

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
GOVERNO DO ESTADO DO ACRE
SECRETARIA DE ESTADO DE OBRAS PÚBLICAS - SEOP

PROJETO DE ENGENHARIA
DE REFORMA DO CENTRO
INTEGRADO DE CIDADANIA
DE EPITACIOLÂNDIA

VOLUME 02
PROJETO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

JULHO / 2023



1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Esse projeto refere-se à reforma do Centro Integrado de Cidadania de Epitaciolândia. As seguintes modificações serão realizadas internamente:

1. Inclusão de uma sala com função específica:
 - Sala para testemunhas de violência doméstica.

Serão feitos ajustes externos para garantir a conformidade com as normas de acessibilidade, tanto nas rampas quanto na sinalização. Além disso, as seguintes melhorias serão implementadas:

1. Substituição completa da cobertura por uma estrutura metálica com perfis de aço.
2. Dimensionamento das calhas com base em dados pluviométricos atualizados e utilização de chapas de inox, conhecidas por sua alta resistência à corrosão.
3. Substituição integral do sistema elétrico, incluindo a rede de cabeamento lógico.
4. Repintura de toda a edificação.
5. Remodelação completa de um dos banheiros internos para garantir a acessibilidade.
6. Implantação de refletores para iluminação externa e substituição de todas as ferragens dos banheiros.
7. Demais ações menores, porém, necessárias para a completa reforma da unidade.



2. MEMORIAL DESCRITIVO

2.1 Apresentação

A empresa Vetor Engenharia Ltda, apresenta à Secretaria do Estado de Obras Públicas, para fins de apreciação, o memorial descritivo do projeto de Estruturas Metálicas, relativas ao Projeto de Engenharia para a Reforma do Centro Integrado de Cidadania no município de Epitaciolândia-AC.

Os volumes constituintes deste projeto foram assim definidos:

- Volume 01 - Projeto de Arquitetura
- Volume 02 - Projeto de Estruturas Metálicas
- Volume 03 - Projeto de Instalações Hidráulicas
- Volume 04 - Projeto de Instalações Sanitárias
- Volume 05 - Projeto de Instalações Elétricas
- Volume 06 - Projeto de Instalações de Cabeamento Estruturado
- Volume 07 - Projeto de Prevenção Contra Incêndio e Pânico
- Volume 08 - Orçamento e Planejamento da Obra

Estes volumes, se conveniente, são divididos por Tomos. Cada Volume ou Tomo contém a metodologia que orienta a condução de cada etapa específica, discriminando os resultados obtidos, os quais são completados com tabelas, gráficos e desenhos referentes aos seus conteúdos.

Este é o Volume 02, que contém o memorial descritivo dos elementos que o compõem discriminando as soluções adotadas, os elementos que compõem os sistemas, a memória de cálculo, com conceito e síntese, onde justificamos as escolhas indicadas, as normas utilizadas e os materiais empregados.

E ainda juntado, as especificações técnicas que norteará a fiscalização nos procedimentos a serem tomados à execução, controle, medição e pagamentos dos serviços, além do detalhamento gráfico.

2.2 Introdução

As estruturas da cobertura serão todas metálicas com tesouras treliçadas, terças com perfis metálicos e telhas metálicas termoacústicas.

Além da cobertura, o auditório e a passarela para manutenção das unidades condensadoras serão em estrutura metálica.

Optou-se por estrutura metálica, principalmente pela elevada durabilidade, pois o aço é sempre de origem conhecida e com baixo índice de degradação pois, além da durabilidade já notória do material, ele não está, como a madeira, suscetível a deterioração por umidade e ao ataque de cupins.

Em contrapartida, a madeira, por ser um material retirado de florestas, existe sempre a possibilidade de utilização de madeiras não certificadas e com origem de procedência duvidosa, comprometendo a qualidade do insumo, além do inquestionável dano ao meio ambiente.

Outros fatores decisivos, foram a agilidade de execução nas obras e redução de custos, principalmente na manutenção.

As estruturas metálicas garantem uma obra limpa e com grande aproveitamento de área, além das grandes facilidades e rapidez na execução do serviço.

As estruturas metálicas da cobertura serão fixadas na superestrutura de concreto armado, através de chapas de apoio devidamente ancoradas nas estruturas de concreto de lajes e vigas.

2.3 Sistemas Estruturais em Aço

2.3.1 Elementos estruturais

Os principais elementos estruturais metálicos são:

- Elementos lineares alongados, denominados hastes ou barras.
- Elementos bidimensionais, geralmente denominados elementos planos, constituídos por placas ou chapas.

a) Hastes

As hastes formam elementos alongados cujas dimensões transversais são pequenas em relação ao comprimento. Dependendo da solicitação predominante, as hastes podem ser classificadas em:

- Tirantes (tração axial)
- Colunas (compressão axial)
- Vigas (cargas transversais produzindo momentos fletores e esforços cortantes)
- Eixos (torção)

Quando as solicitações de tração ou compressão são aplicadas segundo o eixo da haste, isto é, segundo a linha formada pelos centros de gravidade das seções, as tensões internas de tração ou compressão se distribuem uniformemente na seção transversal.

Quando a haste está sujeita a cargas transversais, os esforços predominantes são momentos fletores e esforços cortantes, os quais dão origem, respectivamente, a tensões normais de flexão e tensões de cisalhamento.

Quando a haste é usada para transmitir momentos de torção, as solicitações são cisalhantes. Os eixos de torção são muito utilizados em máquina.

Nas aplicações práticas, os elementos lineares trabalham sob a ação de solicitações combinadas. Os esforços longitudinais de tração e compressão geralmente atuam com excentricidade em relação ao eixo da peça, dando origem a solicitações de flexo-tração e flexo-compressão, respectivamente. Nas hastes comprimidas, as deformações transversais da peça dão origem a solicitações adicionais de flexo-compressão; esse efeito, denominado de 2ª ordem porque altera a geometria inicial da haste, é muito importante nos elementos muito alongados, conduzindo à ruptura da peça por flambagem.

Nas vigas, as solicitações de flexão e cisalhamento são muitas vezes combinadas com solicitações de torção.

b) Chapas

As chapas, também denominadas placas, são elementos de espessura pequena em relação à largura e ao comprimento. As chapas são utilizadas isoladamente ou como elementos constituintes de sistemas planos ou espaciais.

2.3.2 Sistemas de elementos lineares

Os sistemas de elementos lineares são formados pela combinação dos principais elementos lineares (tirantes, colunas, vigas), constituindo as estruturas portantes das construções civis. Eles podem ser classificados em lineares, planos e espaciais.

Os sistemas lineares são constituídos por elementos lineares isolados, tais como colunas, vigas contínuas, etc.

Nas vigas, os carregamentos produzem tensões internas normais de flexão e de cisalhamento. As resultantes das tensões internas de flexão constituem um binário interno que equilibra o momento fletor solicitante. Como o braço de alavanca interno é geralmente pequeno em relação ao vão da viga, resultam valores elevados dos esforços internos e das tensões de flexão.

