

ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFIS METÁLICOS PARA MEZANINO COMERCIAL

Bruno Chahine Chater¹, Felipe Cardoso Nogueira², Murilo Meiron Pádua Soares³

¹Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, bchahinechater123@gmail.com;

²Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, felipenogueira828@gmail.com;

³Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, murilo.eng@pucgoias.edu.br.

RESUMO: As estruturas metálicas ocupam espaço crescente na construção civil brasileira, especialmente em edificações comerciais. Este trabalho compara o desempenho de perfis laminados a quente e formados a frio aplicados a um mezanino comercial em Palmas, Tocantins. A metodologia baseia-se em revisão normativa e estudo de caso, com dimensionamento conforme ABNT NBR 8800:2024 e NBR 14762:2020, abrangendo verificações de ELU, ELS e vibração. Os resultados evidenciam superioridade estrutural e econômica do perfil laminado W 200×15,0, com taxa de utilização de 24,0%, frequência natural de 11,7 Hz e custo 15,3% inferior. Conclui-se que o perfil laminado constitui a alternativa mais eficiente para o estudo de caso analisado.

Palavras-chave: estruturas metálicas; perfis formados a frio; perfis laminados a quente; mezanino comercial; dimensionamento estrutural.

ABSTRACT: Metallic structures have increasingly occupied space in Brazilian civil construction, especially in commercial buildings. This work compares the performance of hot-rolled steel profiles and cold-formed profiles in the design of a commercial mezzanine in Palmas, Tocantins. The methodology combines normative review and case study, applying a design procedure for both profile types according to ABNT NBR 8800:2024 and NBR 14762:2020, covering ultimate limit state, serviceability, and vibration verifications. The hot-rolled profile W 200×15,0 showed structural superiority, with a 24.0% utilization ratio, natural frequency of 11.7 Hz, and estimated cost 15.3% lower than the cold-formed solution. It is concluded that the hot-rolled profile is the more efficient alternative for the commercial mezzanine application studied.

Keywords: steel structures, cold-formed sections, hot-rolled sections, commercial mezzanine, structural design.

1. Introdução

A construção civil brasileira foi historicamente marcada pelo amplo emprego do concreto armado, em razão da disponibilidade de materiais, da tradição executiva consolidada e da adaptação desse sistema às mais diversas tipologias de obra. Entretanto, as estruturas metálicas vêm ocupando espaço crescente em empreendimentos que demandam maior racionalização construtiva, redução de prazos, precisão dimensional, leveza estrutural e flexibilidade arquitetônica [1].

No Brasil, a evolução do uso do aço na construção civil esteve associada ao desenvolvimento da siderurgia nacional, à modernização normativa e à atuação de entidades técnicas voltadas à difusão do sistema metálico, como o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) [2,3,4]. A consolidação desse sistema ocorreu especialmente em obras industriais, comerciais e corporativas, nas quais a industrialização dos componentes, a rapidez de montagem e a possibilidade de adaptação futura dos espaços constituem vantagens relevantes [2,3,5,6].

Entre as aplicações comerciais, destacam-se os mezaninos metálicos, utilizados para ampliação de área útil em edificações novas ou existentes. Esse tipo de solução permite criar pavimentos internos com menor interferência na estrutura principal da edificação, sendo especialmente útil em clínicas, lojas, galpões, escritórios e ambientes administrativos. Contudo, o desempenho estrutural e econômico do mezanino depende diretamente da escolha adequada dos perfis utilizados no vigamento.

Nesse contexto, os perfis laminados a quente e os perfis formados a frio constituem alternativas recorrentes, mas com comportamentos distintos. Os perfis laminados apresentam maior robustez geométrica, propriedades padronizadas e dimensionamento mais direto. Já os perfis formados a frio, embora possam apresentar boa eficiência em estruturas leves, são mais sensíveis a fenômenos de instabilidade local, flambagem distorcional e determinação das propriedades efetivas da seção [7,8,9,10,11].

Diante disso, este trabalho tem como objetivo comparar o desempenho estrutural e econômico de um perfil formado a frio, originalmente empregado no vigamento de um mezanino comercial localizado em Palmas, Tocantins, com uma alternativa em perfil laminado a quente. A análise considera critérios de resistência, deslocamento, vibração,

consumo de aço, custo estimado e construtibilidade, buscando identificar a solução mais adequada para o caso estudado.

2. Fundamentação Teórica

As estruturas metálicas destacam-se pela elevada relação resistência/peso, agilidade executiva e flexibilidade arquitetônica, características que favorecem sua aplicação em edificações comerciais e sistemas de ampliação de área útil [2,3,12]. Em obras desse tipo, o aço permite otimizar prazos, reduzir interferências no canteiro e facilitar adaptações futuras, além de apresentar vantagens ambientais, como menor geração de resíduos e elevada reciclabilidade, conforme apontado em publicações técnicas do CBCA [2,3].

