

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

Laudo Técnico da Cobertura da **Arena Joinville**

Engº Marcos Donisete Zavaglio
Engenheiro Civil/Mecânico
CREA 5060488452

Joinville, 13 de junho de 2019.





1
2
3 **ARENA JOINVILLE**
4

5 **Proprietário:** Prefeitura Municipal de Joinville - SC

6 **Endereço:** Rua Inácio Bastos, 1084 - Bucarein.

7 Joinville/SC


8 Coordenadas do terminal (google maps)

9 26°19'00.2"S

10 48°50' 00.9"W

11
12
13
14
15
 **ZAVAGLIO**
ESTRUTURAS METÁLICAS

Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 - Araraquara-SP - Tel.: (16) 3335-8839
CNPJ: 08.057.547/0001-35 - Insc. Est.: 181.178.863.113 - CREA: 0786566



Laudo técnico da cobertura da Arena Joinville

2

01. OBJETO DOS SERVIÇOS

Elaboração de "laudo técnico da cobertura da Arena Joinville" com área de 3904,00 m² e dimensões de 122,00 x 32,00 m e informar as atuais condições de conservação e estabilidade da cobertura metálica. Para tanto foi gerada a ART 6841541-0 CREA-SC

7

02. FATO GERADOR

Foi em atendimento ao Termo de Contrato n° 437/2018.

03. EQUIPE TÉCNICA / PERÍODO DOS SERVIÇOS

A vistoria para elaboração do "laudo técnico da cobertura da Arena Joinville" acima descrito foi realizado na data de 28/01/2019 a 14/06/2019 pelo Eng° Marcos D. Zavaglio, para identificar possíveis discontinuidades e diagnóstico das reais condições da estrutura metálica, telhas, cumeeiras, calhas, rufos, testeiiras e fixações, da cobertura da arquibancada da Arena Joinville, visando à análise da viabilidade técnica e econômica de recuperação com ampliação da estrutura existente, ou justificar a contratação de uma nova estrutura.

17

04. NORMAS TÉCNICAS E DOCUMENTOS CONSULTADOS:

Para a execução dos trabalhos, foram utilizados como referência os seguintes documentos técnicos:

4.1 – Normas Técnicas Consultadas:

- NBR- 8800/08: "Projeto de estruturas de aço";
- NBR 14762/10: "Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio"
- NBR 6123/88: "Forças devidas ao vento em edificações"
- NBR 6120/80: "Cargas para cálculo de estruturas de edificações"
- NBR NM 334– Ensaios não destrutivos — Líquidos penetrantes — Detecção de discontinuidades.

27



- 1 -NBR NM 315 – Ensaio não destrutivo – Ensaio Visual – Procedimento.
- 2 -NBR NM 327 – Ensaio não destrutivo – Líquido Penetrantes – Terminologia
- 3 -NBR NM 330 – Ensaio não destrutivo – Ensaio por ultrassom – Princípios gerais

4 4.2 – Documentos Fornecidos para Consulta:

5 - Projeto estrutural;

6 Projeto de Montagem – 5 pranchas – Fornecido pela Prefeitura Municipal de Joinville

7 Sendo as M-001/M-001A/M-002/M-003/Fundação Engepasa (projetos de montagem)

8 Responsáveis técnicos: Não foi identificado

9
10 Projeto estrutura metálica – 26 pranchas – fornecida pelo Eng° Edgar Trautwein, cujo nome consta no projeto
11 de montagem que foi fornecido pela Prefeitura Municipal de Joinville-SC.

12
13 - Memória de cálculo;

14 Memória de cálculo da cobertura principal – não foi fornecida

15
16 - Memorial descritivo;

17 Memória descritivo - não foi fornecido

18
19 -Acervo fotográfico;

20 Feito durante a inspeção 877 fotos

21 - Ofícios de esclarecimento encaminhados pela Prefeitura Municipal de Joinville;

22 Ofício SEI Nº 3794294/2019 - SESPORTE.UPE – enviado dia 21/05/2019 onde a empresa Infrasul em resposta
23 quanto à caracterização do tipo de aço utilizado na fabricação, indica a utilização do aço laminado USI SAC
24 300. A duvida persiste quanto ao tipo de aço utilizado, pois se trata de uma estrutura executada em aço
25 dobrado e conforme NBR 14762/10, item 4.2 – aços sem qualificação estrutural, não devem ser adotados fy
26 superiores a 180 Mpa.

27 28 29 **05. CONSIDERAÇÕES GERAIS:**

30 - Este relatório tem por objetivo a realização de análise da estrutura metálica de cobertura da Arena
31 Joinville, demonstrar não conformidades e diagnostico das reais condições da estrutura analisando a
32 viabilidade técnica para recuperação e ampliação da estrutura existente ou a contratação de uma nova
33 estrutura;



- 1 Datas das ocorrências
- 2 Projeto Estrutural – 07/2004
- 3 Execução – 09/2004
- 4



5
6
7

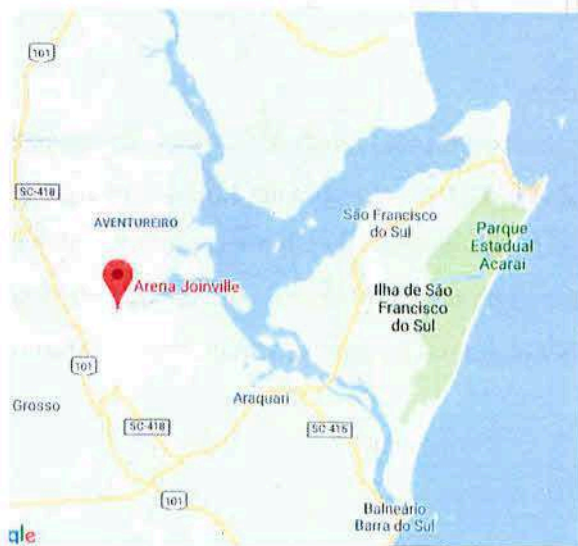


Figura 1 - Localização da Arena

8
9

10

- 11 As Direções predominantes dos ventos são de quadrantes leste, sudeste e nordeste. A Serra do Mar funciona como
- 12 uma barreira orográfica para os ventos de oeste. Enquanto a circulação marítima e a influência da Massa Tropical

1 Atlântica favorecem os ventos de leste. A passagem das frentes frias, e da Massa Polar também influenciam os ventos
2 na região. (fonte: <http://geokiriri.com/direcao-predominante-dos-ventos-em-joinville/>)

3 4 **06. SERVIÇOS PRESTADOS:**

5 O metodologia de escolha das peças a serem ensaiadas considerou dois fatores para formulação de um critério, sendo
6 dentro da região de maior solicitação, a escolha de peças que apresentaram notória descontinuidade e cuja falha pode
7 levar todo o conjunto a ruína. Foi utilizado como apoio na vistoria o drone Phantom DJi 4, com o objetivo de fotografar
8 locais de difícil acesso em áreas externas.

9 **6.1 – Análise do sistema de tratamento de superfícies e pintura:**

10 - Os resultados foram obtidos após medição das espessuras através de um medidor magnético MCT-300 da marca
11 Minipa, complementando com a inspeção técnica visual inicial.

12 13 **6.2 – Verificação dimensional e geométrica das peças:**

14 - Resultados obtidos por medição direta, utilizando-se ultrassom, paquímetro, trena metálica ou trena laser para
15 verificar a características geométricas das peças e dos conjuntos, confrontando o resultado com o projeto apresentado.
16 - A Inspeção visual consiste na verificação de alterações dimensionais, padrão de acabamento superficial, observação
17 de descontinuidades superficiais, deformações, trincas, corrosão etc...

18 **6.3 – Ensaio de soldas pelo método Líquido penetrante:**

19 - A inspeção técnica visual teve como principal objetivo a verificação das anomalias presentes nas ligações entre peças
20 que compõem a estrutura em questão. A inspeção foi realizada por amostragem, e escolhidos dois pontos considerados
21 críticos em relação aos esforços em peças principais. Foi utilizado Líquido Penetrante SKL-WP, marca Magnaflux
22 validade nov/23, e Revelador SKD-S2 val nov/23.

23 - O líquido penetrante é aplicado na superfície do material e absorvido por capilaridade, após limpo e seco aplica-se o
24 revelador, revelando as eventuais descontinuidades. Recomendado para materiais não porosos em geometrias
25 complexas. A escolha dos pontos a serem ensaiados, levou em consideração as soldas mais solicitadas e a facilidade de
26 execução do ensaio.

27 **6.4 – Análise da fabricação e montagem da estrutura metálica:**

28 - Verificação por meio de inspeção visual, se o executado esta de acordo com o projeto, se os materiais utilizados são os
29 indicados nos projetos e a montagem de acordo com as boas praticas da construção metálica.

30 **6.5 – Inspeção das telhas, cumeeiras, calhas e rufos:**

31 - A inspeção técnica visual teve como principal objetivo a verificação das anomalias presentes.



1 6.6 – Refazer o cálculo considerando os esforços adicionais relativos à ampliação da estrutura:

2 - Refazer o cálculo para verificação de capacidade, considerando a ampliação da mesma.

3 **07. RESULTADOS OBTIDOS:**

4 Com base nos serviços realizados, podemos classificar os seguintes fatores:

5 **7.1 – Análise do sistema de tratamento de superfícies e pintura:**

6 Registrou a ocorrência de pontos de corrosão nos elementos de estrutura. A corrosão nos elementos ocasionam uma
7 perda de seção e consequente perda de resistência. Também se pode afirmar que há corrosão nas soldas das peças
8 secundárias, que incorrem na redução de resistência dessas ligações, muitas vezes ocasionando o desprendimento
9 entre os elementos de um conjunto.

10



11 Foto 1- Tesouras de travamento

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

- A espessura das camadas de tintas dos perfis principais é, em média, superior ao mínimo recomendável 140 μm , foram observados locais onde o conjunto atingiu 198 μm . Foram desconsideradas medidas muito superiores a 200 μm , por ter indícios de não se tratar da pintura original.



Foto 2 – Medição de espessura de Tinta

Nas fotos 3 e 4 há evidência de que as peças (perfis, cantoneiras, etc.) não foi submetido a processo de tratamento prévio adequado, fato que daria uma maior proteção e aderência das camadas de pintura ao metal base. Tal fato é evidenciado pela presença na pintura de carepas de corrosão não aderidas ao substrato metálico.

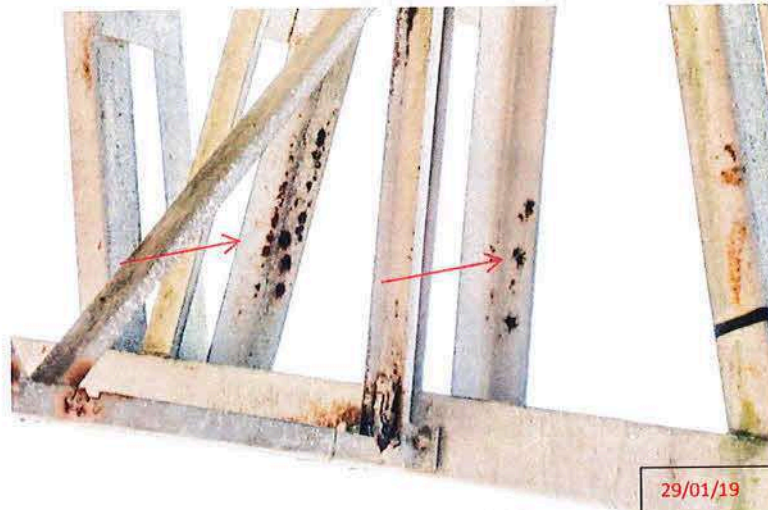


Foto 3- Corrosão acentuada nas cantoneiras



Foto 4-Corrosão nos apoios

Nas fotos 6 e 7 temos um exemplo de corrosão galvânica, devido à formação de uma pilha eletrolítica, quando peças de metais diferentes podem se comportar como eletrodos, promovendo os efeitos químicos de oxidação e redução. Esse tipo de contato é comum em construções na galvanização de parafusos, porcas e arruelas, e é provocada pela ação da umidade do ar com o oxigênio da atmosfera, e também pela maresia nas regiões litorâneas.



Foto 5 – Porcas oxidadas



Foto 6- Delaminação das porcas de junção das tesouras



Foto 7- Oxidação na parte externa da tesoura no banzo superior (corrosão uniforme)

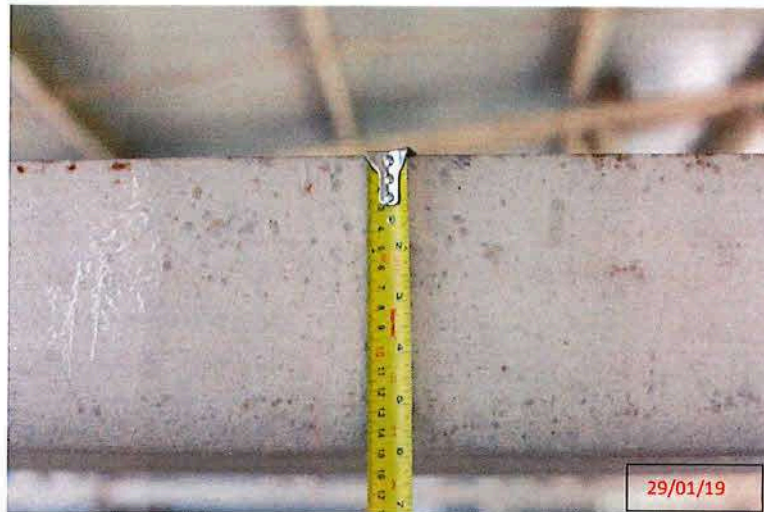
1
2
3
4
5
6
7

8
9

- 10
11 7.2 – Verificação dimensional e geométrica das peças:
12 - Medidas aferidas por amostragem.

 **ZAVAGLIO**
ESTRUTURAS METÁLICAS

Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566



1
2
3

Foto 8- Verificação da geometria das peças



4
5
6
7

Foto 9- Aferição feita por ultrassom

Na foto acima, o perfil indicado em projeto da tesoura TS 09- F005- U300x150x9,50 mm - 2500 mm.



1

2

Foto 10- Medidas das diagonais



3

4

Foto 11 – Aferição com ultrassom

5 Na foto acima, o perfil indicado em projeto da tesoura TS13- Prancha F007- U300x150x6,35 mm -1810 mm.

6 **7.3 – Ensaio de soldas pelo método Líquido penetrante:**

7 - Banzo inferior da tesoura TS09 (Líquido Penetrante SKL-WP, marca Magnaflux validade nov/23, e Revelador SKD-S2
8 val nov/23.)



1
2
3
4
5
6

Foto 12- Teste LP

- Vigas de travamento VT3-F012



7
8
9
10

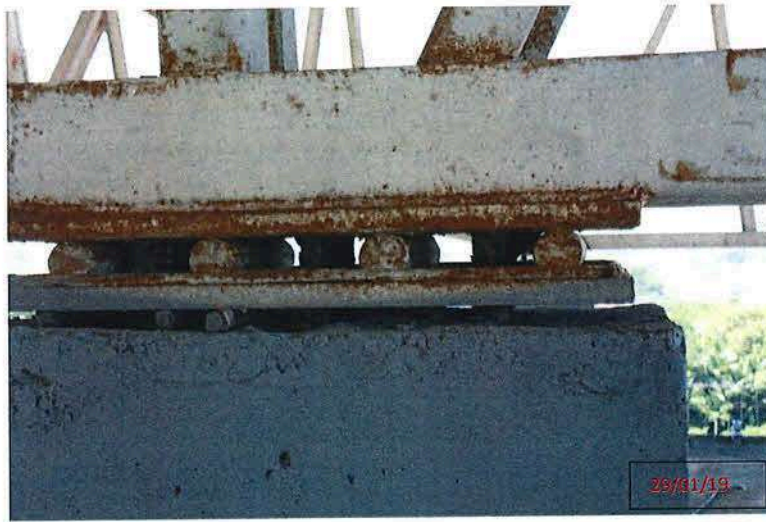
Foto 13- Teste LP

A peça acima apresenta problemas de montagem e estado avançado de corrosão

7.4 – Análise da fabricação e montagem da estrutura metálica:



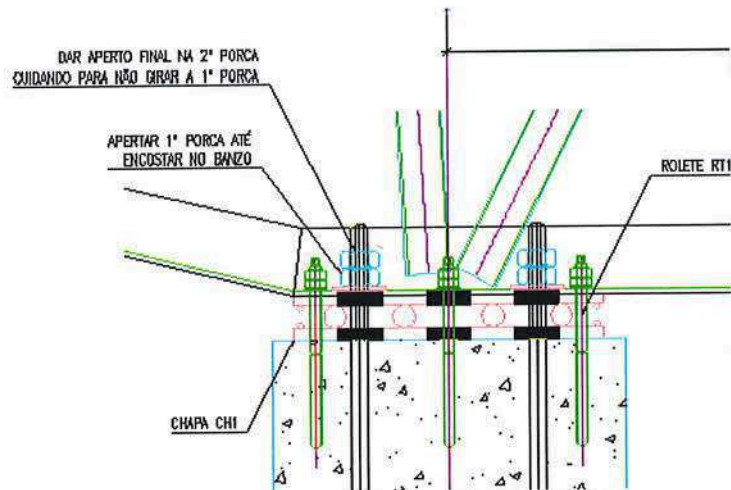
- 1 - Verificação por meio de inspeção, se o executado esta de acordo com o projeto, e se os materiais utilizados
 2 são os indicados nos projetos.



3
 4 **Foto 14 – Aparelho de apoio da tesoura (tesoura eixo 6 com eixo C')**

5 Faltam dois pares de chumbadores (eixo C') – Prancha C-001

6 A chapa de base não apoia corretamente sobre a cabeça do pilar, caracterizando um problema na
 7 montagem.



9
 10 **Figura 2 – Desenho Base (indicado em projeto)**



Foto 15- Aparelho de Apoio

O reforço na base, possivelmente problemas na ancoragem.

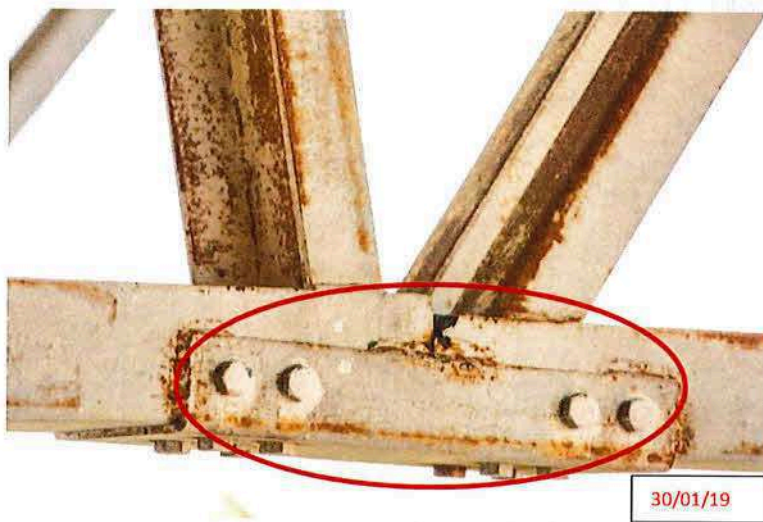
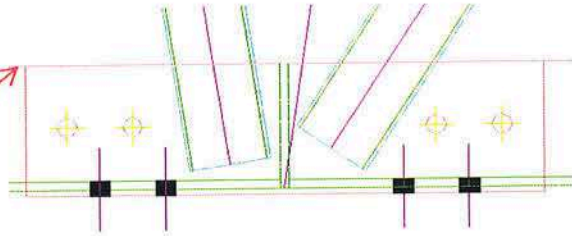


Foto 16 - Junta Banzo inferior Tesoura (TS9/TS13)

1
2
3
4

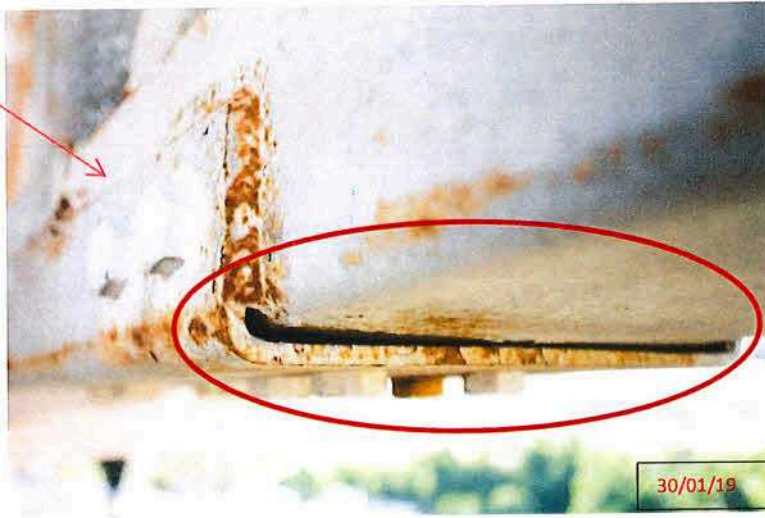
5
6



1
2
3

Figura 3- Desenho indicativo da junção no projeto

O projeto indica que a tala de junção tem a altura mesa igual à altura da mesa do banzo



4
5
6

Foto 17- Tala de Junção de tesoura (TS9/TS13)



7
8

Foto 18- Desalinhamento na junção parafusada (TS9/TS13)



A handwritten signature in blue ink, located in the bottom right corner of the page.

- 1 Ligações parafusadas desalinhadas, complementadas com soldas feitas de maneira precária.



Foto 19 – Parafusos frouxos

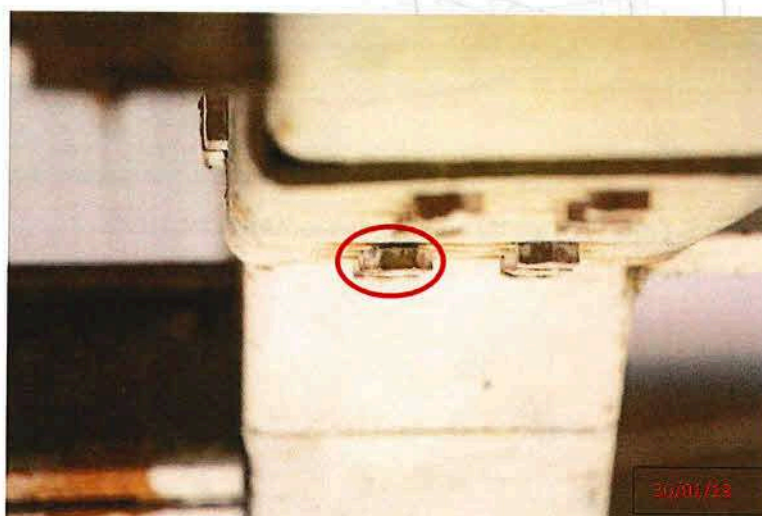


Foto 20- Parafusos necessitando de aperto



Foto 21- Suporte das LC e terças em desacordo com o Projeto

Suporte de travamento SP2 – F010 travamento em desacordo com o indicado em projeto, embora sem maiores implicações quanto à estabilidade da peça.

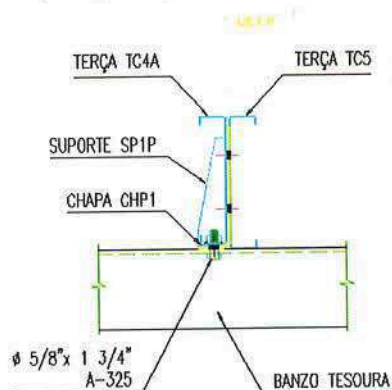


Figura 4 – Indicação de projeto para o suporte de terça



1
2
3

Foto 22- Redução da seção da cantoneira no apoio (eixo 8 com eixo D1)



4
5
6

Foto 23- Redução da seção da cantoneira no apoio

7 **7.5 – Inspeção das telhas, cumeeiras, calhas e rufos:**

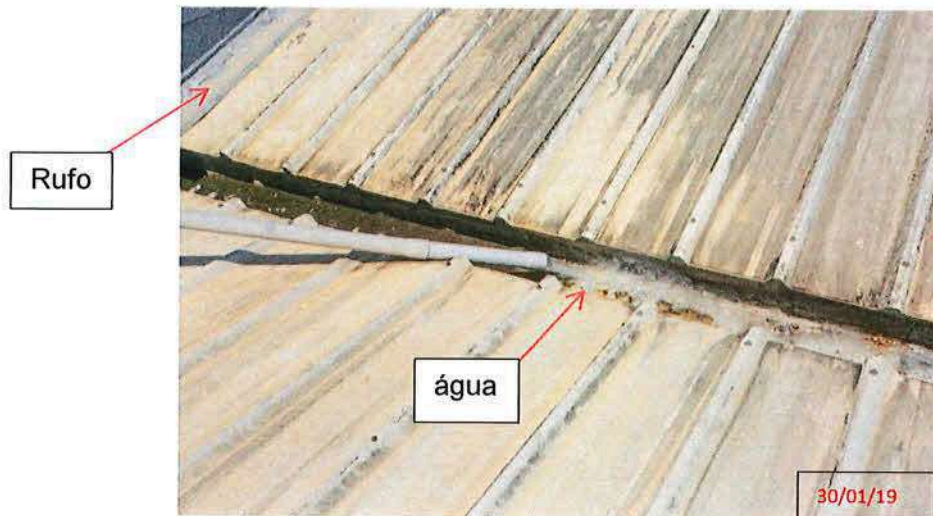
8 - A inspeção técnica visual teve como principal objetivo a verificação das anomalias presentes.



Foto 24- Calha com vazamento



Foto 25 – Calha sem fixação adequada



1

2

Foto 26- Fluxo constante de água nas calhas

3

O reservatório com problema – corre agua pelo dreno que lança na calha 24h



4

5

Foto 27 – Calha com matéria orgânica

6

Calha cheia de agua e matéria orgânica devido à falta de manutenção



1

2

3

Foto 28- Pintura de proteção do telhado desgastada

Telhas com a pintura de proteção da telha desgastada



4

5

6

Foto 29 – Pintura de proteção da telha



1
2
3

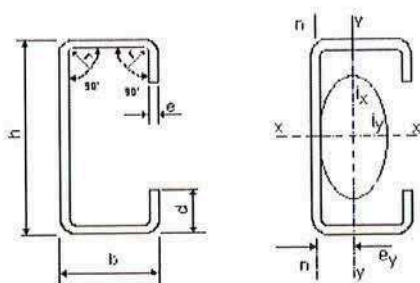
Foto 30 – Falta de cumeeira



4
5
6
7
8

Foto 31 – Terças com flambagem excessiva (não atende Anexo A - NBR 14762/10)

Terças com flambagem excessiva em torno dos dois eixos X-X e Y-Y



h - altura da alma
b - largura das abas
d - altura do elemento enrijecido
e - espessura da chapa
ey - distância entre o

eixo y-ye a fibra paralela mais externa
S - área da seção
P - peso por metro linear

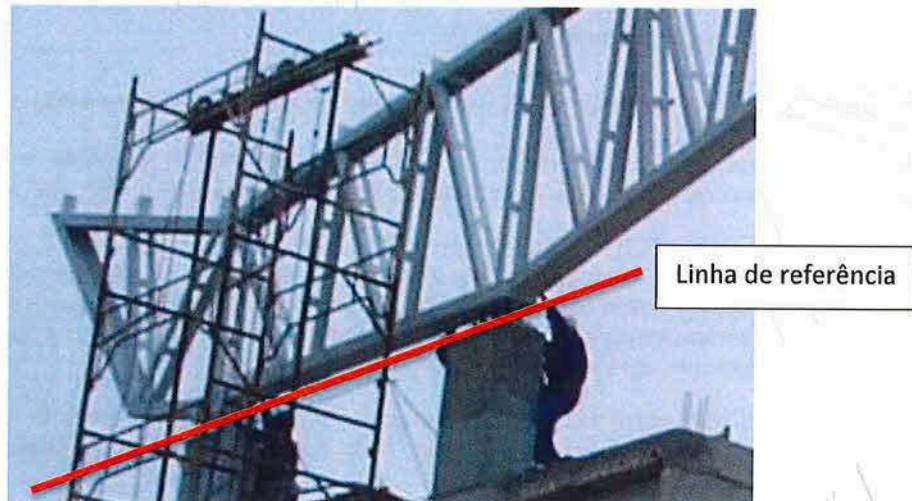
Jx - momento de inércia, eixo x - x
Jy - momento de inércia, eixo y - y
Wx - módulo de resistência, eixo x - x
Wy - módulo de resistência, eixo y - y
r - raio de curvatura interno
ix - raio de giro eixo x
iy - raio de giro eixo y

Figura 5 – Eixos de referencia

08. CONCLUSÃO:

- Classificação de Risco ao Usuário, meio ambiente e ao Patrimônio dentro dos limites da inspeção, cujo objeto é a cobertura da arena – Crítica (risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralizações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível de vida útil, conforme sistema IBAPE. **Recomendando intervenção imediata**),
- Fazendo a comparação dimensional e geométrica entre os perfis indicados em projeto e os perfis efetivamente aplicados, as peças aferidas estão de acordo com o indicado em projeto, no entanto conforme foto 22 existe suportes de terça e linhas de corrente com variações, bem como talas de emenda como apresentado na foto 18.
- As soldas mais solicitadas na tesoura principal foram inspecionadas estão em conformidade.
- O percentual de perda da seção por corrosão é de 0,94%, que conforme NBR 8800/08, tab. N1, se enquadra na categoria C4 Alta, com perda de massa entre 400 a 650 g/m².
- De acordo com a NBR 14762/10, item 9.1.2 que estabelece valores máximos da relação largura – espessura, na tab. 4, indica $(b/t)_{\max} = 90$ (Alma de perfis U não enrijecidos sujeita à compressão uniforme), após a perda de massa $(b/t) = 55$, dentro dos valores aceitáveis nesse item, no entanto não atendem quanto à resistência de projeto conforme indicado em memoria de cálculo feito considerando seção plena e que agrava com a perda de seção.
- Não existe nas pranchas de projeto especificação técnica indicando o tipo de aço com suas características mecânicas ou químicas, bem como a indicação técnica sobre as soldas a serem executadas.
- Não foram apresentadas as características técnicas e indicações sobre o preparo da superfície para proteção atmosférica.
- Conforme se pode observar, existem telhas com desgaste acentuado da camada protetora no pano superior do telhado, que pode ter sido causado por falha na produção da mesma, problemas no armazenamento e ou por utilização de algum meio ácido para limpeza.

- 1 > Os rufos estão em conformidade, no entanto algumas calhas apresentaram problemas de fixação e
2 vazamento.
- 3 > A qualidade de uma estrutura metálica depende, entre outras coisas, da escolha correta dos materiais
4 conforme parâmetros específicos do projeto como, por exemplo, sua localização em ambientes
5 agressivos. A ausência de informação no projeto sobre o tipo de aço, detalhamento das juntas
6 soldadas, tipo de preparação da base e pintura, bem como a falta de documentação das diversas
7 etapas de construção e tipos de ensaios executados durante essa fase, visando atender a qualidade
8 e a eficiência da construção, é um indicio sobre a possibilidade de não conformidade nessas etapas
9 construtivas sejam elas de projeto ou construção tendo como agravante a falta de manutenção.
- 10 > A degradação dos parafusos de ligação e fixação, compromete o desempenho dos elementos
11 estruturais, comprometendo a segurança da estrutura.
- 12 > A estrutura atual não apresenta capacidade suporte para a ampliação, apenas deveria ser considerado
13 o reforço, mesmo para o aço USI SAC 300
- 14 > Conforme e-mail enviado dia 26/mar/2019 pelo Eng° Aurelio Flenik, com fotos da montagem da
15 estrutura é possível constatar na foto 32, que naquele momento não se observa as deformações na
16 emenda das tesouras entre os eixos C e C', ocorrido possivelmente após a montagem das telhas.



17
18 **Foto 32- Alinhamento Banzo durante montagem**

- 19 > De acordo com a NBR 15.575 define o que é vida útil de projeto (VUP), conceito que difere de prazo
20 de garantia. A VUP é o tempo dentro do qual o edifício e seus sistemas devem atender aos
21 requisitos de desempenho estabelecidos. Já o Prazo de Garantia é o período de tempo no qual a
22 ocorrência de defeitos não pode ser justificada por mau uso ou envelhecimento natural, garantido
23 pelo construtor ou incorporador. Desse modo, as estruturas, independentemente de sua

1 constituição, deverão apresentar uma vida útil de projeto de, no mínimo, 40 anos conforme tab. 1
2 da norma.