Denominam-se vigas armadas às vigas reforçadas inferiormente com tirantes metálicos, constituídos por vergalhões redondos com extremidades rosqueadas ou por perfis esbeltos.

Os tirantes e pontaletes fornecem apoios elásticos intermediários para a viga, aumentando sua capacidade de carga.

Os sistemas planos de elementos lineares são formados por associação de elementos lineares contidos num plano.

As treliças são sistemas em que as hastes trabalham predominantemente a tração ou compressão simples. As treliças teóricas têm os nós rotulados, porém as treliças construídas na prática apresentam nós rígidos, de modo que a rotação desses nós produz momentos nas barras. Como, entretanto, as hastes individuais são geralmente esbeltas, as tensões de flexão resultam pequenas, recebendo a denominação de tensões secundárias. Os banzos das treliças que recebem cargas distribuídas têm também solicitação de flexão provocada por essas cargas.

Os pórticos, também denominados quadros, são sistemas formados por associação de hastes retilíneas ou curvilíneas, com ligações rígidas entre si, e apoios resistentes a deslocamentos horizontais. Os arcos são pórticos de eixo curvilíneo.

Tantos os pórticos como os arcos podem ter seus apoios rotulados ou engastados.

Estes sistemas ficam geralmente situados no plano vertical, com cargas atuantes no mesmo plano vertical. É evidente que os mesmos sistemas podem trabalhar num plano inclinado ou na horizontal, com cargas atuando no plano do sistema.

A grelha plana é formada por dois feixes de vigas, ortogonais ou oblíquos, trabalhando conjuntamente, com cargas atuando no plano normal às vigas. As grelhas são usadas em pisos de edifícios, superestruturas de pontes e etc.

A viga balcão é uma viga plana, curva ou poligonal, solicitada por cargas no plano normal ao da viga. As vigas balcão ficam sujeitas a solicitações de torção, associadas a flexão e cisalhamento.

Os sistemas lineares e planos podem ser associados espacialmente, formando estruturas de galpões, pontes e etc.

2.3.3 Sistemas de elementos bidirecionais

Os sistemas planos de elementos bidirecionais são constituídos por chapas dobradas ou reforçadas com enrijecedores soldados.

As chapas dobradas são geralmente utilizadas como cobertura ou tapamento lateral de galpões.

As chapas reforçadas com enrijecedores são muito utilizadas como lajes em pontes de grandes vãos, nas quais há interesse em reduzir o peso próprio da estrutura. Essas chapas reforçadas têm geralmente inércia maior em uma direção, na qual elas vencem um vão grandes. Por esse motivo elas são chamadas placas ortogonalmente anisotrópicas ou ortotrópicas.

Os sistemas planos de placas ortotrópicas são utilizados como componentes de vigas celulares de pontes de grandes vãos

As chapas metálicas são também utilizadas na construção de sistemas espaciais formados por associação de cascas e placas, formando vasos de pressão, reservatórios, silos e etc.

2.4 Ligações com Solda

Como o processo indicado no projeto é a solda discorreremos um pouco sobre o assunto.

A solda é um processo de juntar duas peças metálicas por união através de uma interface. Em geral a solda se faz com auxílio de calor, que produz fusão dos metais. O calor pode ser produzido por diversas fontes de energia como, por exemplo:

- Energia elétrica, solda por arco voltaico e solda por resistência elétrica com pressão;
- Energia química, solda por chama de acetileno e solda por reação química;

- Energia ótica, solda por raio laser e solda por raio de elétrons;
- Energia mecânica, solda por atrito e pressão e solda por energia vibratória (ultra-som) e pressão.

As soldas por energia mecânica e ótica constituem casos especiais, sem interesse na indústria de construção.

A solda por calor produzido por reação química é utilizada na emenda de vergalhões e outros casos especiais.

Na solda por chama de acetileno, a energia calorífica é produzida pela queima do acetileno em presença de oxigênio, daí o nome usual de solda oxiacetileno. O processo não é utilizado nas estruturas porque produz resultados inferiores aos do arco voltaico. A chama de acetileno tem, entretanto, largo emprego no corte do aço.

Com controle da chama e dispositivos de guia (régua, gabaritos, pantógrafos) pode-se efetuar o corte com tolerância de 1/16" em placas de até 6" de espessura. A chama de acetileno é ainda utilizada para aquecimento em geral de peças metálicas, aquecimento para contraflecha ou endireitamento de perfis.

Na solda por resistência elétrica com pressão, o calor é fornecido pela resistência à passagem da corrente elétrica. Na solda por arco voltaico, o calor de fusão é produzido por um arco voltaico entre a chapa (metal base) e o material a ser depositado (eletrodo). Este é, com larga margem, o tipo de solda mais utilizado.

Para a execução de solda por arco voltaico, são utilizadas máquinas de corrente contínua (geradores) ou de corrente alternada (alternadores). Em corrente contínua, um terminal (positivo) libera a alternativamente positivos e negativos liberando aproximadamente a mesma quantidade de energia calorífica.

Se o arco voltaico e o material metálico fundido estiverem em contato com a atmosfera, forma-se diversas impurezas na solda. Esses defeitos são evitados isolando-se o arco, o que pode conseguir de três modos:

- Revestimento no eletrodo: o revestimento é consumido juntamente com o eletrodo, se transformado parte em gases inertes, parte em escória, este é o tipo mais difundido de solda, podendo ser empregado em oficina ou no campo;
- Proteção de gás inerte: por exemplo mistura de CO₂, argônio, hélio. A mistura gasosa é suprida por um reservatório independente do circuito elétrico;
- Arco submerso em material granular fusível: o eletrodo é um fio metálico sem revestimento, porém o arco e o metal fundido ficam isolados pelo material granular. Este processo é largamente utilizado em trabalhos de oficina, podendo ser automatizado. A solda obtida é de grande regularidade.

Os eletrodos utilizados nas soldas por arco são varas de aço-carbono ou aço de baixa liga. Os eletrodos com revestimento são designados segundo ASTM por expressões do tipo E 70XY, onde:

E = eletrodo;

70 = resistência à ruptura da solda em ksi;

X = n.º que se refere à posição de soldagem satisfatória (1-qualquer posição; 2-somente posição horizontal);

Y = n.º que indica tipo de corrente e de revestimento do eletrodo.

Os eletrodos geralmente utilizados têm resistência à ruptura 60 ksi (42 kgf/mm²) e 70 ksi (49 kgf/mm²).

Para aços de alto carbono e aços de baixa liga, recomenda-se um eletrodo com revestimento de carbonato de sódio, o qual é chamado de eletrodo básico ou de baixo hidrogênio. A solda feita com eletrodo de baixo hidrogênio se distingue das outras pelo aspecto granular do material depositado (outros eletrodos produzem solda com respingos). Em geral as propriedades mecânicas das soldas feitas com eletrodos de baixo hidrogênio são superiores as demais.