Os perfis estruturais de aço dividem-se, principalmente, em laminados a quente e formados a frio, com comportamentos distintos. Os laminados apresentam maior robustez geométrica, propriedades padronizadas e menor suscetibilidade à flambagem local, sendo dimensionados conforme a ABNT NBR 8800:2024 [8]. Já os perfis formados a frio possuem maior esbeltez e exigem verificações adicionais conforme a ABNT NBR 14762:2020, especialmente quanto à flambagem local, flambagem distorcional e propriedades efetivas da seção [9,10], como ilustrado na **Figura 1**.

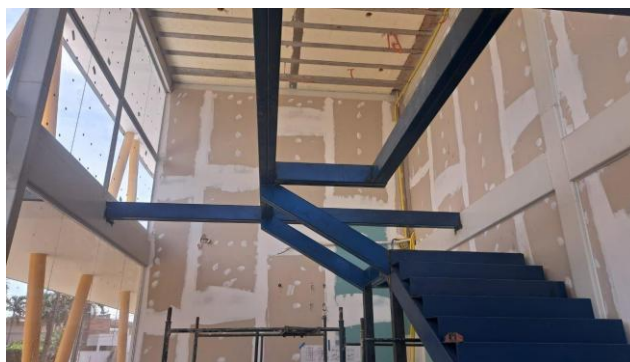


Figura 1: Perfil formado a frio (2×C) instalado no mezanino da clínica. Fonte: Autor (2025).

O dimensionamento estrutural baseia-se na verificação dos Estados Limites Últimos (ELU), relacionados à resistência, e dos Estados Limites de Serviço (ELS), associados à funcionalidade, aos deslocamentos e ao conforto dos usuários. Para vigas metálicas, avaliam-se principalmente plastificação, cisalhamento, flambagem lateral com torção e deformações. Em pisos comerciais e mezaninos, o limite de flecha $L/350$ frequentemente

governa o projeto, além da verificação de vibração em estruturas leves, especialmente em ambientes clínicos, administrativos e comerciais [8,9,13].

3. Materiais e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido por meio de revisão bibliográfica e normativa, com apoio em artigos técnicos, publicações especializadas e normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, especialmente a ABNT NBR 8800:2024, a ABNT NBR 14762:2020, a ABNT NBR 6355:2012, a ABNT NBR 7007:2024 e a ABNT NBR 15980:2011 [8,9,14,15,16]. Complementarmente, adotou-se como estudo de caso um mezanino metálico pertencente a uma clínica médica localizada em Palmas, Tocantins, de modo a permitir a comparação entre uma solução originalmente concebida com perfis formados a frio e uma solução alternativa em perfil laminado a quente, conforme ilustrado na **Figura 2**.

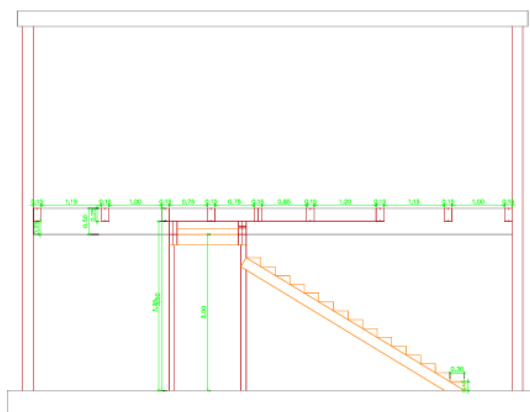


Figura 2: Vista frontal do mezanino comercial. Fonte: Autores (2026).

O sistema analisado corresponde ao pavimento superior do mezanino, composto por fechamento horizontal em Piso Wall de 40 mm, apoiado sobre vigamento metálico principal, como mostram as **Figuras 3 e 4**. Considerou-se, como seção original de referência, o perfil composto $2 \times C250 \times 75 \times 25 \#3,04$, formado por dois perfis tipo C enrijecidos associados, e, como seção alternativa de substituição, o perfil laminado W $200 \times 15,0$ [17]. A comparação foi conduzida em condições geométricas, funcionais e normativas equivalentes. Para a análise econômica, adotou-se a Tabela 327 da GOINFRA, data-base 01/12/2025, sem desoneração: serviço 150205 para o laminado, no valor de R\$ 22,86/kg, e serviço 150204 como aproximação para o perfil formado a frio, no valor de R\$ 18,82/kg, exclusivamente para fins comparativos [18].

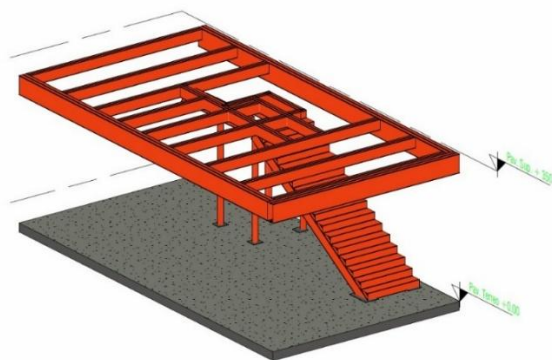


Figura 3: Vista 3D dos elementos estruturais do mezanino [21].

