



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

PRISCILA MILAGRES GODINHO

SARAH SOARES FREITAS MONTEIRO

***ESTUDO DE CASO SOBRE A COMPARAÇÃO ENTRE PILARES
COMPOSTOS POR PERFIL LAMINADO H E PERFIL TUBULAR
CIRCULAR***

OURO BRANCO-MG

JULHO-2022



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

PRISCILA MILAGRES GODINHO

SARAH SOARES FREITAS MONTEIRO

***ESTUDO DE CASO SOBRE A COMPARAÇÃO ENTRE PILARES
COMPOSTOS POR PERFIL LAMINADO H E PERFIL TUBULAR
CIRCULAR***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Civil, da
Universidade Federal de São João del-
Rei, *Campus* Alto Paraopeba, como
requisito parcial para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Ana Amélia Oliveira Mazon

Coorientador: Lucas Roquete Amparo

OURO BRANCO-MG

JULHO-2022

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G585e	<p>Godinho, Priscila Milagres. Estudo de caso sobre a comparação entre pilares compostos por perfil laminado H e perfil tubular circular./ Priscila Milagres Godinho; Sarah Soares Freitas Monteiro; orientadora Ana Amélia Oliveira Mazon; coorientador Lucas Roquete Amparo. -- Ouro Branco, MG, 2022. 38 p.</p> <p>Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia Civil) - Universidade Federal de São João del-Rei, 2022.</p> <p>1. Estruturas metálicas 2. Pilares 3. Perfil laminado H 4. Perfil tubular circular I. Monteiro, Sarah Soares Freitas. II. Mazon, Ana Amélia Oliveira, orient. III. Amparo, Lucas Roquete, coorient. IV. Título.</p>
-------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

PRISCILA MILAGRES GODINHO

SARAH SOARES FREITAS MONTEIRO

***ESTUDO DE CASO SOBRE A COMPARAÇÃO ENTRE PILARES COMPOSTOS
POR PERFIL LAMINADO H E PERFIL TUBULAR CIRCULAR***

***Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei,
Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.***

Aprovado em ____ / ____ / _____

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ana Amélia Oliveira Mazon

Professora Orientadora de PFC

Lucas Roquete Amparo

Professor Coorientador de PFC

Hisashi Inoue

Professor da Engenharia Civil da UFSJ

Gilney Afonso Gonçalves

Avaliador Convidado UFOP

RESUMO

As construções compostas por aço estrutural estão cada vez mais presentes na sociedade moderna. A tecnologia empregada nos perfis de aço possibilita uma maior resistência às edificações com uma menor área de ocupação da estrutura. Uma grande variedade de perfis em aço estrutural é disponibilizada pelo mercado industrial, onde o profissional escolhe o que mais se adequa às suas necessidades. As seções tubulares circulares apresentam homogênea distribuição de sua massa em torno do eixo longitudinal, fato que conduz a iguais resistências em relação a quaisquer eixos, otimizando assim a capacidade resistente da barra, sendo adequadas para o uso em pilares. Com o objetivo de comparar o comportamento de pilares compostos por perfis laminados em aço estrutural com seção transversal H e perfil tubular circular, foi elaborado o projeto de um mezanino para uso em galpão industrial de uma loja de materiais de construção. A análise e o dimensionamento estrutural foram realizados por meio do software da *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022* em sua versão educacional gratuita. Nesta etapa, a geometria foi modelada conforme dimensões estabelecidas no projeto, foram incluídas todas as especificações dos perfis, definidos os tipos de ligação entre os elementos estruturais, os apoios dos pilares e realizado o lançamento de cargas. Dessa forma, foi possível proceder com o dimensionamento e verificação da estabilidade da estrutura de forma a atender às solicitações consideradas no projeto. Observou-se a necessidade de considerar ligações engastadas entre vigas e pilares. Assim sendo, os pilares ficaram submetidos aos esforços combinados de forças axiais e momento fletor. Para comparação do comportamento estrutural dos pilares compostos pelos perfis H e tubular circular, foi realizado o dimensionamento do mezanino modificando-se apenas o perfil dos pilares, mantendo-se constantes as dimensões da estrutura, perfis das vigas e demais características de projeto. De acordo com os resultados obtidos, observou-se que, por meio da taxa de eficiência de cada um dos dois perfis considerados, houve apenas uma diferença de 1% no comportamento estrutural.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo geral	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1. Estrutura do projeto.....	12
3.2. Dimensionamento Estrutural	14
3.3. Articulações	19
3.4. Ações na estrutura.....	19
3.5. Combinações.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4.1. Pilar em perfil laminado H	21
4.2. Pilares em perfil tubular circular.....	23
5. CONCLUSÃO.....	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
7. ANEXOS.....	26

1. INTRODUÇÃO

O aço é uma liga metálica que é utilizado em diversas aplicações, sendo uma delas a construção civil. Desde as primeiras construções em materiais siderúrgicos, como a ponte sobre o Rio Serven em Coalbrookdale na Inglaterra, é possível observar a beleza da construção no monumento (Pfeil, 2009). A edificação de aço primordialmente aborda o atendimento de altas resistências à construção, possibilitando grandes vãos livres. Além de uma maior velocidade de execução, devido as peças serem produzidas industrialmente e montadas no local da construção, viabiliza uma obra mais planejada e com menos desperdícios.

Os pilares de edifícios são dimensionados fundamentalmente à compressão. São utilizados então perfis que possuam inércia significativa também em relação ao eixo de menor inércia, como é o caso dos perfis “H” que têm largura da mesa, igual ou próxima à altura da seção. (Portal metálica, 2021). Além de aspectos de resistência do elemento, durante toda a história da construção de estrutura metálica, é possível observar o significativo uso de perfis abertos nas edificações, quando comparados aos perfis tubulares. Tal fato, dá-se à facilidade de montagem de tais perfis, principalmente pelos tipos de ligações, que envolvem desde ligações de parafusos até à soldagem das estruturas, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura em aço em perfil aberto



Fonte: Structuraço, 2021.

No entanto, com a evolução da técnica e do conhecimento de perfis tubulares, a sua utilização está ganhando espaço no mercado. De acordo com Araújo et.al. (2016), as seções tubulares que possuem uma geometria favorável e um baixo nível de tensão residual, frente às demais seções transversais, podem gerar uma redução de consumo de material nas barras comprimidas de até 50% em peso. Conseqüentemente, podem proporcionar estruturas mais leves, competitivas e possivelmente mais econômicas.

No Brasil, as construções em perfis tubulares começaram a ser empregadas em obras isoladas, tal como o Jardim Botânico de Curitiba, que é composto totalmente em estrutura tubular, conforme ilustra a Figura 2. Com o passar dos anos, à medida que a tecnologia dos perfis tubulares foi se propagando, foi possível observar a maior presença desses perfis na sociedade, como no caso da primeira aciaria do mundo em estrutura tubular, localizada em Jeceaba, Minas Gerais, Figura 3 (Araújo, et al.,2016).

Figura 2 – Jardim Botânico de Curitiba



Fonte: Vida sem paredes, 2020.

Figura 3 – Primeira aciaria do mundo em estrutura tubular



Fonte: Araújo et.al. (2016).

“No caso das seções circulares, a homogênea distribuição de sua massa em torno do eixo longitudinal confere iguais propriedades geométricas em relação a qualquer eixo que passe pelo centro geométrico da seção transversal. Essa distribuição da massa, para o caso

de barras comprimidas, conduz a iguais resistências em relação a quaisquer eixos, otimizando assim a capacidade resistente da barra. Por esse motivo, o momento de inércia do tubo de seção transversal circular é cerca de 1,8 vez superior e o raio de giração cerca de 1,4 vez superior aos equivalentes de um perfil H de mesma massa e mesma dimensão em relação ao eixo de menor inércia.” Araújo et. al. (2016).

No presente trabalho será avaliada a utilização de dois tipos de perfis com a finalidade de se comparar o comportamento estrutural de um perfil laminado H e de um perfil tubular circular, que são utilizados como pilares em um mezanino em aço estrutural para uso em galpão industrial de uma loja de materiais de construção.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Comparação do comportamento de pilares compostos por perfis laminados em aço estrutural com seção transversal H e perfil tubular circular utilizadas em um mezanino em aço estrutural para uso em galpão industrial de uma loja de materiais de construção.

2.2. Objetivos específicos

- Elaboração de um projeto de um mezanino comercial, construído em aço estrutural;
- Análise e otimização estrutural do mezanino utilizando-se dois tipos de perfis em aço estrutural para os pilares: perfil laminado H e perfil tubular circular;
- Comparação do comportamento dos pilares considerando a resistência dos perfis utilizados na análise estrutural.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Estrutura do projeto

A estrutura elaborada e projetada para o estudo de caso do presente trabalho trata-se de um mezanino utilizado em um galpão industrial para uma loja de materiais de construção. Para o caso hipotético considerado para estudo de caso, os materiais acomodados no mezanino são sacos de cimento em *pallets* organizados em volumes de um metro de comprimento por um metro de altura e por um metro de largura. A escolha de tal funcionalidade, deve-se à frequente utilização de mezaninos em almoxarifados, com o intuito de armazenagem. Além disso, com o intuito de proporcionar utilidade ao projeto, e também de seguir os critérios da Norma Regulamentadora 17 (2018), que visam garantir a ergonomia do usuário, a proposta do projeto consiste na logística dos materiais via empilhadeira, como exemplificado na Figura 4.