A soldabilidade dos aços reflete a maior ou menor facilidade de se obter uma solda resistente e sem trincas.

Dada a enorme importância assumida pela solda nos últimos decênios, as formulações químicas dos aços visam sempre a obter produtos soldáveis.

As soldas podem apresentar grande variedade de defeitos. Dentre eles podemos citar:

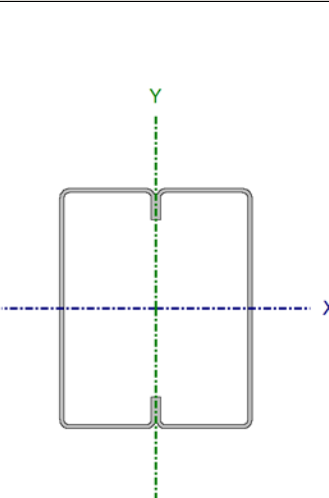
- Fusão incompleta, penetração inadequada: decorrem em geral de insuficiência de corrente;
- Porosidade: retenção de pequenas bolhas de gás durante o resfriamento. Em geral causada por excesso de corrente ou distância excessiva entre o eletrodo e a chapa;
- Inclusão de escória: usual em soldas feitas em várias camadas, quando não se remove totalmente a escória em cada passe.

Em face a grande sensibilidade a defeitos, a solda deve ser feita sempre em condições controladas. Inicialmente, devem ser observadas as recomendações dos fabricantes de eletrodos.



3. MEMÓRIA DE CÁLCULO

Perfil: C150X60X20X3.04, Caixa dupla soldada (Cordão contínuo)
Material: Aço (A-36)



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)
N165	N393	1.134	17.62	601.27	378.13	689.91
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	0.50	0.50	0.00	0.00		
L _K	0.567	0.567	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	
N328/N393	$(b_w/t) \leq 500$ $(b_w/t) \leq 500$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 200.0$ $\lambda_{yy} \leq 200.0$ Passa	x: 1.134 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 28.1$	$M_{Sd} = 0.00$ N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 3.0$	x: 0 m $\eta = 8.0$	N.A. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 28.7$	x: 0 m $\eta = 23.5$	$\eta = 3.6$	PASSA $\eta = 28.7$
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.A.: Não aplicável														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. ⁽²⁾ Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.														

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

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

$$(b/t) \leq 500$$

$$(b/t) : \underline{45} \quad \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

t: A espessura.

$$b : \underline{137.84} \text{ mm}$$

$$t : \underline{3.04} \text{ mm}$$

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

$$(b/t) \leq 500$$

$$(b/t) : \underline{35} \quad \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

$$b : \underline{107.84} \text{ mm}$$

t: A espessura.

$$t : \underline{3.04} \text{ mm}$$

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.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{9.8} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{11.6} \quad \checkmark$$

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{0.567} \text{ m}$$

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{0.567} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{5.80} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{4.89} \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N393, para a combinação de ações PP+CP1+1.4·V1.

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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.019} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

$$N_{t,Rd} : \underline{36.611} \text{ t}$$

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{15.80} \text{ cm}^2$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N328, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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

$N_{c,Sd}$: 0.023 t

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$N_{c,Rd}$: 31.169 t

Onde:

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

A_{ef} : 14.78 cm²

χ : Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 15 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

χ_{xx} : 0.99

χ_{yy} : 0.99

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0,xx}$: 0.11

$\lambda_{0,yy}$: 0.13

$$\lambda_0 = \left[\frac{Af_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

A : 15.80 cm²

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

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), b) e c):

N_e : 2365.889 t

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

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2}$$

N_{ex} : 3324.847 t

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

N_{ey} : 2365.889 t

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

Não é necessário, dado que o comprimento efetivo de flambagem por torção, $K_t L_t$, é nula.

Onde:

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

I_x : 531.32 cm⁴

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

I_y : 378.08 cm⁴

E : Módulo de elasticidade.

E : 2038736 kgf/cm²

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

$K_x L_x$: 0.567 m

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

$K_y L_y$: 0.567 m

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.281 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N328, para a M_{Sd} : 0.461 t·m combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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

M_{Rd} : 1.641 t·m

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

M_{Rd} : 1.641 t·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} : 70.84 cm³

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : \underline{0.005} \quad t$$

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

$$V_{Sd} : \underline{0.003} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{4.557} \quad t$$

$$\text{para } ^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$$

$$\text{para } ^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_vf_yE)^{0.5}/\gamma$$

$$h/t : \underline{35.47}$$

$$\text{para } ^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_vt^3/h]/\gamma$$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.04} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{107.84} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \quad \text{kgf/cm}^2$$

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

$$V_{Sd} : \underline{0.353} \quad t$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N328, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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

$$V_{Sd} : 0.176 \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 5.825 \text{ t}$$

$$\text{para } ^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 68.31$$

$$\text{para } ^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_vf_yE)^{0.5}/\gamma$$

$$h/t : 45.34$$

$$\text{para } ^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_vt^3/h]/\gamma$$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 88.54$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.04 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 137.84 \text{ mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 2038736 \text{ kgf/cm}^2$$

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:

$$K_v : 5.00$$

$$k_v = 5.00$$

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 N328, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$$\eta : 0.080 \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.461 \text{ t.m}$$

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

$$M_{0,Rd} : 1.641 \text{ t.m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.353 \text{ t}$$

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

$$V_{Rd} : 11.650 \text{ t}$$

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

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

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N328, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.287} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{c,Sd} : \underline{0.023} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{0.461} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{31.169} \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : \underline{1.641} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{1.344} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N328, para a combinação PP+CP1+1.4·V1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.235} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.018} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{0.378} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{36.611} \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : \underline{1.641} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{1.344} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{t,Sd}}{M_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável $M_{t,Sd}$ produz-se para a $M_{t,Sd} : \underline{0.052} \text{ t}\cdot\text{m}$ combinação de hipóteses PP+CP1+1.4·V1.

O momento torsor resistente de cálculo $M_{t,Rd}$ é dado por:

$$M_{t,Rd} = 0.6 f_y W_T / \gamma$$

$$M_{t,Rd} : 1.451 \text{ t.m}$$

Onde:

W_t : módulo de resistência à torção

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_t : 104.40 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : 1.1$$

Perfil: U100X50X2.25
Material: Aço (A-36)

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 _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
N25	N52	0.690	4.33	68.42	10.83	0.07	-11.46	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	0.690	0.690	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	
N43/N82	(b _w /t) ≤ 90 Passa	$\lambda_{xx} \leq 300.0$ $\lambda_{yy} \leq 300.0$ Passa	$\eta = 3.0$	$N_{c,Sd} = 0.00$ N.A. ⁽¹⁾	x: 0.69 m $\eta = 54.4$	x: 0.69 m $\eta = 21.3$	x: 0.69 m $\eta = 1.1$	$\eta = 6.3$	x: 0.69 m $\eta = 29.9$	x: 0.69 m $\eta = 4.5$	N.A. ⁽²⁾	x: 0.69 m $\eta = 78.7$	$M_{t,Sd} = 0.00$ N.A. ⁽³⁾	PASSA $\eta = 78.7$
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.A.: Não aplicável														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽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 perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

$$(b/t) \leq 90$$

$$(b/t) : \underline{40} \quad \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

$$b : \underline{91.00} \text{ mm}$$

t: A espessura.