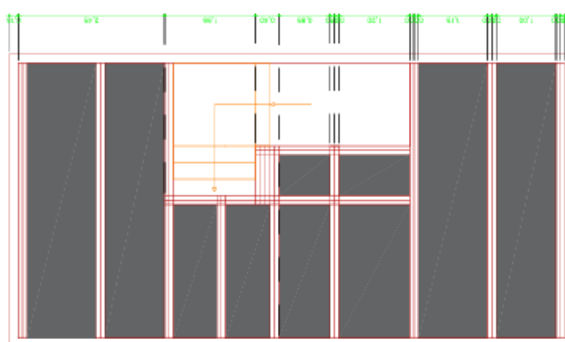


Figura 4: Vista aérea do mezanino comercial. Fonte: Autores (2026)

3.1 Perfis Analisados e Parâmetros de Verificação

O Quadro 1 apresenta as principais características dos dois perfis analisados. Para o perfil formado a frio, as propriedades foram adotadas com base na seção original de projeto e em estimativas compatíveis com o estudo comparativo. Para o perfil laminado, foram utilizadas propriedades geométricas constantes no catálogo de bitolas da Gerdau [17].

Quadro 1: Comparativo entre os perfis

Característica	2×C250×75×25#3,04	W 200×15,0
Processo de fabricação	Formado a frio (composto)	Laminado a quente
Norma de projeto	ABNT NBR 14762:2020	ABNT NBR 8800:2024
Aço / fy (MPa)	SAE 1010 / 250	ASTM A572 Gr. 50 / 345
Altura total, d (mm)	250	200
Espessura / tf ou t (mm)	3,04	5,2
Ix (cm ⁴)	1.060	1.305
Wx (cm ³)	84,8	130,5

Zx (cm ³)	—	147,9
Massa linear (kg/m)	21,5 (calculada)	15,0 (catálogo)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Para o perfil formado a frio, original de projeto, adotou-se como referência a seção nominal 2×C250×75×25#3,04, correspondente a dois perfis tipo C enrijecidos associados. Considerando as limitações de rastreabilidade integral da seção composta em catálogos públicos auditáveis, suas propriedades foram tratadas como valores adotados no estudo comparativo, empregados exclusivamente para fins de verificação estrutural. Assim, para a seção original, foram considerados: altura nominal de 250 mm, aba de 75 mm, enrijecedor de borda de 25 mm, espessura de chapa de 3,04 mm, momento de inércia em relação ao eixo x de 1.060 cm⁴ e módulo resistente elástico W_x de 84,8 cm³. O aço foi adotado, para fins comparativos, com tensão de escoamento de 250 MPa e módulo de elasticidade de 200 GPa, compatíveis com perfis formados a frio de uso estrutural, como ilustrado na **Figura 5**.

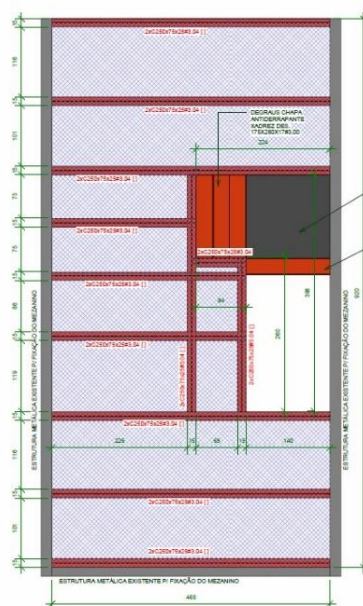


Figura 5: Vista superior do vigamento do mezanino (planta estrutural). Fonte: Projeto Eng^o Civil Vinicius Ornelas (2025).

Para o perfil laminado W 200×15,0, adotaram-se as seguintes propriedades: massa linear de 15,0 kg/m, área de 19,4 cm², altura total de 200 mm, largura de mesa de 100 mm, espessura de alma de 4,3 mm, espessura de mesa de 5,2 mm, $I_x = 1.305 \text{ cm}^4$,

$W_x = 130,5 \text{ cm}^3$ e $Z_x = 147,9 \text{ cm}^3$. O aço da seção foi considerado como ASTM A572 Grau 50, com $f_y = 345 \text{ MPa}$ [17].

3.2 Procedimento Comparativo de Dimensionamento

O dimensionamento comparativo foi realizado tomando como base o vigamento principal do mezanino. O procedimento foi organizado em três etapas: definição das premissas de carregamento, verificação em Estado Limite Último e verificação em Estado Limite de Serviço. Adicionalmente, foi avaliado o comportamento vibratório da solução laminada, por corresponder à alternativa proposta de substituição.