Figura 4 – Imagem ilustrativa de mezanino metálico

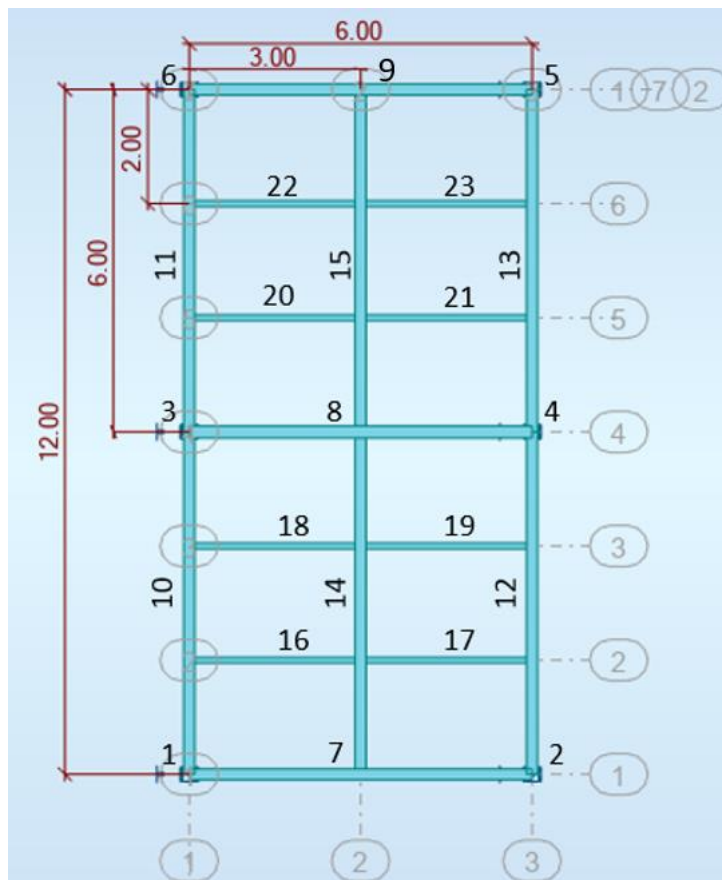


Fonte: Estruturas Metálicas.net (2022)

A estrutura do mezanino elaborada e projetada para o estudo de caso apresenta comprimento total de 12 metros, 6 metros de largura e 3 metros de altura, como ilustram as Figuras 5, 6 e 7. O projeto da estrutura foi elaborado com o objetivo de garantir um adequado espaço para armazenagem. A numeração 1,2,3,4,5 e 6 identifica os pilares do

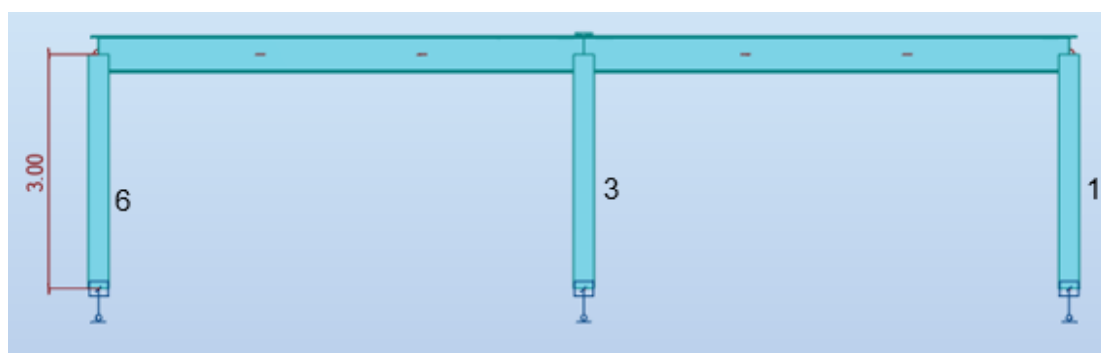
mezanino, as numerações 7,8,9,10,11,12 e 13 indicam o vigaumento primário, as vigas secundárias são indicadas por 14 e 15 e as terciárias por 16,17,18,19,20,21,22 e 23.

Figura 5 – Planta do mezanino – cotas em metros



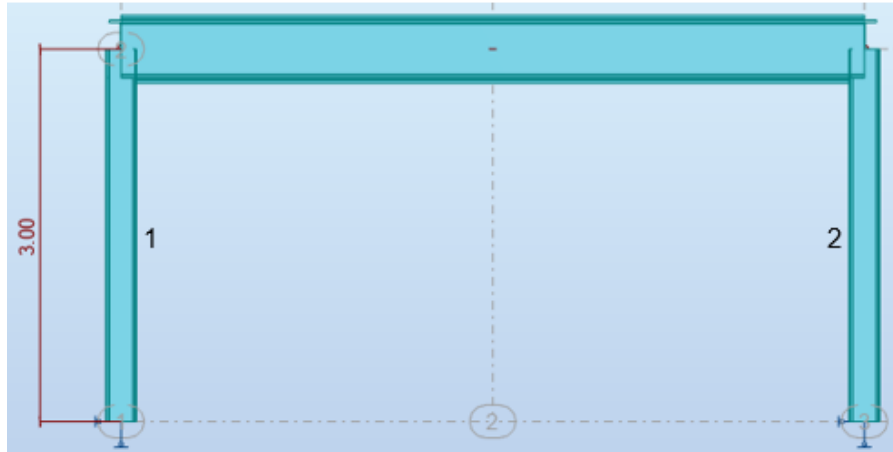
Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022

Figura 6 – Vista Lateral do Mezanino – cota em metros



Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022

Figura 7 – Vista Frontal do Mezanino – cota em metros



Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022

3.2. Dimensionamento Estrutural

A análise da estrutura foi realizada por meio do programa computacional *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022*, versão educacional gratuita. Inicialmente, foi realizado o pré-dimensionamento da estrutura do mezanino considerando-se perfis I para o vigeamento e perfil H para os pilares. Nesta etapa, a geometria foi modelada no software conforme dimensões estabelecidas no projeto, foram incluídas todas as especificações dos perfis, definidos os tipos de ligações entre os elementos estruturais, os apoios dos pilares e realizado o lançamento de cargas. Dessa forma, foi possível proceder com o dimensionamento e verificação da estabilidade da estrutura de forma a atender às solicitações consideradas no projeto.

Para a verificação da estrutura são determinados os deslocamentos, os esforços solicitantes e sua resistência à compressão, ao cisalhamento e à flexão, para isso o programa ROBOT, que é regido pela norma americana, determina as seguintes variáveis:

- FIC - Fator de resistência para compressão;
- FIB – Fator de resistência para flexão;
- FIV- Fator de resistência para cisalhamento;
- Pr – resistência compressiva solicitante;
- Mry – resistência à flexão solicitante;
- Vrz – resistência ao cisalhamento solicitante;
- Pn – resistência de compressão nominal;

- M_{ny} – resistência nominal à flexão.;
- V_{nz} – resistência nominal de cisalhamento.

Para atender as verificações de segurança determinadas pelo *ROBOT* as condições mostradas nas Equações 1, 2 e 3, devem ser satisfeitas:

$$Pr < FIC * Pn \quad (1)$$

$$M_{ry} < FIB * M_{ny} \quad (2)$$

$$V_{rz} < FIV * V_{nz} \quad (3)$$

Outra verificação que deverá ser atendida é a taxa de eficiência do perfil, que pode ser determinada pela Equação 4 e 5. O resultado, para atender a verificação, deve ser menor que um (1).

$$Taxa\ de\ eficiência = \frac{Pr}{(2 * FIC * Pn)} + \frac{M_{ry}}{FIB * M_{ny}} + \frac{M_{rz}}{FIB * M_{nz}} \quad (4)$$

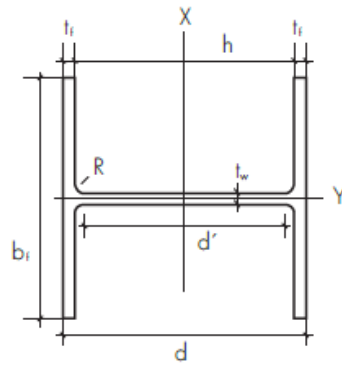
$$Taxa\ de\ eficiência = \frac{Pr}{FIC * Pn} + \frac{8}{9} * \frac{M_{ry}}{FIB * M_{ny}} \quad (5)$$

Após verificação da estrutura composta por pilares em perfil H, foi realizado o dimensionamento do mezanino modificando-se apenas o perfil dos pilares para o perfil tubular circular. Foram mantidas as mesmas dimensões da estrutura, perfis do vigamento e demais características de projeto.