3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28

Tabela 1 – VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP) PARA DIFERENTES SISTEMAS DA EDIFICAÇÃO. DE ACORDO COM A NBR 15.575

Sistema	VUP mínima, anos
Estrutura	≥ 40
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20
Pisos internos	≥ 13

- 4
- 5 ➤ De acordo com a NBR 14762/10, os estados-limites últimos (ELU) relacionados com a segurança da
6 estrutura sujeita as combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a sua vida útil
7 projetada, e os estados-limites de Serviço (ELS) estão relacionados com o desempenho da
8 estrutura sob condições normais de utilização. Conforme NBR 14762/10 no item 5.2.2 o método
9 dos estados-limites utilizado para dimensionamento de uma estrutura exige que nenhum estado-
10 limite aplicável seja excedido quando a estrutura for submetida a todas as combinações
11 apropriadas de ações. Se um ou mais estados-limites forem excedidos, a estrutura não atende mais
12 aos objetivos para os quais foi projetada. Conforme demonstrado em memória de cálculo à
13 estrutura não atende aos estados-limites, assim a estrutura não possui vida útil residual, sendo
14 necessário que seja feito com urgência o reforço recomendado, jateamento, pintura, troca dos
15 travamentos e implantação de um plano de manutenção periódica com vistoria anual para atestar
16 as reais condições, retomando a sua funcionalidade e a vida útil prevista.
- 17 ➤ Conforme ANEXO N – NBR 8800 – Uma corrosão significativa do aço acontece quando a umidade
18 relativa do ar for superior a 80% e em temperaturas superiores a 0° C. Entretanto, se agentes
19 poluentes ou sais higroscópicos estiverem presentes a corrosão pode acontecer em umidades
20 inferiores.
- 21 ➤ Conforme Item N.2 NBR 8800 – Classificação dos ambientes- Tabela N1, a estrutura analisada é
22 classificada com C5-M muito alta (marinha), estruturas em áreas costeiras e offshore com alta
23 salinidade, e tem perda de massa entre 650 a 1500 g/cm², após um ano de exposição.
- 24 ➤ Conforme item 10.4.4 da NBR 8800 – Para assegurar que a estrutura mantenha suas características
25 durante o período de vida útil de projeto, os elementos de aço, inclusive os integrantes de estruturas
26 mistas, devem ser devidamente protegidos contra corrosão, e quaisquer outros fatores de
27 agressividade, quando isto for necessário, sendo que tal proteção deve sofrer um processo de
28 inspeção periódica.



- 1 > A aparição de pites de corrosão nos perfis, possivelmente ocasionado pela ausência de exigência
 2 mínima de especificação de tratamento prévio do metal base de perfis de chapas dobradas, em
 3 especial que se recomenda o uso do JATEAMENTO, etapa considerada importante para a garantia de
 4 durabilidade e vida útil de estruturas metálicas, sobretudo em zonas muito próximas da orla marítima.
- 5 > item N.4.4 NBR 8800 – precauções para prevenir a retenção de água ou sujeira
- 6 > Não existe uma única causa para deterioração, mas sim uma combinação de causas prováveis como
 7 por falha na indicação ou na execução do preparo e pintura para ambientes agressivos, materiais
 8 utilizados, e ainda agravado pela falta de manutenção durante os 15 anos de utilização ou
 9 manutenção sem o devido conhecimento técnico.
- 10 > Não foi apresentado pelo contratante a memória de cálculo e memorial descritivo do projeto
 11 executado, não sendo possível fazer qualquer comentário sobre os mesmos.
- 12
- 13 > Resultados do cálculo estrutural

14 Obs.: Não foi considerado no cálculo peças com perda seção.

15 Cálculo feito de acordo com NBR 14762- vide Anexo I – memória de cálculo

item	peça	perfil	posição	dimensionamento	ver
1	perfil de projeto	U 300x100# 3,75	TS1 - bz superior	atende	mc
	perfil utilizado	U 300x100# 3,75	TS1 - bz superior	atende	
2	perfil de projeto	U 300x100# 4,75	TS1 - bz inferior	atende	mc
	perfil utilizado	U 300x100# 4,75	TS1 - bz inferior	atende	
3	perfil de projeto	2L 100x 3,85	TS1 - diagonais	não atende	mc
	perfil utilizado	2L 100x 3,85	TS1 - diagonais	não atende	
obs. : TS1=TS2=TS3=TS4					

item	peça	perfil	posição	dimensionamento	ver
1	perfil de projeto	U 300x100# 6,35	TS1 - bz superior	não atende	mc
	perfil utilizado	U 300x100# 6,35	TS1 - bz superior	não atende	
2	perfil de projeto	U 300x100# 4,75	TS1 - bz inferior	não atende	mc
	perfil utilizado	U 300x100# 4,75	TS1 - bz inferior	não atende	
3	perfil de projeto	2L 100x 4,76	TS1 - diagonais	não atende	mc
	perfil utilizado	2L 100x 4,76	TS1 - diagonais	não atende	
obs. : TS5=TS6=TS7=TS8					



item	peça	perfil	posição	dimensionamento	ver
1	perfil de projeto	U 300x100# 3,75	TS9 - bz superior	não atende	mc
	perfil utilizado	U 300x100# 3,75	TS9 - bz superior	não atende	
2	perfil de projeto	U 300x100# 4,75	TS9 - bz inferior	não atende	mc
	perfil utilizado	U 300x100# 4,75	TS9 - bz inferior	não atende	
3	perfil de projeto	2L 100x 3,85	TS9 - diagonais	não atende	mc
	perfil utilizado	2L 100x 3,85	TS9 - diagonais	não atende	
obs. : TS9=TS10					

item	peça	perfil	posição	dimensionamento	ver
1	perfil de projeto	U 300x150# 6,4	TS13 - bz superior	atende	mc
	perfil utilizado	U 300x150# 6,4	TS13 - bz superior	atende	
2	perfil de projeto	U 300x150# 10	TS13 - bz inferior	atende	mc
	perfil utilizado	U 300x150# 110	TS13 - bz inferior	atende	
3	perfil de projeto	2L 100x 6,35	TS13 - diagonais	atende	mc
	perfil utilizado	2L 100x 6,35	TS13 - diagonais	atende	
obs. : TS13=TS14					

09. Medidas Corretivas:

- Diante do exposto acima a estrutura existente não cumpre os requisitos da norma atual, recomenda-se preventivamente interditar a arquibancada coberta (cadeiras da arquibancada da área coberta) ao uso e proceder o mais breve possível à recuperação da estrutura. Caso não seja viável a interdição, um especialista em estrutura metálica deverá antes de qualquer evento avaliar e atestar as condições de segurança para uso específico.
- Deverá ser feito ensaio destrutivo para qualificar o tipo de aço empregado na estrutura, para então se refazer o projeto e verificar a possibilidade de reforço ou a troca de toda estrutura, pois o tipo de aço é fator preponderante na viabilidade de execução de tais serviços.
- Realinhar e enrijecer as ligações parafusadas, substituindo as secções oxidadas das peças deterioradas nas ligações parafusadas das tesouras TS9/TS13(bz inf.), TS10/TS14(bz inf.), TS11/TS15(bz inf.), TS12/TS160(bz inf.).
- Nivelar a base das tesouras , grautear e substituir os chumbadores com corrosão.
- Refazer o tratamento superficial em toda a estrutura, com jateamento e pintura de fundo com epóxi e acabamento em PU.



- 1 > Reaperto de todos os parafusos, com substituição dos oxidados.
- 2 > Enrijecer com tala o banzo inferior da tesoura onde houve deslocamento do nó entre os apoios.
- 3 > Substituição de todos os parafusos autobrocantes oxidados do telhado
- 4 > Manutenção nas calhas, refazer os apoios e tirar os vazamentos, verificar a vazão.
- 5 > Troca de todas as tesouras de travamento, seguindo o projeto original.
- 6 > Deve ser adotado um plano de manutenção, que deve compreender inspeções rotineiras anuais, que
- 7 se baseiam numa observação visual, com manutenções simples, limpeza, reaperto de parafuso, ou
- 8 inspeções com uso de técnicas mais específicas a cada 5 anos, utilizando ensaios não destrutivos.
- 9 > Expectativa de custos

estrutura nova sem ampliação	3.904 m ²		R\$	2.179.848,00
desmontagem	76.800 kg	R\$ 5,00	R\$	384.000,00
fabricacao e montagem	80.500 kg	R\$ 18,00	R\$	1.449.000,00
projetos	3.904 m ²	R\$ 12,00	R\$	46.848,00
telha	4.000 m ²	R\$ 75,00	R\$	300.000,00

estrutura nova com ampliação	4.392 m ²		R\$	2.437.704,00
desmontagem	76.800 kg	R\$ 5,00	R\$	384.000,00
fabricacao e montagem	92.000 kg	R\$ 18,00	R\$	1.656.000,00
projetos	4.392 m ²	R\$ 12,00	R\$	52.704,00
telha	4.600 m ²	R\$ 75,00	R\$	345.000,00

Recuperação	3.904 m ²		R\$	1.297.648,00
jateamento e pintura	5.534 kg	R\$ 200,00	R\$	1.106.800,00
reforço	8.000 kg	R\$ 18,00	R\$	144.000,00
projeto	3.904 m ²	R\$ 12,00	R\$	46.848,00

obs. Os preços acima são estimados



- 1 Anexo I - memória de cálculo estrutura atual
- 2 Anexo II - memória de cálculo estrutura ampliada
- 3 Anexo III – Resultado Ensaios
- 4 Relatório de Ensaio nº AJ001/2019 – REV 0
- 5 Relatório de Ensaio nº AJ002/2019 – REV 0
- 6 Relatório de Ensaio nº AJ003/2019 – REV 0
- 7 Relatório de Ensaio nº AJ004/2019 – REV 0
- 8 relatório de Ensaio nº AJ005/2019 – REV 0
- 9 Relatório de Ensaio nº AJ006/2019 – REV 0
- 10 Relatório de Ensaio nº AJ007/2019 – REV 0
- 11 Relatório de Ensaio nº AJ008/2019 – REV 0
- 12 Relatório de Ensaio nº AJ009/2019 – REV 0
- 13 Relatório de Ensaio nº AJ010/2019 – REV 0
- 14 Relatório de Ensaio nº AJ011/2019 – REV 0
- 15 Relatório de Ensaio nº AJ012/2019 – REV 0
- 16 Relatório de Ensaio nº AJ013/2019 – REV 0
- 17 Relatório de Ensaio nº AJ014/2019 – REV 0
- 18 Anexo IV - Check list
- 19 Anexo V - mapa de situação das fotos e ensaios
- 20 Anexo VI - ART
- 21 Anexo VII – Certificado de Calibração

22 **Araraquara/S.P., 18 de março de 2.019**

23

24

25


MARCOS D. ZAVAGLIO

Eng.º Civil/Mecânico – C.R.E.A. nº 5060488452



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

ANEXO I

16

Memória de Cálculo Estrutura Atual

17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29



ANEXO I

Memória de Cálculo Estrutura Atual



EM BRANCO

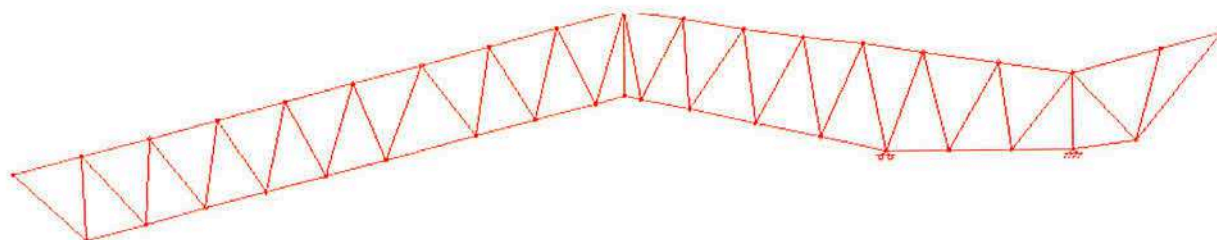


Figura 6- Esquema estático adotado (Prancha M-001)

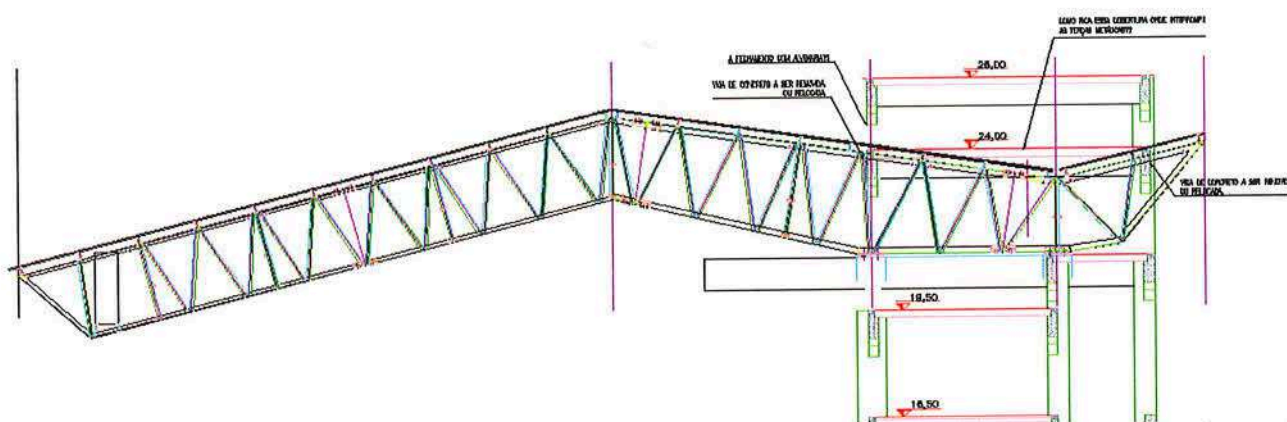


Figura 7 - Diagrama de montagem

Memória de Cálculo : Para estrutura da estrutura atual

Dados da Obra

Dimensão total = $32,00 \times 122 = 3.904,00 \text{ m}^2$

-a altura da edificação 26,22 m;

Carregamentos Adotados

- peso próprio da estrutura

- peso próprio calha + água + iluminação - 0,15 KN/m



- 1 - Passarela técnica – 1,5 KN/m² (passarela + iluminação)
- 2 - peso próprio da telha – 0,14 KN/m²
- 3 (telha Recheada 30 mm poliuretano (e= 0,65 mm) 13,64 kg/m² - 0,1364 KN/m² - fonte (www.tuper.com.br))
- 4 -sobrecarga de utilização no telhado – 0.15 KN/m²
- 5 - vento (NBR 6123)
- 6 $V_o = 40,00$ m/s
- 7 $S1 = 1,0$ (terreno plano fracamente acidentado)
- 8 $S2 = 0.93$ (CAT IV – classe C)
- 9 $h = 26,00$ m
- 10 $S3 = 1,0$ (grupo 2 – alto fator de ocupação)
- 11
- 12 $V_k = 40,00 \times 1,0 \times 0.93 \times 1,00 = 37,20$ m/s
- 13
- 14 $q = 0,613 \times 37,20^2 = 848,30$ N/m² = 0.84 KN/m²
- 15
- 16 Coeficiente de pressão interna (Cpi 4 faces igualmente permeáveis)
- 17 Cpi 1 = - 0,30
- 18 Cpi2 = 0,00

19 **Estados limites**

E.L.U. Aço dobrado	NBR 14762: 2010
E.L.U. Aço laminado	NBR 8800: 2008
Deslocamentos	Ações características

20 **Combinações**

21 **▪ Nomes das ações**

- 22
- PP Peso próprio
- CP 1 calha + agua
- SCU 1 sobrecarga
- V 1 vento 0
- V 2 vento 90

23 **▪ E.L.U. Aço dobrado**

Comb.	PP	CP 1	SCU 1	V 1	V 2		
1	1.000	1.000					
2	1.250	1.000					

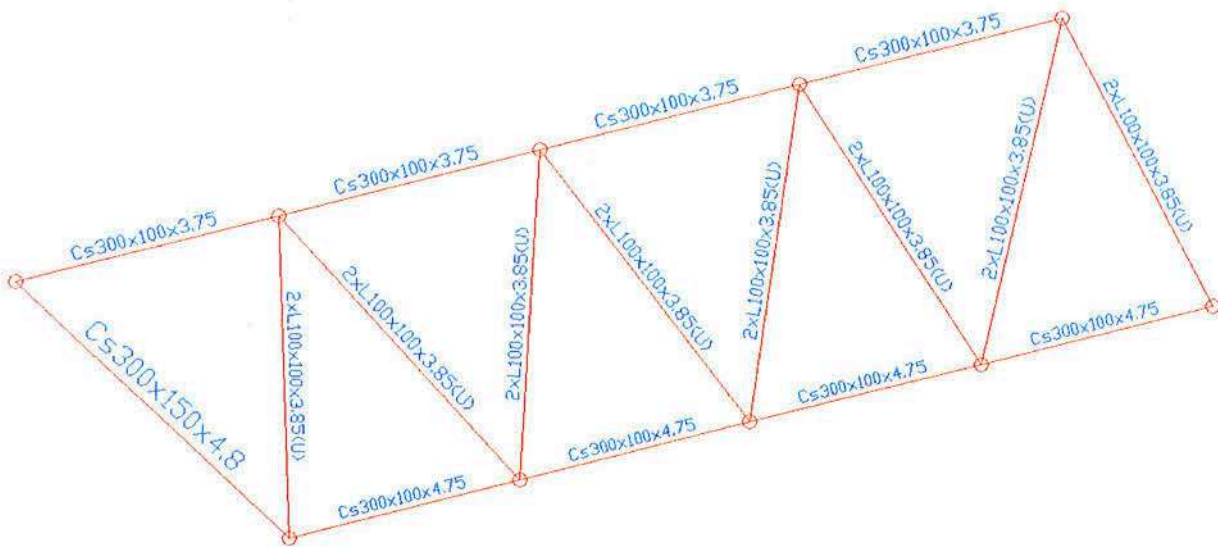


3	1.000	1.250					
4	1.250	1.250					
5	1.000	1.000	1.500				
6	1.250	1.000	1.500				
7	1.000	1.250	1.500				
8	1.250	1.250	1.500				
9	1.000	1.000		1.400			
10	1.250	1.000		1.400			
11	1.000	1.250		1.400			
12	1.250	1.250		1.400			
13	1.000	1.000	1.050	1.400			
14	1.250	1.000	1.050	1.400			
15	1.000	1.250	1.050	1.400			
16	1.250	1.250	1.050	1.400			
17	1.000	1.000	1.500	0.840			
18	1.250	1.000	1.500	0.840			
19	1.000	1.250	1.500	0.840			
20	1.250	1.250	1.500	0.840			
21	1.000	1.000			1.400		
22	1.250	1.000			1.400		
23	1.000	1.250			1.400		
24	1.250	1.250			1.400		
25	1.000	1.000	1.050		1.400		
26	1.250	1.000	1.050		1.400		
27	1.000	1.250	1.050		1.400		
28	1.250	1.250	1.050		1.400		
29	1.000	1.000	1.500		0.840		
30	1.250	1.000	1.500		0.840		
31	1.000	1.250	1.500		0.840		
32	1.250	1.250	1.500		0.840		
33	1.000	1.000					
34	1.250	1.000					
35	1.000	1.250					
36	1.250	1.250					
37	1.000	1.000	1.050				
38	1.250	1.000	1.050				
39	1.000	1.250	1.050				
40	1.250	1.250	1.050				
41	1.000	1.000	1.500				
42	1.250	1.000	1.500				
43	1.000	1.250	1.500				
44	1.250	1.250	1.500				
45	1.000	1.000					
46	1.250	1.000					
47	1.000	1.250					



48	1.250	1.250					
49	1.000	1.000	1.050				
50	1.250	1.000	1.050				
51	1.000	1.250	1.050				
52	1.250	1.250	1.050				
53	1.000	1.000	1.500				
54	1.250	1.000	1.500				
55	1.000	1.250	1.500				
56	1.250	1.250	1.500				

- 1
- 2 Dimensionamento
- 3 Tesoura TS1



- 4
- 5 Banzo Superior TS1

Perfil: UD 300x100x3.8
Material: Aço (AISI-SAE 1020)



Perfil: UD 300x100x3.8
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas					
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N773	N838	1.864	18.24	2376.69	164.63	0.86	-28.32	0.00
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β	1.00	1.00	0.00	0.00				
L _K	1.864	1.864	0.000	0.000				
C _m	-	-	1.000	1.000				
C _b	-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico								

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N773/N838	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 300 λ _{yy} ≤ 300 Passa	x: 1.864 m η = 35.4	N _{c,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 6.7	x: 1.864 m η = 13.3	x: 1.864 m η = 0.8	η = 0.6	x: 0 m η = 0.4	x: 1.864 m η = 1.8	N.P. ⁽²⁾	x: 1.864 m η = 54.9	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	PASSA η = 54.9
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y M _x V _y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M _y V _x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N _c M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _x M _y : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão. ⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N773.

Elemento: Alma



Em almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 75 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 282.50 mm

t: A espessura.

t : 3.75 mm

1
2
3
4
5

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300.

λ_{xx} : 16.3 ✓

λ_{yy} : 62.0 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 1.864 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 1.864 m

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

r_x : 11.41 cm

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

r_y : 3.00 cm

6
7
8
9
10

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.354 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N838, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$: 121.38 kN

A força normal de tração resistente de cálculo **$N_{t,Rd}$** deve ser tomada como:



$N_{t,Rd} : 343.29 \text{ kN}$

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
 f_v : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A: 18.24 cm^2
 f_v : 207.00 MPa
 γ : 1.1

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

 $\eta : 0.067 \checkmark$ O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N773, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.05·SCU1+1.4·V90. $M_{Sd} : 1.65 \text{ kN}\cdot\text{m}$ O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b): $M_{Rd} : 24.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$ **a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)** $M_{Rd} : 24.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef} : 131.14 cm^3
 f_v : 207.00 MPa
 γ : 1.1



b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5
6
7
8

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.133} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N838, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : \underline{0.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{3.86} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{20.53} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

9
10
11
12
13

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N838, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : \underline{0.60} \text{ kN}$$



A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 0.30 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 38.64 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 24.33$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 3.75 \text{ mm}$$

$$h : 91.25 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.006 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : 0.76 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : 119.56 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 75.33$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$



Onde:

t : Espessura da alma.	t : 3.75 mm
h : Largura da alma.	h : 282.50 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	K_v : 5.00

1 **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

2 Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N773, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.004 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : 1.65 kN·m
M_{0,Rd} : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	M_{0,Rd} : 24.68 kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : 0.12 kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	V_{Rd} : 119.56 kN

3 **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

4 Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N838, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

5 Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.018 \checkmark$$

Onde:



M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.
 $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.
 V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.
 V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 0.51 kN·m
 $M_{0,Rd}$: 3.86 kN·m
 V_{Sd} : 0.60 kN
 V_{Rd} : 77.27 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N838, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 0.549 \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.
 $M_{x,Sd}, M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.
 N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.
 $M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{t,Sd}$: 121.38 kN
 $M_{x,Sd}$: 1.54 kN·m
 $M_{y,Sd}$: 0.51 kN·m
 N_{Rd} : 343.29 kN
 $M_{x,Rd}$: 24.68 kN·m
 $M_{y,Rd}$: 3.86 kN·m

Banzo Inferior TS 1

Perfil: UD 300x100x4.8
 Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_a^{(3)}$ (mm)	$y_a^{(3)}$ (mm)	
N19	N18	1.659	22.99	2971.68	205.34	1.73	-27.92	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
		Flambagem		Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.			
β		1.00	1.00	0.00	0.00			
L_K		1.659	1.659	0.000	0.000			
C_m		-	-	1.000	1.000			
C_b		-		1.000				
Notação: β : Coeficiente de flambagem L_K : Comprimento de flambagem (m) C_m : Coeficiente de momentos C_b : Fator de modificação para o momento crítico								

1

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)												Estado	
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x M_y$	$N_t M_x M_y$		M_t
N19/N18	$(b_w/t) \leq 200$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$ Passa	$N_{t, Sd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 51.9$	x: 1.659 m $\eta = 21.5$	x: 1.659 m $\eta = 8.7$	x: 1.659 m $\eta = 0.5$	$\eta = 1.7$	x: 1.659 m $\eta = 4.7$	x: 1.659 m $\eta = 0.8$	x: 1.659 m $\eta = 82.1$	N.P. ⁽²⁾	$M_{t, Sd} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	PASS A $\eta = 82.1$
<p>Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N_t: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_x: Resistência à flexão eixo X M_y: Resistência à flexão eixo Y V_x: Resistência ao esforço cortante X V_y: Resistência ao esforço cortante Y $M_x V_y$: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados $M_y V_x$: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados $N_c M_x M_y$: Resistência à flexo-compressão $N_t M_x M_y$: Resistência à flexo-tração M_t: Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. (2) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (3) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p>														

3
4
5
6
7
8

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 59 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 280.50 mm
t : 4.75 mm

9
10
11
12
13

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 14.6 ✓
 λ_{yy} : 55.5 ✓



Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : 1.659 \text{ m}$$

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : 1.659 \text{ m}$$

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$$r_x : 11.37 \text{ cm}$$

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$$r_y : 2.99 \text{ cm}$$

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.519 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N19, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 149.32 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 287.81 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 19.10 \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : 0.87$$

$$\chi_{xz} : 0.99$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,yy} : 0.57$$

$$\lambda_{0,xz} : 0.15$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A : 22.99 cm²

f_y : 207.00 MPa

γ : 1.2

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

N_e : 1472.71 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

N_{ey} : 1472.71 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

N_{exz} : 21312.72 kN

Onde:

N_{ex} : 21312.72 kN

N_{ez} : ∞

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

I_x : 2971.68 cm⁴

I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

I_y : 205.34 cm⁴

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 1.73 cm⁴

C_w : Constante de empenamento da seção.

C_w : 31289.05 cm⁶

E : Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

G : Módulo de elasticidade transversal.

G : 76923 MPa

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_x L_x$: 1.659 m

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$K_y L_y$: 1.659 m

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$K_z L_z$: 0.000 m



$$r_0 : 12.89 \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$r_x : 11.37 \text{ cm}$$

$$r_y : 2.99 \text{ cm}$$

$$x_0 : -52.82 \text{ mm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.215 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 7.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 33.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 33.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 177.45 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)



Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.087} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : \underline{0.42} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{4.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{25.62} \text{ cm}^3$$

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

6
7
8
9
10

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : \underline{0.47} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : \underline{0.23} \text{ kN}$$



A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 48.40 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.00$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 4.75 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 90.25 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.017 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 2.51 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 150.44 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 59.05$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$



Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

t: 4.75 mm

h: 280.50 mm

f_v: 207.00 MPa

E: 200000 MPa

γ: 1.1

K_v: 5.00

1
2

3

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η: 0.047 ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd}: 7.19 kN·m

M_{0,Rd}: 33.39 kN·m

V_{Sd}: 2.51 kN

V_{Rd}: 150.44 kN

4
5
6
7

8

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η: 0.008 ✓

Onde:

 M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo. V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. M_{Sd} : 0.42 kN·m $M_{0,Rd}$: 4.82 kN·m V_{Sd} : 0.47 kN V_{Rd} : 96.81 kN**Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 η : 0.821 ✓

Onde:

 $N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. $N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. $M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. $N_{c,Sd}$: 149.23 kN $M_{x,Sd}$: 7.19 kN·m $M_{y,Sd}$: 0.42 kN·m $N_{c,Rd}$: 287.81 kN $M_{x,Rd}$: 33.39 kN·m $M_{y,Rd}$: 4.82 kN·m

Diagonal TS 1

Perfil: CD 100x3.9, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação   distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_a^{(3)}$ (mm)	$y_a^{(3)}$ (mm)	
N20	N760	2.383	14.91	150.04	4808.97	0.74	0.00	-23.22
Notas: (1) Inércia em rela�o ao eixo indicado (2) Momento de inércia � torço uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β	1.00	1.00	0.00	0.00				
L_k	2.383	2.383	0.000	0.000				
C_m	-	-	1.000	1.000				
C_b	-	-	1.000					
Not�o�o: β : Coeficiente de flambagem L_k : Comprimento de flambagem (m) C_m : Coeficiente de momentos C_b : Fator de modifica�o para o momento crítico								

1
2
3

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)												Estado	
	b/t	λ	N_t	N_c	M_u	M_v	V_u	V_v	$M_u V_v$	$M_v V_u$	$N_c M_u M_v$	$N_t M_u M_v$		M_t
N20/N760	$(b_f/t) \leq 200$ Passa	$\lambda_{uu,c} \leq 200$ $\lambda_{vv,c} \leq 200$ Passa	x: 2.383 $\eta = 5.2$	x: 2.383 $\eta = 117.2$	x: 2.383 $\eta > 1000.0$	x: 2.383 $\eta = 14.3$	x: 2.383 $\eta = 3.0$	x: 2.383 $\eta = 3.0$	x: 2.383 $\eta > 1000.0$	x: 2.383 $\eta = 2.1$	x: 2.185 $\eta > 1000.0$	x: 2.383 $\eta > 1000.0$	$M_{t,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	NÃO PASSA $\eta > 1000.0$
<p>Notação:</p> <p>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbelteza N_t: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_u: Resistência à flexão eixo U M_v: Resistência à flexão eixo V V_u: Resistência ao esforço cortante U V_v: Resistência ao esforço cortante V $M_u V_v$: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados $M_v V_u$: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados $N_c M_u M_v$: Resistência à flexo-compressão $N_t M_u M_v$: Resistência à flexo-tração M_t: Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p>														

4
5
6
7
8
9
10
11
12

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbelteza mecânica ideal, obtida em função da esbelteza da peça e uma esbelteza complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 24 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b: 92.30 mm
t: 3.85 mm

13
14
15
16
17

Limitação de esbelteza (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbelteza λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbelteza λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 75.1 ✓
 $\lambda_{vv,c}$: 40.3 ✓



$$\lambda_{uu,s} : \underline{19.7} \checkmark$$

$$\lambda_{vv,s} : \underline{40.3} \checkmark$$

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,c} : \underline{2.383} \text{ m}$$

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,c} : \underline{7.239} \text{ m}$$

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,c} : \underline{3.17} \text{ cm}$$

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,c} : \underline{17.96} \text{ cm}$$

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,s} : \underline{0.794} \text{ m}$$

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,s} : \underline{0.794} \text{ m}$$

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,s} : \underline{4.03} \text{ cm}$$

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,s} : \underline{1.97} \text{ cm}$$

1
2
3
4
5
6

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.052} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N760, para a combinação de ações PP+1.25·PPT+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : \underline{7.27} \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : \underline{140.27} \text{ kN}$$

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{7.45} \text{ cm}^2$$



f_y : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

f_y : 207.00 MPa
 γ : 1.1

1
2
3
4
5
6
7
8

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 1.172 X

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N760, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$: 62.69 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{c,Rd}$: 53.50 kN

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

A_{ef} : 6.53 cm²

χ : Fator de redução associado à flambagem,

χ_{vv} : 0.93

Sendo:

χ_{xz} : 0.48

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,vv}$: 0.41

$\lambda_{0,xz}$: 1.33

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A: Área bruta da seção transversal da barra.
f_v: Tensão de escoamento.
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

A : 7.45 cm²
f_v : 207.00 MPa
γ : 1.2

A força normal de flambagem elástica **N_e** é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

N_e : 86.78 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

N_{ev} : 906.35 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

N_{exz} : 86.78 kN

Onde:

N_{ex} : 3785.84 kN

N_{ez} : 87.55 kN

I_u: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.
I_v: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.
I_t: Momento de inércia à torção uniforme.
C_w: Constante de empenamento da seção.

I_u : 121.06 cm⁴
I_v : 28.98 cm⁴
I_t : 0.37 cm⁴
C_w : 0.01 cm⁶

G: Módulo de elasticidade transversal.