3.2.1 Premissas de Projeto e Carregamentos

Considerou-se viga biapoiada com vão $L = 4,00 \text{ m}$ e largura de influência de $0,80 \text{ m}$. As ações permanentes consideradas foram: Piso Wall de 40 mm , com carga de $1,00 \text{ kN/m}^2$; instalações e forro, com carga de $0,50 \text{ kN/m}^2$; e peso próprio estimado da viga, igual a $0,15 \text{ kN/m}$. A sobrecarga adotada foi de $3,00 \text{ kN/m}^2$, conforme a ABNT NBR 6120:2019 para consultórios e clínicas [19].

$$gk = (1,00 + 0,50) \times 0,80 + 0,15 = 1,35 \text{ kN/m} \quad (1)$$

$$qk = 3,00 \times 0,80 = 2,40 \text{ kN/m} \quad (2)$$

$$qd = 1,4gk + 1,5qk$$

$$qd = 1,4(1,35) + 1,5(2,40) = 5,49 \text{ kN/m} \quad (3)$$

$$Msd = qdL^2 / 8 \quad (4)$$

$$Msd = 5,49 \times 4,00^2 / 8 = 10,98 \text{ kN}\cdot\text{m} = 1.098 \text{ kN}\cdot\text{cm} \quad (5)$$

$$Vsd = qdL / 2 \quad (6)$$

$$Vsd = 5,49 \times 4,00 / 2 = 10,98 \text{ kN} \quad (7)$$

3.2.2 Verificação em Estado Limite Último (ELU)

Para os dois perfis, foram considerados como esforços máximos o momento fletor de cálculo $Msd = 1.098 \text{ kN}\cdot\text{cm}$ e o esforço cortante de cálculo $Vsd = 10,98 \text{ kN}$. Coeficiente de resistência: $\gamma_{a1} = 1,10$, conforme Tabela 5 da ABNT NBR 8800 (2024).

3.2.2.1 Perfil Laminado W 200x15,0

Para o perfil laminado W 200x15,0, adotaram-se as propriedades geométricas e mecânicas do catálogo da Gerdau [17]: aço ASTM A572 Grau 50, $f_y = 345 \text{ MPa}$, $d = 200 \text{ mm}$, $b_f = 100 \text{ mm}$, $t_w = 4,3 \text{ mm}$, $t_f = 5,2 \text{ mm}$, $I_x = 1.305 \text{ cm}^4$, $W_x = 130,5 \text{ cm}^3$ e $Z_x = 147,9 \text{ cm}^3$. Classificação da seção [8]:

Para a mesa comprimida, calculou-se a esbeltez local:

$$\lambda_f = b_f / 2t_f = 100 / (2 \times 5,2) = 9,62 \quad (8)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{E / f_y} = 9,15 \quad (9)$$

$$\lambda_r = \sqrt{E / f_y} = 24,08 \quad (10)$$

Como $\lambda_p < \lambda_f < \lambda_r$, a mesa foi classificada como não compacta ou semicompacta.

Para a alma, calculou-se:

$$\lambda_w = h / t_w = 189,6 / 4,3 = 44,09 \quad (11)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{E / f_y} = 90,53 \quad (12)$$

Como $\lambda_w < \lambda_p$, a alma foi classificada como compacta.

Com base nessas verificações, adotou-se para o perfil laminado o momento resistente [8]:

$$M_p = Z_x \times f_y = 147,9 \times 34,5 = 5.102,55 \text{ kN}\cdot\text{cm} \quad (13)$$

$$M_r = 0,7 \times f_y \times W_x = 0,7 \times 34,5 \times 130,5 = 3.151,57 \text{ kN}\cdot\text{cm} \quad (14)$$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \times (\lambda_f - \lambda_{pf}) / (\lambda_{rf} - \lambda_{pf}) = 5.102,55 - 1.950,9 \times 0,0315 = 5.041,10 \text{ kN}\cdot\text{cm} \quad (15)$$

$$M_{rd} = M_n / \gamma_{a1} = 5.041,10 / 1,10 = 4.583 \text{ kN}\cdot\text{cm} \quad (16)$$

No cisalhamento, a área resistente da alma foi considerada como:

$$A_w = d \times t_w = 200 \times 4,3 = 860 \text{ mm}^2 = 8,60 \text{ cm}^2 \quad (17)$$

Assim, a resistência de cálculo ao cisalhamento resulta em:

$$V_{rd} = 0,6 f_y A_w / 1,10 \quad (18)$$

$$V_{rd} = 0,6 \times 34,5 \times 8,60 / 1,10 = 161,8 \text{ kN}$$

Logo, para o perfil laminado:

$$M_{sd} = 1.098 \text{ kN}\cdot\text{cm} < M_{rd} = 4.583 \text{ kN}\cdot\text{cm} \quad (19)$$

$$V_{sd} = 10,98 \text{ kN} < V_{rd} = 161,8 \text{ kN}$$

Portanto, a solução laminada atende ao ELU com ampla margem de segurança.