$$t : \underline{2.25} \text{ mm}$$

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.

$$\lambda = KL/r < 300$$

$$\lambda_{xx} : \underline{17.4} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{43.6} \quad \checkmark$$

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{0.690} \text{ m}$$

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{0.690} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{3.97} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{1.58} \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.302} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

$$N_{t,Rd} : \underline{10.036} \text{ t}$$

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{4.33} \text{ cm}^2$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

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:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.544} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N82, para a $M_{Sd} : \underline{0.142}$ t·m combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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

$$M_{Rd} : \underline{0.262} \text{ t·m}$$

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{0.262} \text{ t·m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{11.30} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

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

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:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.213} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N82, para a $M_{Sd} : \underline{0.015}$ t·m combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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

$$M_{Rd} : \underline{0.068} \text{ t·m}$$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

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.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: 2.95 \text{ cm}^3 \\ f_y &: 2548.42 \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w, Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.011 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N82, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : 0.032 \text{ t}$$

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

$$V_{Sd} : 0.016 \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 1.423 \text{ t}$$

$$\text{para } ^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_y h t / \gamma$$

$$1.08(EK_v / f_y)^{0.5} : 33.46$$

$$\text{para } ^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5} / \gamma$$

$$h/t : 20.22$$

$$\text{para } ^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h] / \gamma$$

$$1.4(EK_v / f_y)^{0.5} : 43.38$$

Onde:

t : Espessura da alma.

$$t : 2.25 \text{ mm}$$

h : Largura da alma.

$$h : 45.50 \text{ mm}$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

E : Módulo de elasticidade.

$$E : 2038736 \text{ kgf/cm}^2$$

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:

$$K_v : 1.20$$

$$k_v = 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.063} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : \underline{0.179} \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{2.846} \text{ t}$$

$$\text{para } ^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$$

$$\text{para } ^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$$

$$h/t : \underline{40.44}$$

$$\text{para } ^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.25} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{91.00} \text{ mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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 N82, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$$\eta : \underline{0.299} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.142} \text{ t.m}$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{0.262} \text{ t.m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.179} \text{ t}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{2.846} \text{ t}$$

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 N82, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.045} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{Sd} : 0.015 \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$M_{0,Rd} : 0.068 \text{ t}\cdot\text{m}$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd} : 0.032 \text{ t}$

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

$V_{Rd} : 2.846 \text{ t}$

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 N82, para a combinação 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.787} \checkmark$$

Onde:

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

$N_{t,Sd} : 0.302 \text{ t}$

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

$M_{x,Sd} : 0.142 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{y,Sd} : 0.015 \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$N_{Rd} : 10.036 \text{ t}$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd} : 0.262 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{y,Rd} : 0.068 \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Perfil: U92X30X2.00
Material: Aço (A-36)

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 _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
N95	N62	0.741	2.91	34.55	2.28	0.04	-8.20	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	0.741	0.741	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	
N82/N44	(b _w /t) ≤ 90 Passa	$\lambda_{xx} \leq 200.0$ $\lambda_{yy} \leq 200.0$ Passa	N _t S _d = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 12.9	x: 0.741 m η = 21.3	M _s d = 0.00 N.A. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.5	η = 2.1	x: 0.741 m η = 4.6	N.A. ⁽³⁾	x: 0.741 m η = 40.6	N.A. ⁽⁴⁾	M _t S _d = 0.00 N.A. ⁽⁵⁾	PASSA η = 40.6
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 _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.A.: Não aplicável														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. (2) A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. (3) Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (4) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (5) 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 perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

$$(b/t) \leq 90$$

$$(b/t) : 42 \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b: 84.00 mm

t: A espessura.

t: 2.00 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.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{21.5} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{83.7} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : \underline{0.741} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{0.741} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{3.45} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{0.88} \text{ cm}$$

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:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.129} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N82, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{0.548} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{4.257} \text{ t}$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{2.91} \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

$$\chi_{yy} : \underline{0.69}$$

$$\chi_{xz} : \underline{0.98}$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.94}$$

$$\lambda_{0, xz} : \underline{0.24}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A : 2.91 cm²

f_y: Tensão de escoamento.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

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 : 8.341 t

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

N_{ey} : 8.341 t

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

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} N_{ez} \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right]$$

N_{exz} : 126.619 t

Onde:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

N_{ex} : 126.619 t

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + G I_t \right]$$

N_{ez} : ∞

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

I_x : 34.55 cm⁴

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

I_y : 2.28 cm⁴

I_t: Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 0.04 cm⁴

C_w: Constante de empenamento da seção.

C_w : 31.96 cm⁶

E: Módulo de elasticidade.

E : 2038736 kgf/cm²

G: Módulo de elasticidade transversal.

G : 784129 kgf/cm²

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

K_xL_x : 0.741 m

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

K_yL_y : 0.741 m

K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

K_zL_z : 0.000 m

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

r₀ : 3.89 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 : 3.45 cm

r_y : 0.88 cm

x₀, y₀: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

x₀ : -15.61 mm

y₀ : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.213} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N44, para a $M_{Sd} : \underline{0.036}$ t.m combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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

$$M_{Rd} : \underline{0.170} \text{ t.m}$$

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{0.170} \text{ t.m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{7.33} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

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

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)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{wSd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N82, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : \underline{0.007} \text{ t}$$

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

$$V_{Sd} : \underline{0.004} \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{0.723} \text{ t}$$

$$\text{para } ^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$$

$$1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{33.46}$$

$$\text{para } ^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$$

$$h/t : \underline{13.00}$$

$$\text{para } ^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$$

$$1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{43.38}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{26.00} \text{ mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

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:

$$K_v : \underline{1.20}$$

$$k_v = 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : \underline{0.048} \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{2.335} \text{ t}$$

$$\text{para } ^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$$

$$1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$$

$$\text{para } ^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$$

$$h/t : \underline{42.00}$$

$$\text{para } ^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$$

$$1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{84.00} \text{ mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

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

$k_V = 5.00$

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 N44, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

η : 0.046 ✓

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{Sd} : 0.036 t·m

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

$M_{0,Rd}$: 0.170 t·m

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Sd} : 0.048 t

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

V_{Rd} : 2.335 t

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

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

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N44, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

η : 0.406 ✓

Onde:

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

$N_{c,Sd}$: 0.547 t

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

$M_{x,Sd}$: 0.036 t·m

$M_{y,Sd}$: 0.001 t·m

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

$N_{c,Rd}$: 4.257 t

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$M_{x,Rd}$: 0.170 t·m

$M_{y,Rd}$: 0.023 t·m

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

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

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

Perfil: C100X50X17X2.00

Material: Aço (A-36)

