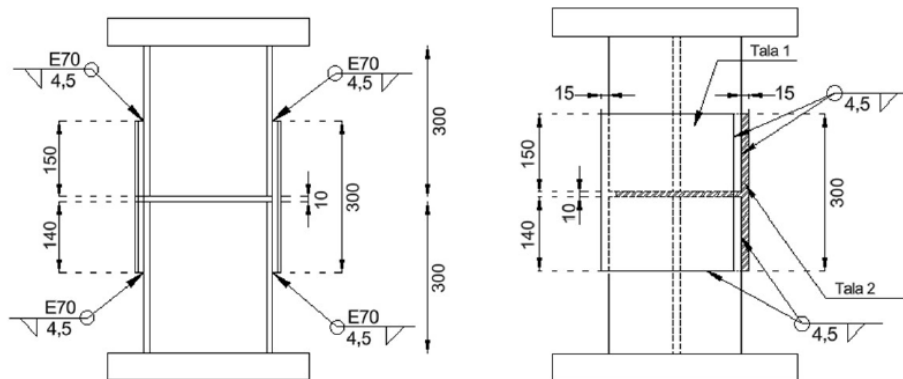


Figura 5 – Características do protótipo do ensaio 1 (LPTA): segmento de perfil com comprimento de 30 cm, com placa de base. A força foi aplicada diretamente nas talas; para isso, foram acrescentados elementos de aplicação da força e permitir o trabalho conjunto das duas talas. Os filetes de solda foram feitos com dimensão reduzida para levar em conta perda de seção por corrosão.



(a)

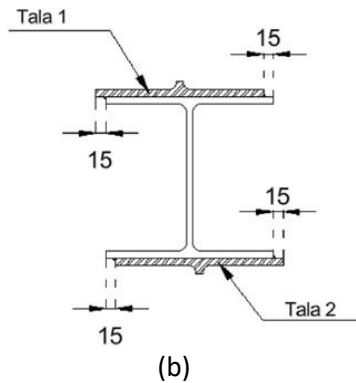


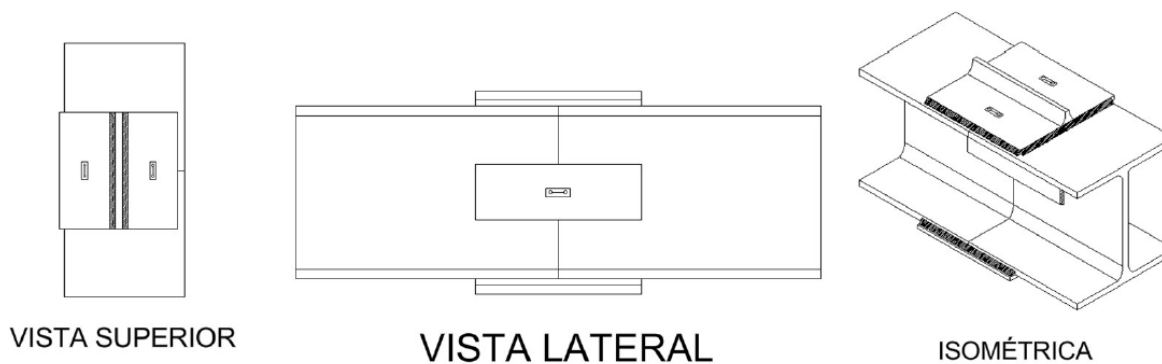
Figura 6 – Características do protótipo do ensaio 2 (LPTMS): dois segmentos de perfil com comprimento de 30 cm, com placas de extremidade na base e no topo. A força foi aplicada na placa de topo. Os filetes de solda foram feitos com dimensão reduzida para levar em conta perda de seção por corrosão.

Na figura 7 apresenta-se o equipamento usado para os ensaios LPTA e LPTM do perfil CS 250x62. Nesses dois ensaios foram adquiridos apenas os valores de força e o deslocamento do atuador. Para o ensaio 4 foram aplicados extensômetros no protótipo, conforme apresentado na figura 8.

Na figura 9, apresenta-se a estrutura de reação empregada para o Ensaio 4 (LINT).



Figura 7 – Prensa Shimadzu UH-2000kN XR empregada para os ensaios 1 e 2 e equipamento conectado à prensa para aquisição de dados.