E : 200000 MPa

G : 76923 MPa

K_uL_u: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

K_uL_u : 0.794 m

K_vL_v: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

K_vL_v : 0.794 m

K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

K_zL_z : 0.794 m

r₀: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

r₀ : 5.69 cm

Sendo:



r_u, r_v : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.03 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.97 \text{ cm}$$

u_0, v_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.98 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 41.783 \text{ X}$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 0.03 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

6
7
8

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.143 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 1.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : 8.15 \text{ cm}^3$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.030 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.71 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$



para $h/t : 23.97$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t : Espessura da alma.	t : 3.85 mm
h : Largura da alma.	h : 92.30 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$V_{Rd} : 56.74$ kN

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 23.97$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t : Espessura da alma.	t : 3.85 mm
h : Largura da alma.	h : 92.30 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

1

1
2**Resistência ao esforço cortante V** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.030 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.71 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_V : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_V: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$



para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_V : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_V: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

1
2
3
4**Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 1745.829 \text{ X}$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 1.71 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

6
7
8
9**Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

10

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$M_{Sd} : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : \underline{1.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : \underline{1.71} \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : \underline{56.74} \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 2.185 m do nó N20, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

$$\eta : \underline{30.212} \quad \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : \underline{0.20} \text{ kN}$$

$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{u,Sd} : \underline{0.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Sd} : \underline{0.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{53.50} \text{ kN}$$

$$M_{u,Rd} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Rd} : \underline{1.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N760, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

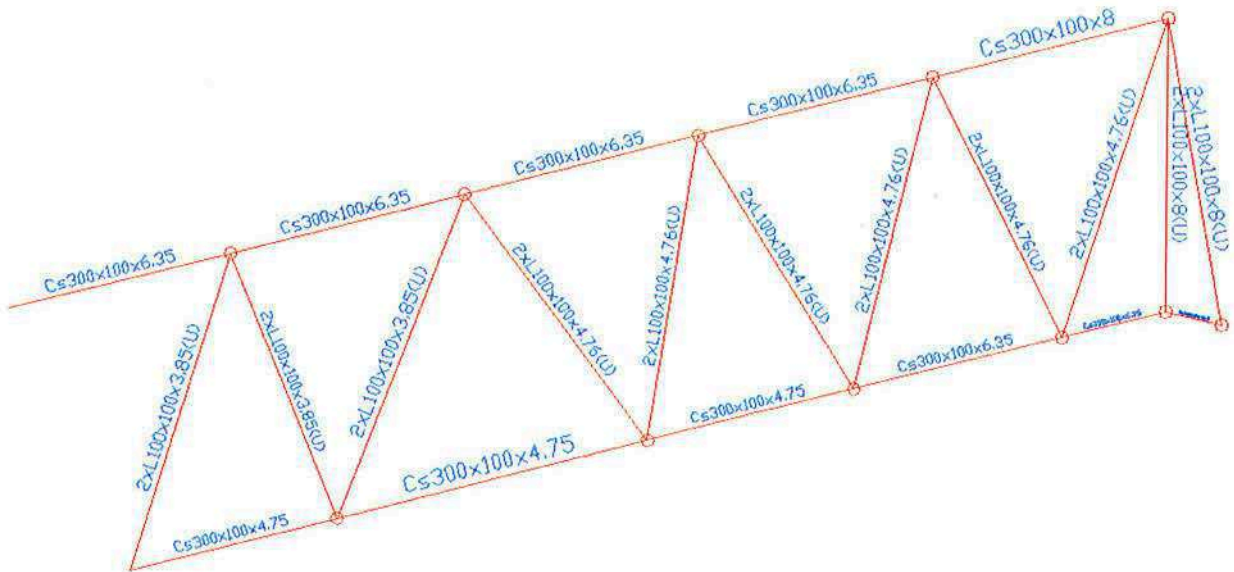


η : 41.859 X

Onde:

 $N_{t,sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo. $M_{u,sd}$, $M_{v,sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente. N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6. $M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. $N_{t,sd}$: 5.54 kN $M_{u,sd}$: 0.22 kN·m $M_{v,sd}$: 0.06 kN·m N_{Rd} : 140.27 kN $M_{u,Rd}$: 0.01 kN·m $M_{v,Rd}$: 1.52 kN·m1
2
3
4
5
6

Tesoura TS5

7
8
9
10

Banzo superior TS 5

Perfil: UD 300x100x6.4
Material: Aço (AISI-SAE 1020)



Perfil: UD 300x100x6.4
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas					
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N799	N8	1.977	30.49	3890.53	267.79	4.10	-27.28	0.00

Notas:
(1) Inércia em relação ao eixo indicado
(2) Momento de inércia à torção uniforme
(3) Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _k	1.977	1.977	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_k: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N799/ N8	x: 0.395 m (b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 300 λ _{yy} ≤ 300 Passa	x: 1.977 m η = 98.5	N _{c,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 1.977 m η = 12.7	x: 1.977 m η = 20.1	x: 1.977 m η = 0.8	η = 1.9	x: 1.977 m η = 1.6	x: 1.977 m η = 4.1	N.P. (2)	x: 1.977 m η = 131.1	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η = 131.1

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
(1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.
(2) Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
(3) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância 0.395 m do nó N799.

Elemento: Alma



Em almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 44 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 277.30 mm

t: A espessura.

t : 6.35 mm

1
2
3
4
5

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300.

λ_{xx} : 17.5 ✓

λ_{yy} : 66.7 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 1.977 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 1.977 m

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

r_x : 11.30 cm

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

r_y : 2.96 cm

6
7
8
9
10

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.985 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N8, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$: 565.08 kN



A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 573.72 \text{ kN}$$

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 30.49 \text{ cm}^2$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.127 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : 6.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:



W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 254.74 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.201 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 34.65 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

6
7
8
9
10

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.008 \quad \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.06 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 0.53 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 63.56 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 13.96$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 88.65 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_V : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_V: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.019 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 3.72 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$



para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

1
2
3
4
5
6
7
8
9**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.016 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 6.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 3.64 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$

11



Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.041 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 1.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

kN

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 1.06$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 127.12 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N8, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 1.311 \times$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$N_{t,Sd} : 565.08 \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 5.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 1.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$N_{Rd} : 573.72 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos

$$M_{x,Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



1 eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.
 2 Banzo Inferior TS 5

$M_{v,Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Perfil: UD 300x100x6.4
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_q^{(3)}$ (mm)	$y_q^{(3)}$ (mm)	
N14	N13	0.830	30.49	3890.53	267.79	4.10	-27.28	0.00

Notas:
 (1) Inércia em relação ao eixo indicado
 (2) Momento de inércia à torção uniforme
 (3) Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_k	0.830	0.830	0.000	0.000
C_m	-	-	1.000	1.000
C_b	-		1.000	

Notação:
 β : Coeficiente de flambagem
 L_k : Comprimento de flambagem (m)
 C_m : Coeficiente de momentos
 C_b : Fator de modificação para o momento crítico

3
4
5

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)												Estado	
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x M_y$	$N_t M_x M_y$		M_t
N14/N13	$(b_w/t) \leq 200$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$ Passa	$N_{t,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 130.1$	x: 0 m $\eta = 11.9$	x: 0.83 m $\eta = 146.5$	x: 0.83 m $\eta = 12.9$	$\eta = 5.9$	x: 0 m $\eta = 1.8$	x: 0.83 m $\eta = 216.4$	x: 0.83 m $\eta = 285.0$	N.P. ⁽²⁾	$M_{t,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta = 285.0$

Notação:
 b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
 λ : Limitação de esbeltez
 N_t : Resistência à tração
 N_c : Resistência à compressão
 M_x : Resistência à flexão eixo X
 M_y : Resistência à flexão eixo Y
 V_x : Resistência ao esforço cortante X
 V_y : Resistência ao esforço cortante Y
 $M_x V_y$: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
 $M_y V_x$: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
 $N_c M_x M_y$: Resistência à flexo-compressão
 $N_t M_x M_y$: Resistência à flexo-tração
 M_t : Resistência à torção
 x: Distância à origem da barra
 η : Coeficiente de aproveitamento (%)
 N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
 (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
 (2) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
 (3) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

6
7

8 **Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)
 Elemento: Alma



Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 44 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b: 277.30 mm
t: 6.35 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 7.3 ✓

λ_{yy} : 28.0 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.
 r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$: 0.830 m
 $K_y L_y$: 0.830 m
 r_x : 11.30 cm
 r_y : 2.96 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 1.301 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N14, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.



$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$: 638.78 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{c,Rd}$: 491.14 kN

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

A_{ef} : 29.47 cm²

χ : Fator de redução associado à flambagem,

χ_{yy} : 0.97

χ_{xz} : 1.00

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0, yy}$: 0.29

$\lambda_{0, xz}$: 0.08

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

A : 30.49 cm²

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 207.00 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.2

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

N_e : 7672.91 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

N_{ey} : 7672.91 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

N_{exz} : 111476.16 kN

Onde:

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.
 I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.
 I_t : Momento de inércia à torção uniforme.
 C_w : Constante de empenamento da seção.
E: Módulo de elasticidade.
G: Módulo de elasticidade transversal.
 $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 $K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.
 r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

N_{ex} : 111476.16 kN

N_{ez} : ∞

I_x : 3890.53 cm⁴

I_y : 267.79 cm⁴

I_t : 4.10 cm⁴

C_w : 40239.31 cm⁶

E : 200000 MPa

G : 76923 MPa

$K_x L_x$: 0.830 m

$K_y L_y$: 0.830 m

$K_z L_z$: 0.000 m

r_0 : 12.80 cm

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

r_x : 11.30 cm

r_y : 2.96 cm

x_0 : -52.43 mm

y_0 : 0.00 mm

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.119 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{Sd}** é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

M_{Sd} : 5.68 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd} : 47.94 kN·m



a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 254.74 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 1.465 \text{ X}$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 9.50 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 6.48 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

$$W_{ef} : 34.46 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$



1 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

2
3
4
5 **Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η : 0.129 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

V_{Sd} : 16.41 kN

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

V_{Sd} : 8.20 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$(1)V_{Rd}$: 63.56 kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$: 36.77

para

h/t : 13.96

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$: 47.67

Onde:

t: Espessura da alma.

t: 6.35 mm

h: Largura da alma.

h: 88.65 mm

f_v : Tensão de escoamento.

f_v : 207.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E: 200000 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

K_v : 1.20

6
7
8
9
10 **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.059 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 11.72 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

1
2
3
4
5

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.018 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 5.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.
 V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.
 V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$M_{0,Rd}$: 47.94 kN·m
 V_{Sd} : 11.72 kN
 V_{Rd} : 198.82 kN

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 2.164 \quad \times$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.
 $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.
 V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.
 V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 9.50 kN·m
 $M_{0,Rd}$: 6.48 kN·m
 V_{Sd} : 16.41 kN
 V_{Rd} : 127.12 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 2.850 \quad \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.
 $M_{x,Sd}, M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.
 $N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$N_{c,Sd}$: 638.71 kN
 $M_{x,Sd}$: 4.05 kN·m
 $M_{y,Sd}$: 9.50 kN·m
 $N_{c,Rd}$: 491.14 kN

Diagonal TS 5

Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)



Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)	
N14	N799	2.163	18.29	182.52	5925.30	1.38	0.00	-22.80

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	2.163	2.163	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
 β : Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

1
2

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	M _u V _v	M _v V _u	N _c M _u M _v	N _t M _u M _v	M _t	
N14/N799	(b _f /t) ≤ 200 Passa	$\lambda_{uu,c} \leq 200$ $\lambda_{vv,c} \leq 200$ Passa	N _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 2.163 m $\eta = 128.6$	x: 0 m $\eta > 1000.0$	x: 0 m $\eta = 36.3$	x: 2.163 m $\eta = 3.1$	x: 2.163 m $\eta = 3.1$	x: 0 m $\eta > 1000.0$	x: 0 m $\eta = 13.2$	x: 0 m $\eta > 1000.0$	N.P. ⁽²⁾	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta > 1000.0$

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
 λ : Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_u: Resistência à flexão eixo U
M_v: Resistência à flexão eixo V
V_u: Resistência ao esforço cortante U
V_v: Resistência ao esforço cortante V
M_uV_v: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados
M_vV_u: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados
N_cM_uM_v: Resistência à flexo-compressão
N_tM_uM_v: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
 η : Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

3
4
5
6
7
8
9
10
11

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)



Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 19 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 90.48 mm

t: A espessura.

t : 4.76 mm

1
2
3
4
5

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 68.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$: 36.8 ✓

$\lambda_{uu,s}$: 17.9 ✓

$\lambda_{vv,s}$: 36.9 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$: 2.163 m

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$: 6.626 m

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$: 3.16 cm

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$: 18.00 cm

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$: 0.721 m

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$: 0.721 m

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$: 4.02 cm

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$: 1.95 cm

6
7
8
9

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

10
11



1
2
3**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 1.286 \quad \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N799, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,sd} : 116.47 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 90.54 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 8.52 \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{vv} : 0.94$$

$$\chi_{xz} : 0.62$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, vv} : 0.38$$

$$\lambda_{0, xz} : 1.08$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 9.14 \text{ cm}^2$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 163.65 \text{ kN}$$



a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 1326.51 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 163.65 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5606.68 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 165.51 \text{ kN}$$

I_u : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 147.60 \text{ cm}^4$$

I_v : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 34.92 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.69 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.03 \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_u L_u$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u L_u : 0.721 \text{ m}$$

$K_v L_v$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v L_v : 0.721 \text{ m}$$

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 0.721 \text{ m}$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 5.67 \text{ cm}$$

Sendo:

r_u, r_v : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.02 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.95 \text{ cm}$$

u_0, v_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.85 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)



Deve satisfazer:

$$\eta : 251.211 \quad \times$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.67 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 0.00 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 0.00 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 0.01 \quad \text{cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \quad \text{MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.363 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N14, para a

$$M_{Sd} : 0.67 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$



combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{1.85} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{9.81} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10 **Resistência ao esforço cortante U** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.031} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N799, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : \underline{2.10} \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : \underline{68.77} \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : \underline{68.77} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{36.77}$$

para

$$h/t : \underline{19.01}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{47.67}$$



Onde:

t : Espessura da alma.	t : 4.76 mm
h : Largura da alma.	h : 90.48 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 19.01$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t : Espessura da alma.	t : 4.76 mm
h : Largura da alma.	h : 90.48 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.031 \quad \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N799, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : 2.10 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.01$$



para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

 f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

 K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4**Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 63107.067 \text{ X}$$

Onde:

 M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

 $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

 V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 1.14 \text{ kN}$$

 V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

6
7
8
9**Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

10

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$\eta : 0.132$ ✓

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$M_{Sd} : 0.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{0,Rd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{Sd} : 1.14 \text{ kN}$

$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$

1
2
3
4
5

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$\eta : 252.495$ ✗

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{u,Sd}, M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{u,Rd}, M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{c,Sd} : 90.10 \text{ kN}$

$M_{u,Sd} : 0.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{v,Sd} : 0.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$

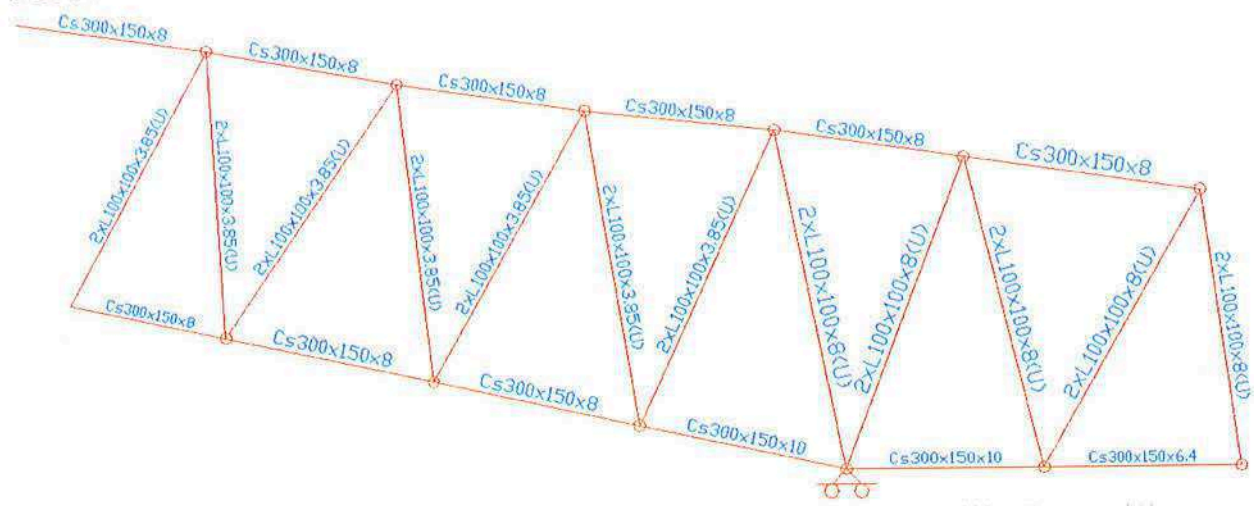
$N_{c,Rd} : 90.54 \text{ kN}$

$M_{u,Rd} : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{v,Rd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$

6
7
8

Tesoura TS 09



9



1 Banzo superior TS 9

Perfil: UD 300x150x8**Material: Aço (AISI-SAE 1020)**

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N903	N890	1.614	46.09	6501.39	1028.10	9.83	-33.98	0.00
Notas:								
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado								
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme								
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade								
			Flambagem		Flambagem lateral			
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00		1.00	1.00	0.00	0 00		
L _K	1.614		1.614	1.614	0.000	0.000		
C _m	-		-	-	1.000	1.000		
C _b	-		-	-	1.000			
Notação:								
β: Coeficiente de flambagem								
L _K : Comprimento de flambagem (m)								
C _m : Coeficiente de momentos								
C _b : Fator de modificação para o momento crítico								

2
3

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N903/N890	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 300 λ _{yy} ≤ 300 Passa	x: 1.614 m η = 103.5	N _{c,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 1.614 m η = 2.5	x: 1.614 m η = 33.0	x: 1.614 m η = 1.3	η = 0.1	x: 1.614 m η = 0.1	x: 1.614 m η = 10.9	N.P. ⁽²⁾	x: 1.614 m η = 139.0	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η = 139.0
Notação:														
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura														
λ: Limitação de esbeltez														
N _t : Resistência à tração														
N _c : Resistência à compressão														
M _x : Resistência à flexão eixo X														
M _y : Resistência à flexão eixo Y														
V _x : Resistência ao esforço cortante X														
V _y : Resistência ao esforço cortante Y														
M _x V _y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados														
M _y V _x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados														
N _c M _x M _y : Resistência à flexo-compressão														
N _t M _x M _y : Resistência à flexo-tração														
M _t : Resistência à torção														
x: Distância à origem da barra														
η: Coeficiente de aproveitamento (%)														
N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):														
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.														
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.														
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

4
56 **Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.



$(b/t) : 34 \checkmark$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.**b:** 274.00 mm**t:** A espessura.**t:** 8.00 mm1
2
3
4
5**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300. $\lambda_{xx} : 13.6 \checkmark$ $\lambda_{yy} : 34.2 \checkmark$

Onde:

 $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. **$K_x L_x$:** 1.614 m **$K_y L_y$:** Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. **$K_y L_y$:** 1.614 m **r_x :** Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. **r_x :** 11.88 cm **r_y :** Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. **r_y :** 4.72 cm6
7
8
9**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

 $\eta : 1.035 \times$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N890, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 $N_{t,sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. **$N_{t,sd}$:** 897.77 kNA força normal de tração resistente de cálculo **$N_{t,Rd}$** deve ser tomada como: **$N_{t,Rd}$:** 867.28 kN

A handwritten signature in blue ink, appearing to be a stylized name, located in the bottom right corner of the page.

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
f_y: Tensão de escoamento.
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

A: 46.09 cm²
f_y: 207.00 MPa
γ: 1.1

1
2
3
4
5
6
7
8
9

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η: 0.025 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{Sd}** é obtido para o nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

M_{Sd}: 1.85 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd}: 74.30 kN·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

M_{Rd}: 74.30 kN·m

Onde:

W_{ef}: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y: Tensão de escoamento.
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef}: 394.83 cm³
f_y: 207.00 MPa
γ: 1.1

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção **K_tL_t** e os comprimentos efetivos de flambagem lateral **K_yL_y^{pos}** e **K_yL_y^{neg}** são nulos.

10



1
2
3
4**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.330} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N890, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$M_{Sd} : \underline{5.85} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{17.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

 W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{94.30} \text{ cm}^3$$

 f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

5
6
7
8
9**Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.013} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N890, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : \underline{3.29} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : \underline{1.64} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:
para

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{123.75} \text{ kN}$$



A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'X' shape followed by a cursive name.

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 17.12$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

$$h : 137.00 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.001 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : 0.27 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 34.25$$



para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

t: Espessura da alma.

t : 8.00 mm

h: Largura da alma.

h : 274.00 mm

f_v: Tensão de escoamento.

f_v : 207.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

K_v : 5.00

1
2
3
4
5
6
7
8
9**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$\eta : 0.001 \checkmark$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{Sd} : 1.85 kN·m

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

M_{0,Rd} : 74.30 kN·m

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Sd} : 0.07 kN

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

V_{Rd} : 247.50 kN

11
12
13
14**Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

15



Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.109 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 5.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 3.29 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N890, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 1.390 \times$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$N_{t,Sd} : 897.77 \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 5.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$N_{Rd} : 867.28 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : 74.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Banzo inferior TS 9

Perfil: UD 300x150x10
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Perfil: UD 300x150x10
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas					
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N1	N2	1.667	57.12	7940.37	1257.41	19.04	-33.16	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _k	1.667	1.667	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_k: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N1/ N2	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	N _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 81.0	x: 0 m η = 10.4	x: 0 m η = 49.2	x: 0 m η = 2.9	η = 2.3	x: 0 m η = 1.1	x: 0 m η = 24.3	x: 0 m η = 140.6	N.P. ⁽²⁾	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η = 140.6

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.



(b/t) : 27 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.**b** : 270.00 mm**t**: A espessura.**t** : 10.00 mm1
2
3
4
5**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200. λ_{xx} : 14.1 ✓ λ_{yy} : 35.5 ✓

Onde:

 $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. **$K_x L_x$** : 1.667 m **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. **$K_y L_y$** : 1.667 m **r_x** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. **r_x** : 11.79 cm **r_y** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. **r_y** : 4.69 cm6
7
8
9**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

10
11
12
13**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

14

 η : 0.810 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 $N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. **$N_{c,Sd}$** : 754.06 kNA força normal de compressão resistente de cálculo **$N_{c,Rd}$** deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : \underline{930.57} \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

χ : Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$A_{ef} : \underline{57.02} \text{ cm}^2$$

$$\chi_{yy} : \underline{0.95}$$

$$\chi_{xz} : \underline{0.99}$$

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.36}$$

$$\lambda_{0, xz} : \underline{0.14}$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : \underline{57.12} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : \underline{8931.75} \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : \underline{8931.75} \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : \underline{56402.60} \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : \underline{56402.60} \text{ kN}$$



$N_{ez} : \infty$ I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X. $I_x : 7940.37 \text{ cm}^4$ I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. $I_y : 1257.41 \text{ cm}^4$ I_t : Momento de inércia à torção uniforme. $I_t : 19.04 \text{ cm}^4$ C_w : Constante de empenamento da seção. $C_w : 180189.44 \text{ cm}^6$ E : Módulo de elasticidade. $E : 200000 \text{ MPa}$ G : Módulo de elasticidade transversal. $G : 76923 \text{ MPa}$ $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. $K_x L_x : 1.667 \text{ m}$ $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. $K_y L_y : 1.667 \text{ m}$ $K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção. $K_z L_z : 0.000 \text{ m}$ r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. $r_0 : 15.69 \text{ cm}$

Sendo:

 r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente. $r_x : 11.79 \text{ cm}$ $r_y : 4.69 \text{ cm}$ x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. $x_0 : -92.30 \text{ mm}$ $y_0 : 0.00 \text{ mm}$ 1
2
3
4
5**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

 $\eta : 0.104 \checkmark$ O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0. $M_{sd} : 10.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$ O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b): $M_{Rd} : 98.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$ **a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)** $M_{Rd} : 98.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 523.69 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.492 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N1, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$M_{Sd} : 10.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 116.25 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)



Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.029} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N1, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : \underline{8.95} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : \underline{4.48} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{152.43} \text{ kN}$$

para $1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : \underline{36.77}$

para $h/t : \underline{13.50}$

para $1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : \underline{47.67}$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{10.00} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{135.00} \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.023} \quad \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 6.86 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 304.85 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 27.00$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 10.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 270.00 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

1
2
3
4

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.011 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 10.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 98.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 6.86 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 304.85 \text{ kN}$$

6
7
8



Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.243 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{Sd} : 10.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{Sd} : 8.95 \text{ kN}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : 304.85 \text{ kN}$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 1.406 \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd} : 754.06 \text{ kN}$
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : 10.18 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : 10.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd} : 930.57 \text{ kN}$
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : 98.55 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Diagonal TS 9

Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)	
N1	N903	2.806	29.88	289.08	9833.96	6.37	0.00	-21.26

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	2.806	2.806	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	M _u V _v	M _v V _u	N _c M _u M _v	N _t M _u M _v	M _t	
N1/N903	(b _f /t) ≤ 200 Passa	λ _{uu,c} ≤ 200 λ _{vv,c} ≤ 200 Passa	N _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 2.806 m η = 124.3	x: 2.806 m η = 8.4	x: 2.806 m η = 18.7	x: 2.806 m η = 1.2	x: 2.806 m η = 1.2	x: 2.806 m η = 0.7	x: 2.806 m η = 3.5	x: 2.806 m η = 148.9	N.P. ⁽²⁾	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η = 148.9

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

λ: Limitação de esbeltez

N_t: Resistência à tração

N_c: Resistência à compressão

M_u: Resistência à flexão eixo U

M_v: Resistência à flexão eixo V

V_u: Resistência ao esforço cortante U

V_v: Resistência ao esforço cortante V

M_uV_v: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados

M_vV_u: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados

N_cM_uM_v: Resistência à flexo-compressão

N_tM_uM_v: Resistência à flexo-tração

M_t: Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

η: Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)



Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 11 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 84.00 mm

t: A espessura.

t : 8.00 mm

1
2
3
4
5

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 90.2 ✓

$\lambda_{vv,c}$: 51.9 ✓

$\lambda_{uu,s}$: 23.5 ✓

$\lambda_{vv,s}$: 49.5 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$: 2.806 m

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$: 9.409 m

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$: 3.11 cm

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$: 18.14 cm

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$: 0.934 m

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$: 0.934 m

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$: 3.97 cm

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$: 1.89 cm

6
7
8
9
10

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)



1 A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
 2
 3

4 **Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{1.243} \quad \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N903, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,sd} : \underline{224.02} \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : \underline{180.29} \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : \underline{14.94} \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi : \underline{0.70}$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, ft} : \underline{0.92}$$

Sendo:

N_e : Esforço axial crítico elástico de flambagem mínimo.

$$N_e : \underline{362.35} \text{ kN}$$

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{14.94} \text{ cm}^2$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A tensão crítica elástica de flambagem σ_{cr} é o valor da menor das raízes da seguinte equação cúbica:



$$\sigma_{cr} : 242.57 \text{ MPa}$$

Onde:

$\sigma_{cr,x}$: Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo X.

$$\sigma_{cr,x} : 242.57 \text{ MPa}$$

$\sigma_{cr,y}$: Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo Y.

$$\sigma_{cr,y} : 782.22 \text{ MPa}$$

$\sigma_{cr,T}$: Tensão crítica elástica de flambagem por torção da seção composta.

$$\sigma_{cr,T} : \infty$$

I_x : Momento de inércia da seção composta, em relação ao eixo X.

$$I_x : 289.08 \text{ cm}^4$$

I_y : Momento de inércia da seção composta, em relação ao eixo Y.

$$I_y : 9833.96 \text{ cm}^4$$

I_t : Módulo de torção uniforme da seção composta.

$$I_t : 6.37 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção composta.

$$C_w : 0.00 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

λ_x : Esbelteza mecânica da seção composta, em relação ao eixo X, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento.

$$\lambda_x : 90.21$$

λ_y : Esbelteza mecânica da seção composta, em relação ao eixo Y, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento.

$$\lambda_y : 50.23$$

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção da seção composta.

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

r_0 : Raio de giração polar da seção composta, em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 18.42 \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção composta, em relação aos eixos principais de inércia X e Y.

$$r_x : 3.11 \text{ cm}$$

$$r_y : 18.14 \text{ cm}$$

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, relativas ao centro de gravidade da seção composta.

$$x_0 : 0.00 \text{ cm}$$

$$y_0 : -0.78 \text{ cm}$$

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.084 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 0.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 33.35 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.187 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 2.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:



W_{ef} : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef} : 14.90 cm³

f_v : 207.00 MPa

γ : 1.1

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η : **0.012** ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

V_{Sd} : 1.33 kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

V_{Rd} : 107.30 kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

V_{Rd} : 107.30 kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$: 36.77

para

h/t : 10.50

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$: 47.67

Onde:

t: Espessura da alma.

t: 8.00 mm

h: Largura da alma.

h: 84.00 mm

f_v : Tensão de escoamento.

f_v : 207.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E: 200000 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

K_v : 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.



$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 10.50$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.012 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 1.33 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante **V_{Rd}** é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$



a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 10.50$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma,

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 10.50$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_V : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.007 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$M_{Sd} : 0.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 1.13 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.035 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$M_{Sd} : 0.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 2.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 1.13 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$



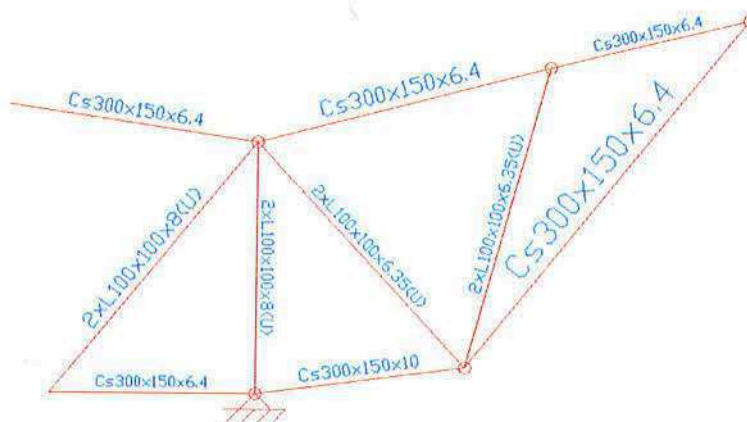
1
2
3
4**Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N903, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 $\eta : 1.489 \times$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd} : 224.02 \text{ kN}$
$M_{u,Sd}, M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.	$M_{u,Sd} : 0.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{v,Sd} : 0.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd} : 180.29 \text{ kN}$
$M_{u,Rd}, M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{u,Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{v,Rd} : 2.80 \text{ kN}\cdot\text{m}$

5
6
7 Tesoura TS 138
9 Banzo Inferior TS 13

Perfil: UD 300x150x6.4
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Perfil: UD 300x150x6.4
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas					
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N7	N929	2.445	37.12	5297.81	836.84	5.07	-34.63	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _k	2.445	2.445	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_k: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

1
2

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N7/N929	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	x: 2.445 m η = 2.2	x: 0 m η = 2.2	x: 2.445 m η = 9.4	x: 0 m η = 15.0	x: 2.445 m η = 0.8	η = 1.5	x: 2.445 m η = 0.9	x: 0 m η = 2.2	x: 0 m η = 23.8	x: 2.445 m η = 17.9	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	PASS A η = 23.8

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

3
4
5

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 43 ✓



Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 277.20 mm

t: A espessura.

t : 6.40 mm

1
2
3
4
5

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 20.5 ✓

λ_{yy} : 51.5 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 2.445 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 2.445 m

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

r_x : 11.95 cm

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

r_y : 4.75 cm

6
7
8
9
10

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.022 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N929, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$: 15.63 kN

A força normal de tração resistente de cálculo **$N_{t,Rd}$** deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 698.53 kN

Onde:



A: Área bruta da seção transversal da barra.
 f_v : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A: 37.12 cm²
 f_v : 207.00 MPa
 γ : 1.1

1
2
3
4
5
6

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 0.022 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N7, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$: 10.78 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo **$N_{c,Rd}$** deve ser tomada como:

$N_{c,Rd}$: 497.99 kN

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

A_{ef} : 32.43 cm²

χ : Fator de redução associado à flambagem,

χ_{yy} : 0.89

χ_{xz} : 0.98

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,yy}$: 0.53

$\lambda_{0,xz}$: 0.21

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A: 37.12 cm²

f_v : Tensão de escoamento.

f_v : 207.00 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.2



A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 2762.17 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 2762.17 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 17486.53 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 17486.53 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : 5297.81 \text{ cm}^4$$

I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : 836.84 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 5.07 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 123666.07 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : 2.445 \text{ m}$$

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : 2.445 \text{ m}$$

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 15.88 \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : 11.95 \text{ cm}$$

$$r_y : 4.75 \text{ cm}$$

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos

$$x_0 : -93.14 \text{ mm}$$

principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

y_0 : 0.00 mm

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.094 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

M_{Sd} : 5.22 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd} : 55.31 kN·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

M_{Rd} : 55.31 kN·m

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef} : 293.92 cm³

f_y : 207.00 MPa

γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

6
7
8
9

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

10



$\eta : 0.150 \checkmark$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$M_{Sd} : 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$M_{Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$W_{ef} : 75.87 \text{ cm}^3$

f_v : Tensão de escoamento.