Com a finalidade de se comparar o comportamento dos pilares compostos por perfis em aço estrutural, foram considerados um perfil H e um perfil tubular circular com dimensões externas e massa linear aproximadas. Os perfis utilizados e considerados no dimensionamento realizado foram, o perfil HP 10x42 (HP 250X62) e o perfil tubular HSRO 10,75x0,375 (TC 273X10).

A Figura 8 apresenta as propriedades do perfil H considerado no dimensionamento.

Figura 8 – Dimensões perfil H



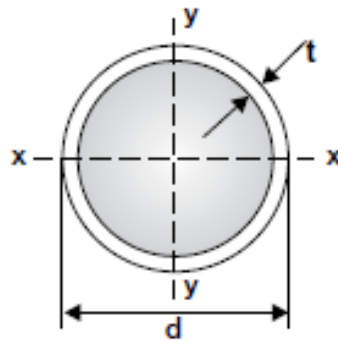
d = altura do perfil
 d' = altura livre da alma
 h = altura interna
 b_f = largura da aba do perfil
 t_f = espessura da aba
 t_w = espessura da alma
 R = raio de concordância

Fonte: Catálogo de produtos Gerdau

- Massa linear = 62,5 Kg/m;
- $d = 246$ mm;
- $b_f = 257$ mm;
- $t_w = 10,5$ mm;
- $t_f = 10,7$ mm;
- $h = 225$ mm;
- $d' = 201$ mm;
- Área = 80,0 cm²;
- Momento de inércia (eixo x) = 8740,86 cm⁴;
- Momento de inércia (eixo y) = 2984,38 cm⁴;
- Raio de rotação (eixo x) = 105mm;
- Raio de rotação (eixo y) = 61mm.

A Figura 9 apresenta as propriedades do perfil tubular circular:

Figura 9 – Dimensões perfil tubular circular



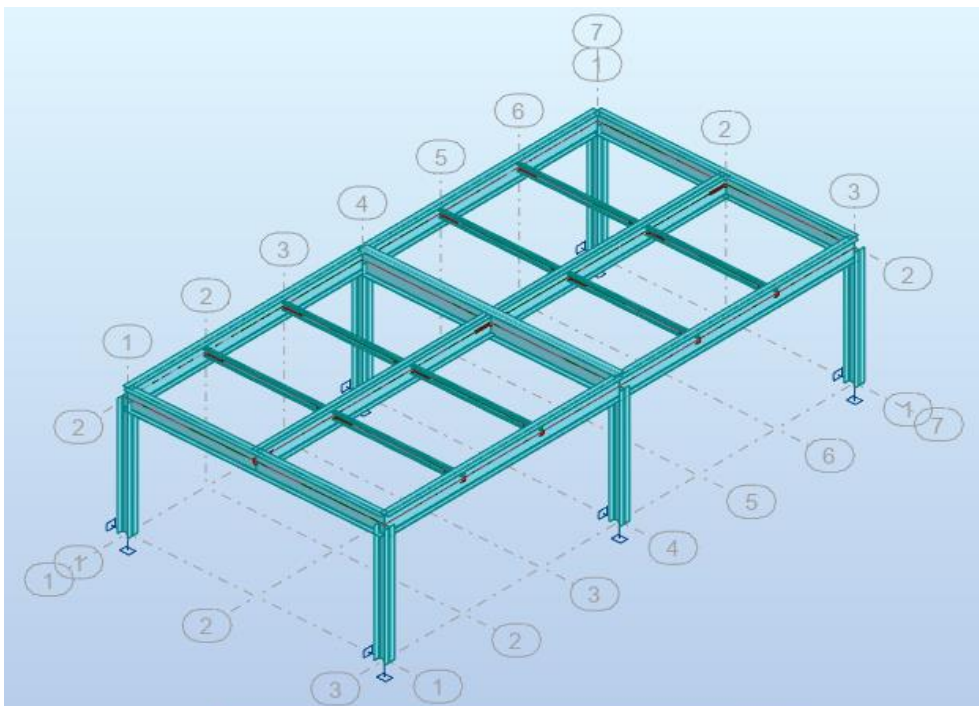
Fonte: Catálogo *Vallourec*.

- Massa Linear = 64,9 kg/m;
- Dimensões externas (d)= 273 mm;
- Espessura da parede (t) = 10 mm;
- Área da seção transversal (A) = 73,55 cm²;
- Momento de inércia (eixo x) = 6409,96 cm⁴;
- Momento de inércia (eixo y) = 6409,96 cm⁴;
- Raio de rotação (eixo x) = 93 mm;
- Raio de rotação (eixo y) = 93 mm.

O vigamento foi dividido em vigas terciárias, secundárias e primárias. Para o pré-dimensionamento das vigas, foi adotado o perfil W 6x12 (W 150x18,0) para vigas terciárias, W 18X55 (W460x82,0) para vigas secundárias, W18X65 (W460x97,0) para vigas primárias, sendo W21X93 (W530x138) para a viga primária 8.

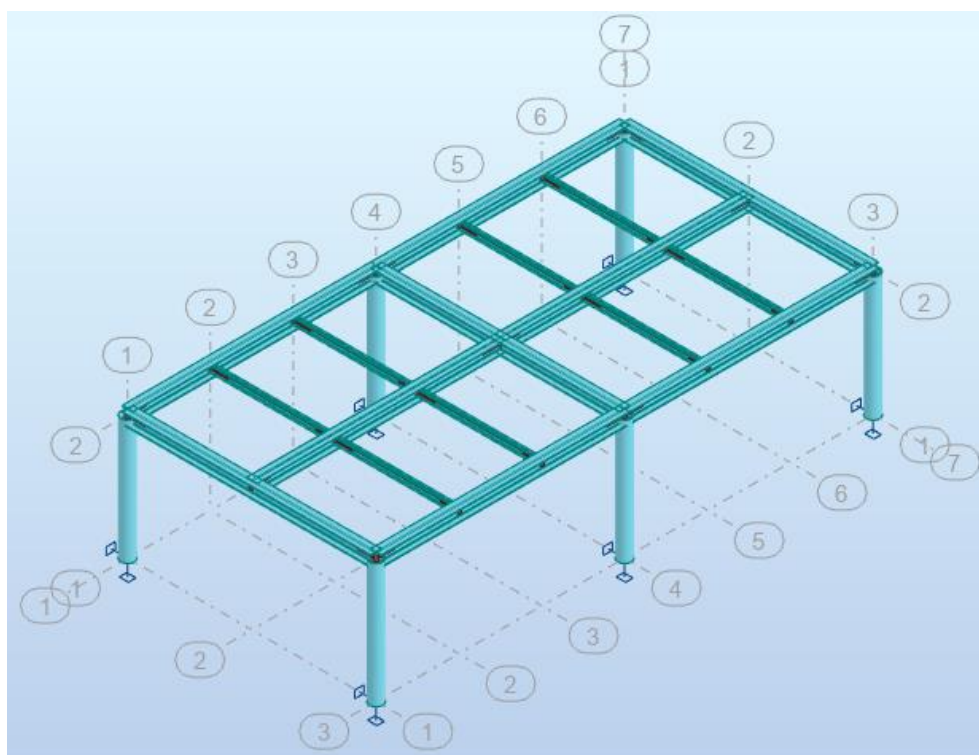
As Figuras 10 e 11 ilustram a estrutura do mezanino com pilares compostos, respectivamente, pelo perfil H e pelo perfil tubular circular.

Figura 10 – Estrutura com pilares em perfil H



Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022

Figura 11 – Estrutura com pilares em perfil tubular circular



Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022

3.3. Articulações

As extremidades das barras podem ser determinadas com rotações livres ou restringidas. As ligações entre os elementos estruturais foram definidas durante análises realizadas no pré-dimensionamento, com o objetivo de proporcionar maior estabilidade e segurança estrutural. Assim sendo, as ligações entre as vigas foram consideradas rotuladas, as ligações entre vigas e pilares engastados e a base dos pilares engastada em x e rotulada em y.

3.4. Ações na estrutura

As ações na estrutura foram determinadas de acordo com a NBR 6120 (2019) – Ações para cálculo de estruturas de edificações, sendo classificadas em permanentes, variáveis e excepcionais. Não serão consideradas ações excepcionais, que basicamente são decorrentes de eventos como furacões, tornados, choques de veículos, entre outros.

3.1.1. Ação permanente

As ações permanentes foram determinadas de acordo com o peso dos perfis e do piso de revestimento.

Para fins didáticos, o piso considerado foi o painel *wall*, que é feito basicamente de miolo de madeira laminada. De acordo com NBR 6120 (2019), o peso específico da madeira laminada colada compensado de resinosas, é igual a 5 kN/m³. A espessura do revestimento foi adotada de acordo com padrões comerciais igual a 4 centímetros, e com isso, a carga de 0,2 kN/m² foi distribuída superficialmente pela estrutura.