LEGENDA

 EXTENSÔMETRO

Figura 8 – Extensômetros elétricos posicionados nas talas de mesas e de alma para o ensaio 4 (LINT): total de 6 (seis) extensômetros.

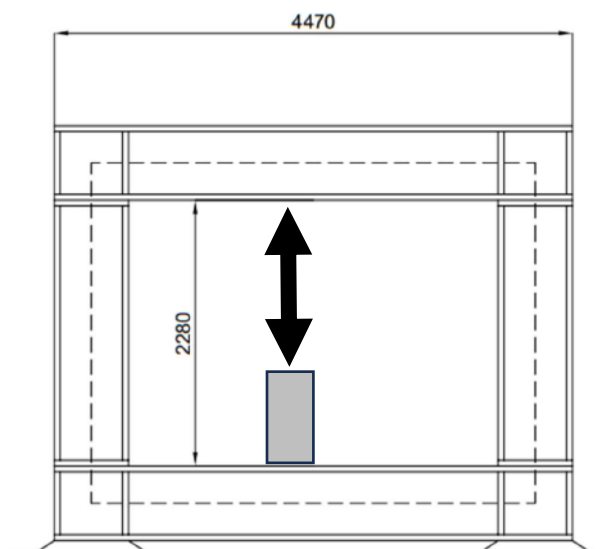


Figura 9 – Posicionamento do corpo de prova para o ensaio 4 (LINT): perfil CS 3120x125 com emendas por talas soldadas nas mesas e na alma, além de solda de topo, sem chanfro. As talas foram obtidas de um perfil HP 310x79 (aço ASTM A 572 Grau 50) – as dimensões do pórtico de reação estão indicadas em mm.

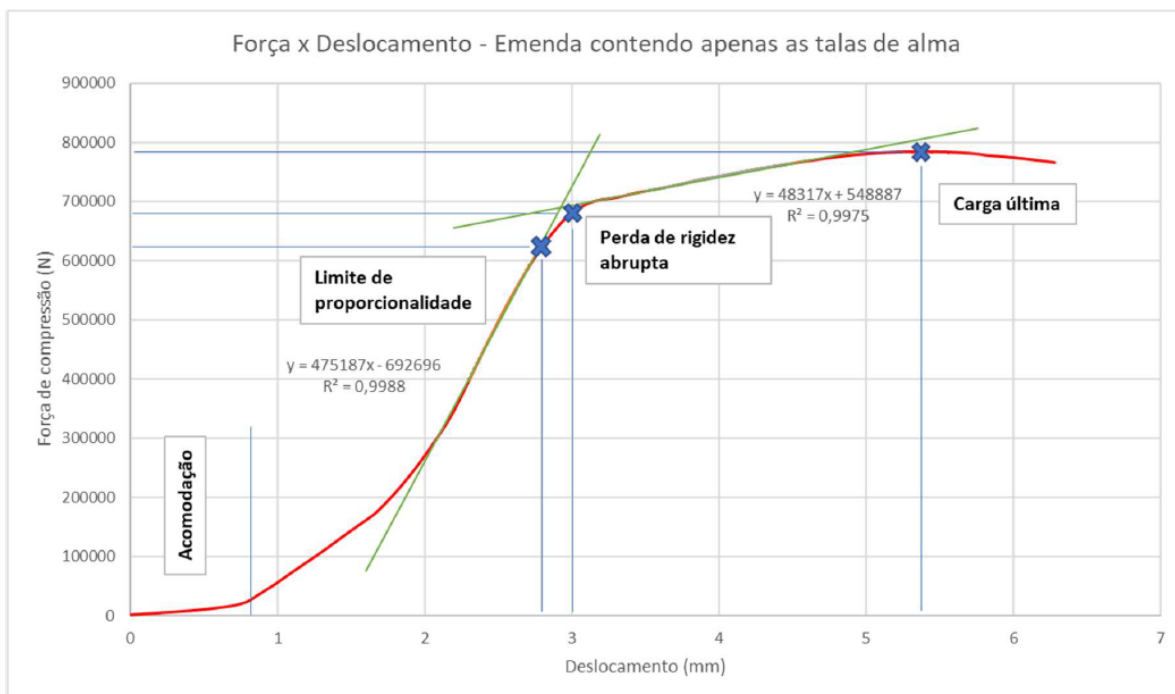
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio com ligação por talas de alma (LPTA)

A figura 10 mostra o gráfico força-deslocamento. No ensaio chegou-se a valor de força limite de 784,8 kN, porém, o valor de 680,9 kN já indica uma mudança de comportamento e deve ser considerado como valor importante nesse caso. O estado limite alcançado parece estar mais associado à flambagem e ocorreu de forma dúctil, pois houve deslocamentos adicionais de 3 mm – duplicando o valor do deslocamento registrado quando $F \approx 681$ kN – e a relação entre os dois valores de força foi de $784,8/680,9 = 1,153$, ou seja, 15% de aumento da força após a provável flambagem.