$f_v : 207.00 \text{ MPa}$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma : 1.1$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$\eta : 0.008 \checkmark$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$V_{Sd} : 1.63 \text{ kN}$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$V_{Sd} : 0.82 \text{ kN}$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$(1)V_{Rd} : 100.15 \text{ kN}$

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para

$h/t : 21.66$

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

t: 6.40 mm

h: 138.60 mm

f_v: 207.00 MPa

E: 200000 MPa

γ: 1.1

K_v: 1.20

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η: 0.015 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

V_{Sd}: 3.02 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por:

(1)V_{Rd}: 200.31 kN

para

1.08(EK_v/f_v)^{0.5}: 75.07

para

h/t: 43.31

para

1.4(EK_v/f_v)^{0.5}: 97.31

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

t: 6.40 mm

h: 277.20 mm

f_v: 207.00 MPa

E: 200000 MPa

γ: 1.1

K_v: 5.00

6
7



Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 5.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 2.50 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.022 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.79 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$\eta : 0.238$ ✓

Onde:

 $N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. $N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. $M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. $N_{c,Sd} : 8.83$ kN $M_{x,Sd} : 3.93$ kN·m $M_{y,Sd} : 2.14$ kN·m $N_{c,Rd} : 497.99$ kN $M_{x,Rd} : 55.31$ kN·m $M_{y,Rd} : 14.28$ kN·m1
2
3
4
5**Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N929, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

 $\eta : 0.179$ ✓

Onde:

 $N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo. $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6. $M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. $N_{t,Sd} : 15.63$ kN $M_{x,Sd} : 5.22$ kN·m $M_{y,Sd} : 0.88$ kN·m $N_{Rd} : 698.53$ kN $M_{x,Rd} : 55.31$ kN·m $M_{y,Rd} : 14.22$ kN·m6
7
8

Banzo Inferior TS 13

Perfil: UD 300x150x10

Material: Aço (AISI-SAE 1020)



Perfil: UD 300x150x10
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas				
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)
	N4	N5	1.715	57.12	7940.37	1257.41	19.04	-33.16

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	1.715	1.715	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

1
2

Barr a	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estad o
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y v	N _t M _x M _y v	M _t	
N4/ N5	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	x: 1.715 m η = 0.8	x: 0 m η = 3.4	x: 0 m η = 9.1	x: 0 m η = 36.2	x: 1.715 m η = 2.3	η = 2.0	x: 0 m η = 0.9	x: 0 m η = 13.1	x: 0 m η = 42.9	x: 0 m η = 38.2	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	PASS A η = 42.9

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

3
4
5
6
7
8
9

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma



Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 27 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 270.00 mm

t: A espessura.

t : 10.00 mm

1
2
3
4
5

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 14.5 ✓

λ_{yy} : 36.6 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 1.715 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 1.715 m

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

r_x : 11.79 cm

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

r_y : 4.69 cm

6
7
8
9
10

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.008 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

$N_{t,sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,sd}$: 8.63 kN

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:



$$N_{t,Rd} : 1074.92 \text{ kN}$$

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

f_y: Tensão de escoamento.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 57.12 \text{ cm}^2$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

1
2
3
4
5

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.034 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

N_{c,Sd}: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 31.26 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo **N_{c,Rd}** deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 927.93 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef}: Área efetiva da seção transversal da barra.

χ: Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

$$A_{ef} : 57.04 \text{ cm}^2$$

$$\chi_{yy} : 0.94$$

$$\chi_{xz} : 0.99$$

λ₀: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,yy} : 0.37$$

$$\lambda_{0,xz} : 0.15$$

Sendo:



N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 57.12 \text{ cm}^2$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 8438.78 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 8438.78 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 53289.55 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 53289.55 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

C_w : Constante de empenamento da seção.

E : Módulo de elasticidade.

G : Módulo de elasticidade transversal.

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$I_x : 7940.37 \text{ cm}^4$$

$$I_y : 1257.41 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 19.04 \text{ cm}^4$$

$$C_w : 180189.44 \text{ cm}^6$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$$K_x L_x : 1.715 \text{ m}$$

$$K_y L_y : 1.715 \text{ m}$$

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

$$r_0 : 15.69 \text{ cm}$$



Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

r_x : 11.79 cm
 r_y : 4.69 cm
 x_0 : -92.30 mm
 y_0 : 0.00 mm

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.091 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

M_{Sd} : 8.94 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd} : 98.55 kN·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

M_{Rd} : 98.55 kN·m

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef} : 523.69 cm³
 f_y : 207.00 MPa
 γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

6
7



1
2
3**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.362} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : \underline{7.91} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{21.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

 W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção. f_v : Tensão de escoamento. γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{116.25} \text{ cm}^3$$

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

4
5
6
7
8**Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.023} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : \underline{7.03} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : \underline{3.52} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:
para

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{152.43} \text{ kN}$$



A handwritten signature in blue ink, appearing to be "M. C. C.", is located in the bottom right corner of the page.

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 13.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 10.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 135.00 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4
5**Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.020 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 6.06 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 304.85 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 27.00$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:



t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_y : Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

K_y : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

t: 10.00 mm

h: 270.00 mm

f_y : 207.00 MPa

E: 200000 MPa

γ : 1.1

K_y : 5.00

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 0.009 ✓

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 8.94 kN·m

$M_{0,Rd}$: 98.55 kN·m

V_{Sd} : 6.06 kN

V_{Rd} : 304.85 kN

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 0.131 ✓

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

M_{Sd} : 7.91 kN·m

$M_{0,Rd}$: 21.88 kN·m

V_{Sd} : 6.10 kN



V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

V_{Rd} : 304.85 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

η : 0.429 ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$: 31.26 kN

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,Sd}$: 8.94 kN·m

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{y,Sd}$: 6.66 kN·m

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{c,Rd}$: 927.93 kN

$M_{x,Rd}$: 98.55 kN·m

$M_{y,Rd}$: 21.88 kN·m

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N4, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

η : 0.382 ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,Sd}$: 3.33 kN

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,Sd}$: 1.66 kN·m

$M_{y,Sd}$: 7.91 kN·m

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

N_{Rd} : 1074.92 kN

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$: 98.55 kN·m

$M_{y,Rd}$: 21.88 kN·m

Diagonal TS 13

Perfil: CD 100x6.4, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)



Perfil: CD 100x6.4, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)	
N5	N7	2.460	24.06	236.56	7856.49	3.23	0.00	-22.05

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	2.460	2.460	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-	-	1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	M _u V _v	M _v V _u	N _c M _u M _v	N _t M _u M _v	M _t	
N5/ N7	(b _f /t) ≤ 200 Passa	λ _{uu,c} ≤ 200 λ _{vv,c} ≤ 200 Passa	x: 0 m η = 11.6	x: 0 m η = 6.1	x: 0.82 m η = 3.7	x: 0.82 m η = 8.1	x: 2.46 m η = 1.3	x: 2.46 m η = 1.3	x: 0.82 m η = 0.1	x: 0.82 m η = 0.6	x: 0.615 m η = 12.6	x: 0 m η = 19.1	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	PASS A η = 19.1

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_u: Resistência à flexão eixo U
M_v: Resistência à flexão eixo V
V_u: Resistência ao esforço cortante U
V_v: Resistência ao esforço cortante V
M_uV_v: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados
M_vV_u: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados
N_cM_uM_v: Resistência à flexo-compressão
N_tM_uM_v: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)



Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 14 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 87.30 mm

t: A espessura.

t : 6.35 mm

1
2
3
4
5

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 78.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$: 26.2 ✓

$\lambda_{uu,s}$: 20.5 ✓

$\lambda_{vv,s}$: 42.7 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$: 2.460 m

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$: 4.725 m

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$: 3.14 cm

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$: 18.07 cm

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$: 0.820 m

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$: 0.820 m

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$: 4.00 cm

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$: 1.92 cm

6
7
8
9

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.116 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$N_{t,sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,sd} : 26.20 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 226.40 \text{ kN}$$

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 12.03 \text{ cm}^2$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

1
2
3
4
5
6
7
8
9

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.061 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

$N_{c,sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,sd} : 9.70 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 158.08 \text{ kN}$$



Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 12.03 \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{vv} : 0.92$$

Sendo:

$$\chi_{xz} : 0.76$$

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, vv} : 0.44$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.81$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 12.03 \text{ cm}^2$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 382.95 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 1305.13 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 382.95 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5639.83 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 393.50 \text{ kN}$$



I_u : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.	I_u : 192.11 cm ⁴
I_v : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.	I_v : 44.46 cm ⁴
I_t : Momento de inércia à torção uniforme.	I_t : 1.62 cm ⁴
C_w : Constante de empenamento da seção.	C_w : 0.11 cm ⁶
E: Módulo de elasticidade.	E: 200000 MPa
G: Módulo de elasticidade transversal.	G: 76923 MPa
$K_u L_u$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.	$K_u L_u$: 0.820 m
$K_v L_v$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.	$K_v L_v$: 0.820 m
$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.	$K_z L_z$: 0.820 m
r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.	

$$r_0 : 5.62 \text{ cm}$$

Sendo:

r_u, r_v : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

u_0, v_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$r_u : 4.00 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.92 \text{ cm}$$

$$u_0 : -34.58 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.037 \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 5.11 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 5.11 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:



W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 27.17 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.081 \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 2.35 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 12.46 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

6
7
8
9
10

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.013 \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 1.13 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 88.52 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 88.52 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 13.75$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 87.30 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 88.52 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

$$h/t : 13.75$$

para

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$



Onde:

t: Espessura da alma.

t: 6.35 mm

h: Largura da alma.

h: 87.30 mm

f_v: Tensão de escoamento.

f_v: 207.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E: 200000 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ: 1.1

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

K_v: 1.20

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η: 0.013 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

V_{Sd}: 1.13 kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante **V_{Rd}** é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

V_{Rd}: 88.52 kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante **V_{Rd}**, supondo que existe ruptura da mesa vertical.

V_{Rd}: 88.52 kN

para

1.08(EK_v/f_v)^{0.5}: 36.77

para

h/t: 13.75

para

1.4(EK_v/f_v)^{0.5}: 47.67

Onde:

t : Espessura da alma.	t : 6.35 mm
h : Largura da alma.	h : 87.30 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 88.52 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 13.75$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t : Espessura da alma.	t : 6.35 mm
h : Largura da alma.	h : 87.30 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:



$\eta : 0.001$ ✓

Onde:

 M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{Sd} : 0.19$ kN·m $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. $M_{0,Rd} : 5.11$ kN·m V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo. $V_{Sd} : 0.04$ kN V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. $V_{Rd} : 88.52$ kN1
2
3
4**Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

 $\eta : 0.006$ ✓

Onde:

 M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{Sd} : 0.19$ kN·m $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. $M_{0,Rd} : 2.35$ kN·m V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo. $V_{Sd} : 0.04$ kN V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. $V_{Rd} : 88.52$ kN6
7
8
9**Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 0.615 m do nó N5, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

 $\eta : 0.126$ ✓

Onde:

 $N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. $N_{c,Sd} : 8.72$ kN $M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente. $M_{u,Sd} : 0.16$ kN·m $M_{v,Sd} : 0.09$ kN·m $N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. $N_{c,Rd} : 158.08$ kN

$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{u,Rd} : \underline{5.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Rd} : \underline{2.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N5, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.191} \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$N_{t,Sd} : \underline{26.20} \text{ kN}$$

$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$$M_{u,Sd} : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Sd} : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$N_{Rd} : \underline{226.40} \text{ kN}$$

$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{u,Rd} : \underline{5.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Rd} : \underline{2.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

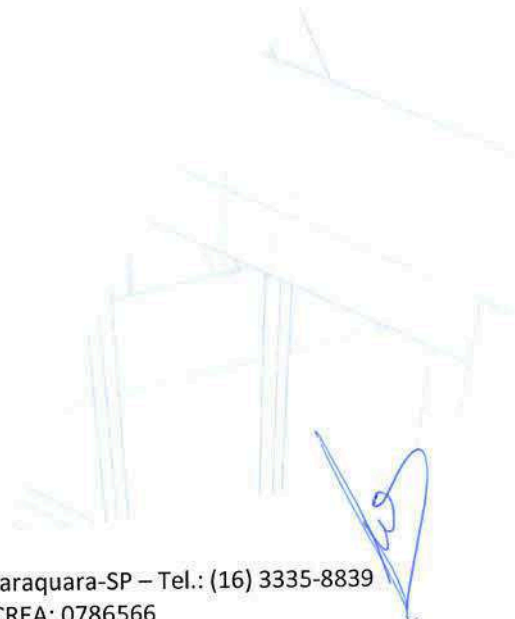
EM BRANCO

Memória de Cálculo Estrutura Atual

USI SAC 300



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566



EM BRANCO

Banzo superior TS1

Perfil: UD 300x100x4.8
Material: Aço USI-SAC 300

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas					
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N19	N18	1.659	22.99	2971.68	205.34	1.73	-27.92	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	1.659	1.659	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)												Estado	
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y		M _t
N19/N18	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	N _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 41.2	x: 1.659 m η = 13.2	x: 1.659 m η = 5.9	x: 1.659 m η = 0.3	η = 1.0	x: 1.659 m η = 1.8	x: 1.659 m η = 0.3	x: 1.659 m η = 60.3	N.P. ⁽²⁾	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	PASS A η = 60.3

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 59 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b: 280.50 mm
t: 4.75 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx} : 14.6$ ✓

$\lambda_{yy} : 55.5$ ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x : 1.659$ m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y : 1.659$ m

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$r_x : 11.37$ cm

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$r_y : 2.99$ cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$\eta : 0.412$ ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N19, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd} : 145.74$ kN

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{c,Rd} : 353.50$ kN

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$A_{ef} : 17.20$ cm²

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$\chi_{yy} : 0.82$

$\chi_{xz} : 0.99$

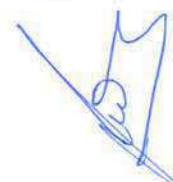
Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,yy} : 0.68$

$\lambda_{0,xz} : 0.18$

Sendo:



N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A : 22.99 cm²

f_v : 300.00 MPa

γ : 1.2

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

N_e : 1472.71 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

N_{ey} : 1472.71 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

N_{exz} : 21312.72 kN

Onde:

N_{ex} : 21312.72 kN

N_{ez} : ∞

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

I_x : 2971.68 cm⁴

I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

I_y : 205.34 cm⁴

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 1.73 cm⁴

C_w : Constante de empenamento da seção.

C_w : 31289.05 cm⁶

E : Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

G : Módulo de elasticidade transversal.

G : 76923 MPa

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 1.659 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 1.659 m

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$K_z L_z$: 0.000 m

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

r_0 : 12.89 cm

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

r_x : 11.37 cm

r_y : 2.99 cm

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

x_0 : -52.82 mm

y_0 : 0.00 mm



Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.132} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$M_{Sd} : \underline{6.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : \underline{45.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : \underline{45.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{167.40} \text{ cm}^3$$

$$f_v : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.059} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N18, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$M_{Sd} : \underline{0.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{6.87} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:



W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 25.18 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.003 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N18, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : 0.45 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 0.23 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 70.15 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 19.00$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t : Espessura da alma.

$$t : 4.75 \text{ mm}$$

h : Largura da alma.

$$h : 90.25 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.010 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : 2.18 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 218.03 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 59.05$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 4.75 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 280.50 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.018 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 6.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 45.65 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 2.18 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 218.03 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:



η : 0.003 ✓

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.
 $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.
 V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.
 V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 0.40 kN·m
 $M_{0,Rd}$: 6.87 kN·m
 V_{Sd} : 0.45 kN
 V_{Rd} : 140.30 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N18, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

η : 0.603 ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.
 $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.
 $N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.
 $M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{c,Sd}$: 145.64 kN
 $M_{x,Sd}$: 6.03 kN·m
 $M_{y,Sd}$: 0.40 kN·m
 $N_{c,Rd}$: 353.50 kN
 $M_{x,Rd}$: 45.65 kN·m
 $M_{y,Rd}$: 6.87 kN·m

Banzo superior TS1

Perfil: UD 300x100x6.4
Material: Aço USI SAC 300

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas					
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N838	N825	1.875	30.49	3890.53	267.79	4.10	-27.28	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	1.875	1.875	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N838/N825	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 300 λ _{yy} ≤ 300 Passa	x: 1.875 m η = 21.2	N _{c,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 1.875 m η = 1.9	x: 1.875 m η = 6.2	x: 1.875 m η = 0.4	η = 0.3	x: 1.875 m η < 0.1	x: 1.875 m η = 0.4	N.P. ⁽²⁾	x: 1.875 m η = 29.0	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	PASS A η = 29.0

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbelteza
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N838.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijeados sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 44 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 277.30 mm

t: A espessura.

t : 6.35 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300.

λ_{xx} : 16.6 ✓

λ_{yy} : 63.2 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 1.875 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 1.875 m

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

r_x : 11.30 cm

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

r_y : 2.96 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.212 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N825, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,sd}$: 176.20 kN

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 831.48 kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A : 30.49 cm²

f_v : Tensão de escoamento.

f_v : 300.00 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.019 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N825, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

$$M_{Sd} : 1.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 241.48 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.062 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N825, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 9.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

$$W_{ef} : 34.64 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η : 0.004 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N825, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

V_{Sd} : 0.71 kN

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

V_{Sd} : 0.35 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$(1)V_{Rd}$: 92.12 kN

para

$1.08(EK_V/f_V)^{0.5}$: 30.55

para

h/t : 13.96

para

$1.4(EK_V/f_V)^{0.5}$: 39.60

Onde:

t: Espessura da alma.

t: 6.35 mm

h: Largura da alma.

h: 88.65 mm

f_v: Tensão de escoamento.

f_v: 300.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E: 200000 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

K_V: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

K_V: 1.20

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η : 0.003 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.5 \cdot SCU1$.

V_{Sd} : 0.76 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$(1)V_{Rd}$: 288.14 kN

para

$1.08(EK_V/f_V)^{0.5}$: 62.35

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N825, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 1.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.37 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N825, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.004 \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$M_{Sd} : 0.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 9.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 0.71 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 184.23 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N825, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 0.290 \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$N_{t,Sd} : 176.20 \text{ kN}$$

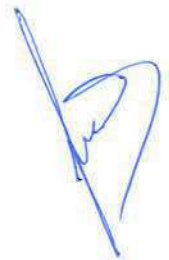
$$M_{x,Sd} : 1.09 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : 831.48 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 9.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Diagonal TS1

Perfil: CD 100x3.9, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligaço à distância máxima)
Material: Aço USI SAC 300

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N20	N760	2.383	14.91	150.04	4808.97	0.74	0.00	-23.22

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	2.383	2.383	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	M _u V _v	M _v V _u	N _c M _u M _v	N _t M _u M _v	M _t	
N20/N760	(b _f /t) ≤ 200 Passa	λ _{uu,c} ≤ 200 λ _{vv,c} ≤ 200 Passa	x: 2.383 m η = 3.6	x: 2.383 m η = 114.2	x: 2.383 m η > 1000.0	x: 2.383 m η = 9.8	x: 2.383 m η = 2.1	x: 2.383 m η = 2.1	x: 2.383 m η > 1000.0	x: 2.383 m η = 1.0	x: 2.185 m η > 1000.0	x: 2.383 m η > 1000.0	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	NÃO PASSA η > 1000.0

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbelteza
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_u: Resistência à flexão eixo U
M_v: Resistência à flexão eixo V
V_u: Resistência ao esforço cortante U
V_v: Resistência ao esforço cortante V
M_uV_v: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados
M_vV_u: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados
N_cM_uM_v: Resistência à flexo-compressão
N_tM_uM_v: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbelteza mecânica ideal, obtida em função da esbelteza da peça e uma esbelteza complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 24 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b: 92.30 mm
t: 3.85 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 75.1 ✓
 $\lambda_{vv,c}$: 40.3 ✓

$\lambda_{uu,s}$: 19.7 ✓
 $\lambda_{vv,s}$: 40.3 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$: 2.383 m

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$: 7.239 m

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$: 3.17 cm

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$: 17.96 cm

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$: 0.794 m

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$: 0.794 m

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$: 4.03 cm

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$: 1.97 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.036 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N760, para a combinação de ações PP+1.25·PPT+1.4·V90.

$N_{t,sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,sd}$: 7.27 kN

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 203.29 kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
 f_y : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A: 7.45 cm²
 f_y : 300.00 MPa
 γ : 1.1

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 1.142 ~~X~~

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N760, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,sd}$: 62.69 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo **$N_{c,Rd}$** deve ser tomada como:

$N_{c,Rd}$: 54.90 kN

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

A_{ef} : 6.45 cm²

χ : Fator de redução associado à flambagem,

χ_{vv} : 0.90

Sendo:

χ_{xz} : 0.34

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,vv}$: 0.50

$\lambda_{0,xz}$: 1.61

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A: 7.45 cm²

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 300.00 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.2

A força normal de flambagem elástica **N_e** é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

N_e : 86.78 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

N_{ev} : 906.35 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{\text{exz}} : 86.78 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{\text{ex}} : 3785.84 \text{ kN}$$

$$N_{\text{ez}} : 87.55 \text{ kN}$$

I_u : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 121.06 \text{ cm}^4$$

I_v : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 28.98 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.37 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.01 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_u L_u$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u L_u : 0.794 \text{ m}$$

$K_v L_v$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v L_v : 0.794 \text{ m}$$

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 0.794 \text{ m}$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 5.69 \text{ cm}$$

Sendo:

r_u, r_v : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.03 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.97 \text{ cm}$$

u_0, v_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.98 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 25.578 \text{ X}$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{\text{Sd}} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{\text{Rd}} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 0.03 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.098 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 2.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 8.15 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.021 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.71 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : \underline{82.24 \text{ kN}}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : \underline{82.24 \text{ kN}}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{30.55}$$

para

$$h/t : \underline{23.97}$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{39.60}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.85 \text{ mm}}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{92.30 \text{ mm}}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{300.00 \text{ MPa}}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000 \text{ MPa}}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : \underline{82.24 \text{ kN}}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{30.55}$$

para

$$h/t : \underline{23.97}$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{39.60}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.85 \text{ mm}}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{92.30 \text{ mm}}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{300.00 \text{ MPa}}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000 \text{ MPa}}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.021 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N760, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : 1.71 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 82.24 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 82.24 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 82.24 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t: Espessura da alma.
h: Largura da alma.
f_v: Tensão de escoamento.
E: Módulo de elasticidade.
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.
K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

t: 3.85 mm
h: 92.30 mm
f_v: 300.00 MPa
E: 200000 MPa
γ: 1.1
K_v: 1.20

Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 654.224 ✗

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 0.22 kN·m
M_{0,Rd} : 0.01 kN·m
V_{Sd} : 1.71 kN
V_{Rd} : 82.24 kN

Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N760, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 0.010 ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 0.22 kN·m
M_{0,Rd} : 2.22 kN·m
V_{Sd} : 1.71 kN
V_{Rd} : 82.24 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 2.185 m do nó N20, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.5 \cdot SCU1 + 0.84 \cdot V90$.

$\eta : 18.498 \times$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd} : 0.20 \text{ kN}$

$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$M_{u,Sd} : 0.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{v,Sd} : 0.04 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$N_{c,Rd} : 54.90 \text{ kN}$

$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{u,Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{v,Rd} : 2.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N760, para a combinação $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta : 25.631 \times$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$N_{t,Sd} : 5.54 \text{ kN}$

$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$M_{u,Sd} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{v,Sd} : 0.06 \text{ kN}\cdot\text{m}$

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$N_{Rd} : 203.29 \text{ kN}$

$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{u,Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{v,Rd} : 2.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Perfil: UD 300x100x6.4
Material: Aço USI SAC 300

	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
	N14	N13	0.830	30.49	3890.53	267.79	4.10	-27.28	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	0.830	0.830	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)												Estado	
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y		M _t
N14/N13	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	N _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 101.0	x: 0 m η = 8.6	x: 0.83 m η = 102.5	x: 0.83 m η = 8.9	η = 4.1	x: 0 m η = 0.9	x: 0.83 m η = 105.8	x: 0.83 m η = 209.5	N.P. ⁽²⁾	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η = 209.5

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 44 ✓

Sendo:



b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 277.30 mm
t : 6.35 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 7.3 ✓
 λ_{yy} : 28.0 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.
 r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$: 0.830 m
 $K_y L_y$: 0.830 m
 r_x : 11.30 cm
 r_y : 2.96 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 1.010 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N14, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$: 638.78 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo **$N_{c,Rd}$** deve ser tomada como:

$N_{c,Rd}$: 632.76 kN

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

χ : Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

A_{ef} : 26.61 cm²
 χ_{yy} : 0.95
 χ_{xz} : 1.00

$\lambda_{0,yy}$: 0.35
 $\lambda_{0,xz}$: 0.09

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : \underline{30.49} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : \underline{7672.91} \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : \underline{7672.91} \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : \underline{111476.16} \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : \underline{111476.16} \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \underline{\infty}$$

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{3890.53} \text{ cm}^4$$

I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{267.79} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{4.10} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{40239.31} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : \underline{76923} \text{ MPa}$$

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{0.830} \text{ m}$$

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{0.830} \text{ m}$$

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : \underline{0.000} \text{ m}$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : \underline{12.80} \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{11.30} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.96} \text{ cm}$$

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : \underline{-52.43} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.086} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$M_{Sd} : \underline{5.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : \underline{65.86} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : \underline{65.86} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{241.48} \text{ cm}^3$$

$$f_v : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{1.025} \times$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N13, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$M_{Sd} : \underline{9.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{9.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 34.01 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.089 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N13, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : 16.41 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 8.20 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$${}^{(1)}V_{Rd} : 92.12 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 13.96$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t : Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

h : Largura da alma.

$$h : 88.65 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.041 \quad \checkmark$$


O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 11.72 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 5.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 11.72 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 1.058 X

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{Sd} : 9.50 kN·m

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$M_{0,Rd}$: 9.27 kN·m

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Sd} : 16.41 kN

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

V_{Rd} : 184.23 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N13, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

η : 2.095 X

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$: 638.71 kN

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$M_{x,Sd}$: 4.05 kN·m

$M_{y,Sd}$: 9.50 kN·m

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$N_{c,Rd}$: 632.76 kN

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$: 65.86 kN·m

$M_{y,Rd}$: 9.27 kN·m

Banzo Superior TS 5

Perfil: UD 300x100x6.4 Material: Aço USI SAC 300									
Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas						
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)	
N799	N8	1.977	30.49	3890.53	267.79	4.10	-27.28	0.00	
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade									
	Flambagem		Flambagem lateral						
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.					
β	1.00	1.00	0.00	0.00					
L _K	1.977	1.977	0.000	0.000					
C _m	-	-	1.000	1.000					
C _b	-		1.000						
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N799/ N8	x: 0.395 m (b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 300 λ _{yy} ≤ 300 Passa	x: 1.977 m η = 68.0	N _{c,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 1.977 m η = 9.2	x: 1.977 m η = 13.9	x: 1.977 m η = 0.6	η = 1.3	x: 1.977 m η = 0.9	x: 1.977 m η = 1.9	N.P. ⁽²⁾	x: 1.977 m η = 90.9	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	PASS A η = 90.9
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y M _x V _y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M _y V _x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N _c M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _x M _y : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão. ⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

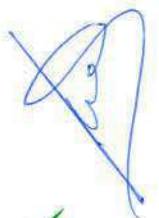
Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância 0.395 m do nó N799.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 44 ✓



Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 277.30 mm
t : 6.35 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300.

λ_{xx} : 17.5 ✓
 λ_{yy} : 66.7 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.
 r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$: 1.977 m
 $K_y L_y$: 1.977 m
 r_x : 11.30 cm
 r_y : 2.96 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.680 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N8, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$: 565.08 kN

A força normal de tração resistente de cálculo **$N_{t,Rd}$** deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 831.48 kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
 f_y : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A : 30.49 cm²
 f_y : 300.00 MPa
 γ : 1.1

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.092 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : 6.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 241.48 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.139 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 9.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{34.64} \text{ cm}^3$$

$$f_v : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.006} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se no nó N8, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{sd} : \underline{1.06} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{sd} = 0.5 V_{sd}$.

$$V_{sd} : \underline{0.53} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{92.12} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{30.55}$$

para

$$h/t : \underline{13.96}$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{39.60}$$

Onde:

t : Espessura da alma.

$$t : \underline{6.35} \text{ mm}$$

h : Largura da alma.

$$h : \underline{88.65} \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:


$$K_v : \underline{1.20}$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.013} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{sd} : \underline{3.72} \text{ kN}$$


A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_v)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 43.67$$

para

$$1.4(EK_V/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 277.30 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 6.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 65.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 3.64 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 288.14 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N8, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 0.019 ✓

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 1.31 kN·m

$M_{0,Rd}$: 9.45 kN·m

V_{Sd} : 1.06 kN

V_{Rd} : 184.23 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N8, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

η : 0.909 ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{t,Sd}$: 565.08 kN

$M_{x,Sd}$: 5.96 kN·m

$M_{y,Sd}$: 1.31 kN·m

N_{Rd} : 831.48 kN

$M_{x,Rd}$: 65.86 kN·m

$M_{y,Rd}$: 9.45 kN·m

Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço USI SAC 300

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)	
N14	N799	2.163	18.29	182.52	5925.30	1.38	0.00	-22.80

Notas:
 (1) Inércia em relação ao eixo indicado
 (2) Momento de inércia à torção uniforme
 (3) Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	2.163	2.163	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
 β: Coeficiente de flambagem
 L_K: Comprimento de flambagem (m)
 C_m: Coeficiente de momentos
 C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	M _u V _v	M _v V _u	N _c M _u M _v	N _t M _u M _v	M _t	
N14/N799	(b _f /t) ≤ 200 Passa	λ _{uu,c} ≤ 200 λ _{vv,c} ≤ 200 Passa	N _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 2.163 m η = 115.4	x: 0 m η > 1000.0	x: 0 m η = 25.2	x: 2.163 m η = 2.1	x: 2.163 m η = 2.1	x: 0 m η > 1000.0	x: 0 m η = 6.4	x: 0 m η > 1000.0	N.P. ⁽²⁾	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η > 1000.0

Notação:
 b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
 λ: Limitação de esbelteza
 N_t: Resistência à tração
 N_c: Resistência à compressão
 M_u: Resistência à flexão eixo U
 M_v: Resistência à flexão eixo V
 V_u: Resistência ao esforço cortante U
 V_v: Resistência ao esforço cortante V
 M_uV_v: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados
 M_vV_u: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados
 N_cM_uM_v: Resistência à flexo-compressão
 N_tM_uM_v: Resistência à flexo-tração
 M_t: Resistência à torção
 x: Distância à origem da barra
 η: Coeficiente de aproveitamento (%)
 N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
 (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
 (2) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
 (3) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbelteza mecânica ideal, obtida em função da esbelteza da peça e uma esbelteza complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 19 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

t: A espessura.

b: 90.48 mm

t: 4.76 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 68.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$: 36.8 ✓

$\lambda_{uu,s}$: 17.9 ✓

$\lambda_{vv,s}$: 36.9 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$: 2.163 m

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$: 6.626 m

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$: 3.16 cm

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$: 18.00 cm

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$: 0.721 m

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$: 0.721 m

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$: 4.02 cm

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$: 1.95 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 1.154 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N799, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,sd}$: 116.47 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 100.96 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 8.15 \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{vv} : 0.92$$

Sendo:

$$\chi_{xz} : 0.50$$

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, vv} : 0.45$$

$$\lambda_{0, xz} : 1.29$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 9.14 \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 163.65 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 1326.51 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 163.65 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5606.68 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 165.51 \text{ kN}$$

I_u : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 147.60 \text{ cm}^4$$

I_v : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 34.92 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.69 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.03 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_u L_u$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.
 $K_v L_v$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.
 $K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.
 r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$K_u L_u : 0.721 \text{ m}$$
$$K_v L_v : 0.721 \text{ m}$$
$$K_z L_z : 0.721 \text{ m}$$

$$r_0 : 5.67 \text{ cm}$$

Sendo:

r_u, r_v : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.02 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.95 \text{ cm}$$

u_0, v_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.85 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 77.230 \text{ X}$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : 0.03 \text{ cm}^3$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.



Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.252 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 2.66 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 9.75 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.021 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N799, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 2.10 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 99.67 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 99.67 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t : Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

h : Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.
K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

E: 200000 MPa
 γ : 1.1
K_v: 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

V_{Rd}: 99.67 kN

para

1.08(EK_v/f_v)^{0.5}: 30.55

para

h/t: 19.01

para

1.4(EK_v/f_v)^{0.5}: 39.60

Onde:

t: Espessura da alma.
h: Largura da alma.
f_v: Tensão de escoamento.
E: Módulo de elasticidade.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.
K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

t: 4.76 mm
h: 90.48 mm
f_v: 300.00 MPa
E: 200000 MPa
 γ : 1.1
K_v: 1.20

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η : 0.021 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N799, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

V_{Sd}: 2.10 kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

V_{Rd}: 99.67 kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

V_{Rd}: 99.67 kN

para

1.08(EK_v/f_v)^{0.5}: 30.55

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 99.67 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 5964.512 \text{ X}$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 0.67 kN·m

$M_{0,Rd}$: 0.01 kN·m

V_{Sd} : 1.14 kN

V_{Rd} : 99.67 kN

Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.064 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 0.67 kN·m

$M_{0,Rd}$: 2.66 kN·m

V_{Sd} : 1.14 kN

V_{Rd} : 99.67 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N14, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 78.323 \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{c,Sd}$: 90.10 kN

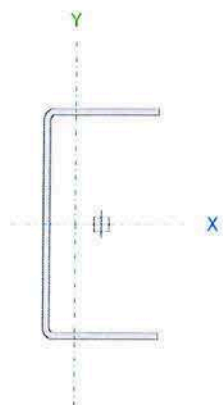
$M_{u,Sd}$: 0.67 kN·m

$M_{v,Sd}$: 0.53 kN·m

$N_{c,Rd}$: 100.96 kN

$M_{u,Rd}$: 0.01 kN·m

$M_{v,Rd}$: 2.66 kN·m

Perfil: UD 300x150x10 Material: Aço USI SAC 300									
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
	N1	N9	1.787	57.12	7940.37	1257.41	19.04	-33.16	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade									
			Flambagem			Flambagem lateral			
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.			
β			1.00	1.00	0.00	0.00			
L _K			1.787	1.787	0.000	0.000			
C _m			-	-	1.000	1.000			
C _b			-			1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barr a	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N1/ N9	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	N _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 72.8	x: 0 m η = 7.8	x: 0 m η = 29.6	x: 0 m η = 1.4	η = 1.0	x: 0 m η = 0.6	x: 0 m η = 8.8	x: 0 m η = 110.2	N.P. ⁽²⁾	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η = 110.2
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y M _x V _y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M _y V _x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N _c M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _x M _y : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. (2) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (3) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 27 ✓

Sendo:



b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b: 270.00 mm
t: 10.00 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 15.2 ✓
 λ_{yy} : 38.1 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.
 r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$: 1.787 m
 $K_y L_y$: 1.787 m
 r_x : 11.79 cm
 r_y : 4.69 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 0.728 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,sd}$: 905.25 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{c,Rd}$: 1243.82 kN

Onde:

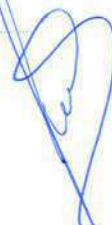
A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.
 χ : Fator de redução associado à flambagem,

A_{ef} : 54.56 cm²
 χ_{yy} : 0.91
 χ_{xz} : 0.99

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,yy}$: 0.47
 $\lambda_{0,xz}$: 0.19



Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 57.12 \text{ cm}^2$$

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 7772.46 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 7772.46 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 49081.88 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 49081.88 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : 7940.37 \text{ cm}^4$$

I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : 1257.41 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 19.04 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 180189.44 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : 1.787 \text{ m}$$

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : 1.787 \text{ m}$$

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 15.69 \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : 11.79 \text{ cm}$$

$$r_y : 4.69 \text{ cm}$$

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : -92.30 \text{ mm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.078 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 10.44 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 491.83 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.296 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 9.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 31.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 116.25 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.014 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 6.19 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 3.09 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 220.91 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 13.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t : Espessura da alma.

$$t : 10.00 \text{ mm}$$

h : Largura da alma.

$$h : 135.00 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.010 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 4.43 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 441.82 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 27.00$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 10.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 270.00 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_V : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_V : 5.00$$

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.006 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 10.44 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 4.32 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 441.82 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : **0.088** ✓

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 9.39 kN·m

$M_{0,Rd}$: 31.70 kN·m

V_{Sd} : 6.19 kN

V_{Rd} : 441.82 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

η : **1.102** ✗

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{c,Sd}$: 905.25 kN

$M_{x,Sd}$: 10.44 kN·m

$M_{y,Sd}$: 9.39 kN·m

$N_{c,Rd}$: 1243.82 kN

$M_{x,Rd}$: 134.14 kN·m

$M_{y,Rd}$: 31.70 kN·m

Perfil: UD 300x150x8
Material: Aço USI SAC 300

	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
	N890	N877	1.613	46.09	6501.39	1028.10	9.83	-33.98	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _k	1.613	1.613	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_k: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _v	N _t M _x M _v	M _t	
N890/N877	x: 1.411 m (b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 300 λ _{yy} ≤ 300 Passa	x: 1.613 m η = 65.7	N _{c,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 1.0	x: 0 m η = 23.9	x: 0 m η = 1.3	η = 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 5.7	N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 89.6	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	PASS A η = 89.6

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_x: Resistência à flexo-compressão
N_tM_x: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância 1.411 m do nó N890.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijeados sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 34 ✓



Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b: 274.00 mm
t: 8.00 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300.

λ_{xx} : 13.6 ✓
 λ_{yy} : 34.1 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.
 r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$: 1.613 m
 $K_y L_y$: 1.613 m
 r_x : 11.88 cm
 r_y : 4.72 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.657 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N877, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$: 825.38 kN

A força normal de tração resistente de cálculo **$N_{t,Rd}$** deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 1256.93 kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
 f_v : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A: 46.09 cm²
 f_v : 300.00 MPa
 γ : 1.1

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : \underline{0.96} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : \underline{100.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : \underline{100.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{368.06} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.239} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : \underline{6.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{25.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:



W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 93.71 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.013 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 4.59 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 2.30 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 179.35 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 17.12$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t : Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h : Largura da alma.

$$h : 137.00 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.001 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+PPT+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 0.37 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 358.69 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_v)^{0.5} : 62.35$$

para

$$h/t : 34.25$$

para

$$1.4(EK_V/f_v)^{0.5} : 80.83$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 274.00 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_V: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_V : 5.00$$

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 100.38 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.31 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 358.69 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N890, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 0.057 ✓

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 6.10 kN·m

$M_{0,Rd}$: 25.56 kN·m

V_{Sd} : 4.59 kN

V_{Rd} : 358.69 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N890, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

η : 0.896 ✓

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{t,Sd}$: 825.29 kN

$M_{x,Sd}$: 0.10 kN·m

$M_{y,Sd}$: 6.10 kN·m

N_{Rd} : 1256.93 kN

$M_{x,Rd}$: 100.38 kN·m

$M_{y,Rd}$: 25.56 kN·m

Diagonal TS 9

Perfil: CD 100x3.9, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço USI SAC 300

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas					
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N9	N890	2.725	14.90	150.01	4807.83	0.74	0.00	-23.21

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade



	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	2.725	2.725	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	M _u V _v	M _v V _u	N _c M _u M _v	N _t M _u M _v	M _t	
N9/N890	(b _f /t) ≤ 200 Passa	λ _{uu,c} ≤ 300 λ _{vv,c} ≤ 300 Passa	x: 2.725 m η = 31.6	N _{c,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η > 1000.0	x: 0 m η = 10.7	x: 0 m η = 1.0	x: 0 m η = 1.0	x: 0 m η > 1000.0	x: 0 m η = 1.2	N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η > 1000.0	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η > 1000.0

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbelteza
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_u: Resistência à flexão eixo U
M_v: Resistência à flexão eixo V
V_u: Resistência ao esforço cortante U
V_v: Resistência ao esforço cortante V
M_uV_v: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados
M_vV_u: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados
N_cM_uM_v: Resistência à flexo-compressão
N_tM_uM_v: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbelteza mecânica ideal, obtida em função da esbelteza da peça e uma esbelteza complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.



(b/t) : 24 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento,
t: A espessura.

b: 92.15 mm
t: 3.85 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 300. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 300.

$\lambda_{uu,c}$: 85.9 ✓

$\lambda_{vv,c}$: 28.6 ✓

$\lambda_{uu,s}$: 22.5 ✓

$\lambda_{vv,s}$: 46.1 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$: 2.725 m

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$: 5.143 m

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$: 3.17 cm

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$: 17.96 cm

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$: 0.908 m

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$: 0.908 m

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$: 4.03 cm

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$: 1.97 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

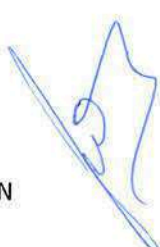
η : 0.316 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N890, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$N_{t,sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,sd}$: 64.27 kN

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:



$$N_{t,Rd} : 203.22 \text{ kN}$$

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
f_y: Tensão de escoamento.
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 7.45 \text{ cm}^2$$
$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$
$$\gamma : 1.1$$

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 27.722 \text{ X}$$

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{Sd}** é obtido para o nó N9, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : 0.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef}: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y: Tensão de escoamento.
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 0.03 \text{ cm}^3$$
$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$
$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção **K_tL_t** e os comprimentos efetivos de flambagem lateral **K_vL_v^{pos}** e **K_vL_v^{neg}** são nulos.

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.107 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N9, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$.

$$M_{Sd} : 0.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 2.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : 8.14 \text{ cm}^3$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.010 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N9, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$.

$$V_{Sd} : 0.82 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 82.10 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 82.10 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 23.94$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 92.15 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

K_v : 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante **V_{Rd}**, supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

V_{Rd} : 82.10 kN

para

1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55

para

h/t : 23.94

para

1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60

Onde:

t: Espessura da alma.

t : 3.85 mm

h: Largura da alma.

h : 92.15 mm

f_v: Tensão de escoamento.

f_v : 300.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

K_v : 1.20

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η : 0.010 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se no nó N9, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

V_{Sd} : 0.82 kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante **V_{Rd}** é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

V_{Rd} : 82.10 kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante **V_{Rd}**, supondo que existe ruptura da mesa vertical.

V_{Rd} : 82.10 kN

para

1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55

para

h/t : 23.94

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 92.15 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 82.10 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 30.55$$

para

$$h/t : 23.94$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 39.60$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 92.15 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N9, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 768.532 \text{ X}$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.
 $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.
 V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.
 V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 0.24 kN·m
 $M_{0,Rd}$: 0.01 kN·m
 V_{Sd} : 0.82 kN
 V_{Rd} : 82.10 kN

Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N9, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 0.012 ✓

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.
 $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.
 V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.
 V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 0.24 kN·m
 $M_{0,Rd}$: 2.22 kN·m
 V_{Sd} : 0.82 kN
 V_{Rd} : 82.10 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N9, para a combinação $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

η : 28.101 ✗

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.
 $M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.
 N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.
 $M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{t,Sd}$: 58.13 kN
 $M_{u,Sd}$: 0.24 kN·m
 $M_{v,Sd}$: 0.20 kN·m
 N_{Rd} : 203.22 kN
 $M_{u,Rd}$: 0.01 kN·m
 $M_{v,Rd}$: 2.22 kN·m

Perfil: UD 300x150x10										
Material: Aço USI SAC 300										
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)	
	N4	N5	1.715	57.12	7940.37	1257.41	19.04	-33.16	0.00	
	Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade									
				Flambagem		Flambagem lateral				
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.			
β			1.00	1.00	0.00		0.00			
L _K			1.715	1.715	0.000		0.000			
C _m			-	-	1.000		1.000			
C _b			-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico										

Barr a	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)												Estado	
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y		M _t
N4/ N5	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	x: 1.715 m η = 0.6	x: 0 m η = 2.5	x: 0 m η = 6.7	x: 0 m η = 25.0	x: 1.715 m η = 1.6	η = 1.4	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η = 6.3	x: 0 m η = 30.2	x: 0 m η = 26.4	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	PASS A η = 30.2
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y M _x V _y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M _y V _x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N _c M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _x M _y : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): (1) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 27 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 270.00 mm
t : 10.00 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 14.5 ✓

λ_{yy} : 36.6 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 1.715 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 1.715 m

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

r_x : 11.79 cm

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

r_y : 4.69 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.006 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações PP+PPT+1.4.V90.

$N_{t,sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,sd}$: 8.63 kN

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 1557.86 kN

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

A : 57.12 cm²

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 300.00 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 0.025 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$.

$N_{c,Ed}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Ed} : 31.26 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 1251.64 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 54.51 \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : 0.92$$

$$\chi_{xz} : 0.99$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : 0.45$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.18$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 57.12 \text{ cm}^2$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 8438.78 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 8438.78 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 53289.55 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 53289.55 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.
 I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.
 I_t : Momento de inércia à torção uniforme.
 C_w : Constante de empenamento da seção.
 E : Módulo de elasticidade.
 G : Módulo de elasticidade transversal.
 $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 $K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.
 r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

I_x : 7940.37 cm⁴
 I_y : 1257.41 cm⁴
 I_t : 19.04 cm⁴
 C_w : 180189.44 cm⁶
 E : 200000 MPa
 G : 76923 MPa
 $K_x L_x$: 1.715 m
 $K_y L_y$: 1.715 m
 $K_z L_z$: 0.000 m
 r_0 : 15.69 cm

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.
 x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

r_x : 11.79 cm
 r_y : 4.69 cm
 x_0 : -92.30 mm
 y_0 : 0.00 mm

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.067 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

M_{Sd} : 8.94 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd} : 134.14 kN·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

M_{Rd} : 134.14 kN·m

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef} : 491.83 cm³
 f_y : 300.00 MPa
 γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.250 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

M_{Sd} : 7.91 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

M_{Rd} : 31.70 kN·m

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

W_{ef} : 116.24 cm³

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 300.00 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η : 0.016 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

V_{Sd} : 7.03 kN

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

V_{Sd} : 3.52 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

⁽¹⁾ V_{Rd} : 220.91 kN

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$: 30.55

para

h/t : 13.50

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$: 39.60

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

t: 10.00 mm

h: 135.00 mm

f_v: 300.00 MPa

E: 200000 MPa

γ: 1.1

K_v: 1.20

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η: 0.014 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

V_{Sd}: 6.06 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por:

⁽¹⁾**V_{Rd}**: 441.82 kN

para

1.08(EK_v/f_v)^{0.5}: 62.35

para

h/t: 27.00

para

1.4(EK_v/f_v)^{0.5}: 80.83

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

t: 10.00 mm

h: 270.00 mm

f_v: 300.00 MPa

E: 200000 MPa

γ: 1.1

K_v: 5.00

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.005 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$M_{Sd} : 8.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 6.06 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 441.82 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.063 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$M_{Sd} : 7.91 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : 31.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : 6.10 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} : 441.82 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$\eta : 0.302 \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$N_{c,Sd} : 31.26 \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : 8.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 6.66 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : 1251.64 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 134.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 31.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N4, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.264} \quad \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$N_{t,Sd} : \underline{3.33} \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : \underline{1.66} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{7.91} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : \underline{1557.86} \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : \underline{134.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{31.70} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Perfil: UD 300x150x6.4
Material: Aço USI SAC 300

	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
	N7	N929	2.445	37.12	5297.81	836.84	5.07	-34.63	0.00
	Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
				Flambagem		Flambagem lateral			
				Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.	
β	1.00		1.00		0.00		0.00		
L _K	2.445		2.445		0.000		0.000		
C _m	-		-		1.000		1.000		
C _b	-		-		1.000				
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N7/N929	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	x: 2.445 m η = 1.5	x: 0 m η = 1.7	x: 2.445 m η = 7.0	x: 0 m η = 10.5	x: 2.445 m η = 0.6	η = 1.0	x: 2.445 m η = 0.5	x: 0 m η = 1.1	x: 0 m η = 17.2	x: 2.445 m η = 12.9	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	PASS A η = 17.2
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y M _x V _y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M _y V _x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N _c M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _x M _y : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): (1) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 43 ✓

Sendo:

- b**: Comprimento do elemento.
- t**: A espessura.

b : 277.20 mm
t : 6.40 mm



Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : 20.5 \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : 51.5 \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : 2.445 \text{ m}$$

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : 2.445 \text{ m}$$

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$$r_x : 11.95 \text{ cm}$$

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$$r_y : 4.75 \text{ cm}$$

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.015 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N929, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : 15.63 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 1012.36 \text{ kN}$$

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 37.12 \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.017 \quad \checkmark$$



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N7, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 10.78 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 620.06 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 29.36 \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : 0.84$$

Sendo:

$$\chi_{xz} : 0.97$$

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : 0.63$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.25$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 37.12 \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : 300.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 2762.17 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 2762.17 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 17486.53 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 17486.53 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.
 I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.
 I_t : Momento de inércia à torção uniforme.
 C_w : Constante de empenamento da seção.
 E : Módulo de elasticidade.
 G : Módulo de elasticidade transversal.
 $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 $K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.
 r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

I_x : 5297.81 cm⁴
 I_y : 836.84 cm⁴
 I_t : 5.07 cm⁴
 C_w : 123666.07 cm⁶
 E : 200000 MPa
 G : 76923 MPa
 $K_x L_x$: 2.445 m
 $K_y L_y$: 2.445 m
 $K_z L_z$: 0.000 m
 r_0 : 15.88 cm

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

r_x : 11.95 cm
 r_y : 4.75 cm
 x_0 : -93.14 mm
 y_0 : 0.00 mm

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.070 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

M_{Sd} : 5.22 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd} : 74.59 kN·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

M_{Rd} : 74.59 kN·m

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef} : 273.50 cm³
 f_y : 300.00 MPa
 γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.105} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : \underline{2.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{20.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : \underline{74.67} \text{ cm}^3$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : \underline{1.63} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : \underline{0.82} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{145.15} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{30.55}$$

para

$$h/t : \underline{21.66}$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{39.60}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

t: 6.40 mm

h: 138.60 mm

f_v: 300.00 MPa

E: 200000 MPa

γ: 1.1

K_v: 1.20

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η: 0.010 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

V_{Sd}: 3.02 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por:

⁽¹⁾**V_{Rd}**: 290.30 kN

para

1.08(EK_v/f_v)^{0.5}: 62.35

para

h/t: 43.31

para

1.4(EK_v/f_v)^{0.5}: 80.83

Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

t: 6.40 mm

h: 277.20 mm

f_v: 300.00 MPa

E: 200000 MPa

γ: 1.1

K_v: 5.00

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N929, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.005 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 5.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 74.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 2.50 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 290.30 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.011 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 20.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.79 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 290.30 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 0.172 \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 8.83 \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 3.93 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 2.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : 620.06 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : 74.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 20.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N929, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.129} \quad \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$N_{t,Sd} : 15.63 \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : 5.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : 1012.36 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 74.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 20.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$




**Perfil: CD 100x6.4, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço USI SAC 300**

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas					
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)
N5	N7	2.460	24.06	236.56	7856.49	3.23	0.00	-22.05

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	2.460	2.460	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico



Barr a	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estad o
	b/t	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	M _u V _v	M _v V _u	N _c M _u M _v	N _t M _u M _v	M _t	
N5/ N7	(b _f /t) ≤ 200 Passa	λ _{uu,c} ≤ 200 λ _{vv,c} ≤ 200 Passa	x: 0 m η = 8.0	x: 0 m η = 4.9	x: 0.82 m η = 3.1	x: 0.82 m η = 5.6	x: 2.46 m η = 0.9	x: 2.46 m η = 0.9	x: 0.82 m η = 0.1	x: 0.82 m η = 0.3	x: 0.41 m η = 9.8	x: 0 m η = 13.3	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	PASS A η = 13.3

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_u: Resistência à flexão eixo U
M_v: Resistência à flexão eixo V
V_u: Resistência ao esforço cortante U
V_v: Resistência ao esforço cortante V
M_uV_v: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados
M_vV_u: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados
N_cM_uM_v: Resistência à flexo-compressão
N_tM_uM_v: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 14 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

t: A espessura.

b : 87.30 mm

t : 6.35 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 78.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$: 26.2 ✓

$\lambda_{uu,s}$: 20.5 ✓

$\lambda_{vv,s}$: 42.7 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$: 2.460 m

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$: 4.725 m

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$: 3.14 cm

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$: 18.07 cm

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$: 0.820 m

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$: 0.820 m

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$: 4.00 cm

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$: 1.92 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.080 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$N_{t,sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,sd}$: 26.20 kN

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 328.12 kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
f_v: Tensão de escoamento.
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

A: 12.03 cm²
f_v: 300.00 MPa
γ: 1.1

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η: 0.049 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

N_{c,Sd}: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

N_{c,Sd}: 9.70 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo **N_{c,Rd}** deve ser tomada como:

N_{c,Rd}: 198.67 kN

Onde:

A_{ef}: Área efetiva da seção transversal da barra.

A_{ef}: 11.79 cm²

χ: Fator de redução associado à flambagem,

χ_{vv}: 0.89

Sendo:

χ_{xz}: 0.67

λ₀: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

λ_{0, vv}: 0.53

λ_{0, xz}: 0.97

Sendo:

N_e: Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A: 12.03 cm²

f_v: Tensão de escoamento.

f_v: 300.00 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ: 1.2

A força normal de flambagem elástica **N_e** é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

N_e: 382.95 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 1305.13 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 382.95 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5639.83 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 393.50 \text{ kN}$$

I_u : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 192.11 \text{ cm}^4$$

I_v : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 44.46 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 1.62 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.11 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_u L_u$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u L_u : 0.820 \text{ m}$$

$K_v L_v$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v L_v : 0.820 \text{ m}$$

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 0.820 \text{ m}$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 5.62 \text{ cm}$$

Sendo:

r_u, r_v : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.00 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.92 \text{ cm}$$

u_0, v_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.58 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.031 \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90. $M_{Sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 6.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 6.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 22.31 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.056 \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90. $M_{Sd} : 0.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 3.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 12.46 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 300.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : \underline{1.13} \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : \underline{128.29} \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : \underline{128.29} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{30.55}$$

para

$$h/t : \underline{13.75}$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{39.60}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{6.35} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{87.30} \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : \underline{128.29} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{30.55}$$

para

$$h/t : \underline{13.75}$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{39.60}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{6.35} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{87.30} \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : \underline{1.13} \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : \underline{128.29} \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : \underline{128.29} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_v)^{0.5} : \underline{30.55}$$

para

$$h/t : \underline{13.75}$$

para

$$1.4(EK_V/f_v)^{0.5} : \underline{39.60}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{6.35} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{87.30} \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{300.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : \underline{128.29} \text{ kN}$$

para

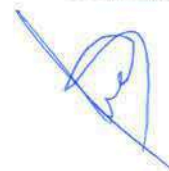
$$1.08(EK_V/f_v)^{0.5} : \underline{30.55}$$

para

$$h/t : \underline{13.75}$$

para

$$1.4(EK_V/f_v)^{0.5} : \underline{39.60}$$



Onde:

t : Espessura da alma.	t : 6.35 mm
h : Largura da alma.	h : 87.30 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 300.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** produzem-se num ponto situado a uma distância 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : 0.19 kN·m
M_{0,Rd} : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	M_{0,Rd} : 6.08 kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : 0.04 kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	V_{Rd} : 128.29 kN

Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** produzem-se num ponto situado a uma distância 0.820 m do nó N5, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.003} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : 0.19 kN·m
M_{0,Rd} : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	M_{0,Rd} : 3.40 kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : 0.04 kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	V_{Rd} : 128.29 kN



Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 0.410 m do nó N5, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

η : **0.098** ✓

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd}$:	9.04 kN
$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.	$M_{u,Sd}$:	0.16 kN·m
	$M_{v,Sd}$:	0.09 kN·m
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd}$:	198.67 kN
$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{u,Rd}$:	6.08 kN·m
	$M_{v,Rd}$:	3.40 kN·m

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

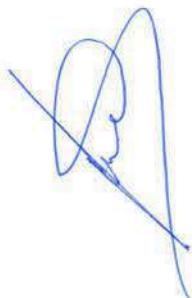
Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N5, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

η : **0.133** ✓

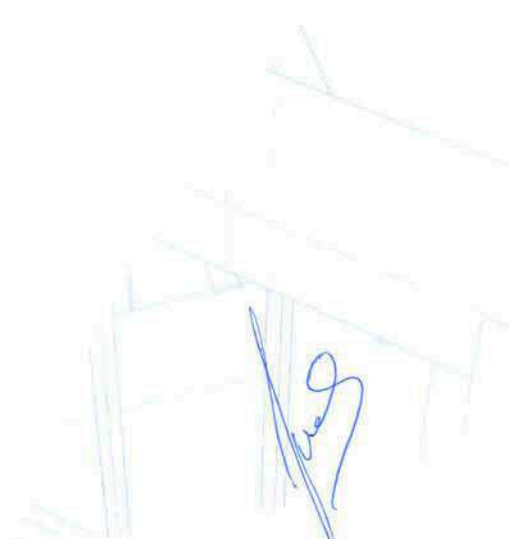
Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.	$N_{t,Sd}$:	26.20 kN
$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.	$M_{u,Sd}$:	0.06 kN·m
	$M_{v,Sd}$:	0.15 kN·m
N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.	N_{Rd} :	328.12 kN
$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{u,Rd}$:	6.08 kN·m
	$M_{v,Rd}$:	3.40 kN·m



ANEXO II

Memória de Cálculo Estrutura Ampliada



EM BRANCO

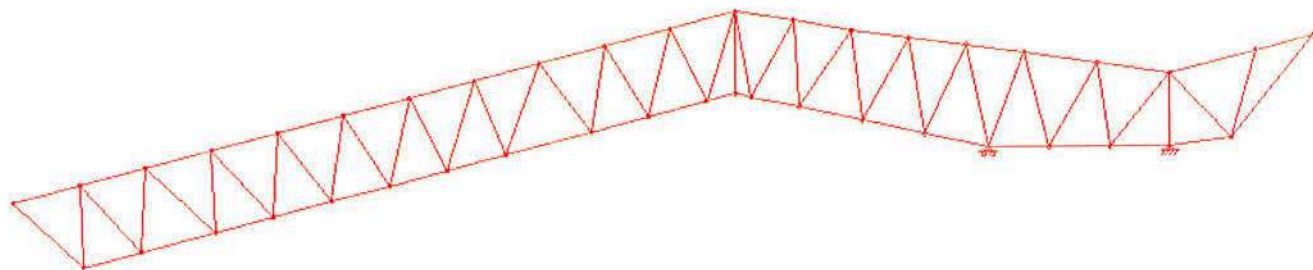


Figura 8- Esquema estático ampliação

1
2
3 Memória de Cálculo : Para estrutura da estrutura ampliada

4 Dados da Obra

5 Dimensão total = $36,00 \times 122 = 4.392,00 \text{ m}^2$

6 -a altura da edificação 26,22 m;

7

8 Carregamentos Adotados

9

10 - peso próprio da estrutura

11 - peso próprio calha + agua + iluminação - 0,15 KN/m

12 - Passarela técnica – 1,5 KN/m² (passarela + iluminação)

13 - peso próprio da telha – 0,14 KN/m²

14 (telha Recheada 30 mm poliuretano (e= 0,65 mm) 13,64 kg/m² - 0,1364 KN/m² - fonte(www.tuper.com.br))

15 -sobrecarga de utilização no telhado – 0.15 KN/m²

16 - vento (NBR 6123)

17 $V_o = 40,00 \text{ m/s}$

18 $S1 = 1,0$ (terreno plano fracamente acidentado)

19 $S2 = 0,93$ (CAT IV – classe C)

20 $h = 26,00 \text{ m}$

21 $S3 = 1,0$ (grupo 2 – alto fator de ocupação)

22

23 $V_k = 40,00 \times 1,0 \times 0,93 \times 1,00 = 37,20 \text{ m/s}$

24

25 $q = 0,613 \times 37,20^2 = 848,30 \text{ N/m}^2 = 0.84 \text{ KN/m}^2$

1
2 Coeficiente de pressão interna (Cpi 4 faces igualmente permeáveis)

3 Cpi 1 = - 0,30

4 Cpi2 = 0,00

5 **Estados limites**

E.L.U. Aço dobrado	NBR 14762: 2010
E.L.U. Aço laminado	NBR 8800: 2008
Deslocamentos	Ações características

6 **Combinações**

7 ▪ **Nomes das ações**

8

PP Peso próprio

CP 1 calha + água

SCU 1 sobrecarga

V 1 vento 0

V 2 vento 90

9
10
11
12
13

▪ **E.L.U. Aço dobrado**

Comb.	PP	CP 1	SCU 1	V 1	V 2		
1	1.000	1.000					
2	1.250	1.000					
3	1.000	1.250					
4	1.250	1.250					
5	1.000	1.000	1.500				
6	1.250	1.000	1.500				
7	1.000	1.250	1.500				
8	1.250	1.250	1.500				
9	1.000	1.000		1.400			
10	1.250	1.000		1.400			
11	1.000	1.250		1.400			
12	1.250	1.250		1.400			
13	1.000	1.000	1.050	1.400			
14	1.250	1.000	1.050	1.400			
15	1.000	1.250	1.050	1.400			
16	1.250	1.250	1.050	1.400			
17	1.000	1.000	1.500	0.840			
18	1.250	1.000	1.500	0.840			
19	1.000	1.250	1.500	0.840			
20	1.250	1.250	1.500	0.840			
21	1.000	1.000			1.400		



22	1.250	1.000			1.400		
23	1.000	1.250			1.400		
24	1.250	1.250			1.400		
25	1.000	1.000	1.050		1.400		
26	1.250	1.000	1.050		1.400		
27	1.000	1.250	1.050		1.400		
28	1.250	1.250	1.050		1.400		
29	1.000	1.000	1.500		0.840		
30	1.250	1.000	1.500		0.840		
31	1.000	1.250	1.500		0.840		
32	1.250	1.250	1.500		0.840		
33	1.000	1.000					
34	1.250	1.000					
35	1.000	1.250					
36	1.250	1.250					
37	1.000	1.000	1.050				
38	1.250	1.000	1.050				
39	1.000	1.250	1.050				
40	1.250	1.250	1.050				
41	1.000	1.000	1.500				
42	1.250	1.000	1.500				
43	1.000	1.250	1.500				
44	1.250	1.250	1.500				
45	1.000	1.000					
46	1.250	1.000					
47	1.000	1.250					
48	1.250	1.250					
49	1.000	1.000	1.050				
50	1.250	1.000	1.050				
51	1.000	1.250	1.050				
52	1.250	1.250	1.050				
53	1.000	1.000	1.500				
54	1.250	1.000	1.500				
55	1.000	1.250	1.500				
56	1.250	1.250	1.500				

- 1
- 2 Dimensionamento
- 3
- 4 Banzo Superior TS1

Perfil: UD 300x100x3.8
Material: Aço (AISI-SAE 1020)



Perfil: UD 300x100x3.8
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)	
N785	N850	1.864	18.24	2376.69	164.63	0.86	-28.32	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	1.864	1.864	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

1
2

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N785/N850	x: 0 m (b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 300 λ _{yy} ≤ 300 Passa	x: 1.864 m η = 88.1	N _{c,sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 1.864 m η = 7.7	x: 1.864 m η = 20.8	x: 1.864 m η = 1.0	η = 0.8	x: 1.864 m η = 0.6	x: 1.864 m η = 4.4	N.P. ⁽²⁾	x: 1.864 m η = 116.0	M _{t,sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η = 116.0

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

3
4
5

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N785.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijeados sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.