O peso próprio dos perfis é automaticamente considerado no software, não sendo necessário o lançamento.

3.1.2. Ação variável

Para a ação variável de uso e ocupação, foram considerados dois possíveis tipos de materiais ensacados, a cal e o cimento. Pela NBR 6120 (2019), o cimento possui peso específico de 14 kN/m³ e a cal possui 10kN/m³. Diante dos valores, para efeitos de lançamento das cargas, adotou-se o cimento por representar a situação mais desfavorável para o dimensionamento. Considerando que os cimentos serão armazenados sobre os *pallets* ocupando um volume de 1 m³, a carga superficial de 14kN/m² foi considerada e

lançada na estrutura para o dimensionamento. Não foram consideradas cargas de vento devido ao mezanino estar situado no interior de um galpão industrial.

3.5. Combinações

Para o dimensionamento da estrutura é necessário fazer a combinações das ações, os coeficientes de ponderação das ações foram determinados seguindo a NBR 6118 (2003), no estado limite último (ELU).

Dessa forma, para cada ação foi determinado o coeficiente de ponderação, sendo:

- γ_g : Peso próprio - 1,25;
- γ_{g1} : Peso do piso – 1,40;
- γ_q : Uso e ocupação – 1,5.

Com os coeficientes de ponderação, é possível obter a combinação das ações pela Equação 6.

$$COMB = P_p * \gamma_g + P_r * \gamma_{g1} + P_o * \gamma_q$$

Onde:

- COMB é a combinação das ações;
- P_p é o peso próprio da estrutura;
- P_r é o peso do piso;
- P_o é p peso de uso e ocupação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados neste tópico os resultados obtidos nas análises estruturais da estrutura do mezanino compostas por pilares em perfis H e tubular circular.

Por meio da taxa de eficiência é possível realizar uma comparação entre o comportamento estrutural dos pilares compostos pelo perfil H e pelo perfil tubular circular. O Anexo 1 apresenta os resultados detalhados das verificações realizadas para os pilares. Ressalta-se que, em função da simetria da estrutura, são apresentados os resultados das barras 1 e 3 para os perfis H e tubular circular.

4.1. Pilar em perfil laminado H

A Figura 12 apresenta os resultados obtidos para a estrutura do mezanino composta por pilares em perfil HP 10x42. Na tabela, a coluna “seção” identifica os perfis utilizados em cada barra do mezanino, na coluna identificada por “relação” apresenta-se a taxa de eficiência. As colunas “Lay” e “Laz” representam a esbeltez de flambagem em ambas as direções do perfil (equivalente aos eixos “x” e “y”, respectivamente) e a coluna “Caso” apresenta a combinação utilizada na verificação realizada.

Figura 12 – Resumo da verificação da estrutura em perfil laminado H

Membro	Seção	Material	Lay	Laz	Relação	Caso
1 PILAR	OK HP 10x42	AÇO	28.70	49.12	0.52	4 COMB1
2 PILAR	OK HP 10x42	AÇO	28.70	49.12	0.52	4 COMB1
3 PILAR	OK HP 10x42	AÇO	28.70	49.12	0.69	4 COMB1
4 PILAR	OK HP 10x42	AÇO	28.70	49.12	0.69	4 COMB1
5 PILAR	OK HP 10x42	AÇO	28.70	49.12	0.52	4 COMB1
6 PILAR	OK HP 10x42	AÇO	28.70	49.12	0.52	4 COMB1
7 VIGAS PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.76	4 COMB1
8 VIGAS PRIMÁRI	OK W 21x93	AÇO	27.13	128.05	0.80	4 COMB1
9 VIGAS PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.76	4 COMB1
10 VIGA PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.56	4 COMB1
11 VIGA PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.56	4 COMB1
12 VIGA PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.56	4 COMB1
13 VIGA PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.56	4 COMB1
14 VIGA SECUND	OK W 18x55	AÇO	31.87	141.89	0.95	4 COMB1
15 VIGA SECUND	OK W 18x55	AÇO	31.87	141.89	0.95	4 COMB1
16 VIGA TERCÍÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
17 VIGA TERCÍÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
18 VIGA TERCÍÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
19 VIGA TERCÍÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
20 VIGA TERCÍÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
21 VIGA TERCÍÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
22 VIGA TERCÍÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
23 VIGA TERCÍÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1

Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022

É possível observar que os pilares do mezanino 1, 2, 5 e 6, conforme identificados na Figura 4, utilizam 52% de sua capacidade resistente, já os pilares 3 e 4 utilizam 69% de sua capacidade resistente. Essa diferença é devido a posição dos pilares no mezanino, pois os identificados por 3 e 4 encontram-se centralizados na estrutura, no pórtico central, sendo assim, estão submetidos a maiores esforços.

Além disso, a viga primária 8 corresponde ao elemento estrutural mais solicitado da estrutura. Conforme a análise estrutural e o dimensionamento, foi utilizado o perfil W21x93 de forma a atender a segurança estrutural tanto para a estrutura com pilares compostos por perfil H, quanto para a estrutura com perfis compostos pelo perfil tubular circular, e foi mantido o objetivo do comparativo com iguais condições da superestrutura para ambos os perfis.

Ressalta-se que durante a fase de dimensionamento e análise estrutural, foi observada a necessidade de considerar ligações engastadas entre vigas e pilares. Dessa forma, os pilares ficaram submetidos aos esforços combinados de forças axiais e momento fletor.

4.2. Pilares em perfil tubular circular

A Figura 13 apresenta os resultados obtidos para a estrutura do mezanino composta por pilares em perfil tubular circular HSRO 10,75X0,375.

Figura 13 - Resumo da verificação da estrutura em perfil tubular circular

Membro	Seção	Material	Lay	Laz	Relação	Caso
1 PILAR	OK HSRO 10.75x	AÇO	32.14	32.14	0.53	4 COMB1
2 PILAR	OK HSRO 10.75x	AÇO	32.14	32.14	0.53	4 COMB1
3 PILAR	OK HSRO 10.75x	AÇO	32.14	32.14	0.68	4 COMB1
4 PILAR	OK HSRO 10.75x	AÇO	32.14	32.14	0.68	4 COMB1
5 PILAR	OK HSRO 10.75x	AÇO	32.14	32.14	0.53	4 COMB1
6 PILAR	OK HSRO 10.75x	AÇO	32.14	32.14	0.53	4 COMB1
7 VIGAS PRIMAR	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.79	4 COMB1
8 VIGAS PRIMAR	OK W 21x93	AÇO	27.13	128.05	0.82	4 COMB1
9 VIGAS PRIMAR	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.79	4 COMB1
10 VIGA PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.55	4 COMB1
11 VIGA PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.55	4 COMB1
12 VIGA PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.55	4 COMB1
13 VIGA PRIMÁRI	OK W 18x65	AÇO	31.56	139.46	0.55	4 COMB1
14 VIGA SECUND	OK W 18x55	AÇO	31.87	141.89	0.95	4 COMB1
15 VIGA SECUND	OK W 18x55	AÇO	31.87	141.89	0.95	4 COMB1
16 VIGA TERCIÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
17 VIGA TERCIÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
18 VIGA TERCIÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
19 VIGA TERCIÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
20 VIGA TERCIÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
21 VIGA TERCIÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
22 VIGA TERCIÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1
23 VIGA TERCIÁ	OK W 6x12	AÇO	47.34	128.70	0.97	4 COMB1

Fonte: Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022

É possível observar que os pilares do mezanino 1, 2, 5 e 6, conforme identificados na Figura 4, utilizam 53% de sua capacidade resistente, já os pilares 3 e 4 utilizam 68% de sua capacidade resistente.

Conforme citado anteriormente, para comparação do comportamento estrutural dos pilares compostos pelos perfis H e tubular circular, foi realizado o dimensionamento do mezanino modificando-se apenas o perfil dos pilares, mantendo-se constantes as dimensões da estrutura, perfis de vigamento e demais características de projeto. Dessa forma, conforme esperado, é interessante observar que o comportamento estrutural das vigas foi o mesmo para os dois casos.

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que, por meio da taxa de eficiência de cada um dos dois perfis considerados, houve apenas uma diferença de 1% no comportamento estrutural.

5. CONCLUSÃO

Com o objetivo de comparar o comportamento de pilares compostos por perfis laminados em aço estrutural com seção transversal H e perfil tubular circular, foi elaborado o projeto de um mezanino para uso em galpão industrial de uma loja de materiais de construção.

O dimensionamento foi realizado por meio do software da *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022* em sua versão educacional gratuita. Sabe-se que os pilares de edificações são comumente dimensionados como barras axialmente comprimidas. Porém, durante a análise estrutural, foi observada a necessidade de utilização da ligação engastada entre vigas e pilares. Dessa forma os pilares do mezanino ficaram submetidos aos efeitos combinados de força axial e momento fletor.

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que, por meio da taxa de eficiência de cada um dos dois perfis considerados, houve apenas uma diferença de 1% no comportamento estrutural. Dessa forma, para o estudo em questão, sugere-se a utilização do perfil H devido a sua maior oferta no mercado regional e a maior disponibilidade de informações sobre ligações entre perfis H, quando comparada com ligações entre perfis tubulares.