Aplicando-se as expressões do item 2.2.3.a deste trabalho, foi obtido valor de 769 kN para escoamento do metal base, o que é um valor muito próximo ao encontrado no ensaio (784,8 kN) – diferença de 2%.

Um modelo numérico elástico linear conduziu ao valor de $F = 645$ kN no primeiro modo de flambagem (figura 11). O que é bem próximo e aproxima “por baixo” o valor de 680,9 kN obtido no ensaio (diferença de 5,3%).



	F (tf)	u (mm)
Limite de proporcionalidade	62,38	2,8
Perda de rigidez abrupta	68,09	3
Carga última	78,5	5,4

Rigidez trecho linear 1 (tf/mm)	47,5187
Rigidez trecho linear 2 (tf/mm)	4,8317

Figura 10 – Gráfico força x deslocamento para o ensaio da emenda contendo apenas as talas de alma (LPTA). Pontos críticos e regressão linear para a curva força versus deslocamento do ensaio.

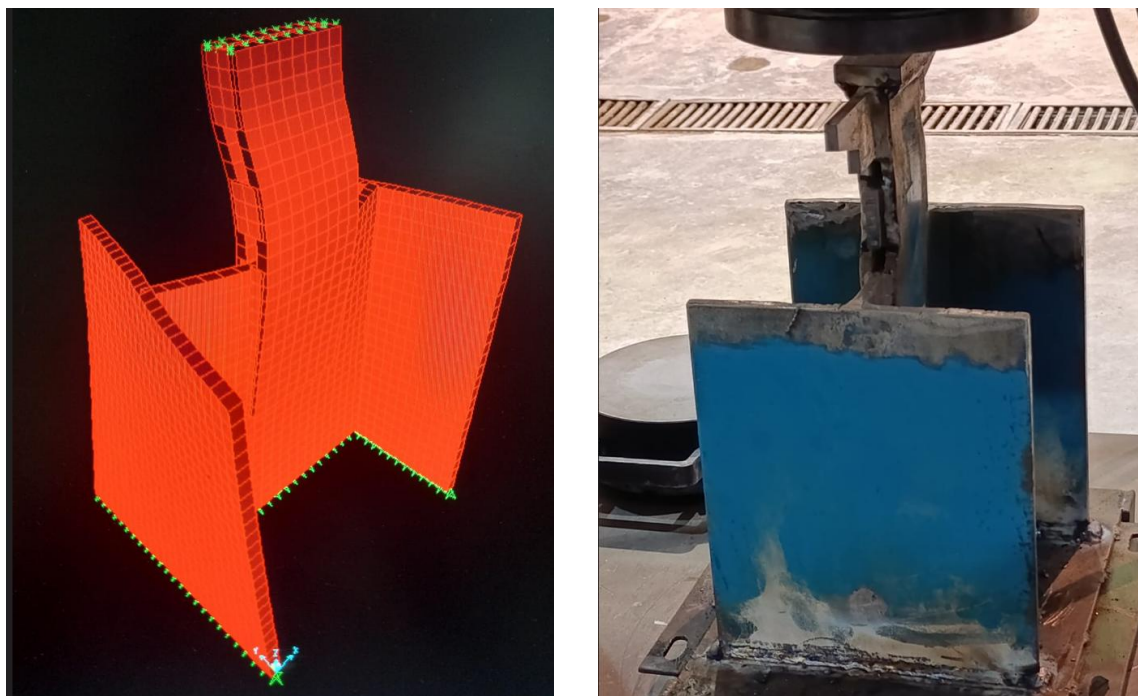


Figura 11 – Comparação entre as deformadas obtidas com modelo numérico elástico linear e o ensaio com ligações apenas por talas de alma (LPTA).