(b/t) : 75 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.**b** : 282.50 mm**t**: A espessura.**t** : 3.75 mm1
2
3
4
5**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300. λ_{xx} : 16.3 ✓ λ_{yy} : 62.0 ✓

Onde:

 $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. **$K_x L_x$** : 1.864 m **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. **$K_y L_y$** : 1.864 m **r_x** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. **r_x** : 11.41 cm **r_y** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. **r_y** : 3.00 cm6
7
8
9
10**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

 η : 0.881 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N850, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 $N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. **$N_{t,Sd}$** : 302.32 kNA força normal de tração resistente de cálculo **$N_{t,Rd}$** deve ser tomada como: **$N_{t,Rd}$** : 343.29 kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
 f_v : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A: 18.24 cm²
 f_v : 207.00 MPa
 γ : 1.1

1
2
3
4
5
6
7
8
9

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.077 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

M_{sd} : 1.90 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd} : 24.68 kN·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

M_{Rd} : 24.68 kN·m

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef} : 131.14 cm³

f_v : 207.00 MPa

γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

10



1
2
3
4**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.208} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : \underline{0.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{3.86} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

 W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção. f_v : Tensão de escoamento. γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{20.53} \text{ cm}^3$$

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

5
6
7
8
9**Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : \underline{0.81} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : \underline{0.41} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$${}^{(1)}V_{Rd} : \underline{38.64} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{36.77}$$

para



$$h/t : 24.33$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.75 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 91.25 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.008 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : 0.99 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : 119.56 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 75.33$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.75 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 282.50 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$



γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_V : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_V : 5.00$$

1
2
3
4

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.5·SCU1+0.84·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.006 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 1.90 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 24.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.65 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 119.56 \text{ kN}$$

6
7
8
9

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N850, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.044 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 3.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.81 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 77.27 \text{ kN}$$

11
12
13

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N850, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 1.160 \quad \times$$

Onde:

$N_{t,sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

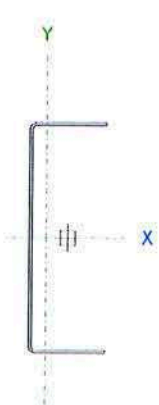
$M_{x,sd}$, $M_{y,sd}$: Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$\begin{aligned} N_{t,sd} &: 302.32 \text{ kN} \\ M_{x,sd} &: 1.74 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{y,sd} &: 0.81 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ N_{Rd} &: 343.29 \text{ kN} \\ M_{x,Rd} &: 24.68 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{y,Rd} &: 3.86 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Banzo Inferior TS1

Perfil: UD 300x100x4.8									
Material: Aço (AISI-SAE 1020)									
Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas						
	Inicial	Final	Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_a^{(3)}$ (mm)	$y_a^{(3)}$ (mm)	
N349	N295	0.701	22.99	2971.68	205.34	1.73	-27.92	0.00	
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade									
	Flambagem				Flambagem lateral				
	Plano ZX		Plano ZY		Aba sup.		Aba inf.		
	β	1.00	1.00	0.00	0.00				
	L_K	0.701	0.701	0.000	0.000				
	C_m	-	-	1.000	1.000				
	C_b	-		1.000					
Notação: β : Coeficiente de flambagem L_K : Comprimento de flambagem (m) C_m : Coeficiente de momentos C_b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado	
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x M_y$	$N_t M_x M_y$	M_t		

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)														Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x M_y$	$N_t M_x M_y$	M_t		
N349/N 295	$(b_w/t) \leq 200$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$ Passa	$N_{t, Sd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 80.0$	x: 0 m $\eta = 8.9$	x: 0.701 m $\eta = 23.7$	x: 0.701 m $\eta = 2.6$	$\eta = 5.2$	x: 0 m $\eta = 1.0$	x: 0.701 m $\eta = 5.7$	x: 0.701 m $\eta = 111.2$	N.P. ⁽²⁾	$M_{t, Sd} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta = 111.2$	
<p>Notação:</p> <p>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N_t: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_x: Resistência à flexão eixo X M_y: Resistência à flexão eixo Y V_x: Resistência ao esforço cortante X V_y: Resistência ao esforço cortante Y $M_x V_y$: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados $M_y V_x$: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados $N_c M_x M_y$: Resistência à flexo-compressão $N_t M_x M_y$: Resistência à flexo-tração M_t: Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p>															

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 59 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b: 280.50 mm
t: 4.75 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 6.2 ✓
 λ_{yy} : 23.4 ✓



Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x : 0.701 \text{ m}$
$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y : 0.701 \text{ m}$
r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	$r_x : 11.37 \text{ cm}$
r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	$r_y : 2.99 \text{ cm}$

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.800 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N349, para a combinação de ações $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$N_{c,Sd}: \text{Força normal de compressão solicitante de cálculo.} \quad N_{c,Sd} : 248.17 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 310.07 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.	$A_{ef} : 18.41 \text{ cm}^2$
χ : Fator de redução associado à flambagem,	$\chi_{vv} : 0.98$
	$\chi_{xz} : 1.00$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.	$\lambda_{0, vv} : 0.24$
	$\lambda_{0, xz} : 0.06$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.



A: Área bruta da seção transversal da barra.
 f_v : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A : 22.99 cm²
 f_v : 207.00 MPa
 γ : 1.2

A força normal de flambagem elástica **N_e** é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

N_e : 8258.58 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

N_{ev} : 8258.58 kN

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

N_{exz} : 119516.43 kN

Onde:

N_{ex} : 119516.43 kN

N_{ez} : ∞

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

I_x : 2971.68 cm⁴

I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

I_y : 205.34 cm⁴

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 1.73 cm⁴

C_w : Constante de empenamento da seção.

C_w : 31289.05 cm⁶

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

G: Módulo de elasticidade transversal.

G : 76923 MPa

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 0.701 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 0.701 m

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$K_z L_z$: 0.000 m

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

r_0 : 12.89 cm

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

r_x : 11.37 cm

r_y : 2.99 cm



x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

x_0 : -52.82 mm

y_0 : 0.00 mm

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.089 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N349, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.4·V90.

M_{sd} : 2.97 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd} : 33.39 kN·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

M_{Rd} : 33.39 kN·m

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef} : 177.45 cm³

f_v : 207.00 MPa

γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

6
7
8
9

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

10

$$\eta : 0.237 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N295, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 4.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : 25.62 \text{ cm}^3$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.026 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N295, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 2.51 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 1.26 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$${}^{(1)}V_{Rd} : 48.40 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.00$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:



t: Espessura da alma.

t: 4.75 mm

h: Largura da alma.

h: 90.25 mm

f_v: Tensão de escoamento.

f_v: 207.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E: 200000 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ: 1.1

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

K_v: 1.20

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

η: 0.052 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

V_{Sd}: 7.76 kN

A força cortante resistente de cálculo da alma **V_{Rd}** deve ser calculada por:

(1)V_{Rd}: 150.44 kN

para

1.08(EK_v/f_v)^{0.5}: 75.07

para

h/t: 59.05

para

1.4(EK_v/f_v)^{0.5}: 97.31

Onde:

t: Espessura da alma.

t: 4.75 mm

h: Largura da alma.

h: 280.50 mm

f_v: Tensão de escoamento.

f_v: 207.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E: 200000 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ: 1.1

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

K_v: 5.00

6
7
8
9



Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N349, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.010 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 2.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 33.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 7.76 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 150.44 \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N295, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.057 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 1.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 4.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 2.51 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 96.81 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N295, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 1.112 \times$$



Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.
 $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.
 $N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.
 $M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$N_{c,Sd}$: 248.13 kN
 $M_{x,Sd}$: 2.49 kN·m
 $M_{y,Sd}$: 1.14 kN·m
 $N_{c,Rd}$: 310.07 kN
 $M_{x,Rd}$: 33.39 kN·m
 $M_{y,Rd}$: 4.82 kN·m

1
2

Diagonais TS1

Perfil: CD 100x3.9, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_a^{(3)}$ (mm)	$y_a^{(3)}$ (mm)	
N296	N772	2.383	14.91	150.04	4808.97	0.74	0.00	-23.22

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.383	2.383	0.000	0.000
C_m	-	-	1.000	1.000
C_b	-		1.000	

Notação:
 β : Coeficiente de flambagem
 L_K : Comprimento de flambagem (m)
 C_m : Coeficiente de momentos
 C_b : Fator de modificação para o momento crítico

3
4

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)														Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_u	M_v	V_u	V_v	$M_u V_v$	$M_v V_u$	$N_c M_u M_v$	$N_t M_u M_v$	M_t		
N296/N772	$(b/t) \leq 200$ Passa	$\lambda_{u,c} \leq 200$ $\lambda_{v,c} \leq 200$ Passa	$N_{t,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 2.383 m $\eta = 173.2$	x: 2.383 m $\eta > 1000.0$	x: 2.383 m $\eta = 20.3$	x: 2.383 m $\eta = 3.2$	x: 2.383 m $\eta = 3.2$	x: 2.383 m $\eta > 1000.0$	x: 2.383 m $\eta = 4.2$	x: 2.383 m $\eta > 1000.0$	N.P. ⁽²⁾	$M_{t,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta > 1000.0$	

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
 λ : Limitação de esbeltez
 N_t : Resistência à tração
 N_c : Resistência à compressão
 M_u : Resistência à flexão eixo U
 M_v : Resistência à flexão eixo V
 V_u : Resistência ao esforço cortante U
 V_v : Resistência ao esforço cortante V
 $M_u V_v$: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados
 $M_v V_u$: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados
 $N_c M_u M_v$: Resistência à flexo-compressão
 $N_t M_u M_v$: Resistência à flexo-tração
 M_t : Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
 η : Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede



Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_u	M_v	V_u	V_v	$M_u V_v$	$M_v V_u$	$N_c M_u M_v$	$N_t M_u$ M_v	M_t	
<i>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</i> (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. (2) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (3) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 24 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 92.30 mm
t : 3.85 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 75.1 ✓

$\lambda_{vv,c}$: 42.4 ✓

$\lambda_{uu,s}$: 19.7 ✓

$\lambda_{vv,s}$: 40.3 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$: 2.383 m

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$: 7.619 m

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$: 3.17 cm



$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,c} : 17.96 \text{ cm}$$

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,s} : 0.794 \text{ m}$$

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,s} : 0.794 \text{ m}$$

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,s} : 4.03 \text{ cm}$$

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,s} : 1.97 \text{ cm}$$

1
2
3
4
5
6
7
8
9

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 1.732 \quad \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N772, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 92.68 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 53.50 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 6.53 \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{vv} : 0.93$$

$$\chi_{xz} : 0.48$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, vv} : 0.41$$

$$\lambda_{0, xz} : 1.33$$

Sendo:



N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 7.45 \text{ cm}^2$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 86.78 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 906.35 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 86.78 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 3785.84 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 87.55 \text{ kN}$$

I_u : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

I_v : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

C_w : Constante de empenamento da seção.

E : Módulo de elasticidade.

G : Módulo de elasticidade transversal.

$K_u L_u$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$K_v L_v$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$I_u : 121.06 \text{ cm}^4$$

$$I_v : 28.98 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 0.37 \text{ cm}^4$$

$$C_w : 0.01 \text{ cm}^6$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$$K_u L_u : 0.794 \text{ m}$$

$$K_v L_v : 0.794 \text{ m}$$

$$K_z L_z : 0.794 \text{ m}$$

$$r_0 : 5.69 \text{ cm}$$

Sendo:

r_u , r_v : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.03 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.97 \text{ cm}$$



u_0, v_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34,98 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0,00 \text{ mm}$$

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 59,454 \text{ X}$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0,31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 0,01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 0,01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 0,03 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207,00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1,1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

6
7
8
9
10

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.203 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 1.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$$W_{ef} : 8.15 \text{ cm}^3$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.032 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.83 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 23.97$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$



Onde:

t : Espessura da alma.	t : <u>3.85</u> mm
h : Largura da alma.	h : <u>92.30</u> mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : <u>207.00</u> MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : <u>200000</u> MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : <u>1.1</u>
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : <u>1.20</u>

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : \underline{56.74} \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{36.77}$

para $h/t : \underline{23.97}$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{47.67}$

Onde:

t : Espessura da alma.	t : <u>3.85</u> mm
h : Largura da alma.	h : <u>92.30</u> mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : <u>207.00</u> MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : <u>200000</u> MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : <u>1.1</u>
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : <u>1.20</u>

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.032} \quad \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N772, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : 1.83 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 23.97$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.85 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 92.30 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 23.97$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$



Onde:

t: Espessura da alma.

h: Largura da alma.

f_v: Tensão de escoamento.

E: Módulo de elasticidade.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

t: 3.85 mm

h: 92.30 mm

f_v: 207.00 MPa

E: 200000 MPa

γ : 1.1

K_v: 1.20

1
2
3
4

Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 3534.817 \quad \times$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 0.31 kN·m

M_{0,Rd} : 0.01 kN·m

V_{Sd} : 1.83 kN

V_{Rd} : 56.74 kN

6
7
8
9

Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.042 \quad \checkmark$$

Onde:



M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 1.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 1.83 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 56.74 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N772, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 59.737 \text{ X}$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 15.08 \text{ kN}$$

$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.

$$M_{u,Sd} : 0.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Sd} : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : 53.50 \text{ kN}$$

$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{u,Rd} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v,Rd} : 1.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Banzo Superior TS5

Perfil: UD 300x100x6.4									
Material: Aço (AISI-SAE 1020)									
Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas							
		Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_d^{(3)}$ (mm)	$y_d^{(3)}$ (mm)		
N811	N284	1.977	30.49	3890.53	267.79	4.10	-27.28	0.00	
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade									
		Flambagem		Flambagem lateral					
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β		1.00	1.00	0.00	0.00				
L_k		1.977	1.77	0.000	0.000				
C_m		-	-	1.000	1.000				
C_b		-	-	1.000					
Notação: β : Coeficiente de flambagem L_k : Comprimento de flambagem (m) C_m : Coeficiente de momentos C_b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)	Estado
-------	------------------------------------	--------

	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x$ M_y	$N_t M_x M_y$	M_t	
N811/N 284	x: 0.395 m (b _w /t) ≤ 90 Passa	$\lambda_{xx} \leq$ 300 $\lambda_{yy} \leq$ 300 Passa	x: 1.977 m $\eta =$ 166.3	$N_{c,Sd} =$ 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 1.977 m $\eta =$ 14.3	x: 1.977 m $\eta =$ 28.4	x: 1.977 m $\eta = 1.0$	$\eta =$ 2.1	x: 1.977 m $\eta = 2.1$	x: 1.977 m $\eta = 8.1$	N.P. ⁽²⁾	x: 1.977 m $\eta =$ 208.7	$M_{t,Sd} =$ 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta =$ 208.7
<p>Notação:</p> <p>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura</p> <p>λ: Limitação de esbeltez</p> <p>N_t: Resistência à tração</p> <p>N_c: Resistência à compressão</p> <p>M_x: Resistência à flexão eixo X</p> <p>M_y: Resistência à flexão eixo Y</p> <p>V_x: Resistência ao esforço cortante X</p> <p>V_y: Resistência ao esforço cortante Y</p> <p>$M_x V_y$: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados</p> <p>$M_y V_x$: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados</p> <p>$N_c M_x$: Resistência à flexo-compressão</p> <p>$N_t M_x M_y$: Resistência à flexo-tração</p> <p>M_t: Resistência à torção</p> <p>x: Distância à origem da barra</p> <p>η: Coeficiente de aproveitamento (%)</p> <p>N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</p> <p>⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.</p> <p>⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.</p> <p>⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p>														

1
2
3

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

A relação comprimento-espessura desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância 0.395 m do nó N811.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 44 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

t: A espessura.

b : 277.30 mm

t : 6.35 mm

4
5
6
7
8

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300.

λ_{xx} : 17.5 ✓

λ_{yy} : 66.7 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.
 r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$: 1.977 m
 $K_y L_y$: 1.977 m
 r_x : 11.30 cm
 r_y : 2.96 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 1.663 X

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N284, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$: 953.87 kN

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 573.72 kN

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.
 f_y : Tensão de escoamento.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

A : 30.49 cm²
 f_y : 207.00 MPa
 γ : 1.1

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.143 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N284, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : 6.83 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 254.74 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.284 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N284, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:



W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 34.65 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.010 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N284, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : 1.30 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 0.65 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 63.56 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 13.96$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t : Espessura da alma.

h : Largura da alma.

f_y : Tensão de escoamento.

E : Módulo de elasticidade.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 6.35 \text{ mm}$$

$$h : 88.65 \text{ mm}$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

6
7
8
9
10

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)



Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : \underline{4.25} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{198.82} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_v)^{0.5} : \underline{75.07}$$

para

$$h/t : \underline{43.67}$$

para

$$1.4(EK_V/f_v)^{0.5} : \underline{97.31}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{6.35} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{277.30} \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_V : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_V : \underline{5.00}$$

1
2
3
4

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

5

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N284, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Onde:



M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.
 $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.
 V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.
 V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 6.83 kN·m
 $M_{0,Rd}$: 47.94 kN·m
 V_{Sd} : 4.15 kN
 V_{Rd} : 198.82 kN

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N284, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.081 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.
 $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.
 V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.
 V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

M_{Sd} : 1.85 kN·m
 $M_{0,Rd}$: 6.52 kN·m
 V_{Sd} : 1.30 kN
 V_{Rd} : 127.12 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N284, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 2.087 \times$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.
 $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.
 N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.
 $M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos

$N_{t,Sd}$: 953.87 kN
 $M_{x,Sd}$: 6.76 kN·m
 $M_{y,Sd}$: 1.85 kN·m
 N_{Rd} : 573.72 kN
 $M_{x,Rd}$: 47.94 kN·m



eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

 $M_{v,Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 1
2
3

Banzo Inferior TS5

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_a^{(3)}$ (mm)	$y_a^{(3)}$ (mm)
N291	N290	1.659	30.49	3890.53	267.79	4.10	-27.28	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.659	1.659	0.000	0.000
C_m	-	-	1.000	1.000
C_b	-		1.000	

Notação:
 β : Coeficiente de flambagem
 L_K : Comprimento de flambagem (m)
 C_m : Coeficiente de momentos
 C_b : Fator de modificação para o momento crítico

4
5

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)												Estado	
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x M_y$	$N_t M_x M_y$		M_t
N291/N290	$(b_w/t) \leq 200$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$ Passa	$N_{t,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$x: 0$ m $\eta = 194.4$	$x: 0$ m $\eta = 17.0$	$x: 1.659$ m $\eta = 18.7$	$x: 0$ m $\eta = 1.1$	$\eta = 2.6$	$x: 0$ m $\eta = 2.9$	$x: 1.659$ m $\eta = 3.5$	$x: 0$ m $\eta = 222.8$	N.P. ⁽²⁾	$M_{t,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta = 222.8$

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
 λ : Limitação de esbelteza
 N_t : Resistência à tração
 N_c : Resistência à compressão
 M_x : Resistência à flexão eixo X
 M_y : Resistência à flexão eixo Y
 V_x : Resistência ao esforço cortante X
 V_y : Resistência ao esforço cortante Y
 $M_x V_y$: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
 $M_y V_x$: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
 $N_c M_x M_y$: Resistência à flexo-compressão
 $N_t M_x M_y$: Resistência à flexo-tração
 M_t : Resistência à torção
 x : Distância à origem da barra
 η : Coeficiente de aproveitamento (%)
 N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

6
7
8**Valores máximos da relação comprimento-espessura** (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma



Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 44 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 277.30 mm
t : 6.35 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 14.7 ✓

λ_{yy} : 56.0 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 1.659 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 1.659 m

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

r_x : 11.30 cm

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

r_y : 2.96 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 1.944 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N291, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Sd}$: 884.18 kN



A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 454.88 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 30.26 \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : 0.87$$

Sendo:

$$\chi_{xz} : 0.99$$

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : 0.57$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.15$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 30.49 \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 1920.54 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 1920.54 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 27902.65 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 27902.65 \text{ kN}$$



$N_{ez} : \infty$ I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X. $I_x : 3890.53 \text{ cm}^4$ I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. $I_y : 267.79 \text{ cm}^4$ I_t : Momento de inércia à torção uniforme. $I_t : 4.10 \text{ cm}^4$ C_w : Constante de empenamento da seção. $C_w : 40239.31 \text{ cm}^6$ E : Módulo de elasticidade. $E : 200000 \text{ MPa}$ G : Módulo de elasticidade transversal. $G : 76923 \text{ MPa}$ $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. $K_x L_x : 1.659 \text{ m}$ $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. $K_y L_y : 1.659 \text{ m}$ $K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção. $K_z L_z : 0.000 \text{ m}$ r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. $r_0 : 12.80 \text{ cm}$

Sendo:

 r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente. $r_x : 11.30 \text{ cm}$ $r_y : 2.96 \text{ cm}$ x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. $x_0 : -52.43 \text{ mm}$ $y_0 : 0.00 \text{ mm}$ 1
2
3
4
5**Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

 $\eta : 0.170 \checkmark$ O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N291, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90. $M_{Sd} : 8.13 \text{ kN}\cdot\text{m}$ O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b): $M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$ **a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)** $M_{Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 254.74 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.187 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 34.65 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

6
7
8
9
10

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:



$\eta : 0.011 \checkmark$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N291, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$V_{Sd} : 1.42 \text{ kN}$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$V_{Sd} : 0.71 \text{ kN}$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$(1)V_{Rd} : 63.56 \text{ kN}$

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para

$h/t : 13.96$

para

$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma.

$t : 6.35 \text{ mm}$

h: Largura da alma.

$h : 88.65 \text{ mm}$

f_v : Tensão de escoamento.

$f_v : 207.00 \text{ MPa}$

E: Módulo de elasticidade.

$E : 200000 \text{ MPa}$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\gamma : 1.1$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$K_v : 1.20$

1
2
3
4

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$\eta : 0.026 \checkmark$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$V_{Sd} : 5.21 \text{ kN}$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$(1)V_{Rd} : 198.82 \text{ kN}$

para

$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$



para

 $h/t : 43.67$

para

 $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$

Onde:

t: Espessura da alma. $t : 6.35$ mm**h**: Largura da alma. $h : 277.30$ mm**f_v**: Tensão de escoamento. $f_v : 207.00$ MPa**E**: Módulo de elasticidade. $E : 200000$ MPa**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências. $\gamma : 1.1$ **K_v**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por: $K_v : 5.00$ 1
2
3
4
5**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N291, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

 $\eta : 0.029$ ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{Sd} : 8.13$ kN·m**M_{0,Rd}**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. $M_{0,Rd} : 47.94$ kN·m**V_{Sd}**: Força cortante solicitante de cálculo. $V_{Sd} : 5.21$ kN**V_{Rd}**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. $V_{Rd} : 198.82$ kN6
7
8
9**Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

10



Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.035 \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{Sd} : 1.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : 6.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{Sd} : 0.95 \text{ kN}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : 127.12 \text{ kN}$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N291, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 2.228 \quad \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd} : 884.18 \text{ kN}$
$M_{x,Sd}, M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : 8.13 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : 0.74 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd} : 454.88 \text{ kN}$
$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : 47.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : 6.48 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Diagonal TS5

Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Perfil: CD 100x4.8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _v ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
N290	N811	2.163	18,29	182,52	5925,30	1,38	0,00	-22,80
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
		Flambagem		Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba inf.		
β		1.00	1.00	0.00		0.00		
L _K		2.163	2.163	0.000		0.000		
C _m		-	-	1.000		1.000		
C _b		-	-	1.000				
Notação: β : Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico								

1
2

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)												Estado	
	b/t	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	M _u V _v	M _v V _u	N _c M _u M _v	N _t M _u M _v		M _t
N290/N811	(b _f /t) ≤ 200 Passa	$\lambda_{u,c} \leq 200$ $\lambda_{v,c} \leq 200$ Passa	N _{t,sd} = 0,00 N.P. ⁽¹⁾	x: 2.163 m $\eta = 159,4$	x: 0 m $\eta > 1000,0$	x: 0 m $\eta = 52,4$	x: 2.163 m $\eta = 3,3$	x: 2.163 m $\eta = 3,3$	x: 0 m $\eta > 1000,0$	x: 0 m $\eta = 27,5$	x: 0 m $\eta > 1000,0$	N.P. ⁽²⁾	M _{t,sd} = 0,00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta > 1000,0$

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura

 λ : Limitação de esbeltezN_t: Resistência à traçãoN_c: Resistência à compressãoM_u: Resistência à flexão eixo UM_v: Resistência à flexão eixo VV_u: Resistência ao esforço cortante UV_v: Resistência ao esforço cortante VM_uV_v: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinadosM_vV_u: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinadosN_cM_uM_v: Resistência à flexo-compressãoN_tM_uM_v: Resistência à flexo-traçãoM_t: Resistência à torção

x: Distância à origem da barra

 η : Coeficiente de aproveitamento (%)

N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.3
4
5
6
7
8
9
10
11

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)



Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 19 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 90.48 mm
t : 4.76 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 68.5 ✓

$\lambda_{vv,c}$: 38.8 ✓

$\lambda_{uu,s}$: 17.9 ✓

$\lambda_{vv,s}$: 36.9 ✓

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,c}$: 2.163 m

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,c}$: 6.983 m

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,c}$: 3.16 cm

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,c}$: 18.00 cm

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$K_u L_{u,s}$: 0.721 m

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$K_v L_{v,s}$: 0.721 m

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$r_{u,s}$: 4.02 cm

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$r_{v,s}$: 1.95 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.



1
2**Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 1.594 \quad \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N811, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{c,sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,sd} : 144.35 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 90.54 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : 8.52 \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{vv} : 0.94$$

$$\chi_{xz} : 0.62$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,vv} : 0.38$$

$$\lambda_{0,xz} : 1.08$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 9.14 \text{ cm}^2$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 163.65 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo V.

$$N_{ev} : 1326.51 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 163.65 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 5606.68 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : 165.51 \text{ kN}$$

I_u : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo U.

$$I_u : 147.60 \text{ cm}^4$$

I_v : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo V.

$$I_v : 34.92 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.69 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 0.03 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_u L_u$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u L_u : 0.721 \text{ m}$$

$K_v L_v$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v L_v : 0.721 \text{ m}$$

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 0.721 \text{ m}$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 5.67 \text{ cm}$$

Sendo:

r_u, r_v : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia U e V.

$$r_u : 4.02 \text{ cm}$$

$$r_v : 1.95 \text{ cm}$$

u_0, v_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais U e V, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$u_0 : -34.85 \text{ mm}$$

$$v_0 : 0.00 \text{ mm}$$

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 362.868 \times$$



O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 0.01 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.524 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:



W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 9.81 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.033 \checkmark$$

O esforço cortante sollicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N811, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$V_{Sd} : 2.29 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 19.01$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t : Espessura da alma.

h : Largura da alma.

f_v : Tensão de escoamento.

E : Módulo de elasticidade.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.



$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 19.01$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 4.76 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 90.48 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.033 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N811, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 2.29 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 68.77 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$



para $h/t : 19.01$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t : Espessura da alma.	t : 4.76 mm
h : Largura da alma.	h : 90.48 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$V_{Rd} : 68.77$ kN

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 19.01$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t : Espessura da alma.	t : 4.76 mm
h : Largura da alma.	h : 90.48 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

1
2
3
4
5

Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)



Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 131672.939 \quad \times$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.97 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 0.00 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.88 \quad \text{kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 68.77 \quad \text{kN}$$

1
2
3
4

Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.275 \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.97 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 1.85 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.88 \quad \text{kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 68.77 \quad \text{kN}$$

6
7
8
9

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N290, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$\eta : 364.612 \quad \times$$



Onde:

 $N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. $N_{c,Sd}$: 118.50 kN $M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos flettores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente. $M_{u,Sd}$: 0.97 kN·m $M_{v,Sd}$: 0.80 kN·m $N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. $N_{c,Rd}$: 90.54 kN $M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. $M_{u,Rd}$: 0.00 kN·m $M_{v,Rd}$: 1.85 kN·m

Banzo Superior TS9

Perfil: UD 300x150x8									
Material: Aço (AISI-SAE 1020)									
Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas							
		Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_a^{(3)}$ (mm)	$y_a^{(3)}$ (mm)		
N915	N902	1.614	46.09	6501.39	1028.10	9.83	-33.98	0.00	
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade									
		Flambagem		Flambagem lateral					
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.		Aba Inf.			
β		1.00	1.00	0.00		0.00			
L_k		1.614	1.614	0.000		0.000			
C_m		-	-	1.000		1.000			
C_b		-	-	1.000		1.000			
Notação: β : Coeficiente de flambagem L_k : Comprimento de flambagem (m) C_m : Coeficiente de momentos C_b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x / M_y$	$N_t M_x M_y / M_t$	M_t	
N915/N902	$(b_w/t) \leq 200$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 300$ $\lambda_{yy} \leq 300$ Passa	x: 1.614 m $\eta = 152.9$	$N_{c,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 1.614 m $\eta = 2.7$	x: 1.614 m $\eta = 45.2$	x: 1.614 m $\eta = 1.8$	$\eta = 0.1$	x: 1.614 m $\eta = 0.1$	x: 1.614 m $\eta = 20.5$	N.P. ⁽²⁾	x: 1.614 m $\eta = 200.8$	$M_{t,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta = 200.8$

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$\frac{N_c M_x}{M_y}$	$N_t M_x M_y$	M_t	
<p>Notação: <i>b/t</i>: Valores máximos da relação comprimento-espessura <i>λ</i>: Limitação de esbeltez <i>N_t</i>: Resistência à tração <i>N_c</i>: Resistência à compressão <i>M_x</i>: Resistência à flexão eixo X <i>M_y</i>: Resistência à flexão eixo Y <i>V_x</i>: Resistência ao esforço cortante X <i>V_y</i>: Resistência ao esforço cortante Y <i>$M_x V_y$</i>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados <i>$M_y V_x$</i>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados <i>$N_c M_x M_y$</i>: Resistência à flexo-compressão <i>$N_t M_x M_y$</i>: Resistência à flexo-tração <i>M_t</i>: Resistência à torção <i>x</i>: Distância à origem da barra <i>η</i>: Coeficiente de aproveitamento (%) <i>N.P.</i>: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão. ⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p>														

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 34 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 274.00 mm

t: A espessura.

t : 8.00 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300.

λ_{xx} : 13.6 ✓

λ_{yy} : 34.2 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_x L_x$: 1.614 m

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$K_y L_y$: 1.614 m

r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

r_x : 11.88 cm

r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

r_y : 4.72 cm



Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{1.529} \quad \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N902, para a combinação de ações $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : \underline{1326.18} \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : \underline{867.28} \text{ kN}$$

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{46.09} \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.027} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N902, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$$M_{Sd} : \underline{1.97} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : \underline{74.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 74.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 394.83 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.452 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N902, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 8.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 94.30 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

6
7



Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.018} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N902, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : \underline{4.44} \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : \underline{2.22} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{123.75} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : \underline{36.77}$$

para

$$h/t : \underline{17.12}$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : \underline{47.67}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{8.00} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{137.00} \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_V : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : \underline{1.20}$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 0.25 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 34.25$$

para

$$1.4(EK_V/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 274.00 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_V: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_V : 5.00$$

1
2
3
4

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N902, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.001 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 1.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 74.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.13 \text{ kN}$$

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$

6
7
8



Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N902, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.205 \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 8.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 4.44 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 247.50 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N902, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 2.008 \quad \times$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$N_{t,Sd} : 1326.18 \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 1.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 8.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$N_{Rd} : 867.28 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : 74.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 17.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Banzo Inferior TS9

Perfil: UD 300x150x6.4
Material: Aço (AISI-SAE 1020)



Perfil: UD 300x150x6.4
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _a ⁽³⁾ (mm)	Y _a ⁽³⁾ (mm)	
N278	N279	1.667	37.12	5297.81	836.84	5.07	-34.63	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba Inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	1.667	1.667	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

1
2

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N278/N279	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	N _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 117.7	x: 1.667 m η = 5.2	x: 0 m η = 12.9	x: 0 m η = 0.4	η = 1.0	x: 1.667 m η = 0.3	x: 0 m η = 1.7	x: 0 m η = 131.4	N.P. ⁽²⁾	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η = 131.4

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbelteza
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.
⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

3
4
5

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.