3.2.2.2 Perfil Formado A Frio 2×C250×75×25#3,04

Propriedades: $f_y = 25,0 \text{ kN/cm}^2$, $I_x = 1.060 \text{ cm}^4$, $W_x = 84,8 \text{ cm}^3$. Verificação de flambagem local dos elementos [9]:

$$\sigma_{cr,alma} = 23,9 \times \pi^2 \times 200.000 / [12(1-0,3^2) (250/3,04)^2] = 639 \text{ MPa} \quad (20)$$

(Alma efetiva)

$$\sigma_{cr,aba} = 4,0 \times \pi^2 \times 200.000 / [12(1-0,3^2) (75/3,04)^2] = 1.188 \text{ MPa} \quad (21)$$

(Aba efetiva)

Como os elementos individuais são localmente estáveis, o modo crítico é a flambagem distorcional do sistema aba-enrijecedor. A verificação rigorosa requer método numérico conforme Seções 9.7–9.8 da ABNT NBR 14762 (2020). Para fins comparativos, adotou-se redução conservadora de 20% no módulo resistente bruto, com base em [20]:

$$W_{ef} = 0,80 \times 84,8 = 67,8 \text{ cm}^3 \quad (22)$$

$$M_{rd} = W_{ef} \times f_y / 1,10 \quad (23)$$

$$M_{rd} = 67,8 \times 25 / 1,10 = 1.541 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

Logo, para a solução formada a frio:

$$M_{sd} = 1.098 \text{ kN}\cdot\text{cm} < M_{rd} = 1.541 \text{ kN}\cdot\text{cm} \quad (24)$$

Portanto, a seção original também atende ao ELU, porém com margem resistente significativamente inferior à observada no perfil laminado.

3.2.2.3 Síntese do ELU

O Quadro 2 apresenta os valores das verificações em ELU.

Quadro 2: Síntese das verificações em Estado Limite Último

Parâmetro	W 200×15,0	2×C250×75×25#3,04
Mrd (kN·cm)	4.583	1.541
Taxa de utilização	24,0%	71,2%
Vrd (kN)	161,8	—
Situação	Atende ✓	Atende ✓

Fonte: Autores (2026).

3.2.3 Verificação em Estado Limite De Serviço (ELS)

Combinação de serviço: $q_{ser} = 1,35 + 2,40 = 3,75$ kN/m. Limite de deslocamento: $\Delta_{lim} = L/350 = 11,43$ mm.

$$\Delta_{max} = 5q_{ser}L^4 / (384 E I)$$

$$\Delta_{max} \text{ (laminado)} = 5 \times 0,0375 \times 400^4 / (384 \times 20.000 \times 1.305) = 4,79 \text{ mm} \quad (25)$$

$$\Delta_{max} \text{ (laminado)} < \Delta_{lim}$$

$$\Delta_{max} \text{ (form. frio)} = 5 \times 0,0375 \times 400^4 / (384 \times 20.000 \times 1.060) = 5,90 \text{ mm} \quad (26)$$

$$\Delta_{max} \text{ (form. frio)} < \Delta_{lim}$$

Portanto, ambas as soluções atendem ao ELS quanto ao deslocamento vertical, embora o perfil laminado apresente maior rigidez.

3.2.4 Verificação do Perfil Laminado com Reação à Vibração

Além da flecha, foi avaliada a resposta vibratória da solução laminada, tendo em vista o uso do mezanino em ambiente clínico e administrativo. Método: Murray, Allen e Ungar [13] — AISC Design Guide 11. Carga de vibração: ações permanentes + 20% da sobrecarga de utilização (massa vibrante efetiva do piso):

$$\omega = gk + 0,20qk \quad (27)$$

$$\omega = 1,35 + 0,48 = 1,83 \text{ kN/m}$$

Deflexão estática sob ω_{din} e frequência natural fundamental [13]:

$$\Delta_{din} = 5 \times 0,0183 \times 400^4 / (384 \times 20.000 \times 1.305) = 2,34 \text{ mm} = 0,00234 \text{ m} \quad (28)$$

$$f_n = 0,18 \times \sqrt{(g/\Delta_{din})} = 0,18 \times \sqrt{(9,81/0,00234)} = 0,18 \times 64,78 = 11,7 \text{ Hz} \quad (29)$$

Como $f_n = 11,7 \text{ Hz} \gg 4,0 \text{ Hz}$ (limite para espaços clínicos e administrativos — Murray et al. [13], Tabela 4.1), o piso apresenta comportamento vibratório satisfatório, com 192% de margem em relação ao critério mínimo.