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 _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
N98	N41	5.000	4.41	70.09	15.75	0.06	-7.18	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	0.50	0.50	0.00	0.00
L _K	2.500	2.500	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	
N20/N56	(b _w /t) ≤ 500 (b _f /t) ≤ 60 Passa	λ _{xx} ≤ 300.0 λ _{yy} ≤ 300.0 Passa	η = 0.4	N _c S _d = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	x: 2.5 m η = 55.1	M _{Sd} = 0.00 N.A. ⁽²⁾	V _{Sd} = 0.00 N.A. ⁽³⁾	x: 0 m η = 6.3	x: 2.188 m η = 29.3	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 2.5 m η = 57.6	M _t S _d = 0.00 N.A. ⁽⁶⁾	PASSA η = 57.6
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 _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.A.: Não aplicável														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão. ⁽²⁾ A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. ⁽³⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante. ⁽⁴⁾ Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽⁵⁾ Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. ⁽⁶⁾ 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 elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

$$(b/t) \leq 500$$

$$(b/t) : 46 \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b: 92.00 mm

t: A espessura.

t: 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

$$(b/t) \leq 60$$

$$(b/t) : \underline{21} \quad \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

$$b : \underline{42.00} \text{ mm}$$

t: A espessura.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

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.

$$\lambda = KL/r < 300$$

$$\lambda_{xx} : \underline{62.7} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{132.3} \quad \checkmark$$

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{2.500} \text{ m}$$

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{2.500} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{3.98} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{1.89} \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.043} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

$$N_{t,Rd} : \underline{10.227} \text{ t}$$

Onde:

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

A : 4.41 cm²
 f_y : 2548.42 kgf/cm²
 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:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

η : 0.551 ✓

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 2.500 m do nó N20, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1. M_{Sd} : 0.179 t·m

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

M_{Rd} : 0.325 t·m

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

M_{Rd} : 0.325 t·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} : 14.02 cm³
 f_y : 2548.42 kgf/cm²
 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.

c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.063} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N20, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

$$V_{Sd} : \underline{0.161} \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{2.558} \text{ t}$$

$$\text{para } ^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$$

$$1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$$

$$\text{para } ^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$$

$$h/t : \underline{46.00}$$

$$\text{para } ^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$$

$$1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{92.00} \text{ mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y 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 2.188 m do nó N20, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$$\eta : \underline{0.293} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.176} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{0.325} \text{ t}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.020} \text{ t}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{2.558} \text{ t}$$

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

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

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 solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 2.500 m do nó N20, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1+1.5·SCU1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.576} \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.043} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{0.179} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{Rd} : \underline{10.227} \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : \underline{0.325} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.113} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.



4. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

4.1 Generalidades

Considera-se que a empresa tem conhecimento pleno das dificuldades do local da obra, tendo esse fato sido levado em consideração quando da definição de sua proposta, não cabendo assim qualquer dúvida quanto a sua validade.

Entende-se em consequência, que os preços apresentados em sua proposta, compreendem na íntegra, todos os serviços necessários à execução das obras, incluindo projeto de fabricação e montagem da estrutura metálica.

A especificação procura definir a natureza, quantidade, dimensões e localização dos serviços a realizar, porém é conveniente salientar que:

- A descrição não tem caráter limitativo, assim entende-se estarem incluídos no preço proposto, sem exceção ou reserva todos os serviços necessários, dentro das regras da arte, para a completa e perfeita conclusão do seu trecho do empreendimento
- A empresa, pelo simples fato de apresentar sua proposta, compromete-se automaticamente a respeitar todos os dispositivos da especificação.
- Antes da execução de qualquer serviço, a empresa deve verificar todas as dimensões dos desenhos fornecidos, como também a característica específica que possam afetar seus serviços (prumo, alinhamentos, deslocamentos e outros)
- Ela deve reclamar em tempo hábil, todas as informações complementares. Caso contrário ela se tornará responsável por todas as falhas encontradas ao longo da execução bem como suas consequências e resultados.
- A empresa não poderá então, argumentar que omissões em desenhos ou quantitativos possam eximí-la de executar seus serviços ou sejam objeto de pleitos adicionais de preço.

4.2 Materiais

Todos os materiais deverão ser novos, de primeira qualidade e possuir certificados de qualidade e procedência. Na falta desses certificados a Contratante poderá exigir realização de ensaios para a determinação das características mecânicas do material. Os ensaios serão feitos por firmas ou instituições especializadas, de acordo com as normas AWS e ABNT, sem qualquer ônus para a Contratante, todo aço utilizado será do tipo SAC-41.

Para fins de concorrência, deverão ser considerados os seguintes materiais:

a) Aço estrutural – USISAC-41

Perfis Soldados e Chapas
Perfis Laminados tipo I e H
Perfis laminados tipo cantoneiras e demais
Perfis Dobrados

*Exceto anotado lista de material

Parafusos

- Ligações principais : ASTM A-325
- Ligações secundárias : ASTM A-307

São consideradas ligações secundárias os referentes a:

- Escadas comuns e tipo marinho
- Corrimãos
- Terças e longarinas

Tirantes em barra redonda

- ASTM A36

Eletrodos para solda
- E7018

Chumbadores
- ASTM-A36

b) Telhas

O telhamento em telha será em telha metálica termoacústica, material de enchimento em EPS.

Antes de sua aplicação, as telhas deverão ser submetidas à apreciação da Fiscalização, que rejeitará, a seu critério, toda a peça que apresentar empenamentos, rachaduras ou qualquer outro defeito que possa vir a prejudicar a estanqueidade do telhado.

As telhas deverão ser fixadas de modo a prevenir o seu arrancamento por ação de ventos.

Os telhados deverão sempre ser entregues limpos de restos de entulhos e perfeitamente varridos.

Cuidados especiais deverão ser tomados no transporte, armazenamento das telhas e peças complementares e durante a montagem do telhado. Durante a montagem, não pisar diretamente sobre as telhas. O caminhar deverá ser feito sobre tábuas, que se apoiem nas terças.

A montagem das telhas deverá ser feita por faixas, no sentido contrário dos ventos predominantes da região.

As telhas deverão ser assentadas sobre terças, cujas faces de contato deverão situar-se em um mesmo plano.

As telhas deverão ser fixadas à estrutura metálica por meio de parafusos tipo vedação/fixação, de forma a evitar o deslocamento das telhas e possíveis infiltrações.

Todo o material e serviços referentes a este item estarão sujeitos a serem aprovados pela Fiscalização.

4.3 Soldas

Os serviços de solda deverão ser executados por soldadores qualificados. A qualificação dos soldadores e dos processos da execução das juntas soldadas deverá ser feita de acordo com o Método para a Qualificação dos Processos de Soldagem, de Soldadores e Operadores – MB-262 da ABNT.