Diante dos resultados obtidos como não foi observada diferença significativa entre o comportamento dos perfis utilizados como pilares, ressalta-se a importância de se dar continuidade ao estudo afim de se obter mais resultados e informações que possam complementar a presente pesquisa. Sendo assim, sugere-se a modificação das dimensões do mezanino, da altura e disposição dos pilares, utilização de um outro software para comparação entre os resultados, estudos sobre os pilares de forma isolada, alteração dos tipos de ligações entre os elementos estruturais, diferentes condições de apoio para os pilares, entre outros.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. et.al. **Projeto de estruturas de edificações com perfis tubulares de aço**. Belo Horizonte: Rona Editora LTDA, 1ª ed., 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR.6120, **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

BRASIL. **Norma Regulamentadora 17 - Ergonomia**. Brasília, 1990. Disponível em: <http://www.normaslegais.com.br/legislacao/portaria_mtp_423_2021.htm>. Acesso em: 21 de junho 2022.

Introdução ao aço, histórico. Disponível em: <<https://www.sites.google.com/site/acoufmg/home/historico>>. Acesso em: 21 de junho de 2022.

Painel Wall 2,50x1,20 40mm Eternit. Disponível em: <https://www.leomadeiras.com.br/product/prod-3-Painel_Wall_250x120_40mm_Eternit>. Acesso em: 21 de junho de 2022.

PFEIL, Walter. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR8800:2008**. Rio de Janeiro: LTC, 8ª ed., 2009.

ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS SOFTWARE FOR ENGINEERS. Versão Estudantil, AutoDesk, 2022. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>>. Acesso em: 11 de julho de 2022.

Tipos de aço e perfis para estrutura metálica de edifícios. Disponível em: <<https://metalica.com.br/tipos-de-aco-e-perfis-para-estrutura-metalica-de-edificios-2/>>. Acesso em: 21 de junho de 2022.

Tipos de viga de aço: conheça os principais e saiba onde usar. Disponível em: <<https://www.structuraco.com/tipos-de-viga-de-aco/>>. Acesso em: 21 de junho de 2022.

7. ANEXOS

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
MEMBRO: 1 PILAR ; COORDENADAS: x = 1.00 L = 3.00 m				
Propriedades da seção transversal: HP 10x42				
Ax	80.00	cm ²	Área da seção transversal	
Ay	54.74	cm ²	Área de cisalhamento - eixo Y	
Az	25.97	cm ²	Área de cisalhamento - eixo Z	
J	33.84	cm ⁴	Constante de torção	
Iy	8740.86	cm ⁴	Momento de inércia da seção em torno do eixo Y	
Iz	2984.38	cm ⁴	Momento de inércia da seção em torno do eixo Z	
Zy	791.50	cm ³	Módulo plástico de seção em relação ao eixo Y (maior)	
Sy	709.54	cm ³	Módulo elástico de seção em torno do eixo Y	
Zz	357.24	cm ³	Módulo plástico de seção em relação ao eixo Z (menor)	
Sz	232.66	cm ³	Módulo plástico de seção elástico em torno do eixo Z	
d	24.6	cm	Altura da seção transversal	
bf	25.7	cm	Largura da seção transversal	
tf	1.1	cm	Espessura da mesa	
tw	1.1	cm	Espessura da alma	
ry	10.5	cm	Raio de rotação - eixo Y	
rz	6.1	cm	Raio de rotação - eixo Z	
Material:				
Nome			AÇO	
Fy	255.00	MPa	Limite de escoamento mínimo do material especificado	
Fu	255.00	MPa	Resistência à tração mínima especificada	
E	210000.00	MPa	Coefficiente de elasticidade longitudinal	
Método LRFD de fator parcial				
Fic	0.90		Fator de resistência para compressão	[E1]
Fib	0.90		Fator de resistência para flexão	[F1.(1)]
Fiv	0.90		Fator de resistência para cisalhamento	[G1]
FiT	0.90		Fator de resistência para a ruptura	[H3.1]
Flambagem local				
Lamf	12.02		A relação de largura para espessura para uma mesa	[Table B4.1a,b]
Lamw	17.93		A relação de largura para espessura para uma alma	[Table B4.1a,b]
Classe de seção para compressão simples				
Lamf_r_N	16.07		Esbeltez para a limitação da mesa não fino	[Table B4.1a]
ClassF_N	Não fino		Classe da mesa	[Table B4.1a]
Lamw_r_N	42.76		Esbeltez para a limitação da alma não fina	[Table B4.1a]
ClassW_N	Não fino		Classe da alma	[Table B4.1a]
Classe de seção para flexão simples (momento My)				
Lamf_p_My	10.90		Esbeltez para a limitação da mesa compacto	[Table B4.1b]
Lamf_r_My	28.70		Esbeltez para a limitação da mesa não compacto	[Table B4.1b]
ClassF_My	Não compacto		Classe da mesa	[Table B4.1b]
Lamw_p_My	107.90		Esbeltez para a limitação da alma compacta	[Table B4.1b]
Lamw_r_My	163.57		Esbeltez para a limitação da alma não compacta	[Table B4.1b]

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
ClassW_My	Compacto		Classe da alma	[Table B4.1b]
Classe de seção para flexão simples (momento Mz)				
Lamf_p_Mz	10.90		Esbeltez para a limitação da mesa compacto	[Table B4.1b]
Lamf_r_Mz	28.70		Esbeltez para a limitação da mesa não compacto	[Table B4.1b]
ClassF_Mz	Não compacto		Classe da mesa	[Table B4.1b]
Lamw_p_Mz	107.90		Esbeltez para a limitação da alma compacta	[Table B4.1b]
Lamw_r_Mz	163.57		Esbeltez para a limitação da alma não compacta	[Table B4.1b]
ClassW_Mz	Compacto		Classe da alma	[Table B4.1b]
Esbeltez para a limitação do cisalhamento				
Lamw_p_Vz	72.95		Esbeltez para a limitação do cisalhamento para a alma compacta	[G2.1.(b)]
Lamw_r_Vz	90.85		Esbeltez para a limitação do cisalhamento para a alma não compacta	[G2.2.(b)]
Parâmetros de análise da flambagem:				
Sobre o eixo Y da seção transversal				
Ly	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E2]
Ky	1.00		Coefficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E2]
Lcy	3.00	m	Comprimento de flambagem efetivo	[E2]
Lcy/ry	28.70		Esbeltez de flambagem de um membro	[E2]
Fey	2516.18	MPa	Tensão de flambagem crítica elástica	[E3]
Fcry	244.41	MPa	Tensão de flambagem de flexão crítica	[E3]
Pny	1955.27	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E3]
Sobre o eixo Z de seção transversal				
Lz	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E2]
Kz	1.00		Coefficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E2]
Lcz	3.00	m	Comprimento de flambagem efetivo	[E2]
Lcz/rz	49.12		Esbeltez de flambagem de um membro	[E2]
Fez	859.10	MPa	Tensão de flambagem crítica elástica	[E3]
Fcrz	225.21	MPa	Tensão de flambagem de flexão crítica	[E3]
Pnz	1801.67	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E3]
Flambagem por flexo-torção				
Lt	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E4]
Kt	1.00		Coefficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E4]
Kt*Lt/r0	24.78		Esbeltez de flambagem de um membro	[E4]
Fe	1047.27	MPa	Resistência da flambagem flexível-torsional elástico	[E4]
Fcrt	230.29	MPa	Tensão crítica de flambagem por flexo-torção	[E4]
Pnt	1842.34	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E4]
Parâmetros da análise de flambagem lateral:				
Rm	1.00		Parâmetro monossimétrico da seção transversal	[Comm.F1]
Cb	1.00		Fator de modificação de flambagem lateral com torção	[F1.(3)]
Lb	3.00	m	Comprimento sem travamento lateral de um membro	[F3.1]
Lpy	3.08	m	Comprimento sem travamento lateral de limitação para o estado limite de escoamento	[F3.1]
Lry	11.44	m	Comprimento sem travamento lateral de limitação para o estado limite de flambagem lateral com torção não elástico	[F3.1]
Mcry	918.66	kN*m	Momento crítico da flambagem de torção lateral	[F9.2]
Outros:				
Cw	414531.4	cm ⁶	Constante de empenamento	[E,F]