3.2.1 Ensaio 2

O ensaio 2 foi realizado com emendas apenas nas mesas. Para isso, foram posicionados dois segmentos de perfis HP 250x62, com 30 cm cada, afastados entre si de 10 mm. As soldas também foram feitas considerando redução por corrosão.

A figura 12 mostra o exemplar antes do ensaio. Observar a folga entre os perfis na figura.

O gráfico força-deslocamento é apresentado na figura 13, evidenciando:

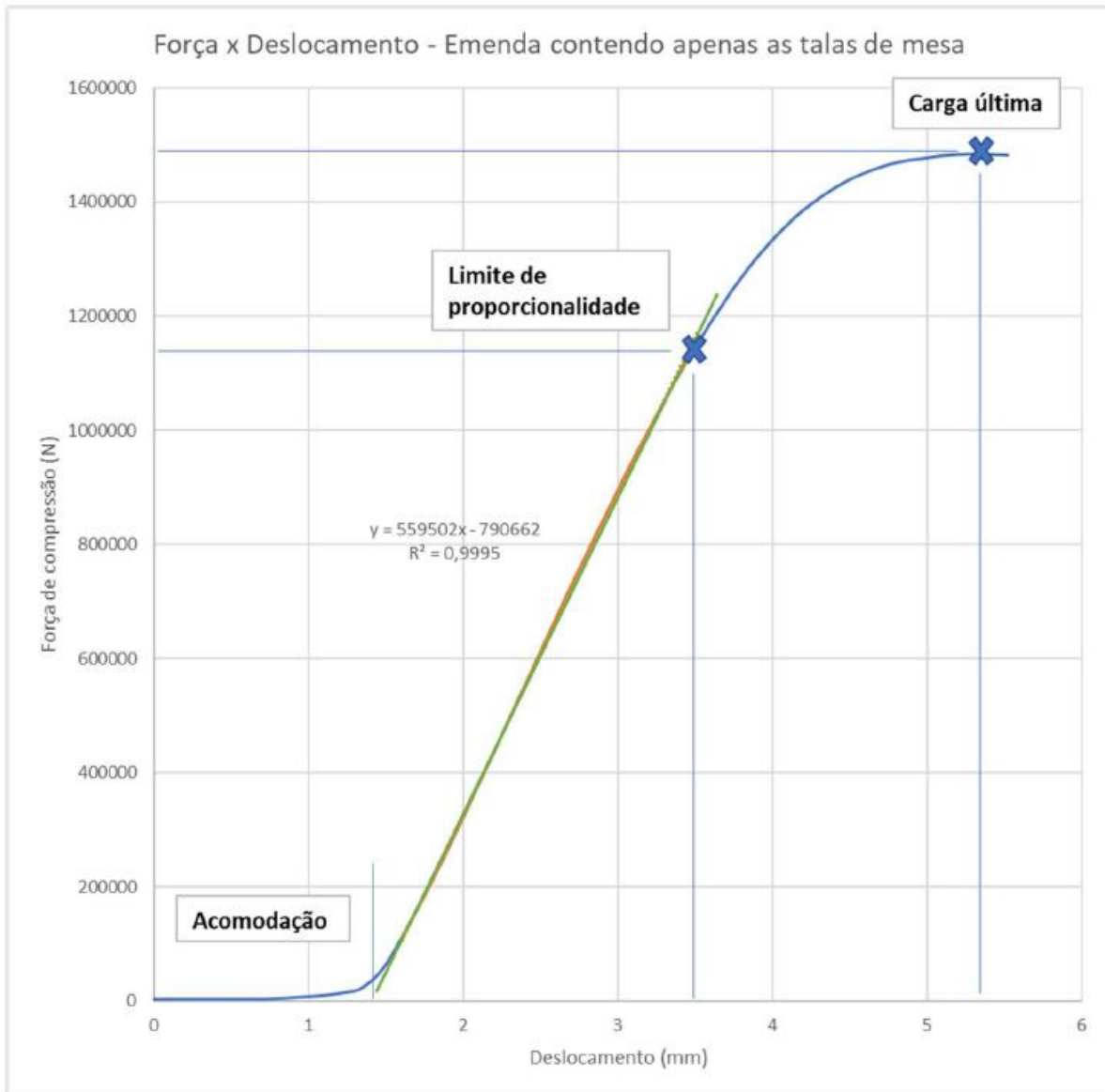
- Comportamento linear até forças da ordem de 1150 kN (115 tf), associados a deslocamento de 3,5 mm – rigidez elástica de 560 kN/mm;
- Força máxima de 1480 kN;