Todas as soldas deverão ser feitas a arco elétrico, de acordo com a AWS D1.1, devendo-se proceder de modo a não causar empenos nem tensões adicionais. As superfícies a serem soldadas devem ser isentas de escamas soltas, escória, ferrugem, graxa e outros materiais estranhos. Não poderão ser realizadas soldas nas estruturas expostas à chuva ou ao vento.

Na execução das soldas em várias camadas a superfície de cada uma delas deverá ser perfeitamente limpa e isenta de porosidade, inclusões, fissura ou quaisquer outros defeitos. Se algum defeito for averiguado, ela deverá ser removida e refeita.

Os trechos soldados não devem sofrer resfriamento brusco. Durante a soldagem e o resfriamento, as partes soldadas não devem ser submetidas a vibrações e abalos.

O método e a sequência dos serviços de solda deverão ser tais que provoquem mínimos esforços de contração, e as peças apresentem a forma prevista nos desenhos, sem a necessidade de desempenamento posterior.

Poderão ser escolhidas ao acaso, pela Fiscalização, soldas para serem ensaiadas sob o ponto de vista de eficiência. Se qualquer uma delas não satisfizer aos padrões de qualidade e não seguir os Métodos e Especificações da AWS deverão ser removidos e substituídas por novas soldas a contento da Fiscalização.

No caso de ligações de soldas importantes, poderá ser exigido o controle das soldas por métodos não destrutivos (radiografia ou ultra-som).

Nenhuma solda resistente deverá ser inferior a 05mm, a menos que a espessura do material exija o uso da solda de 04mm, ou quando indicado nos desenhos do projeto.

4.4 Trelças

As linhas baricêntricas dos membros de uma trelça deverão concorrer e coincidir com os eixos de suas ligações. Quando isto não for possível, deverá ser levada em conta a excentricidade de corrente dessa circunstância.

O comprimento dos cordões de solda de filete deverá ser, quando necessário, colocado de forma a evitar excentricidade nas conexões e deverá ser de comprimento suficiente para resistir aos esforços de projeto ou a esforços iguais a 50% da resistência efetiva da peça, usando-se o valor mais alto.

As trelças deverão ter contraflecha seguindo uma parábola como indicado nos desenhos, ou de acordo com as normas do AISC se a mesma não for indicada.

4.5 Contraventamentos

As barras tracionadas dos contraventamentos deverão ser fabricadas de modo a proporcionar quando montadas uma tensão inicial, observando-se para tanto que elas sejam fabricadas mais curtas do que o comprimento teórico, conforme especificado abaixo:

- Para as peças de 0 a 3 m - nenhuma redução
- Para as peças de 3 a 6 m - reduzir 02 mm
- Para as peças de 6 a 9 m - reduzir 03 mm
- Para as peças de 9 a 12 m - reduzir 05 mm

4.6 Movimentação das Estruturas de Aço

A movimentação das estruturas de aço na obra deverá ser feita obedecendo aos seguintes requisitos gerais:

- As trelças e tesouras devem ser transportadas, de preferência na posição vertical, e suspensas por dispositivos colocados em posições tais que evitem inversão de esforços de tração e compressão nos banzos.
- Deverão ser tomados cuidados especiais para os casos de peças esbeltas e que devem ser devidamente contraventadas provisoriamente para a movimentação.

As operações de carga e descarga das peças deverão ser feitas com todos os cuidados necessários para evitar deformações que as inutilizem parcial ou totalmente e que resultem em custos adicionais.

4.7 Elementos Provisórios de Montagem

A Montadora deverá tomar as providências necessárias para que a estrutura permaneça estável durante a montagem, utilizando contraventamentos, estaiamentos e ligações provisórias, em quantidade adequada e com resistência suficiente de modo a suportar os esforços atuantes durante a montagem.

Todos os contraventamentos e estaiamentos provisórios deverão ser retirados após a montagem.

Todas as ligações provisórias, inclusive pontos de solda, deverão ser retiradas após a montagem.

4.8 Equipamentos

A Montadora será responsável pelo emprego, segurança, manutenção e capacidade do equipamento de montagem.

Sendo possível, todas as montagens deverão ser executadas utilizando equipamentos móveis. O emprego de mastros ancorados só será permitido com a aprovação da Fiscalização.

Os andaimes deverão ser protegidos contra acidentes. Atenção especial deverá ser dada à proteção dos transeuntes e veículos. A Montadora será responsável por qualquer dano que venha a ocorrer. A Fiscalização, a qualquer momento, poderá exigir segurança adicional.



5. DETALHAMENTO GRÁFICO

O detalhamento gráfico do projeto de Estruturas Metálicas é apresentado em 02 prancha com o seguinte conteúdo:

- Folha 01: Planta de Locação das Trelças Metálicas e Detalhes Construtivos;
- Folha 02: Detalhes Construtivos.

As pranchas que fazem parte deste volume são apresentadas na sequência.