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
k_{vz}	5.34		Coeficiente de flambagem de cisalhamento	[G2.1]
C_{vz1}	1.00		Coeficiente para o cálculo das tensões críticas na alma	[G2.1]
Forças internas				
P_r	238.64	kN	Resistência compressiva necessária	
T_r	-0.00	kN*m	Resistência à torção necessária	
M_{ry}	-67.92	kN*m	Resistência à flexão necessária	
M_{rz}	-4.76	kN*m	Resistência à flexão necessária	
V_{ry}	0.00	kN	Resistência ao cisalhamento necessária	
V_{rz}	-22.64	kN	Resistência ao cisalhamento necessária	
Tensões nominais				
P_n	1801.67	kN	Resistência de compressão nominal	[E3]
Sobre o eixo Y da seção transversal				
M_{py}	201.83	kN*m	Momento fletor nominal do plástico	[F]
$M_{ny}[YD]$	201.83	kN*m	Resistência da curvatura nominal no estado limite de escoamento	[F3.1]
$M_{ny}[LTB]$	201.83	kN*m	Resistência da flambagem torsional lateral nominal	[F3.1]
$M_{ny1}[LTB]$	201.83	kN*m	Resistência da flambagem torsional lateral nominal ($C_b = 1.0$)	[F3.1]
$M_{ny}[FLB]$	197.10	kN*m	Resistência nominal para a flambagem local de uma mesa de compressão	[F3.2]
M_{ny}	197.10	kN*m	Resistência nominal de flexibilidade	[F3]
V_{nz}	397.36	kN	Resistência nominal de cisalhamento	[G2.1]
Sobre o eixo Z de seção transversal				
M_{pz}	91.10	kN*m	Momento fletor nominal do plástico	[F]
$M_{nz}[YD]$	91.10	kN*m	Resistência da curvatura nominal no estado limite de escoamento	[F6]
$M_{nz}[FLB]$	87.98	kN*m	Resistência nominal para a flambagem local de uma mesa de compressão	[F6.2]
M_{nz}	87.98	kN*m	Resistência nominal de flexibilidade	[F6]
V_{ny}	837.45	kN	Resistência nominal de cisalhamento	[G6]
Resistências do projeto				
$F_{ic} \cdot P_n$	1621.50	kN	Resistência compressiva do projeto	[E3]
Sobre o eixo Y da seção transversal				
$F_{ib} \cdot M_{py}$	181.65	kN*m	Momento fletor do plástico do projeto	[F]
$F_{ib} \cdot M_{ny}[YD]$	181.65	kN*m	Resistência da curvatura no estado limite de escoamento do projeto	[F3.1]
$F_{ib} \cdot M_{ny}[LTB]$	181.65	kN*m	Resistência da flambagem lateral-torsional do projeto	[F3.1]
$F_{ib} \cdot M_{ny1}[LTB]$	181.65	kN*m	Resistência da flambagem lateral-torsional do projeto	[F3.1]
$F_{ib} \cdot M_{ny}[FLB]$	177.39	kN*m	Resistência do projeto para a flambagem local de uma mesa de compressão	[F3.2]
$F_{ib} \cdot M_{ny}$	177.39	kN*m	Resistência à flexão do projeto	[F3]
$1.00 \cdot V_{nz}$	397.36	kN	Resistência do projeto ao cisalhamento	[G2.1]
Sobre o eixo Z de seção transversal				
$F_{ib} \cdot M_{pz}$	81.99	kN*m	Momento fletor do plástico do projeto	[F]
$F_{ib} \cdot M_{nz}[YD]$	81.99	kN*m	Resistência da curvatura no estado limite de escoamento do projeto	[F6]
$F_{ib} \cdot M_{nz}[FLB]$	79.18	kN*m	Resistência do projeto para a flambagem local de uma mesa de compressão	[F6.2]
$F_{ib} \cdot M_{nz}$	79.18	kN*m	Resistência à flexão do projeto	[F6]
$F_{iv} \cdot V_{ny}$	753.71	kN	Resistência do projeto ao cisalhamento	[G6]
Tensões calculadas:				
$\tau_{vy, mx}$	0.00	MPa	Tensão de cisalhamento para torção simples	

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
frvz,mx	0.00	MPa	Tensão de cisalhamento para torção simples	
Formulas de verificação:				
UF[Lc/r]	0.25		Max(Lcy/ry/(Lc/r),max ; Lcz/rz/(Lc/r),max)	estável
UF(H1_1b)	0.52		Pr/(2*Fic*Pn) + Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz)	Verificado
UF[G6]	0.00		frvy,mx/(0.6*Fiv*Fy)	Verificado
UF(G2)	0.06		Vrz/(1.00*Vnz) + frvz,mx/(0.6*1.00*Fy)	Verificado
Relação:				
RAT	0.52		Taxa de eficiência	Seção OK

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
MEMBRO: 3 PILAR ; COORDENADAS: x = 1.00 L = 3.00 m				
Propriedades da seção transversal: HP 10x42				
Ax	80.00	cm ²	Área da seção transversal	
Ay	54.74	cm ²	Área de cisalhamento - eixo Y	
Az	25.97	cm ²	Área de cisalhamento - eixo Z	
J	33.84	cm ⁴	Constante de torção	
Iy	8740.86	cm ⁴	Momento de inércia da seção em torno do eixo Y	
Iz	2984.38	cm ⁴	Momento de inércia da seção em torno do eixo Z	
Zy	791.50	cm ³	Módulo plástico de seção em relação ao eixo Y (maior)	
Sy	709.54	cm ³	Módulo elástico de seção em torno do eixo Y	
Zz	357.24	cm ³	Módulo plástico de seção em relação ao eixo Z (menor)	
Sz	232.66	cm ³	Módulo plástico de seção elástico em torno do eixo Z	
d	24.6	cm	Altura da seção transversal	
bf	25.7	cm	Largura da seção transversal	
tf	1.1	cm	Espessura da mesa	
tw	1.1	cm	Espessura da alma	
ry	10.5	cm	Raio de rotação - eixo Y	
rz	6.1	cm	Raio de rotação - eixo Z	
Material:				
Nome			AÇO	
Fy	255.00	MPa	Limite de escoamento mínimo do material especificado	
Fu	255.00	MPa	Resistência à tração mínima especificada	
E	210000.00	MPa	Coefficiente de elasticidade longitudinal	
Método LRFD de fator parcial				
Fic	0.90		Fator de resistência para compressão	[E1]
Fib	0.90		Fator de resistência para flexão	[F1.(1)]
Fiv	1.00		Fator de resistência para cisalhamento	[G2.1.(a)]
Flambagem local				
Lamf	12.02		A relação de largura para espessura para uma mesa	[Table B4.1a,b]
Lamw	17.93		A relação de largura para espessura para uma alma	[Table B4.1a,b]
Classe de seção para compressão simples				
Lamf_r_N	16.07		Esbeltez para a limitação da mesa não fino	[Table B4.1a]
ClassF_N	Não fino		Classe da mesa	[Table B4.1a]
Lamw_r_N	42.76		Esbeltez para a limitação da alma não fina	[Table B4.1a]
ClassW_N	Não fino		Classe da alma	[Table B4.1a]
Classe de seção para flexão simples (momento My)				
Lamf_p_My	10.90		Esbeltez para a limitação da mesa compacto	[Table B4.1b]
Lamf_r_My	28.70		Esbeltez para a limitação da mesa não compacto	[Table B4.1b]
ClassF_My	Não compacto		Classe da mesa	[Table B4.1b]
Lamw_p_My	107.90		Esbeltez para a limitação da alma compacta	[Table B4.1b]
Lamw_r_My	163.57		Esbeltez para a limitação da alma não compacta	[Table B4.1b]
ClassW_My	Compacto		Classe da alma	[Table B4.1b]

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
Esbeltez para a limitação do cisalhamento				
Lamw_p_Vz	72.95		Esbeltez para a limitação do cisalhamento para a alma	[G2.1.(b)]
Lamw_r_Vz	90.85		Esbeltez para a limitação do cisalhamento para a alma	[G2.2.(b)]
Parâmetros de análise da flambagem:				
Sobre o eixo Y da seção transversal				
Ly	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E2]
Ky	1.00		Coefficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E2]
Lcy	3.00	m	Comprimento de flambagem efetivo	[E2]
Lcy/ry	28.70		Esbeltez de flambagem de um membro	[E2]
Fey	2516.18	MPa	Tensão de flambagem crítica elástica	[E3]
Fcry	244.41	MPa	Tensão de flambagem de flexão crítica	[E3]
Pny	1955.27	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E3]
Sobre o eixo Z de seção transversal				
Lz	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E2]
Kz	1.00		Coefficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E2]
Lcz	3.00	m	Comprimento de flambagem efetivo	[E2]
Lcz/rz	49.12		Esbeltez de flambagem de um membro	[E2]
Fez	859.10	MPa	Tensão de flambagem crítica elástica	[E3]
Fcrz	225.21	MPa	Tensão de flambagem de flexão crítica	[E3]
Pnz	1801.67	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E3]
Flambagem por flexo-torção				
Lt	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E4]
Kt	1.00		Coefficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E4]
Kt*Lt/r0	24.78		Esbeltez de flambagem de um membro	[E4]
Fe	1047.27	MPa	Resistência da flambagem flexível-torsional elástico	[E4]
Fcrt	230.29	MPa	Tensão crítica de flambagem por flexo-torção	[E4]
Pnt	1842.34	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E4]
Parâmetros da análise de flambagem lateral:				
Rm	1.00		Parâmetro monossimétrico da seção transversal	[Comm.F1]
Cb	1.00		Fator de modificação de flambagem lateral com torção	[F1.(3)]
Lb	3.00	m	Comprimento sem travamento lateral de um membro	[F3.1]
Lpy	3.08	m	Comprimento sem travamento lateral de limitação para o estado limite de escoamento	[F3.1]
Lry	11.44	m	Comprimento sem travamento lateral de limitação para o estado limite de flambagem lateral com torção não elástico	[F3.1]
Mcry	918.66	kN*m	Momento crítico da flambagem de torção lateral	[F9.2]
Outros:				
Cw	414531.4	cm ⁶	Constante de empenamento	[E,F]
kvz	5.34		Coefficiente de flambagem de cisalhamento	[G2.1]
Cvz1	1.00		Coefficiente para o cálculo das tensões críticas na alma	[G2.1]
Forças internas				
Pr	544.16	kN	Resistência compressiva necessária	
Mry	-70.67	kN*m	Resistência à flexão necessária	
Vrz	-23.56	kN	Resistência ao cisalhamento necessária	