Aplicando-se as expressões do item 2.2.3.a deste trabalho, foi obtido valor de 2020 kN para escoamento do metal base, o que é um valor muito superior ao encontrado no ensaio (1480 kN) – diferença de 36,5%. Verificando a tala como uma barra comprimida, com as expressões do item 2.2.3.b deste trabalho foi obtido um valor de 1302 kN, o que já é mais próximo dos valores obtidos em ensaio (1480 kN – diferença de 12%)



Figura 12 – Protótipo do ensaio 2

Na figura 13 observa-se detalhe do modo de colapso, caracterizado por ductilidade e flexo-compressão da tala.



	F (tf)	u (mm)
Limite de proporcionalidade	115	3,5
Carga última	148	5,35

Rigidez do trecho linear (tf/mm)	55,9502
----------------------------------	---------

Figura 13 – Gráfico força-deslocamento e pontos críticos e regressão linear para a curva força versus deslocamento do ensaio da emenda contendo apenas as talas de mesa (LPMS).



Figura 14 – Detalhe da flexo-compressão da tala após o ensaio 2.

3.2.1 Ensaio com ligação integral (LINT)

No ensaio 3 foi empregado um perfil HP 310x125, com emendas de alma e mesas realizados a partir de um perfil HP 310 x 79. Nesse caso, além das talas de alma e de mesas, foram executadas as soldas nos perímetros livres de alma e mesa, sendo:

- Solda no perímetro livre das mesas executadas em posição horizontal com comprimentos de 312 mm – $(17,4 + 2*16) = 262,6$ mm em cada alma; logo, comprimento total, na emenda, de 525,2 mm;
- Solda no perímetro livre da alma de $245,2 \text{ mm}/2 = 122,6$ mm em cada lado da alma, ou seja, 245,2 mm no total;

De acordo com as recomendações do manual essas soldas teriam espessura efetiva de 5 mm e 8,7 mm, respectivamente para alma e mesa. E a área total de solda seria de 58 cm². Logo, a resistência teórica proporcionada apenas por estas soldas seria dada pelo metal de solda e resultaria em 1688 kN – com fator de redução de resistência = 1,0, em vez de 1,35, por ser um ensaio. No entanto, conforme já comentado, há alguns pontos que demandam esclarecimento com relação a essas soldas.

No ensaio 3, foi atingida força de 3160 KN. A previsão teórica feita sem a consideração das emendas de topo foi feita como segue:

- Inicialmente, foi calculada a resistência da tala de mesa chegando-se ao valor de 1302 kN, conforme figura 14. Observar que nesta figura está sendo apresentada a verificação da tala como

uma barra comprimida com comprimento de 31 cm. As propriedades da seção transversal são obtidas da figura em forma de “T” hachurada ao lado, na mesma figura 15;

Cálculo como barra comprimida (NBR 8800)

ℓ (cm)	31,00		
A (cm ²)	36,51		
I (cm ⁴)	7,67		
r (cm)	0,45834		
$\lambda = \ell / r$	67,63		
f_y (kN/cm ²)	34,5		
$\text{raiz}(\pi()2E/f_y)$	75,64		
λ_0	0,894		
χ	0,716		
NcRk	901,4	σ_{cr} (kN/cm ²)	24,69
2Nc,Rk	1802,7		

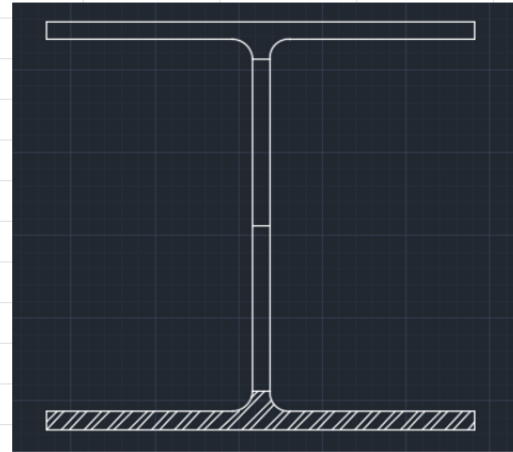


Figura 15 – Estimativa da resistência das duas talas trabalhando como barras comprimidas, conforme NBR 8800 – fatores de minoração da resistência do aço adotados com valores unitários pois se trata de um ensaio;