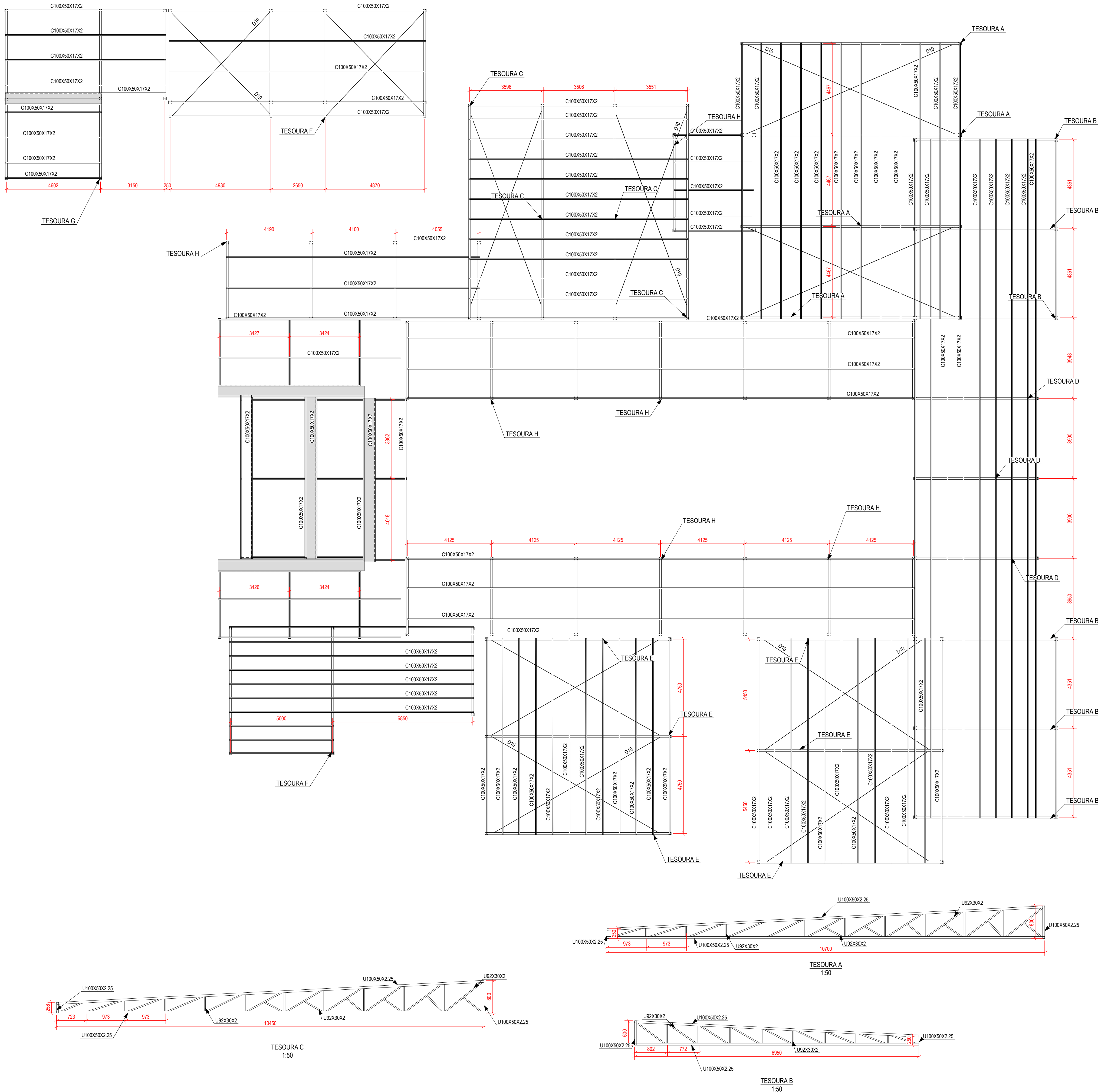


Ricardo Curado

Engº Civil

CREA: 5060903792/D-SP

Rio Branco-AC, 21 de julho de 2023.



RESUMO DE MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS			
DESCRIÇÃO	COMPRIMENTO (m)	ESPECIFICAÇÃO	PESO (kgf)
U100X50X2.25	716.487	A36	2550.7
U92X30X2	546.593	A36	1424.7
CALHA - CHAPA AÇO INOX 304USG16 - e=1.5mm - DES=100CM	4.700	A36	56.4
CALHA - CHAPA AÇO INOX 304USG16 - e=1.5mm - DES=90CM	38.300	A36	413.6
D10 - BARRA Ø10mm	252.873	CA50	155.8
C150X60X20X3	94.369	A36	645.2
CHAPA - e=6.40mm	2.430M2	A36	120.1
L51X4.8	5.120	A36	18.4
C100X50X17X2	1442.845	A36	5006.2
TOTAL			10391.1

REVISÕES:			
Nº	Data	Descrição	Autor



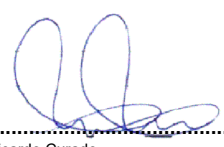
PODER JUDICIÁRIO
DO ESTADO DO ACRE

TRIBUNAL DE JUSTIÇA
DO ESTADO DO ACRE

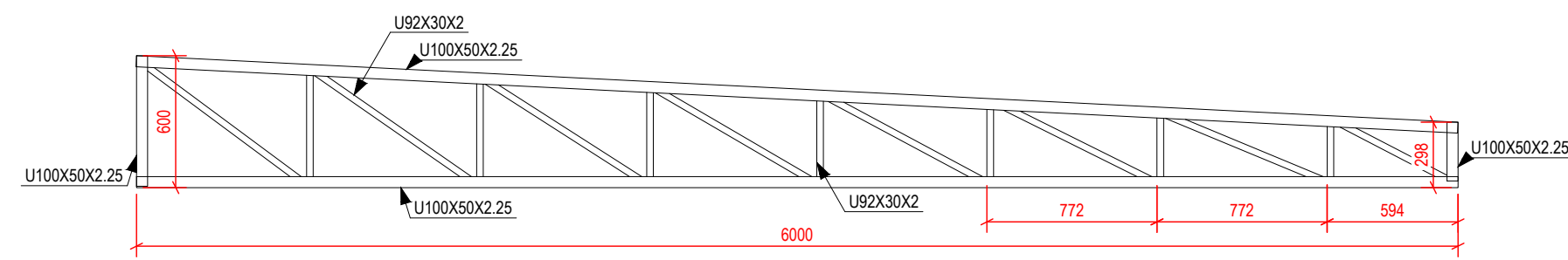


VETOR
ENGENHARIA

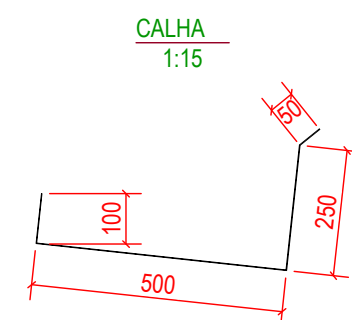
Nome: Vetur Engenharia e Construções LTDA
End.: Rua Vênus, 102 - Morada do sol - Rio Branco-Ac
Tel.: (68) 3223-3300

Resp. Técnico (ass): 
Ricardo Curado
Engº Civil - CREA Nº 506903/732-D-SP

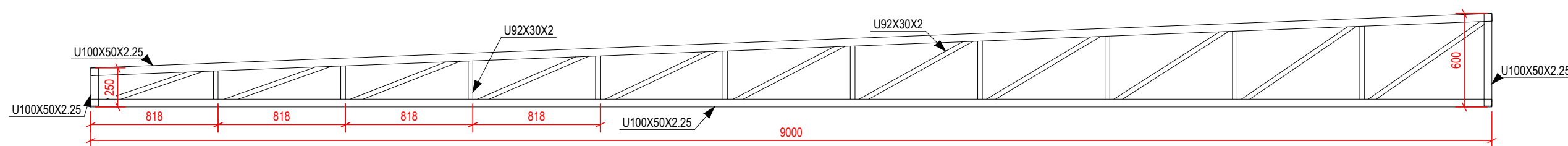
ASSUNTO: PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA		FASE DO PROJETO: EXECUTIVO	
OBRA: REFORMA DO CENTRO INTEGRADO DE CIDADANIA DE EPITACIOLÂNDIA		END: BR 317, KM 1, AEROPORTO - EPITACIOLÂNDIA/AC	
DADOS DA FONTE:		NÚMERO DA PRANCHETA: MET 01/02	
ÁREAS (m²)	Taxas (%)	CONTEÚDO: PLANTA DE LOCAÇÃO DAS TRELIÇAS METÁLICAS E DETALHES CONSTRUTIVOS	
Terreno: 3.000,00 m²	TO: 37,70%	ESCALA: INDICADA DATA: JULHO/2023	
Reformar: 0,00 m²	TP: -		
Demolir: 0,00 m²	CA: -		
Construção: 1.131,19 m²		REVISÃO: REV 00	
TOTAL: 1.131,19 m²			
Endereço Arquivo:			