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
Resistências nominais				
Pn	1801.67	kN	Resistência de compressão nominal	[E3]
Sobre o eixo Y da seção transversal				
Mpy	201.83	kN*m	Momento fletor nominal do plástico	[F]
Mny[YD]	201.83	kN*m	Resistência da curvatura nominal no estado limite de escoamento	[F3.1]
Mny[LTB]	201.83	kN*m	Resistência da flambagem torsional lateral nominal	[F3.1]
Mny1[LTB]	201.83	kN*m	Resistência da flambagem torsional lateral nominal ($C_b = 1.0$)	[F3.1]
Mny[FLB]	197.10	kN*m	Resistência nominal para a flambagem local de uma mesa de compressão	[F3.2]
Mny	197.10	kN*m	Resistência nominal de flexibilidade	[F3]
Vnz	397.36	kN	Resistência nominal de cisalhamento	[G2.1]
Resistências do projeto				
Fic*Pn	1621.50	kN	Resistência compressiva do projeto	[E3]
Sobre o eixo Y da seção transversal				
Fib*Mpy	181.65	kN*m	Momento fletor do plástico do projeto	[F]
Fib*Mny[YD]	181.65	kN*m	Resistência da curvatura no estado limite de escoamento do projeto	[F3.1]
Fib*Mny[LTB]	181.65	kN*m	Resistência da flambagem lateral-torsional do projeto	[F3.1]
Fib*Mny1[LTB]	181.65	kN*m	Resistência da flambagem lateral-torsional do projeto	[F3.1]
Fib*Mny[FLB]	177.39	kN*m	Resistência do projeto para a flambagem local de uma mesa de compressão	[F3.2]
Fib*Mny	177.39	kN*m	Resistência à flexão do projeto	[F3]
Fiv*Vnz	397.36	kN	Resistência do projeto ao cisalhamento	[G2.1]
Formulas de verificação:				
UF[Lc/r]	0.25		$\text{Max}(Lc_y/r_y/(Lc/r), \text{max} ; Lc_z/r_z/(Lc/r), \text{max})$	estável
UF(H1_1a)	0.69		$Pr/(Fic*Pn) + 8/9*Mry/(Fib*Mny)$	Verificado
UF(G2)	0.06		$Vrz/(Fiv*Vnz)$	Verificado
Relação:				
RAT	0.69		Taxa de eficiência	Seção OK

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
MEMBRO: 1 PILAR ; COORDENADAS: x = 1.00 L = 3.00 m				
Propriedades da seção transversal: HSRO 10.75x0.375				
Ax	73.55	cm ²	Área da seção transversal	
Ay	36.77	cm ²	Área de cisalhamento - eixo Y	
Az	36.77	cm ²	Área de cisalhamento - eixo Z	
J	12861.55	cm ⁴	Constante de torção	
Iy	6409.96	cm ⁴	Momento de inércia da seção em torno do eixo Y	
Iz	6409.96	cm ⁴	Momento de inércia da seção em torno do eixo Z	
Zy	618.93	cm ³	Módulo plástico de seção em relação ao eixo Y (maior)	
Sy	469.51	cm ³	Módulo elástico de seção em torno do eixo Y	
Zz	618.93	cm ³	Módulo plástico de seção em relação ao eixo Z (menor)	
Sz	469.51	cm ³	Módulo plástico de seção elástico em torno do eixo Z	
d	27.3	cm	diâmetro	
tw	0.9	cm	Espessura da alma	
ry	9.3	cm	Raio de rotação - eixo Y	
rz	9.3	cm	Raio de rotação - eixo Z	
Material:				
Nome			AÇO	
Fy	255.00	MPa	Limite de escoamento mínimo do material especificado	
Fu	255.00	MPa	Resistência à tração mínima especificada	
E	210000.00	MPa	Coefficiente de elasticidade longitudinal	
Método LRFD de fator parcial				
Fic	0.90		Fator de resistência para compressão	[E1]
Fib	0.90		Fator de resistência para flexão	[F1.(1)]
Fiv	0.90		Fator de resistência para cisalhamento	[G1]
FiT	0.90		Fator de resistência para a ruptura	[H3.1]
Flambagem local				
Lamf	0.00		A relação de largura para espessura para uma mesa	[Table B4.1a,b]
Lamw	30.80		A relação de largura para espessura para uma alma	[Table B4.1a,b]
Classe de seção para compressão simples				
Lamw_r_N	90.59		Esbeltez para a limitação da alma não fina	[Table B4.1a]
ClassW_N	Não fino		Classe da alma	[Table B4.1a]
Classe de seção para flexão simples (momento My)				
Lamw_p_My	57.65		Esbeltez para a limitação da alma compacta	[Table B4.1b]
Lamw_r_My	255.29		Esbeltez para a limitação da alma não compacta	[Table B4.1b]
ClassW_My	Compacto		Classe da alma	[Table B4.1b]
Classe de seção para flexão simples (momento Mz)				
Lamw_p_Mz	57.65		Esbeltez para a limitação da alma compacta	[Table B4.1b]
Lamw_r_Mz	255.29		Esbeltez para a limitação da alma não compacta	[Table B4.1b]
ClassW_Mz	Compacto		Classe da alma	[Table B4.1b]
Esbeltez para a limitação do cisalhamento				
Lamw_p_Vz	72.95		Esbeltez para a limitação do cisalhamento para a alma compacta	[G2.1.(b)]

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
Lamw_r_Vz	90.85		Esbeltez para a limitação do cisalhamento para a alma	[G2.2.(b)]
Parâmetros de análise da flambagem:				
Sobre o eixo Y da seção transversal				
Ly	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E2]
Ky	1.00		Coefficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E2]
Lcy	3.00	m	Comprimento de flambagem efetivo	[E2]
Lcy/ry	32.14		Esbeltez de flambagem de um membro	[E2]
Fey	2007.06	MPa	Tensão de flambagem crítica elástica	[E3]
Fcry	241.79	MPa	Tensão de flambagem de flexão crítica	[E3]
Pny	1778.35	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E3]
Sobre o eixo Z de seção transversal				
Lz	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E2]
Kz	1.00		Coefficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E2]
Lcz	3.00	m	Comprimento de flambagem efetivo	[E2]
Lcz/rz	32.14		Esbeltez de flambagem de um membro	[E2]
Fez	2007.06	MPa	Tensão de flambagem crítica elástica	[E3]
Fcrz	241.79	MPa	Tensão de flambagem de flexão crítica	[E3]
Pnz	1778.35	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E3]
Flambagem por flexo-torção				
Lt	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E4]
Kt	1.00		Coefficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E4]
Kt*Lt/r0	22.72		Esbeltez de flambagem de um membro	[E4]
Fe	81031.47	MPa	Resistência da flambagem flexível-torsional elástico	[E4]
Fcrt	254.66	MPa	Tensão crítica de flambagem por flexo-torção	[E4]
Pnt	1873.01	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E4]
Parâmetros da análise de flambagem lateral:				
Rm	1.00		Parâmetro monossimétrico da seção transversal	[Comm.F1]
Cb	1.00		Fator de modificação de flambagem lateral com torção	[F1.(3)]
Lb	3.00	m	Comprimento sem travamento lateral de um membro (flambagem lateral com torção)	[F]
Outros:				
C	971.84	cm ³	Cisalhamento torsional constante	[H3.1]
Fcrvy	153.00	MPa	Tensão crítica (cisalhamento)	[G5]
Fcrvz	153.00	MPa	Tensão crítica (cisalhamento)	[G5]
Forças internas				
Pr	239.98	kN	Resistência compressiva necessária	
Tr	-0.02	kN*m	Resistência à torção necessária	
Mry	-55.28	kN*m	Resistência à flexão necessária	
Mrz	-9.90	kN*m	Resistência à flexão necessária	
Vrz	-18.43	kN	Resistência ao cisalhamento necessária	
Tensões nominais				
Pn	1778.35	kN	Resistência de compressão nominal	[E3]
Tn	148.69	kN*m	Resistência à torção nominal de um membro	[H3.1]