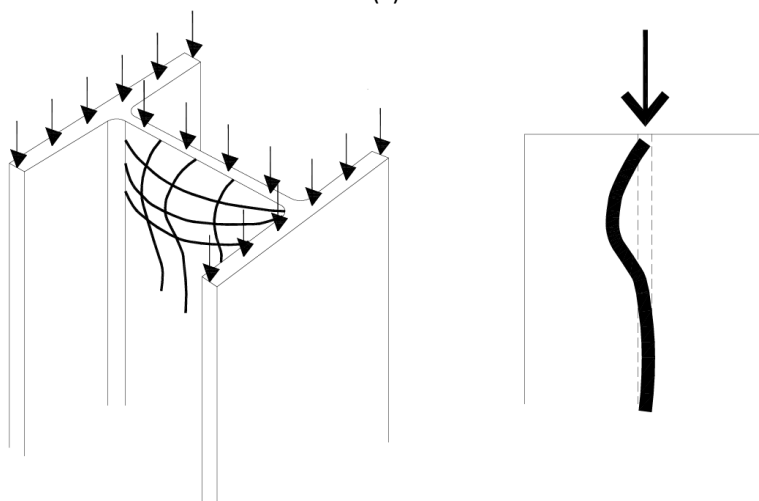
- A esse valor foi somada a resistência estimada para as talas da alma. Para isso, adotou-se o valor correspondente ao escoamento (930 kN), pois foi o modo predominante que se obteve no ensaio 1, no qual a tala de alma estava isolada.
- Disso, resultou uma previsão de $1803 + 930 = 2733$ kN;
- Porém, se as soldas de topo contribuírem conforme previsto, poder-se-ia alcançar carga de $(3160 - 2733) + \alpha \cdot 1688$ kN ($\alpha \leq 1,0$);

Conforme comentado, o ensaio do protótipo atingiu carga de 3160 kN, o que indicaria um valor de $\alpha = 0,255$. Porém, o estado limite alcançado foi a flambagem local da alma próximo ao ponto de aplicação da carga – ver figura 16.

Os extensômetros indicaram tensões mais altas nas talas da alma. Isso está de acordo com os resultados dos ensaios 1 e 2. No ensaio 1, a rigidez elástica foi da ordem de 24 kN/cm² por mm de deslocamento. No ensaio 2, a rigidez elástica foi da ordem de 10 kN/cm² por mm de deslocamento. Demonstrando que a emenda da alma é consideravelmente mais rígida. Essas rigidezes estão calculadas considerando a área da seção transversal da tala de emenda (23,5 cm² e 56 cm² respectivamente). Além disso, foi considerada a tensão média.



(a)



(b)

Figura 16 – “Onda de flambagem” verificada no ensaio 3, correspondente a valor da ordem de 3000 kN de força de compressão.

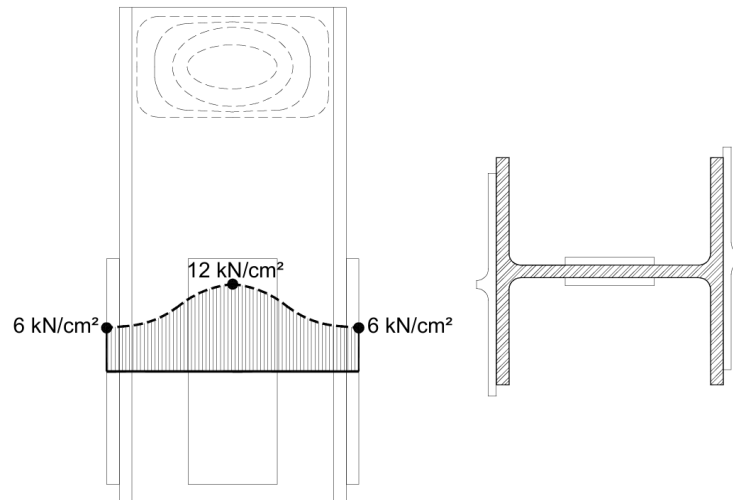


Figura 17 – Concentração de tensões na tala de alma no ensaio 3 – a análise dos ensaios 1 e 2 mostra fenômeno similar.