(b/t) : 43 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.**b** : 277.20 mm**t**: A espessura.**t** : 6.40 mm**Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200. λ_{xx} : 14.0 ✓ λ_{yy} : 35.1 ✓

Onde:

 $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. **$K_x L_x$** : 1.667 m **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. **$K_y L_y$** : 1.667 m **r_x** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. **r_x** : 11.95 cm **r_y** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. **r_y** : 4.75 cm**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

 η : 1.177 ✗

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 $N_{c,sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. **$N_{c,sd}$** : 612.46 kNA força normal de compressão resistente de cálculo **$N_{c,Rd}$** deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 520.24 \text{ kN}$$

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

χ : Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$A_{ef} : 31.84 \text{ cm}^2$$

$$\chi_{yy} : 0.95$$

$$\chi_{xz} : 0.99$$

$$\lambda_{0, yy} : 0.36$$

$$\lambda_{0, xz} : 0.14$$

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : 37.12 \text{ cm}^2$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.2$$

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : 5944.30 \text{ kN}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 5944.30 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 37631.77 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 37631.77 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.
 I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.
 I_t : Momento de inércia à torção uniforme.
 C_w : Constante de empenamento da seção.
 E : Módulo de elasticidade.
 G : Módulo de elasticidade transversal.
 $K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 $K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.
 r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

I_x : 5297.81 cm⁴
 I_y : 836.84 cm⁴
 I_t : 5.07 cm⁴
 C_w : 123666.07 cm⁶
 E : 200000 MPa
 G : 76923 MPa

$K_x L_x$: 1.667 m

$K_y L_y$: 1.667 m

$K_z L_z$: 0.000 m

r_0 : 15.88 cm

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

r_x : 11.95 cm

r_y : 4.75 cm

x_0 : -93.14 mm

y_0 : 0.00 mm

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.052 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

M_{sd} : 2.86 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd} : 55.31 kN·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

M_{Rd} : 55.31 kN·m



Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 293.92 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.129 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N278, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 75.87 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

6
7
8
9
10

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.004 \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N278, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 0.74 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 0.37 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 100.15 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 21.66$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.40 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 138.60 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_V : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.010 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 1.97 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 75.07$$

para



$$h/t : \underline{43.31}$$

para

$$1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : \underline{97.31}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

t : 6.40 mm

h: Largura da alma.

h : 277.20 mm

f_v: Tensão de escoamento.

f_v : 207.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

K_v : 5.00

1
2
3
4**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 0.003 ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{Sd} : 2.86 kN·m

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

M_{0,Rd} : 55.31 kN·m

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Sd} : 1.97 kN

V_{Rd}: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

V_{Rd} : 200.31 kN

6
7
8
9**Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N278, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:



$\eta : 0.017$ ✓

Onde:

 M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{Sd} : 1.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. $M_{0,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$ V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo. $V_{Sd} : 0.71 \text{ kN}$ V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. $V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$ **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N278, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 $\eta : 1.314$ ✗

Onde:

 $N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. $N_{c,Sd} : 612.46 \text{ kN}$ $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. $M_{x,Sd} : 0.42 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : 1.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. $N_{c,Rd} : 520.24 \text{ kN}$ $M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. $M_{x,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Diagonal TS9

Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _a ⁽³⁾ (mm)	y _a ⁽³⁾ (mm)	
Inicial	Final							
N279	N928	2.348	29.88	289.08	9833.96	6.37	0.00	-21.26

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade



	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	2.348	2.348	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-	-	1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

1
2

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)											Estado		
	b/t	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	M _u V _v	M _v V _u	N _c M _u M _v		N _t M _u M _v	M _t
N279/N 928	(b _r /t) ≤ 200 Passa	λ _{uu,c} ≤ 300 λ _{vv,c} ≤ 300 Passa	x: 2.348 m η = 124.5	N _{c,Sd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 28.0	x: 0 m η = 62.8	x: 0 m η = 2.6	x: 0 m η = 2.6	x: 0 m η = 7.9	x: 0 m η = 39.5	N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 206.5	M _{t,Sd} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA η = 206.5

Notação:

b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_u: Resistência à flexão eixo U
M_v: Resistência à flexão eixo V
V_u: Resistência ao esforço cortante U
V_v: Resistência ao esforço cortante V
M_uV_v: Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados
M_vV_u: Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados
N_cM_uM_v: Resistência à flexo-compressão
N_tM_uM_v: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):

⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.3
4
5
6
7
8
9

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.



Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 11 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.**b : 84.00 mm****t:** A espessura.**t : 8.00 mm****Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 300. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 300.

 $\lambda_{uu,c} : 75.5$ ✓ $\lambda_{vv,c} : 25.2$ ✓ $\lambda_{uu,s} : 19.7$ ✓ $\lambda_{vv,s} : 41.5$ ✓

Onde:

 $K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U. **$K_u L_{u,c} :$ 2.348 m** **$K_v L_{v,c}$:** Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V. **$K_v L_{v,c} :$ 4.566 m** **$r_{u,c}$:** Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U. **$r_{u,c} :$ 3.11 cm** **$r_{v,c}$:** Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V. **$r_{v,c} :$ 18.14 cm** **$K_u L_{u,s}$:** Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U. **$K_u L_{u,s} :$ 0.783 m** **$K_v L_{v,s}$:** Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V. **$K_v L_{v,s} :$ 0.783 m** **$r_{u,s}$:** Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U. **$r_{u,s} :$ 3.97 cm** **$r_{v,s}$:** Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V. **$r_{v,s} :$ 1.89 cm****Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$$\eta : 1.245 \quad \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N928, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : 349.86 \text{ kN}$$

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : 281.11 \text{ kN}$$

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 14.94 \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

1
2
3
4
5
6
7
8
9

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.280 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 1.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)



$$M_{Rd} : \underline{6.28} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{33.35} \text{ cm}^3$$

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.628} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : \underline{1.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{2.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{14.90} \text{ cm}^3$$

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.026 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 2.79 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 10.50$

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 10.50$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

 f_v : Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

 K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4
5**Resistência ao esforço cortante V** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.026 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{sd} : 2.79 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 10.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.
h: Largura da alma.
f_v: Tensão de escoamento.
E: Módulo de elasticidade.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.
K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

t: 8.00 mm
h: 84.00 mm
f_v: 207.00 MPa
E: 200000 MPa
 γ : 1.1
K_v: 1.20

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

V_{Rd}: 107.30 kN

para $1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$: 36.77

para h/t : 10.50

para $1.4(EK_v/f_v)^{0.5}$: 47.67

Onde:

t: Espessura da alma.
h: Largura da alma.
f_v: Tensão de escoamento.
E: Módulo de elasticidade.
 γ : Coeficiente de ponderação das resistências.
K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

t: 8.00 mm
h: 84.00 mm
f_v: 207.00 MPa
E: 200000 MPa
 γ : 1.1
K_v: 1.20

1
2
3
4

5 **Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} são obtidos no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

η : 0.079 ✓



Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : 1.76 kN·m
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd}$: 6.28 kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : 2.79 kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	V_{Rd} : 107.30 kN

Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.395 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : 1.76 kN·m
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd}$: 2.80 kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : 2.79 kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	V_{Rd} : 107.30 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N279, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 2.065 \times$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.	$N_{t,Sd}$: 325.52 kN
$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V.	$M_{u,Sd}$: 1.76 kN·m



V, respectivamente.

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{v,Sd}$: 1.76 kN·m

N_{Rd} : 281.11 kN

$M_{u,Rd}$: 6.28 kN·m

$M_{v,Rd}$: 2.80 kN·m

Banzo Superior TS13

Perfil: UD 300x150x6.4 Material: Aço (AISI-SAE 1020)								
Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_a^{(3)}$ (mm)	$y_a^{(3)}$ (mm)	
N283	N928	2.016	37.12	5297.81	836.84	5.07	-34.63	0.00
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β	1.00	1.00	0.00	0.00				
L_k	2.016	2.016	0.000	0.000				
C_m	-	-	1.000	1.000				
C_b	-		1.000					
Notação: β : Coeficiente de flambagem L_k : Comprimento de flambagem (m) C_m : Coeficiente de momentos C_b : Fator de modificação para o momento crítico								

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x$ M_y	$N_t M_x$ M_y	M_t	
N283/N928	$(b_w/t) \leq 200$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 300$ $\lambda_{yy} \leq 300$ Passa	x: 2.016 m $\eta = 74.5$	$N_{c,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 10.3$	x: 0 m $\eta = 53.7$	x: 2.016 m $\eta = 3.6$	$\eta = 1.8$	x: 0 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 28.9$	N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 136.2$	$M_{t,Sd} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta = 136.2$
Notação: b/t : Valores máximos da relação comprimento-espessura λ : Limitação de esbeltez N_t : Resistência à tração N_c : Resistência à compressão M_x : Resistência à flexão eixo X M_y : Resistência à flexão eixo Y V_x : Resistência ao esforço cortante X V_y : Resistência ao esforço cortante Y $M_x V_y$: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados $M_y V_x$: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados $N_c M_x$: Resistência à flexo-compressão $N_t M_x$: Resistência à flexo-tração M_t : Resistência à torção x : Distância à origem da barra η : Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$\frac{N_c M_x}{M_v}$	$\frac{N_t M_x M_y}{M_v}$	M_t	
<i>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</i> ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão. ⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 43 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 277.20 mm
t : 6.40 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300.

λ_{xx} : 16.9 ✓
 λ_{yy} : 42.4 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.
 r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$: 2.016 m
 $K_y L_y$: 2.016 m
 r_x : 11.95 cm
 r_y : 4.75 cm

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.745 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N928, para a combinação de ações $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$: 520.32 kN

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 698.53 kN

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

A : 37.12 cm²

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 207.00 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

1
2
3
4
5
6
7
8
9

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

η : 0.103 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N283, para a combinação de hipóteses $PP + PPT + 1.4 \cdot V90$.

M_{Sd} : 5.72 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

M_{Rd} : 55.31 kN·m

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

M_{Rd} : 55.31 kN·m

Onde:



W_{ef} : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 293.92 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.537 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N283, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 7.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástica da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 75.87 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.036 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N928, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 7.28 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 3.64 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 100.15 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 21.66$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 6.40 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 138.60 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.018 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 3.65 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 75.07$$

para

$$h/t : 43.31$$



para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 97.31$$

Onde:

t : Espessura da alma.	t : 6.40 mm
h : Largura da alma.	h : 277.20 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:	K_v : 5.00

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N283, para a combinação de hipóteses PP+PPT+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.011 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : 5.72 kN·m
M_{0,Rd} : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	M_{0,Rd} : 55.31 kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : 3.65 kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	V_{Rd} : 200.31 kN

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N283, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:



$$\eta : 0.289 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 7.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 6.57 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N283, para a combinação 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : 1.362 \times$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$N_{t,Sd} : 513.40 \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 4.98 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 7.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$N_{Rd} : 698.53 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 14.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Banzo Inferior TS13

Perfil: UD 300x150x6.4
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Perfil: UD 300x150x6.4

Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _a ⁽³⁾ (mm)	Y _a ⁽³⁾ (mm)
N279	N280	1.667	37.12	5297.81	836.84	5.07	-34.63	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado
⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme
⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L _K	1.667	1.667	0.000	0.000
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:
β: Coeficiente de flambagem
L_K: Comprimento de flambagem (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N279/N280	(b _w /t) ≤ 200 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	η = 0.1	η = 8.4	x: 1.667 m η = 15.7	x: 1.667 m η = 96.8	x: 0 m η = 6.8	η = 3.1	x: 1.667 m η = 2.6	x: 1.667 m η = 94.2	x: 1.667 m η = 110.3	x: 1.667 m η = 79.4	M _{t,SD} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	NÃO PASSA η = 110.3

Notação:
b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura
λ: Limitação de esbeltez
N_t: Resistência à tração
N_c: Resistência à compressão
M_x: Resistência à flexão eixo X
M_y: Resistência à flexão eixo Y
V_x: Resistência ao esforço cortante X
V_y: Resistência ao esforço cortante Y
M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados
M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados
N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão
N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração
M_t: Resistência à torção
x: Distância à origem da barra
η: Coeficiente de aproveitamento (%)
N.P.: Não procede

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):
⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 43 ✓



Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b: 277.20 mm
t: 6.40 mm

1
2
3
4
5

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 14.0 ✓
 λ_{yy} : 35.1 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.
 r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$: 1.667 m
 $K_y L_y$: 1.667 m
 r_x : 11.95 cm
 r_y : 4.75 cm

6
7
8
9

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

η : 0.001 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+PPT+1.4·V90.

$N_{t,Sd}$: Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$N_{t,Sd}$: 0.36 kN

A força normal de tração resistente de cálculo **$N_{t,Rd}$** deve ser tomada como:

$N_{t,Rd}$: 698.53 kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
 f_y : Tensão de escoamento.

A: 37.12 cm²
 f_y : 207.00 MPa



γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

η : 0.084 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V0$.

$N_{c,sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,sd}$: 43.74 kN

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$N_{c,Rd}$: 520.24 kN

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

A_{ef} : 31.84 cm²

χ : Fator de redução associado à flambagem,

χ_{yy} : 0.95

χ_{xz} : 0.99

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,yy}$: 0.36

$\lambda_{0,xz}$: 0.14

Sendo:

N_e : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

A : Área bruta da seção transversal da barra.

A : 37.12 cm²

f_v : Tensão de escoamento.

f_v : 207.00 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.2

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

N_e : 5944.30 kN

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : 5944.30 \text{ kN}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : 37631.77 \text{ kN}$$

Onde:

$$N_{ex} : 37631.77 \text{ kN}$$

$$N_{ez} : \infty$$

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : 5297.81 \text{ cm}^4$$

I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : 836.84 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 5.07 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 123666.07 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : 76923 \text{ MPa}$$

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : 1.667 \text{ m}$$

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : 1.667 \text{ m}$$

$K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 0.000 \text{ m}$$

r_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 15.88 \text{ cm}$$

Sendo:

r_x, r_y : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : 11.95 \text{ cm}$$

$$r_y : 4.75 \text{ cm}$$

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : -93.14 \text{ mm}$$

$$y_0 : 0.00 \text{ mm}$$

1
2
3
4
5

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:



$$\eta : 0.157 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N280, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$M_{Sd} : 8.69 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 293.92 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.968 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N280, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 13.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : 14.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 75.58 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.068 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$V_{Sd} : 13.62 \text{ kN}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$.

$$V_{Sd} : 6.81 \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 100.15 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 21.66$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t : Espessura da alma.

h : Largura da alma.

f_v : Tensão de escoamento.

E : Módulo de elasticidade.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$t : 6.40 \text{ mm}$$

$$h : 138.60 \text{ mm}$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

$$K_v : 1.20$$



1
2
3
4
5**Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.031} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : \underline{6.18} \text{ kN}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma V_{Rd} deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{200.31} \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{75.07}$$

para

$$h/t : \underline{43.31}$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : \underline{97.31}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{6.40} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{277.20} \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : \underline{207.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$

6
7
8
9**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N280, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:



$$\eta : 0.026 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 8.69 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 6.18 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

1
2
3
4

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N280, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.942 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 13.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 14.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 13.02 \text{ kN}$$

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 200.31 \text{ kN}$$

6
7
8
9
10

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N280, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$\eta : 1.103 \times$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 43.74 \text{ kN}$$

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 8.69 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 12.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : 520.24 \text{ kN}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos

$$M_{x,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{v,Rd} : 14.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N280, para a combinação PP+PPT+1.4·V90.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de Interação:

$$\eta : 0.794 \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$N_{t,Sd} : 0.36 \text{ kN}$$

$$M_{x,Sd} : 3.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 10.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : 698.53 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} : 55.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 14.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Diagonal TS13

Perfil: CD 100x8, Duplo T união genérica (Distância entre os perfis: 300.0 / 300.0 mm e Ligação à distância máxima)
Material: Aço (AISI-SAE 1020)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas						
		Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	$x_a^{(3)}$ (mm)	$y_a^{(3)}$ (mm)	
N279	N283	2.678	29.88	289.08	9833.96	6.37	0.00	-21.26
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade								
		Flambagem		Flambagem lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.			
β		1.00	1.00	0.00	0.00			
L_K		2.678	2.678	0.000	0.000			
C_m		-	-	1.000	1.000			
C_b		-	-	1.000				
Notação: β : Coeficiente de flambagem L_K : Comprimento de flambagem (m) C_m : Coeficiente de momentos C_b : Fator de modificação para o momento crítico								

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)												Estado	
	b/t	λ	N_t	N_c	M_u	M_v	V_u	V_v	$M_u V_v$	$M_v V_u$	$N_c M_u M_v$	$N_t M_u M_v$		M_t

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_u	M_v	V_u	V_v	$M_u V_v$	$M_v V_u$	$N_c M_u M_v$	$N_t M_u M_v$	M_t	
N279/N 283	$(b/t) \leq 200$ Passa	$\lambda_{uu,c} \leq 200$ $\lambda_{vv,c} \leq 200$ Passa	$N_{t,sd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 2.678 m $\eta = 225.6$	x: 0 m $\eta = 13.1$	x: 0 m $\eta = 29.3$	x: 2.678 m $\eta = 1.7$	x: 2.678 m $\eta = 1.7$	x: 0 m $\eta = 1.7$	x: 0 m $\eta = 8.6$	x: 0 m $\eta = 263.3$	N.P. ⁽²⁾	$M_{t,sd} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	NÃO PASSA $\eta = 263.3$
<p>Notação: <i>b/t:</i> Valores máximos da relação comprimento-espessura <i>λ:</i> Limitação de esbeltez <i>N_t:</i> Resistência à tração <i>N_c:</i> Resistência à compressão <i>M_u:</i> Resistência à flexão eixo U <i>M_v:</i> Resistência à flexão eixo V <i>V_u:</i> Resistência ao esforço cortante U <i>V_v:</i> Resistência ao esforço cortante V <i>$M_u V_v$:</i> Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados <i>$M_v V_u$:</i> Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados <i>$N_c M_u M_v$:</i> Resistência à flexo-compressão <i>$N_t M_u M_v$:</i> Resistência à flexo-tração <i>M_t:</i> Resistência à torção <i>x:</i> Distância à origem da barra <i>η:</i> Coeficiente de aproveitamento (%) <i>N.P.:</i> Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p>														

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Mesa

Em almas de vigas sem enrijecedores transversais, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 200.

(b/t) : 11 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b: 84.00 mm

t: A espessura.

t: 8.00 mm

Limitação de esbeltez (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ_c das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez λ_s de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{uu,c}$: 86.1 ✓



$$\lambda_{vv,c} : 49.5 \checkmark$$

$$\lambda_{uu,s} : 22.5 \checkmark$$

$$\lambda_{vv,s} : 47.3 \checkmark$$

Onde:

$K_u L_{u,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,c} : 2.678 \text{ m}$$

$K_v L_{v,c}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,c} : 8.988 \text{ m}$$

$r_{u,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,c} : 3.11 \text{ cm}$$

$r_{v,c}$: Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,c} : 18.14 \text{ cm}$$

$K_u L_{u,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo U.

$$K_u L_{u,s} : 0.893 \text{ m}$$

$K_v L_{v,s}$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo V.

$$K_v L_{v,s} : 0.893 \text{ m}$$

$r_{u,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal U.

$$r_{u,s} : 3.97 \text{ cm}$$

$r_{v,s}$: Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal V.

$$r_{v,s} : 1.89 \text{ cm}$$

Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : 2.256 \times$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N283, para a combinação de ações $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot PPT + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V90$.

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 419.97 \text{ kN}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c,Rd} : 186.12 \text{ kN}$$



Onde:

 A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra. A_{ef} : 14.94 cm² χ : Fator de redução associado à flambagem, χ : 0.72

Sendo:

 λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas. λ_0, ft : 0.88

Sendo:

 N_e : Esforço axial crítico elástico de flambagem mínimo. N_e : 397.79 kN A : Área bruta da seção transversal da barra. A : 14.94 cm² f_y : Tensão de escoamento. f_y : 207.00 MPa γ : Coeficiente de ponderação das resistências. γ : 1.2

A tensão crítica elástica de flambagem σ_{cr} é o valor da menor das raízes da seguinte equação cúbica:

 σ_{cr} : 266.29 MPa

Onde:

 $\sigma_{cr,x}$: Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo X. $\sigma_{cr,x}$: 266.29 MPa $\sigma_{cr,y}$: Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo Y. $\sigma_{cr,y}$: 832.12 MPa $\sigma_{cr,T}$: Tensão crítica elástica de flambagem por torção da seção composta. $\sigma_{cr,T}$: ∞ I_x : Momento de inércia da seção composta, em relação ao eixo X. I_x : 289.08 cm⁴ I_y : Momento de inércia da seção composta, em relação ao eixo Y. I_y : 9833.96 cm⁴ I_t : Módulo de torção uniforme da seção composta. I_t : 6.37 cm⁴ C_w : Constante de empenamento da seção composta. C_w : 0.00 cm⁶ E : Módulo de elasticidade. E : 200000 MPa G : Módulo de elasticidade transversal. G : 76923 MPa λ_x : Esbeltez mecânica da seção composta, em relação ao eixo X, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento. λ_x : 86.10 λ_y : Esbeltez mecânica da seção composta, em relação ao eixo Y, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento. λ_y : 48.70 $K_z L_z$: Comprimento efetivo de flambagem por torção da seção composta. $K_z L_z$: 0.000 m r_0 : Raio de giração polar da seção composta, em relação ao centro de torção. r_0 : 18.42 cm

Sendo:



r_x, r_y : Raios de giração da seção composta, em relação aos eixos principais de inércia X e Y.

$$r_x : 3.11 \text{ cm}$$

$$r_y : 18.14 \text{ cm}$$

x_0, y_0 : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, relativas ao centro de gravidade da seção composta.

$$x_0 : 0.00 \text{ cm}$$

$$y_0 : -0.78 \text{ cm}$$

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.131 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

$$M_{Sd} : 0.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : 6.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_v : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 33.35 \text{ cm}^3$$

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_v L_v^{pos}$ e $K_v L_v^{neg}$ são nulos.

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:



η : 0.293 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

 M_{Sd} : 0.82 kN·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

 M_{Rd} : 2.80 kN·m

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com σ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

 W_{ef} : 14.90 cm³

f_v : Tensão de escoamento.

 f_v : 207.00 MPa

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

 γ : 1.1

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

 η : 0.017 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N283, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

 V_{Sd} : 1.80 kN

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

 V_{Rd} : 107.30 kN

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd1} supondo que existe ruptura da mesa vertical.

 V_{Rd} : 107.30 kN

para

 $1.08(EK_v/f_v)^{0.5}$: 36.77

para

 h/t : 10.50

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para

$$1.08(EK_v/f_v)^{0.5} : 36.77$$

para

$$h/t : 10.50$$

para

$$1.4(EK_v/f_v)^{0.5} : 47.67$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_v : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

1
2
3
4
5

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.017 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N283, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V0.

$$V_{Sd} : 1.80 \text{ kN}$$

A resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} é a menor das obtidas segundo os itens a) e b):

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

a) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa vertical.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 10.50$

para $1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 8.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 84.00 \text{ mm}$$

f_v: Tensão de escoamento.

$$f_V : 207.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

K_v: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_V : 1.20$$

b) Resistência de cálculo ao esforço cortante V_{Rd} , supondo que existe ruptura da mesa horizontal.

$$V_{Rd} : 107.30 \text{ kN}$$

para $1.08(EK_V/f_V)^{0.5} : 36.77$

para $h/t : 10.50$

para $1.4(EK_V/f_V)^{0.5} : 47.67$



Onde:

t : Espessura da alma.	t : 8.00 mm
h : Largura da alma.	h : 84.00 mm
f_v : Tensão de escoamento.	f_v : 207.00 MPa
E : Módulo de elasticidade.	E : 200000 MPa
γ : Coeficiente de ponderação das resistências.	γ : 1.1
K_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:	K_v : 1.20

Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.017 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : 0.82 kN·m
M_{0,Rd} : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	M_{0,Rd} : 6.28 kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : 0.90 kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	V_{Rd} : 107.30 kN

Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis **M_{Sd}** e **V_{Sd}** são obtidos no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.086 \checkmark$$



Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	M_{Sd} : 0.82 kN·m
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd}$: 2.80 kN·m
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	V_{Sd} : 0.90 kN
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	V_{Rd} : 107.30 kN

Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N279, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·PPT+1.05·SCU1+1.4·V90.

η : 2.633 X

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd}$: 411.51 kN
$M_{u,Sd}$, $M_{v,Sd}$: Momentos fletores de cálculo atuantes em torno dos eixos U e V, respectivamente.	$M_{u,Sd}$: 0.82 kN·m $M_{v,Sd}$: 0.82 kN·m
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd}$: 186.12 kN
$M_{u,Rd}$, $M_{v,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos U e V, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{u,Rd}$: 6.28 kN·m $M_{v,Rd}$: 2.80 kN·m

Anexo III – Resultado dos Ensaaios



A large, faint blue ink signature and scribbles are visible in the bottom right corner of the page, partially overlapping the footer text.

EM BRANCO

1
2 **RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ001/2019- REV 0**
3 **Ensaio Visual**
4

5 **INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**
6 Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
7 CEP89.221-005 – Joinville – SC
8

9 **Ref.: Verificação dimensional e geométrica das peças por medição direta**

10
11 **1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**
12

13 Tesoura TS13 – peças identificadas como:
14 UDC 300 X 150 X 6,35 (BZ inf)
15 UDC 300 X 150 X 6,35 (BZ sup)
16 2 L 100 x 8,00 (diag)- numero 3 no desenho
17 2 L 100 x 6,35 (diag)- numero 4 no desenho
18

19 **2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**
20

21 NBR NM 315 – Ensaio Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.
22 Medição direta utilizando Trena, régua e ou paquímetro.
23

24 **3. OBJETIVO**

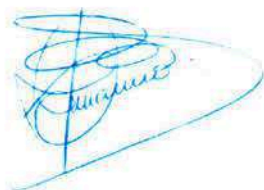
25 Verificação dimensional e geométrica das peças
26 Documento de referencia Prancha F-007 B
27

28 **4. RESULTADOS OBTIDOS**

29 Na inpeção dimensional constatamos que os perfis acima indentificados, estão em acordo com o indicado na
30 prancha prancha F-007 B, portanto atendem.
31

32 No entanto foi detectado uma não conformidade no eixo 8 com o eixo D1- a diagonal teve sua seção
33 reduzida, com o corte das abas das cantoneiras (fotos 23 e 24 do laudo).
34

35
36 Araraquara, 18 de março de 2019
37
38
39



40
41
42 Marcos Donisete Zavaglio
43 Eng Civil / Mec
44 crea-sp 5060488452
45
46
47



EM BRANCO

1
2 **RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ002/2019- REV 0**
3 **Ensaio Visual**

4
5 **INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**
6 Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
7 CEP89.221-005 – Joinville – SC
8

9 **Ref.: Verificação dimensional e geométrica das peças por medição direta**

10
11 **1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**

12
13 Tesoura TS14 – peças identificadas como:
14 UDC 300 X 150 X 6,35 (BZ inf)
15 UDC 300 X 150 X 6,35 (BZ sup)
16 2 L 100 x 8,00 (diag)- numero 3 no desenho
17 2 L 100 x 6,35 (diag)- numero 4 no desenho
18

19 **2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**

20
21 NBR NM 315 – Ensaio Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.
22 Medição direta utilizando Trena, régua e ou paquímetro.
23

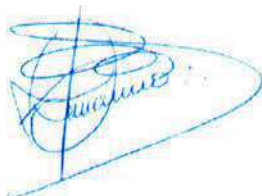
24 **3. OBJETIVO**

25 Verificação dimensional e geométrica das peças
26 Documento de referencia Prancha F-007 B
27

28 **4. RESULTADOS OBTIDOS**

29 Na inpeção dimensional constatamos que os perfis acima indentificados, estão em acordo com o indicado na
30 prancha prancha F-007 B, portanto atendem.
31

32
33 Araraquara, 18 de março de 2019
34
35
36



37
38
39 Marcos Donisete Zavaglio
40 Eng Civil / Mec
41 crea-sp 5060488452
42
43



1 RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ003/2019- REV 0
2 Ensaio Visual
3

4 **INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**
5 Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
6 CEP89.221-005 – Joinville – SC
7

8 **Ref.: Verificação dimensional e geométrica das peças por medição direta**
9

10 **1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**
11

12 Tesoura TS3A – peças identificadas como:
13 UDC 300 X 100 X 4,75 (BZ inf)
14 UDC 300 X 100 X 4,75 (BZ sup)
15 2 L 100 x 3,75 (diag)- numero 1 no desenho
16

17 **2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**
18

19 NBR NM 315 – Ensaio Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.
20 Medição direta utilizando Trena, régua e ou paquímetro.
21

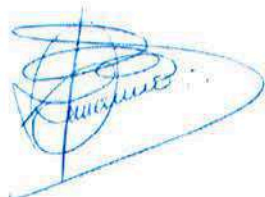
22 **3. OBJETIVO**

23 Verificação dimensional e geometrica das peças
24 Documento de referencia Prancha F-002 C
25

26 **4. RESULTADOS OBTIDOS**

27 Na inpeção dimensional constatamos que os perfis acima indentificados, estão em acordo com o indicado na
28 prancha prancha F-002 C, portanto atendem.
29
30

31 Araraquara, 18 de março de 2019
32
33
34



35
36
37 Marcos Donisete Zavaglio
38 Eng Civil / Mec
39 crea-sp 5060488452
40
41
42
43



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ004/2019- REV 0
Ensaio Visual

INTERESSADO: Município de Joinville – Secretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
CEP89.221-005 – Joinville – SC

Ref.: Ensaio Visual das juntas parafusadas

1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Junção das tesouras TS10/ TS14 (eixo 7 com eixo C')
Banzo inferior

2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)

NBR NM 315 – Ensaio Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.
Ensaio visual direto a olho nu. Realizado a uma distancia máxima de 600 mm e um ângulo não menor que 30° em relação a superfície a ser ensaiada.

3. OBJETIVO

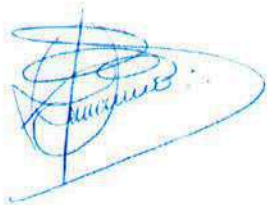
Verificação de alinhamento, deformações e avarias, identificação do estado das superfícies
Documento de referencia Prancha F-007 B e F-005 C

4. RESULTADOS OBTIDOS

Na inpeção visual constatamos que a ligação parafusada acima indentificado, não está de acordo , pois os parafusos apresentam avançado estado de corrosão com delaminação pronunciada, desalinhamento na montagem dos banzos, corrosão avançada nos perfis (fotos 17 e 18) e tala de junção fabricada menor do que indicado em projeto. Portanto não atendem.

Araraquara, 18 de março de 2019

37
38
39
40
41
42
43
44



Marcos Donisete Zavaglio
Eng Civil / Mec
crea-sp 5060488452



1
2 **RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ005/2019- REV 0**
3 **Ensaio Visual**
4

5 **INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**
6 Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
7 CEP89.221-005 – Joinville – SC
8

9 **Ref.: Ensaio Visual das juntas parafusadas**

10
11 **1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**
12

13 Junção das tesouras TS11A/ TS7A (eixo 13 com eixo D1)
14 Banzo inferior
15

16 **2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**
17

18 NBR NM 315 – Ensaio Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.
19 Ensaio visual remoto. Realizado com o auxílio de câmera fotográfica EOS Canon.
20

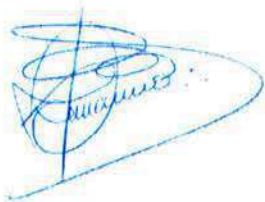
21
22 **3. OBJETIVO**

23 Verificação de alinhamento, deformações e avarias, identificação do estado das superfícies
24 Documento de referencia Prancha F-006 C e F-004 C
25

26 **4. RESULTADOS OBTIDOS**

27 Na inpeção visual constatamos que a ligação parafusada acima indentificado, não está de acordo , pois os
28 parafusos necessitam de reaperto (fotos 20 e 21). Portanto não atendem.
29
30

31 Araraquara, 18 de março de 2019
32
33
34



35
36
37 **Marcos Donisete Zavaglio**
38 Eng Civil / Mec
39 crea-sp 5060488452
40
41

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ006/2019- REV 0
Ensaio Visual

INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
CEP89.221-005 – Joinville – SC

Ref.: Ensaio Visual das juntas parafusadas

34
35
36
37
38
39
40
41

1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Junção das tesouras TS9/ TS5 (eixo 18 com eixo D1)
Banzo superior

2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)

NBR NM 315 – Ensaio Não destrutivos – Ensaio Visual: Método de ensaio à temperatura ambiente.
Ensaio visual remoto. Realizado com o auxílio de câmera fotográfica EOS Canon.