3.2.5 Síntese Conclusiva do Memorial

A alternativa laminada, conforme apresentado no **Quadro 3**, apresenta um maior momento resistente, menor taxa de utilização, menor deflexão em serviço e frequência natural com ampla margem. A solução formada a frio, embora aprovada, opera com margem de segurança menor e depende de seção efetiva e verificação da flambagem distorcional.

Quadro 3: Consolidação dos resultados do memorial de cálculo

Verificação	W 200×15,0	2×C250×75×25#3,04
Mrd (kN·cm)	4.583	1.541
Taxa de utilização ELU	24,0%	71,2%
$\Delta_{\max}$ ELS (mm)	4,79	5,90
$\Delta_{\lim}$ ELS (mm)	11,43	11,43
f_n estimada (Hz)	11,7	—
f_n mínima (Hz)	4,0	4,0
Situação geral	Atende ✓	Atende ✓

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4. Resultados e Discussões

4.1 Comparativo de Desempenho Entre ELU, ELS e Desempenho Estrutural

Os resultados das verificações estruturais indicam que as duas soluções satisfazem os critérios de resistência e de serviço estabelecidos para o mezanino em questão. No ELU, o momento solicitante de cálculo foi de $M_{sd} = 1.098 \text{ kN}\cdot\text{cm}$. O perfil formado a frio obteve momento resistente de $1.541 \text{ kN}\cdot\text{cm}$, correspondendo a uma taxa de utilização de 71,2%, já o perfil laminado, por sua vez, atingiu $M_{rd} = 4.583 \text{ kN}\cdot\text{cm}$, com utilização de somente 24,0%. A diferença de 197% na reserva resistente tem origem na combinação de fatores: aço de resistência 38% superior no laminado (345 MPa contra 250 MPa), seção bruta mais rígida ($I_x = 1.305 \text{ cm}^4$ contra 1.060 cm^4) e procedimento normativo mais direto, sem redução por seção efetiva.

No ELS, o perfil laminado registrou flecha de 4,79 mm e o formado a frio, 5,90 mm, mostrando uma diferença de 18,8%, refletindo a maior rigidez da seção laminada. A frequência natural de 11,7 Hz para o W 200×15,0 confirma comportamento dinâmico satisfatório, sem risco de ressonância com as excitações humanas típicas. Cabe registrar que a vantagem estrutural do perfil laminado é amplificada neste estudo pela combinação de geometria e resistência superiores: em estruturas mais leves, como coberturas e galpões de pequeno porte, os perfis formados a frio podem apresentar relação custo-desempenho mais favorável [11].

4.2. Comparativo de Custo e Construtibilidade

A massa linear do perfil formado a frio foi calculada a partir da área da seção transversal, obtida pelo produto do perímetro da linha média pela espessura da chapa:

$$A (2\times C) = 2 \times (250 + 2 \times 75 + 2 \times 25) \times 3,04 = 2 \times 1.368 = 2.736 \text{ mm}^2 = 27,36 \text{ cm}^2 \quad (30)$$

$$m (2\times C) = 27,36 \times 10^{-4} \times 7.850 = 21,5 \text{ kg/m} \quad (31)$$

A base orçamentária adotada foi a Tabela 327 da GOINFRA (data-base 01/12/2025, sem desoneração). Para o perfil laminado W 200×15,0, utilizou-se o serviço 150205 — estrutura metálica convencional em aço AR-350/ASTM A572 G50 com fundo anticorrosivo, fabricação e montagem —, cujo insumo custa R\$ 20,79/kg e é aplicado com fator de consumo 1,10 (perdas e conexões), resultando em R\$ 22,86/kg [18]. Para a solução formada a frio, a GOINFRA não apresenta composição específica para o aço SAE 1010; utilizou-se, portanto, o serviço 150204 — estrutura metálica em MR-250/ASTM A36 com fundo anticorrosivo, fabricação e montagem — ao custo de R\$ 18,82/kg, exclusivamente como proxy orçamentária para aço-carbono comum [18]. Essa limitação metodológica é declarada expressamente: o valor adotado não representa o preço direto do SAE 1010, mas constitui a referência pública disponível mais compatível, uma vez que ambos os aços possuem resistência de escoamento equivalente ($f_y \approx 250 \text{ MPa}$). As composições incorporam integralmente a fabricação, montagem e fundo anticorrosivo no custo unitário por quilograma, de modo que não cabe adicionar parcelas de mão de obra em separado.

O perfil laminado apresenta massa linear 30,2% inferior (15,0 kg/m contra 21,5 kg/m).