3.3 Resumo dos ensaios

A tabela 1 apresenta resumo alguns aspectos importantes dos três ensaios realizados. Observa-se que houve ruína dúctil nos três ensaios. Os modos de ruptura sempre envolveram instabilidade e apresentaram deslocamentos da mesma ordem de grandeza.

Tabela 1 – Resumo de alguns aspectos importantes dos ensaios realizados.

Ensaio	Perfil	A_{emenda}/A_{perfil}	Deslocamento (mm)	Ductilidade
Modelo 1	HP 250x62	0,26 (*)	~ 5,4	SIM
Modelo 2	HP 250x62	0,74 (**)	~ 5,2	SIM
Modelo 4	HP 310x125	0,63 (***)	~ 6	SIM

(*) Emenda da alma; (**) Emenda das mesas; (***) Emenda com talas formadas por perfis HP 310x79.

Conclusões

Apresentou-se estudo teórico e experimental de emendas de perfis HP utilizados como estacas de fundação. A partir do estudo teórico, observou-se que devem ser feitas pelo menos quatro verificações analíticas da segurança no Estado Limite Último (ELU) da emenda para determinar o valor teórico de resistência. De acordo com as dimensões do perfil e das talas o ELU que apresenta menor valor de resistência pode variar, como pode ser visto no gráfico feito para a família de perfis HP310 apresentado na figura 4 deste trabalho.

Os valores experimentais apresentaram boa concordância com os valores teóricos nos ensaios 1 (LPTA, ou seja, ligações apenas por tala de alma) e 2 (LPTMS, ou seja, ligação apenas por talas nas mesas). O objetivo de realizar esses ensaios foi avaliar a adequação de somar as resistências individuais das ligações de cada elemento da seção, calculadas isoladamente.

Com base nos resultados das análises teóricas e dos experimentos realizados, é possível identificar elementos importantes para o dimensionamento da emenda com a tipologia descrita no manual de estacas metálicas [4], tais como:

- A consideração de efeitos de flambagem local da alma próximo à emenda;
- A consideração da flambagem das talas de mesa, tratadas como colunas de seção “T”, conforme a NBR 8800;
- A consideração de um parâmetro $\alpha \leq 1,0$ para a colaboração das soldas de topo;
- A consideração de corrosão das soldas;

É importante considerar que essas conclusões ainda são baseadas em número reduzido de ensaios. A própria metodologia desses ensaios pode ser aprimorada, sobretudo no ensaio da ligação integral. Os autores deste trabalho pretendem realizar ensaios adicionais e estimulam a realização de outros ensaios e modelagens numéricas. Na referência [6] encontram-se vários resultados importantes de modelagens numéricas que podem servir como orientação para estudos adicionais.

Entende-se que os resultados deste estudo, ainda que iniciais, poderão permitir o aprimoramento das tabelas de dimensionamento atuais, as quais representam o estado da arte e conduzem a dimensionamento seguro, considerando as devidas medidas de controle executivo recomendadas no manual.

Os autores deste trabalho gostariam de expressar seus agradecimentos à EPUSP, pelo apoio fornecido pelo LEM, representado pelos professores A. D. Figueiredo e Renata Monte e pelos técnicos Antônio Jacomini e Rui Jacomini. E ao prof. Claudius S. Barbosa, que deu apoio para a instrumentação dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- 1 ABNT_NBR 8800 (2008). Projeto de estruturas de aço de edifícios. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.
- 2 AWS D1.1/D1.1M:2010. Código de Soldagem Estrutural — Aço. 22ª ed. Preparado pelo Comitê D1 de Soldagem Estrutural da Sociedade Americana de Soldagem (AWS) D1 (2010).
- 3 BRESLER, B.; LIN, T. Y.; SCALZI, J. B. (1978). Diseño de estructuras de acero. Ed. LIMUSA, México, 1978.
- 4 ESTACAS METÁLICAS GERDAU. 9ª ed. 2018.
- 5 McCORMAC, J. C.; CSERNAK, S. F. (2012). Structural steel design. 5 ed. New Jersey: Pearson, 2012.
- 6 ALVES, G. Avaliação do comportamento mecânico das conexões em estruturas de aço via modelagem analítica, numérica e experimental - Estudo de casos: emenda soldada de estacas metálicas e ligação viga-pilar parafusada. Trabalho de Formatura do Curso de Engenharia Civil apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. São Paulo: EPUSP, 2024.