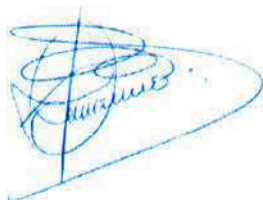
3. OBJETIVO

Verificação de alinhamento, deformações e avarias, identificação do estado das superfícies
Documento de referencia Prancha F-003 C e F-005 C

4. RESULTADOS OBTIDOS

Na inpeção visual constatamos que a ligação parafusada acima indentificado, não apresenta qualquer
descontinuidade evidente. Portanto atende.

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio
Eng Civil / Mec
crea-sp 5060488452

1 RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ007/2019- REV 0
2 Líquido Penetrante
3

4 INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.
5 Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
6 CEP89.221-005 – Joinville – SC
7

8 Ref.: Ensaio Líquido Penetrante
9

10 1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)
11

12 Tesoura TS9 (eixo 5 com eixo C')
13 Banzo Inferior com placa de apoio (topo pilarete com roletes) e junção dos banzos.
14

15 2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)
16

17 NBR NM 327 – Ensaio Não destrutivo – Líquido Penetrante - Terminologia
18 NBR NM 327 – Ensaio Não destrutivo – Líquido Penetrante – Detecção de descontinuidades
19 Ensaio à temperatura ambiente.
20 Líquido Penetrante SKL-WP – marca Magnaflux - val nov/2019
21 Revelador SKD-S2 – marca Magnaflux - val nov/2019
22 Limpeza da superfície a ser ensaiada, aplicação do líquido penetrante com spray, limpeza para retirar o
23 líquido penetrante da superfície, aplicação com spray revelador, após a secagem é feita uma inspeção da
24 peça.
25

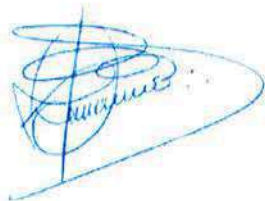
26 3. OBJETIVO

27 Detectar descontinuidades superficiais na solda
28

29 4. RESULTADOS OBTIDOS

30 Nas duas soldas ensaiadas não constatamos qualquer descontinuidade evidente. Portanto atende.
31
32

33 Araraquara, 18 de março de 2019
34
35
36



37
38
39 Marcos Donisete Zavaglio
40 Eng Civil / Mec
41 crea-sp 5060488452
42



1
2
3
4
5
6
7
8
9

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ008/2019- REV 0
Liquido Penetrante

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37

INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
CEP89.221-005 – Joinville – SC

Ref.: Ensaio Liquido Penetrante

1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Junção dos banzos TS9 (eixo 8)
Banzo Inferior (foto 12)

2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)

NBR NM 327 – Ensaio Não destrutivos – Liquido Penetrante - Terminologia
NBR NM 327 – Ensaio Não destrutivos – Liquido Penetrante – Detecção de descontinuidades
Ensaio à temperatura ambiente.
Liquido Penetrante SKL-WP – marca Magnaflux - val nov/2019
Revelador SKD-S2 – marca Magnaflux - val nov/2019
Limpeza da superfície a ser ensaiada, aplicação do liquido penetrante com spray, limpeza para retirar o liquido penetrante da superfície, aplicação com spray revelador, após a secagem é feita uam inspeção da peça.

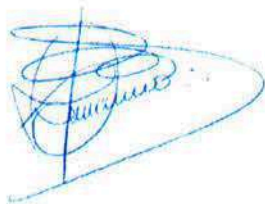
3. OBJETIVO

Detectar descontinuidades superficiais na solda

4. RESULTADOS OBTIDOS

Na solda ensaiada não foi constatado qualquer descontinuidade evidente. Portanto atende.

Araraquara, 18 de março de 2019



38
39
40
41
42
43
44

Marcos Donisete Zavaglio
Eng Civil / Mec
crea-sp 5060488452

 **ZAVAGLIO**
ESTRUTURAS METÁLICAS

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ009/2019- REV 0
Líquido Penetrante

INTERESSADO: Município de Joinville – Secretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
CEP89.221-005 – Joinville – SC

Ref.: Ensaio Líquido Penetrante

1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

VT2 (entre os eixos 8 e 9)
Banzo Inferior (foto 13)

2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)

NBR NM 327 – Ensaio Não destrutivo – Líquido Penetrante - Terminologia
NBR NM 327 – Ensaio Não destrutivo – Líquido Penetrante – Detecção de descontinuidades
Ensaio à temperatura ambiente.
Líquido Penetrante SKL-WP – marca Magnaflux - val nov/2019
Revelador SKD-S2 – marca Magnaflux - val nov/2019
Limpeza da superfície a ser ensaiada, aplicação do líquido penetrante com spray, limpeza para retirar o líquido penetrante da superfície, aplicação com spray revelador, após a secagem é feita uma inspeção da peça.

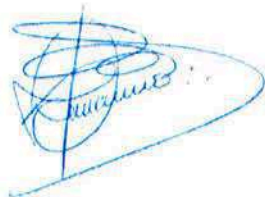
3. OBJETIVO

Detectar descontinuidades superficiais na solda

4. RESULTADOS OBTIDOS

A solda ensaiada apresenta descontinuidade, bem como o perfil que apresenta corrosão avançada e muita porosidade.

Araraquara, 18 de março de 2019



Marcos Donisete Zavaglio
Eng Civil / Mec
crea-sp 5060488452



1
2
3 **RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ010/2019- REV 1**
4 **Ultrassom**

5 **INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.**
6 Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
7 CEP89.221-005 – Joinville – SC
8

9 **Ref.: Ensaio ultrassom**

10
11 **1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)**
12

13 Tesoura TS9 (eixo 19 com eixo C')
14 Banzo Inferior
15

16 **2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)**
17

18 NBR NM 330 – Ensaio por ultrassom
19 Ensaio à temperatura ambiente.
20 Dados do equipamento:
21 Instrutherm ME-215
22 Bloco de referencia e calibração acoplado
23 Escala: 1,5 a 200 mm
24 Precisão: +- 0,5%+0,2
25 Resolução: 0,1mm
26

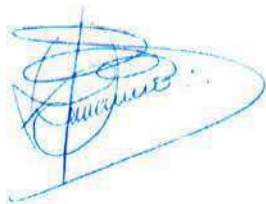
27 **3. OBJETIVO**

28 Detectar espessuras reais dos perfis metálicos
29

30 **4. RESULTADOS OBTIDOS**

31 O perfil ensaiado esta em conformidade com o solicitado em projeto. Portanto atende.
32

33 Araraquara, 13 de junho de 2019
34
35
36



37
38
39 Marcos Donisete Zavaglio
40 Eng Civil / Mec
41 crea-sp 5060488452
42



1

2

3

4

5

6

7

8

9

RELATÓRIO DE ENSAIO N° AJ011/2019- REV 1
Ultrassom

INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
CEP89.221-005 – Joinville – SC

10 **Ref.: Ensaio ultrassom**

11

12

1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

13

14

Tesoura TS12 (eixo 12)
Banzo superior

15

16

17

2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)

18

19

NBR NM 330 – Ensaio por ultrassom
Ensaio à temperatura ambiente.

20

21

Dados do equipamento:

22

Instrutherm ME-215

23

Bloco de referencia e calibração acoplado

24

Escala: 1,5 a 200 mm

25

Precisão: +- 0,5%+0,2

26

Resolução: 0,1mm

27

28

3. OBJETIVO

29

Detectar espessuras reais dos perfis metálicos

30

31

4. RESULTADOS OBTIDOS

32

O perfil ensaiado esta em conformidade com o solicitado em projeto. Portanto atende.

33

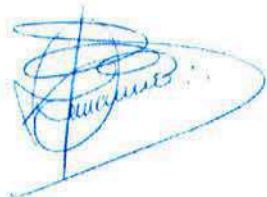
34

Araraquara, 13 de junho de 2019

35

36

37



38

39

40

Marcos Donisete Zavaglio

41

Eng Civil / Mec

42

crea-sp 5060488452

43



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ012/2019- REV 1
Ultrassom

INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.
Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro
CEP89.221-005 – Joinville – SC

Ref.: Ensaio Ultrassom

1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Tesoura TS1 (eixo 16)
Banzo superior

2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)

NBR NM 330 – Ensaio por ultrassom
Ensaio à temperatura ambiente.
Dados do equipamento:
Instrutherm ME-215
Bloco de referencia e calibração acoplado
Escala: 1,5 a 200 mm
Precisão: +- 0,5%+0,2
Resolução: 0,1mm

3. OBJETIVO

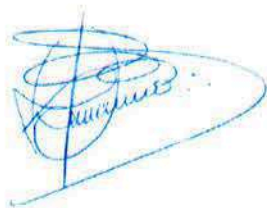
Detectar espessuras reais dos perfis metálicos

4. RESULTADOS OBTIDOS

O perfil ensaiado esta em conformidade com o solicitado em projeto. Portanto atende.

Araraquara, 13 de junho de 2019

37
38
39
40
41
42
43



Marcos Donisete Zavaglio
Eng Civil / Mec
crea-sp 5060488452



1

2

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ013/2019- REV 1

3

Ensaio espessura película seca

4

INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.

Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro

CEP89.221-005 – Joinville – SC

8

Ref.: Ensaio medição de espessura película seca

10

1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

11

12

Tesoura TS3A (eixo 13)

14

Banzo superior

15

2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)

16

17

NBR 10443 – Determinação da espessura da película seca.

18

Ensaio à temperatura ambiente.

19

Dados do equipamento:

20

Minipa MCT-300

21

Película de espessura padrão

22

Base metálica de calibração

23

Escala: 0 a 1000 µm

24

Precisão: +- 0,4 mils

25

26

3. OBJETIVO

27

Detectar espessuras de camadas aplicadas sobre bases ferrosas, espessura de película seca.

28

29

4. RESULTADOS OBTIDOS

30

O perfil ensaiado apresentou a medida de 179 µm esta em conformidade. Portanto atende.

31

32

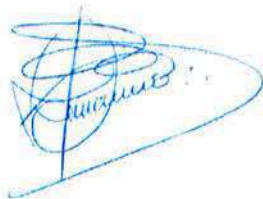
Araraquara, 13 de junho de 2019

33

34

35

36



37

38

Marcos Donisete Zavaglio

39

Eng Civil / Mec

40

crea-sp 5060488452

41

42

43



1

2

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº AJ014/2019- REV 1

3

Ensaio espessura película seca

4

INTERESSADO: Município de Joinville – Seretaria de Esportes e Secretaria de Infraestrutura Urbana.

Avenida Hermann August Lepper, 10 – Centro

CEP89.221-005 – Joinville – SC

8

Ref.: Ensaio medição de espessura película seca

10

1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

11

Tesoura TS10 (eixo 7)

diagonais

15

2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)

16

NBR 10443 – Determinação da espessura da película seca.

Ensaio à temperatura ambiente.

Dados do equipamento:

Minipa MCT-300

Película de espessura padrão

Base metálica de calibração

Escala: 0 a 1000 µm

Precisão: +- 0,4 mils

26

3. OBJETIVO

Detectar espessuras de camadas aplicadas sobre bases ferrosas, espessura de película seca.

29

4. RESULTADOS OBTIDOS

O perfil ensaiado apresentou a medida de 198 µm esta em conformidade. Portanto atende.

32

Araraquara, 13 de junho de 2019

34

35

36

37

Marcos Donisete Zavaglio

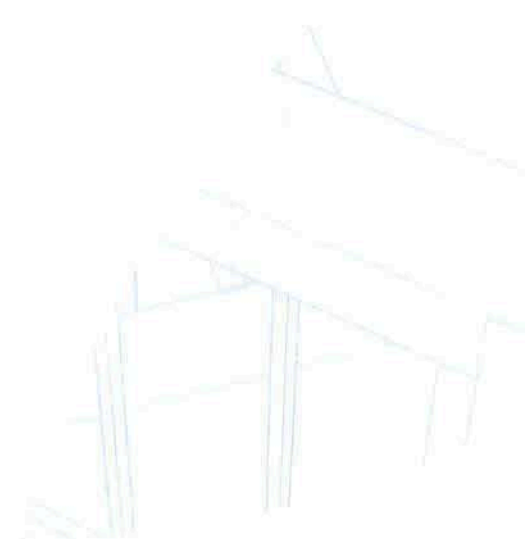
Eng Civil / Mec

crea-sp 5060488452

41



Anexo IV – Check List

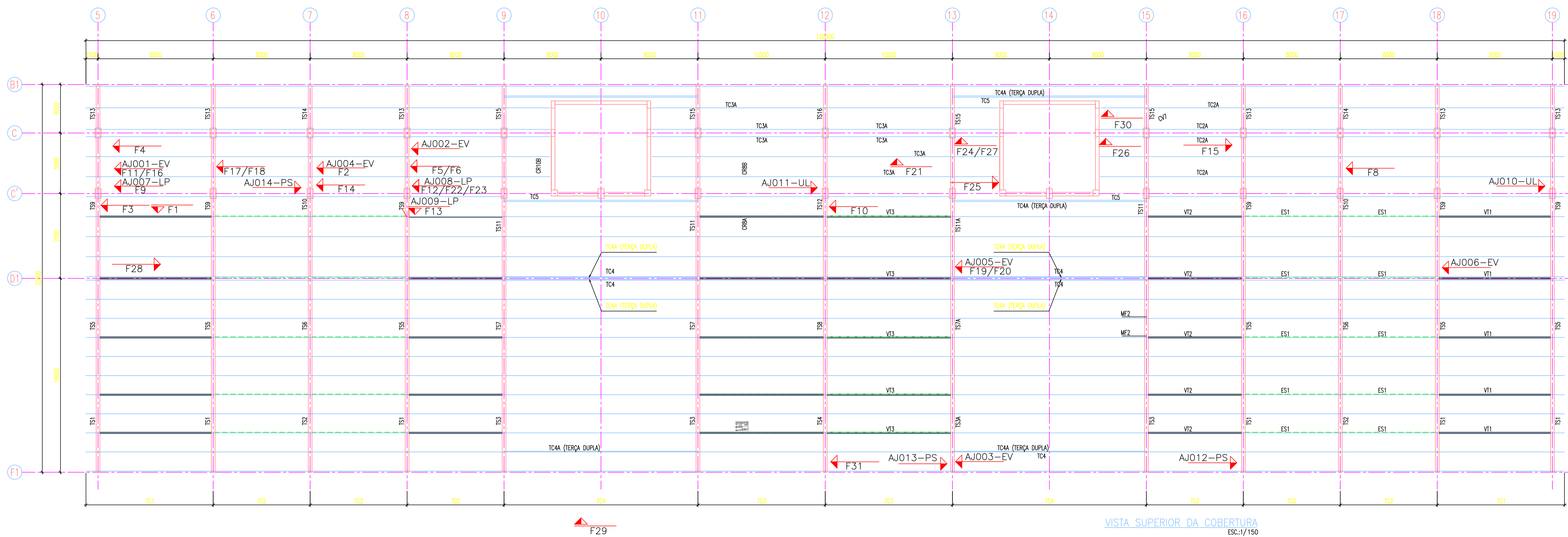


EM BRANCO

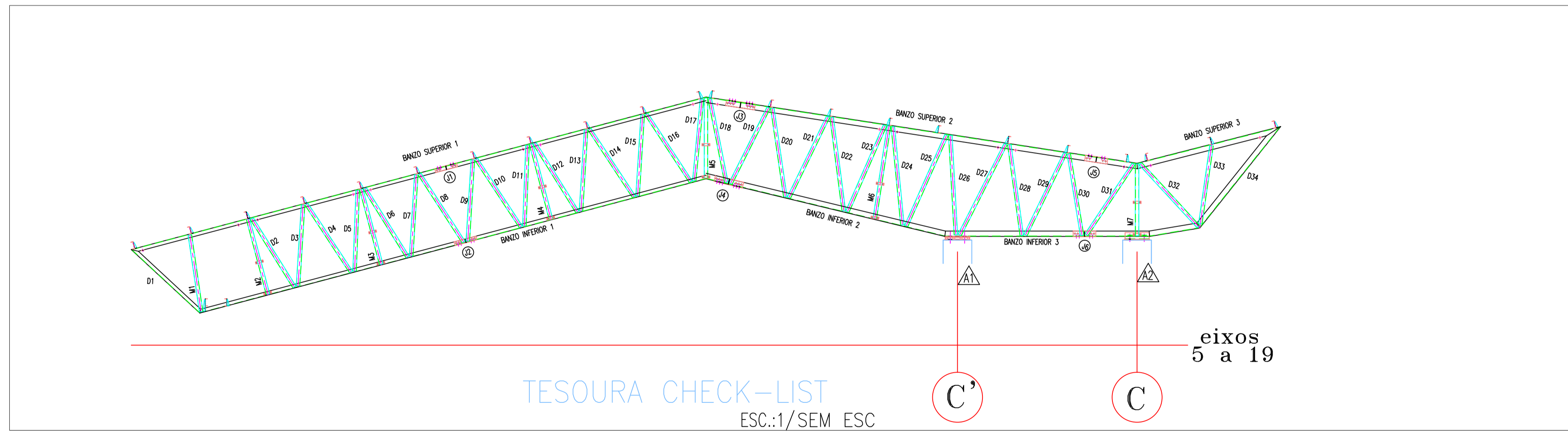
Anexo V – Mapa de situação das fotos e ensaios dos laudo



EM BRANCO



VISTA SUPERIOR DA COBERTURA
ESC.:1/150



TESOURA CHECK-LIST
ESC.:1/SEM ESC

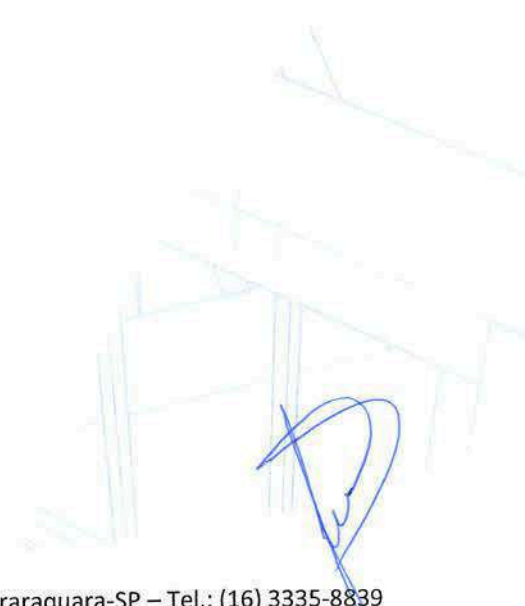
LEGENDAS

AJXXX-YY
 XXXX - NÚMERO DO RELATÓRIO (SE HOUVER)
 YY - NÚMERO DA FOTO (SE HOUVER)
 YY - TIPO DE ENSAIO (SE HOUVER)

EV ENSAIO VISUAL
 LP LÍQUIDO PENETRANTE
 UL ULTRASSOM
 PS PROVA DE TENSÃO

REV4		
REV3		
REV2		
REV1	LEGENDA	12/ABR/2019
Revisão	Descrição	Data
Nome da Obra / Endereço: CONTRATO 437/2018		
END. UNIDADE DE PATRIMÔNIO E EVENTOS Rua Inácio Bastos, 1084 - Joinville, SC - CEP: 89.202-310 - Tel. (47) 3433-1160		
Requerente: MUNICÍPIO DE JOINVILLE	Conteúdo: MAPA ENSAIOS MAPA FOTOS CHECK-LIST	
Proprietário: PROP. MUNICÍPIO DE JOINVILLE	Escala: ESC.INDICADA	
Autores: MARCOS DONISETE ZAVAGLIO CREA SP 5060488462	Data: 16/ABR/2019	Código: METALICA Número: M-001
Revisado por: REV. MARCOS	Operador CAD: O.CAD	Arq.CAD: MAPAFOTOS.DWG

Anexo VI – ART



EM BRANCO



1. Responsável Técnico

MARCOS DONISETE ZAVAGLIO
 Título Profissional: Engenheiro Civil
 Engenheiro Mecânico

RNP: 2602076007
 Registro: 160924-1-SC

Empresa Contratada: CARVALHO E ZAVAGLIO ENGENHARIA E ARQ. LTDA ME

Registro: 160948-1-SC

2. Dados do Contrato

Contratante: Prefeitura de Joinville
 Endereço: AVENIDA HERMANN AUGUST LEPPER
 Complemento:
 Cidade: JOINVILLE
 Valor da Obra/Serviço/Contrato: R\$ 69.991,00

Ação Institucional:

Bairro: SAGUACU
 UF: SC

CPF/CNPJ: 83.169.623/0001-10
 Nº: 10
 CEP: 89221-005

3. Dados Obra/Serviço

Proprietário: Prefeitura de Joinville
 Endereço: RUA INACIO BASTOS
 Complemento: Arena Joinville
 Cidade: JOINVILLE
 Data de Início: 15/01/2019

Data de Término: 08/02/2019

Bairro: BUCAREIN
 UF: SC
 Coordenadas Geográficas:

CPF/CNPJ: 83.169.623/0001-10
 Nº: 1084
 CEP: 89202-310

4. Atividade Técnica

Laudo
Estrutura Metálica Vistoria

Dimensão do Trabalho: 3.904,00 Metro(s) Quadrado(s)

5. Observações

serviço para elaboração de laudo técnico da cobertura da arena Joinville, com área 3.904,00 m² e dimensões de 122x22m, numero do empenho sei 16/2019, licitação 237/2018, contrato 437/2018

6. Declarações

Acessibilidade: Declaro, sob as penas da Lei, que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART não se exige a observância das regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.

7. Entidade de Classe

ABENC - 16

8. Informações

A ART é válida somente após o pagamento da taxa.
 Situação do pagamento da taxa da ART:

TAXA DA ART PAGA EM 21/01/2019 NO VALOR DE R\$ 226,50

A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art.

A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF,

9. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima.

JOINVILLE - SC, 15 de Janeiro de 2019

MARCOS DONISETE ZAVAGLIO
 108.941.388-20

Contratante: Prefeitura de Joinville

83.169.623/0001-10

EM BRANCO

Anexo VII– Certificado de Calibração



Av. Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jd. Flamboyants - CEP: 14.805-293 – Araraquara-SP – Tel.: (16) 3335-8839
CNPJ: 08.057.547/0001-35 – Insc. Est.: 181.178.863.113 – CREA: 0786566

A blue ink signature is written over a faint, light-colored sketch of a structural frame or building layout in the bottom right corner of the page.

EM BRANCO

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° 0706A19

Cliente: Marcos Donisete Zavaglio
Avenida Trindade Madrid Romera Cucci, 387 Jardim dos Flamboyant
14805-293 Araraquara - SP

Descrição do Instrumento: Medidor de Espessura de Camada
Modelo: MCT-300
Fabricante: Minipa do Brasil Ltda.
Número de Série: MCT300000603
Identificação: Não Consta
Número de O.S.: 120419-08

Data da Calibração: 12/04/2019

Procedimento de Calibração:

A calibração foi realizada através do método de comparação direta com o(s) padrão(ões) de referência da MINIPA. O instrumento foi calibrado conforme Instrução de Trabalho - ITL 018 (rev. 00).

Nível de Confiança para o qual as incertezas foram estimadas:

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Padrão(ões) utilizado(s) na calibração:

Descrição	Identificação	Rastreabilidade	n° do certificado	Validade
Conjunto Filme Padrão	937288	RBC/MITUTOYO	03392/17	25-mai-19

Rastreabilidade do(s) padrão(ões) utilizado(s):

O(s) padrão(ões) utilizado(s) na calibração é(são) calibrado(s) por instrumentos rastreados a padrões primários com Certificado de Calibração do INMETRO.

Condições Ambientais:

Temperatura: $(23 \pm ?)$ °C Umidade Relativa: Inferior a 75 %

Observações:

Os resultados deste certificado referem-se apenas ao item calibrado, não sendo extensivo a quaisquer lotes. A reprodução deste certificado deverá ser realizada apenas na sua totalidade.

Legenda da nomenclatura utilizada no certificado:


V.R. (Valor Verdadeiro Convencional) = Indicação do padrão.

Valor indicado = Média das leituras obtidas no instrumento sob calibração.

Erro = Valor Indicado - V.R.

v_{eff} = Graus de liberdade efetivos

Data da Emissão: 12/04/2019


Matheus Y. Makishi
Técnico Executante


William F. N. Malcato
Signatário Autorizado



Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° 0706A19

RESULTADOS

Base Ferrosa

Faixa (μm)	V.R. (μm)	Valor Indicado (μm)	k	Incerteza (μm)	Erro (μm)	Veff
1000	24	15	2,00	2	-9	∞
	49	38	2,00	2	-11	∞
	73	54	2,00	2	-19	∞
	98	74	2,00	2	-24	∞
	147	122	2,00	2	-25	∞
	250	223	2,00	3	-27	∞
	501	494	2,00	6	-7	∞
	648	633	2,00	8	-15	∞

*Certificado de Calibração***2° VIA****N° 98231/19**

Folha 01/01

Cliente: **MARCOS DONISETE ZAVAGLIO**Endereço: **AV. TRINDADE MADRID ROMERA CUCCI, 387 Bairro: JARDIM DOS FLAMBOYANTS Cep: 14805-293 ARARAQUARA - SP**Item Calibrado: **MEDIDOR DE ESPESSURA**N° Código de barra / N° Série: **12120300930467 / N506493**Marca: **INSTRUTHERM**Modelo: **ME-215**O.S. N°: **192875**Data de Calibração: **12/4/2019****Condições Ambientais Aplicáveis à Calibração**Temperatura durante a calibração: **23±3°C**Umidade relativa durante a calibração: **45 a 65% (U.R)****Metodologia de Calibração**Procedimento de Calibração: **PCI - 026 - Rev. 04 - Foi realizada a calibração através do processo de comparação com um padrão rastreado.****Padrões Utilizados**

LCI 155 - BLOCO PADRÃO MITUTOYO --- Certificado de Calibração n° 7399-17C - RBC CAL 0175 Validade até 05/2019

LCI 54 - INSTRUTHERM HTR-157 - 120301169 - Certificado de Calibração n° CAL-168260/19 - RBC CAL 0056 Validade até 01/2020

Resultados Obtidos**ESPESSURA**

Valor Indicado no Instrumento Calibrado (mm)	Valor Convencional (mm)	Erro (mm)	Incerteza (± mm)	k
10,0	10,0	0,0	0,1	2,00
20,0	20,1	-0,1	0,1	2,00
39,8	40,0	-0,2	0,1	2,00
49,9	50,1	-0,2	0,1	2,00
79,9	80,1	-0,2	0,1	2,00
99,8	99,9	-0,1	0,1	2,00

Notas

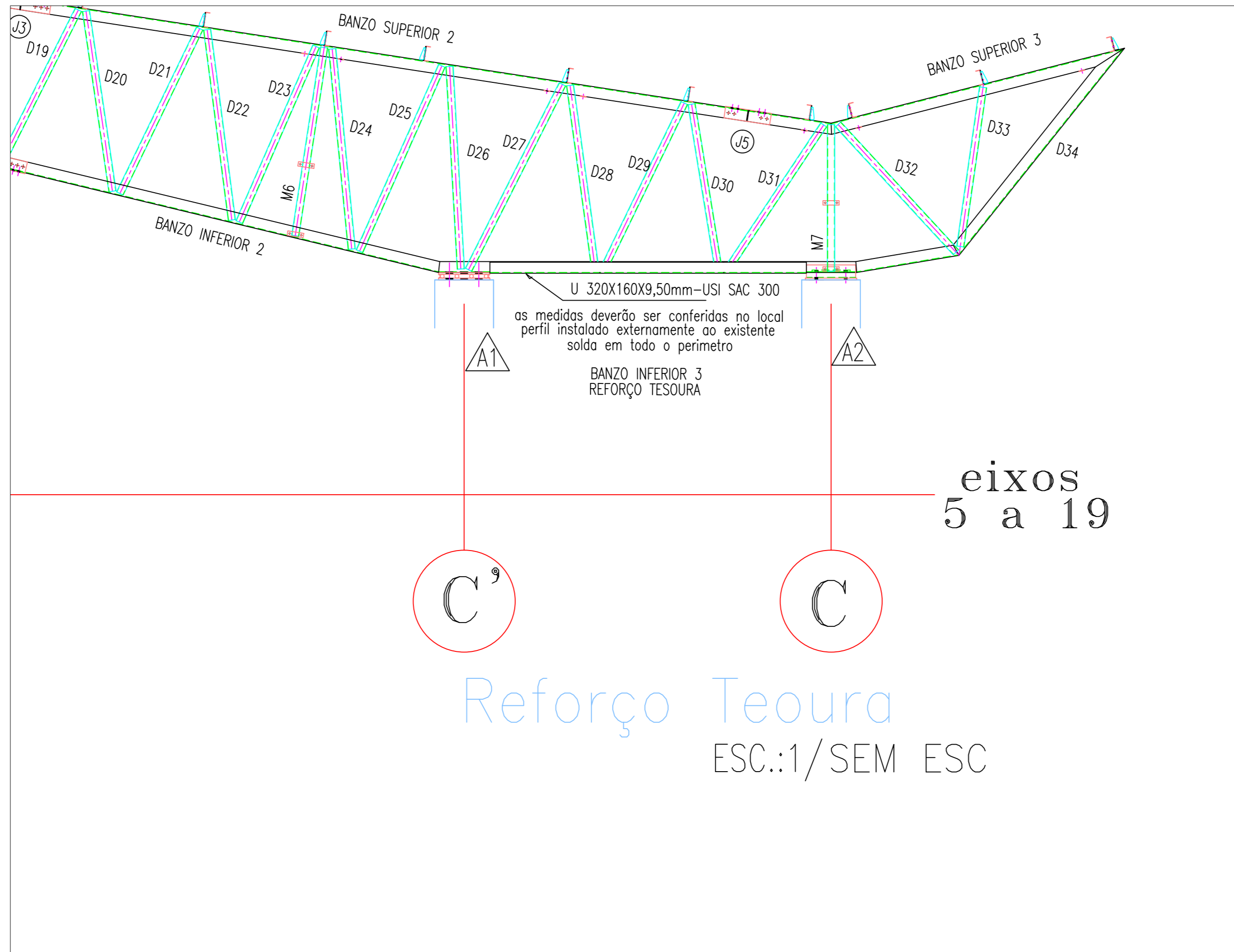
A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada e multiplicada pelos fatores de abrangência "k" informados nas tabelas, para um nível de confiança de aproximadamente 95%.

Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente ao item calibrado e às condições supra mencionadas. Os serviços de calibração são realizados e controlados pela INSTRUTHERM-Instrumentos de Medição Ltda. O presente certificado somente pode ser reproduzido na sua forma e conteúdo integrais e sem alterações. Não pode ser utilizado para fins promocionais.

Data de emissão do certificado: **17/4/2019**

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRUTHERM
Cristiano José Mollica
Gerente Técnico

EM BRANCO



REV4		
REV3		
REV2		
REV1	LEGENDA	12/ABR/2019
Revisão	Descrição	Data
Nome da Obra / Endereço:		END. UNIDADE DE PATRIMÔNIO E EVENTOS
CONTRATO 437/2018		Rua Inácio Bastos, 1084 - Joinville, SC - CEP: 89.202-310 - Tel. (47) 3433-1160
Requerente:	MUNICÍPIO DE JOINVILLE	Conteúdo: REFORÇO BANZO INFERIOR
Proprietário:	PROP. MUNICÍPIO DE JOINVILLE	
Autores:	MARCOS DONISETE ZAVAGLIO CREASP5060488452	
Revisado por:	REV. MARCOS	Operador CAD: O.CAD
Escala:	ESC. INDICADA	Código: METALICA
Data:	16/ABR/2019	Número: M-001
Arq.CAD:	MAPAFOTOS.DWG	