O custo estimado por viga de 4,00 m resulta em:

$$C \text{ (laminado)} = 15,0 \times 4,0 \times R\$ 22,86 = R\$ 1.371,60 \quad (32)$$

$$C \text{ (form. frio)} = 21,5 \times 4,0 \times R\$ 18,82 = R\$ 1.618,52 \quad (33)$$

O **Quadro 4** consolida o comparativo econômico. Embora o custo unitário por quilograma do perfil laminado seja 21,5% superior, sua massa linear 30,2% menor resulta em custo total por viga 15,3% inferior — equivalente a dizer que a solução formada a frio é 18% mais cara por elemento. Esse resultado decorre diretamente da menor resistência do aço SAE 1010 ($f_y = 250$ MPa), que impõe seção mais pesada para satisfazer as mesmas solicitações.

Quadro 4: Comparativo econômico por viga de 4,00 m ($L = 4,00$ m)

Parâmetro	W 200×15,0	2×C250×75×25#3,04	Diferença (W – 2C)
Massa linear (kg/m)	15,0	21,5	–30,2%
Massa por viga (kg)	60,0	85,9	–30,2%
Custo unitário (R\$/kg)	22,86	18,82	+21,5%
Custo estimado/viga (R\$)	1.371,60	1.618,52	–15,3%
Custo por Mrd [R\$/(kN·cm)]	0,30	1,05	–71,4%

Fonte: Autores (2026).

Uma análise de sensibilidade foi conduzida para avaliar a robustez da conclusão diante de variações na estimativa de massa do perfil formado a frio. Adotando-se, alternativamente, massa de 20,34 kg/m — obtida por interpolação de tabelas de perfis U enrijecidos —, a massa por viga seria de 81,4 kg e o custo resultaria em R\$ 1.531,95, ainda 10,5% superior à alternativa laminada. A superioridade econômica do perfil laminado é, portanto, consistente em toda a faixa de incerteza investigada, independentemente da massa adotada para o perfil formado a frio.

A relação entre custo estimado e momento resistente de cálculo (M_{rd}) permite avaliar a eficiência econômica de cada solução. Para o perfil laminado, obtém-se R\$ 0,30/(kN·cm); para o perfil formado a frio, R\$ 1,05/(kN·cm). O custo por unidade de capacidade resistente da solução composta é aproximadamente 3,5 vezes superior, evidenciando que a diferença de desempenho entre as alternativas não é compensada pela diferença de custo unitário por quilograma.

Sob o aspecto da construtibilidade, o perfil laminado W 200×15,0 apresenta vantagens adicionais relevantes: trata-se de peça única e padronizada, de geometria industrial controlada, com menor número de pontos de fixação e sem necessidade de solidarização entre perfis. A solução formada a frio, composta por dois perfis independentes, exige ligações que garantam o trabalho solidário da seção composta, controle de alinhamento, maior número de inspeções, maior área superficial a proteger e maior sensibilidade ao controle de qualidade executivo. Esses fatores conferem ao perfil laminado simplicidade superior de fabricação, montagem, inspeção e manutenção ao longo da vida útil da estrutura.

5. Conclusão

A análise comparativa entre perfis laminados a quente e formados a frio para o vigamento principal de um mezanino comercial demonstrou que ambas as soluções são estruturalmente viáveis, porém com níveis de desempenho e eficiência econômica significativamente distintos.

O perfil W 200×15,0 apresentou ampla reserva estrutural — taxa de utilização de 24,0%, deflexão máxima de 4,79 mm e frequência natural de 11,7 Hz —, conferindo robustez e previsibilidade ao comportamento em serviço. O duplo perfil 2×C250×75×25#3,04, embora aprovado normativamente, atingiu 71,2% de utilização e deflexão de 5,90 mm, indicando menor margem de segurança e vulnerabilidade mais pronunciada à flambagem distorcional.

Do ponto de vista econômico, a aparente desvantagem do laminado no custo unitário por quilograma (R\$ 22,86 vs. R\$ 18,82/kg) é revertida pela sua menor massa linear, tornando o custo final por viga 15,3% mais baixo — R\$ 1.371,60 frente a R\$ 1.618,52. O indicador custo por capacidade resistente torna essa diferença ainda mais expressiva: R\$ 0,30/(kN·cm) contra R\$ 1,05/(kN·cm), uma razão de 3,5 vezes favorável ao laminado. Registra-se que o custo do perfil formado a frio foi estimado por analogia ao serviço GOINFRA 150204, dado a ausência de composição específica para o aço SAE 1010 — limitação devidamente declarada e compatível com o caráter acadêmico da pesquisa.

Diante dos resultados, o perfil W 200×15,0 configura a escolha mais eficiente para o cenário analisado. Vale ponderar, no entanto, que essa vantagem decorre da combinação

entre geometria robusta e maior resistência do aço; em projetos de menor porte, como coberturas leves e galpões simples, os perfis formados a frio tendem a ser mais competitivos. A escolha final deve resultar de uma avaliação integrada entre desempenho estrutural, custo, construtibilidade e confiabilidade ao longo da vida útil da edificação.