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
Sobre o eixo Y da seção transversal				
Mpy	157.83	kN*m	Momento fletor nominal do plástico	[F]
Mny[YD]	157.83	kN*m	Resistência da curvatura nominal no estado limite de escoamento	[F8.1]
Mny	157.83	kN*m	Resistência nominal de flexibilidade	[F8]
Vnz	562.64	kN	Resistência nominal de cisalhamento	[G5]
Sobre o eixo Z de seção transversal				
Mpz	157.83	kN*m	Momento fletor nominal do plástico	[F]
Mnz[YD]	157.83	kN*m	Resistência da curvatura nominal no estado limite de escoamento	[F8.1]
Mnz	157.83	kN*m	Resistência nominal de flexibilidade	[F]
Vny	562.64	kN	Resistência nominal de cisalhamento	[G5]
Resistências do projeto				
Fic*Pn	1600.52	kN	Resistência compressiva do projeto	[E3]
FiT*Tn	133.82	kN*m	Resistência torsional do projeto de um membro	[H3.1]
Sobre o eixo Y da seção transversal				
Fib*Mpy	142.04	kN*m	Momento fletor do plástico do projeto	[F]
Fib*Mny[YD]	142.04	kN*m	Resistência da curvatura no estado limite de escoamento do projeto	[F8.1]
Fib*Mny	142.04	kN*m	Resistência à flexão do projeto	[F8]
Fiv*Vnz	506.38	kN	Resistência do projeto ao cisalhamento	[G5]
Sobre o eixo Z de seção transversal				
Fib*Mpz	142.04	kN*m	Momento fletor do plástico do projeto	[F]
Fib*Mnz[YD]	142.04	kN*m	Resistência da curvatura no estado limite de escoamento do projeto	[F8.1]
Fib*Mnz	142.04	kN*m	Resistência à flexão do projeto	[F]
Fiv*Vny	506.38	kN	Resistência do projeto ao cisalhamento	[G5]
Formulas de verificação:				
UF[Lc/r]	0.16		Max(Lcy/ry/(Lc/r),max ; Lcz/rz/(Lc/r),max)	estável
UF(H1_1b)	0.53		Pr/(2*Fic*Pn) + Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz)	Verificado
UF(G5)	0.04		Vrz/(Fiv*Vnz)	Verificado
Relação:				
RAT	0.53		Taxa de eficiência	Seção OK

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
MEMBRO: 3 PILAR ; COORDENADAS: x = 1.00 L = 3.00 m				
Propriedades da seção transversal: HSRO 10.75x0.375				
Ax	73.55	cm2	Área da seção transversal	
Ay	36.77	cm2	Área de cisalhamento - eixo Y	
Az	36.77	cm2	Área de cisalhamento - eixo Z	
J	12861.55	cm4	Constante de torção	
Iy	6409.96	cm4	Momento de inércia da seção em torno do eixo Y	
Iz	6409.96	cm4	Momento de inércia da seção em torno do eixo Z	
Zy	618.93	cm3	Módulo plástico de seção em relação ao eixo Y (maior)	
Sy	469.51	cm3	Módulo elástico de seção em torno do eixo Y	
Zz	618.93	cm3	Módulo plástico de seção em relação ao eixo Z (menor)	
Sz	469.51	cm3	Módulo plástico de seção elástico em torno do eixo Z	
d	27.3	cm	diâmetro	
tw	0.9	cm	Espessura da alma	
ry	9.3	cm	Raio de rotação - eixo Y	
rz	9.3	cm	Raio de rotação - eixo Z	
Material:				
Nome			AÇO	
Fy	255.00	MPa	Limite de escoamento mínimo do material especificado	
Fu	255.00	MPa	Resistência à tração mínima especificada	
E	210000.00	MPa	Coefficiente de elasticidade longitudinal	
Método LRFD de fator parcial				
Fic	0.90		Fator de resistência para compressão	[E1]
Fib	0.90		Fator de resistência para flexão	[F1.(1)]
Fiv	0.90		Fator de resistência para cisalhamento	[G1]
Flambagem local				
Lamf	0.00		A relação de largura para espessura para uma mesa	[Table B4.1a,b]
Lamw	30.80		A relação de largura para espessura para uma alma	[Table B4.1a,b]
Classe de seção para compressão simples				
Lamw_r_N	90.59		Esbeltez para a limitação da alma não fina	[Table B4.1a]
ClassW_N	Não fino		Classe da alma	[Table B4.1a]
Classe de seção para flexão simples (momento My)				
Lamw_p_My	57.65		Esbeltez para a limitação da alma compacta	[Table B4.1b]
Lamw_r_My	255.29		Esbeltez para a limitação da alma não compacta	[Table B4.1b]
ClassW_My	Compacto		Classe da alma	[Table B4.1b]
Esbeltez para a limitação do cisalhamento				
Lamw_p_Vz	72.95		Esbeltez para a limitação do cisalhamento para a alma compacta	[G2.1.(b)]
Lamw_r_Vz	90.85		Esbeltez para a limitação do cisalhamento para a alma não compacta	[G2.2.(b)]
Parâmetros de análise da flambagem:				
Sobre o eixo Y da seção transversal				
Ly	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E2]

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
Ky	1.00		Coeficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E2]
Lcy	3.00	m	Comprimento de flambagem efetivo	[E2]
Lcy/ry	32.14		Esbeltez de flambagem de um membro	[E2]
Fey	2007.06	MPa	Tensão de flambagem crítica elástica	[E3]
Fcry	241.79	MPa	Tensão de flambagem de flexão crítica	[E3]
Pny	1778.35	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E3]
Sobre o eixo Z de seção transversal				
Lz	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E2]
Kz	1.00		Coeficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E2]
Lcz	3.00	m	Comprimento de flambagem efetivo	[E2]
Lcz/rz	32.14		Esbeltez de flambagem de um membro	[E2]
Fez	2007.06	MPa	Tensão de flambagem crítica elástica	[E3]
Fcrz	241.79	MPa	Tensão de flambagem de flexão crítica	[E3]
Pnz	1778.35	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E3]
Flambagem por flexo-torção				
Lt	3.00	m	Comprimento de flambagem sem travamento lateral	[E4]
Kt	1.00		Coeficiente de comprimento de flambagem efetiva	[E4]
Kt*Lt/r0	22.72		Esbeltez de flambagem de um membro	[E4]
Fe	81031.47	MPa	Resistência da flambagem flexível-torsional elástico	[E4]
Fcrt	254.66	MPa	Tensão crítica de flambagem por flexo-torção	[E4]
Pnt	1873.01	kN	Resistência compressiva nominal de um membro	[E4]
Parâmetros da análise de flambagem lateral:				
Rm	1.00		Parâmetro monossimétrico da seção transversal	[Comm.F1]
Cb	1.00		Fator de modificação de flambagem lateral com torção	[F1.(3)]
Lb	3.00	m	Comprimento sem travamento lateral de um membro (flambagem lateral com torção)	[F]
Outros:				
Fcrvy	153.00	MPa	Tensão crítica (cisalhamento)	[G5]
Fcrvz	153.00	MPa	Tensão crítica (cisalhamento)	[G5]
Forças internas				
Pr	541.49	kN	Resistência compressiva necessária	
Mry	-55.28	kN*m	Resistência à flexão necessária	
Vrz	-18.43	kN	Resistência ao cisalhamento necessária	
Tensões nominais				
Pn	1778.35	kN	Resistência de compressão nominal	[E3]
Sobre o eixo Y da seção transversal				
Mpy	157.83	kN*m	Momento fletor nominal do plástico	[F]
Mny[YD]	157.83	kN*m	Resistência da curvatura nominal no estado limite de escoamento	[F8.1]
Mny	157.83	kN*m	Resistência nominal de flexibilidade	[F8]
Vnz	562.64	kN	Resistência nominal de cisalhamento	[G5]
Resistências do projeto				
Fic*Pn	1600.52	kN	Resistência compressiva do projeto	[E3]
Sobre o eixo Y da seção transversal				

Símbolo	Valores	Unidade	Descrição do símbolo	Seção
Fib*Mpy	142.04	kN*m	Momento fletor do plástico do projeto	[F]
Fib*Mny[YD]	142.04	kN*m	Resistência da curvatura no estado limite de escoamento do projeto	[F8.1]
Fib*Mny	142.04	kN*m	Resistência à flexão do projeto	[F8]
Fiv*Vnz	506.38	kN	Resistência do projeto ao cisalhamento	[G5]
Formulas de verificação:				
UF[Lc/r]	0.16		Max(Lcy/ry/(Lc/r),max ; Lcz/rz/(Lc/r),max)	estável
UF(H1_1a)	0.68		Pr/(Fic*Pn) + 8/9*Mry/(Fib*Mny)	Verificado
UF(G5)	0.04		Vrz/(Fiv*Vnz)	Verificado
Relação:				
RAT	0.68		Taxa de eficiência	Seção OK