6. Referências Bibliográficas

1. Silva, V.P.: Estruturas de aço: conceitos, tecnologia e aplicações. São Paulo: Pini (2007).
2. CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço.: Anuário brasileiro da construção metálica 2020. Rio de Janeiro: CBCA (2020).
3. CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço.: Aplicações do aço na construção civil brasileira. Rio de Janeiro: CBCA (2020).
4. Fakury, R.H.: Sobre a revisão da norma brasileira de projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto, a NBR 8800. REM – Revista Escola de Minas; 60(2), 233-239 (2007).
5. Macedo, J.S.: A aplicação do aço na construção civil: vantagens, limitações e perspectivas do uso de estruturas metálicas. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Instituição não informada (2021).
6. Peixoto, R.M.: Compatibilização de projetos estruturais e instalações prediais em edificações metálicas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto (2012).
7. Nardin, F.A.: A importância da estrutura metálica na construção civil. Monografia de Graduação em Engenharia Civil. Itatiba: Universidade São Francisco (2008).
8. Associação Brasileira de Normas Técnicas.: ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações. Rio de Janeiro: ABNT (2024).
9. Associação Brasileira de Normas Técnicas.: ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT (2020).
10. Hiller, G.R.: Estudo comparativo de diferentes modalidades do método da resistência direta aplicado ao dimensionamento de perfis formados a frio. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2009).
11. Sousa, P.H.O.: Comparação do consumo de aço na composição de coberturas isoladas compostas de perfis formados a frio e perfis laminados. Monografia de Bacharelado em Engenharia Civil. Caráúbas: Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2023).
12. Cortez, L.A.R.: Uso das estruturas de aço no Brasil. Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas; 4(2), 217-228 (2017).
13. Murray, T.M., Allen, D.E., Ungar, E.E.: Vibrations of steel-framed structural systems due to human activity. 2ª ed. Chicago: American Institute of Steel Construction (2016).
14. Associação Brasileira de Normas Técnicas.: ABNT NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro: ABNT (2012).
15. Associação Brasileira de Normas Técnicas.: ABNT NBR 7007: Aços-carbono e aços microligados para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT (2024).

16. Associação Brasileira de Normas Técnicas.: ABNT NBR 15980: Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias. Rio de Janeiro: ABNT (2011).
17. Gerdau.: Perfis estruturais Gerdau: tabela de bitolas. São Paulo: Gerdau (2018).
18. Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes.: Relatório de Composição do Serviço: Tabela de preços 327 – Tabela de Custos de Obras Civis – T327 – Dezembro/2025 – sem desoneração. Goiânia: GOINFRA (2025).
19. Associação Brasileira de Normas Técnicas.: ABNT NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT (2019).
20. Arruda, J.A.M., Cortês, C.F.M.: Comparativo da utilização da NBR 8800 e da NBR 14762 para o dimensionamento à flexão de perfis de aço. *Lumen et Virtus*; 15(39), 3025-3042 (2024). DOI: 10.56238/levv15n39-109.
21. Ornelas, V.: Projeto estrutural de mezanino comercial. Projeto de engenharia. Palmas: Acervo técnico (2025).

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante Bruno Chahine Chater do Curso de Engenharia Civil matrícula 2021.2.0025.0015-4, telefone: (62)99821-7878 e-mail bchahinechater123@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Estudo de Caso: Análise Comparativa entre Perfis Laminados e Formados a Frio Para um Mezanino Comercial, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Video (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 26 de fevereiro de 2026.

Assinatura do autor: _____

Documento assinado digitalmente
BRUNO CHAHINE CHATER
Data: 26/02/2026 10:33:20-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Nome completo do autor: Bruno Chahine Chater

Documento assinado digitalmente
MURILO MEIRON DE PÁDUA SOARES
Data: 06/04/2026 14:32:40-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Assinatura do professor-orientador: _____

Nome completo do professor-orientador: Murilo Meiron de Pádua Soares

Escola Politécnica e de Artes - fevereiro de 2026

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante Felipe Cardoso Nogueira do Curso de Engenharia Civil matrícula 2021.2.0025.007-3, telefone: (62)99821-7878 e-mail felipenogueira828@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Estudo de Caso: Análise Comparativa entre Perfis Laminados e Formados a Frio Para um Mezanino Comercial, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 26 de fevereiro de 2026.

Documento assinado digitalmente
gov.br FELIPE CARDOSO NOGUEIRA
Data: 26/02/2026 10:38:00-0300
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

Assinatura do autor: _____

Nome completo do autor: Felipe Cardoso Nogueira

Documento assinado digitalmente
gov.br MUNILO MEIRON DE PÁDUA SOARES
Data: 04/04/2026 14:12:48-0300
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

Assinatura do professor-orientador: _____

Nome completo do professor-orientador: Munilo Meiron de Pádua Soares

Escola Politécnica e de Artes - fevereiro de 2026