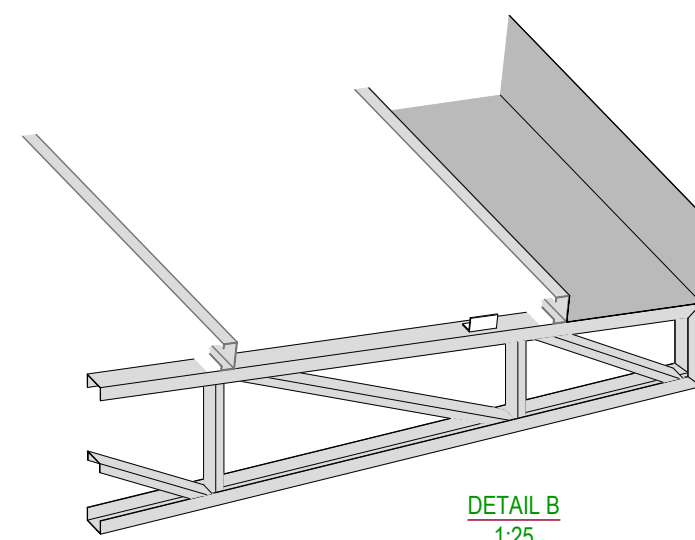
TESOURA D
1:30



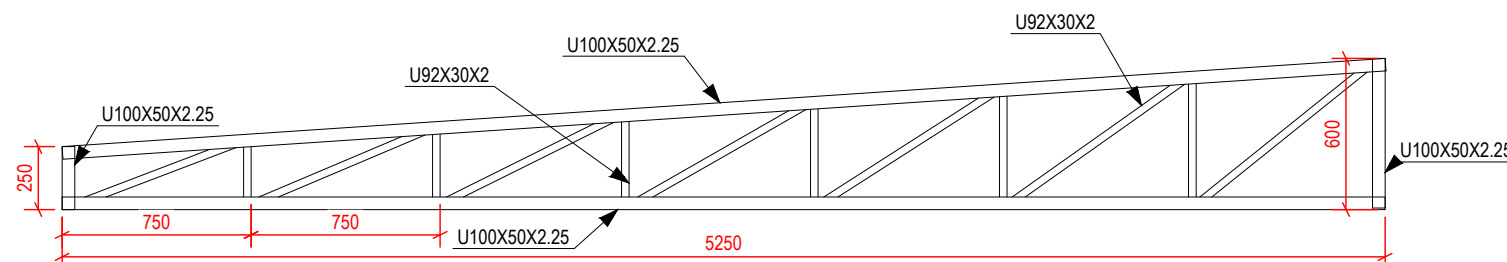
CALHA
1:15



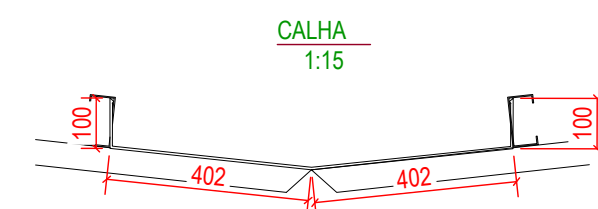
TESOURA E
1:30



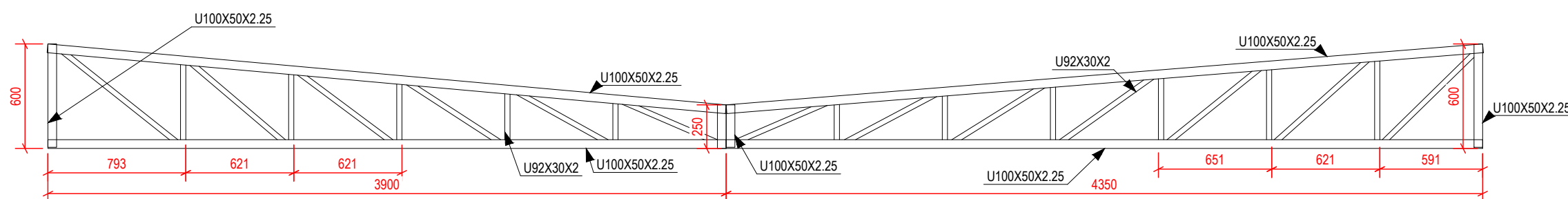
DETAIL B
1:25



TESOURA F
1:30

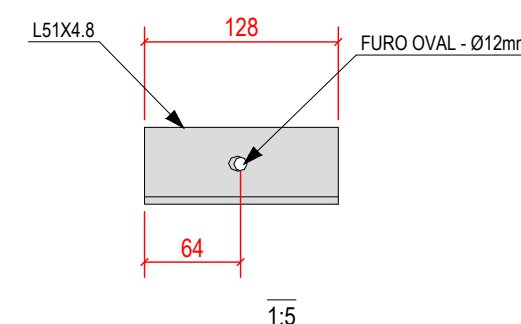


CALHA
1:15

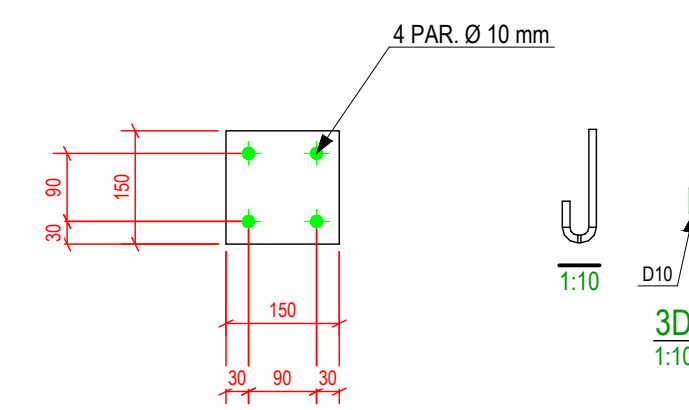


TESOURA G
1:30

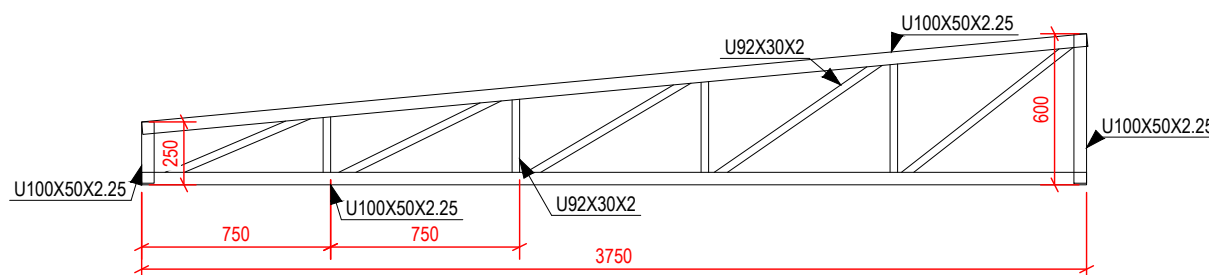
PEÇA DE LIGAÇÃO



PEÇA 3

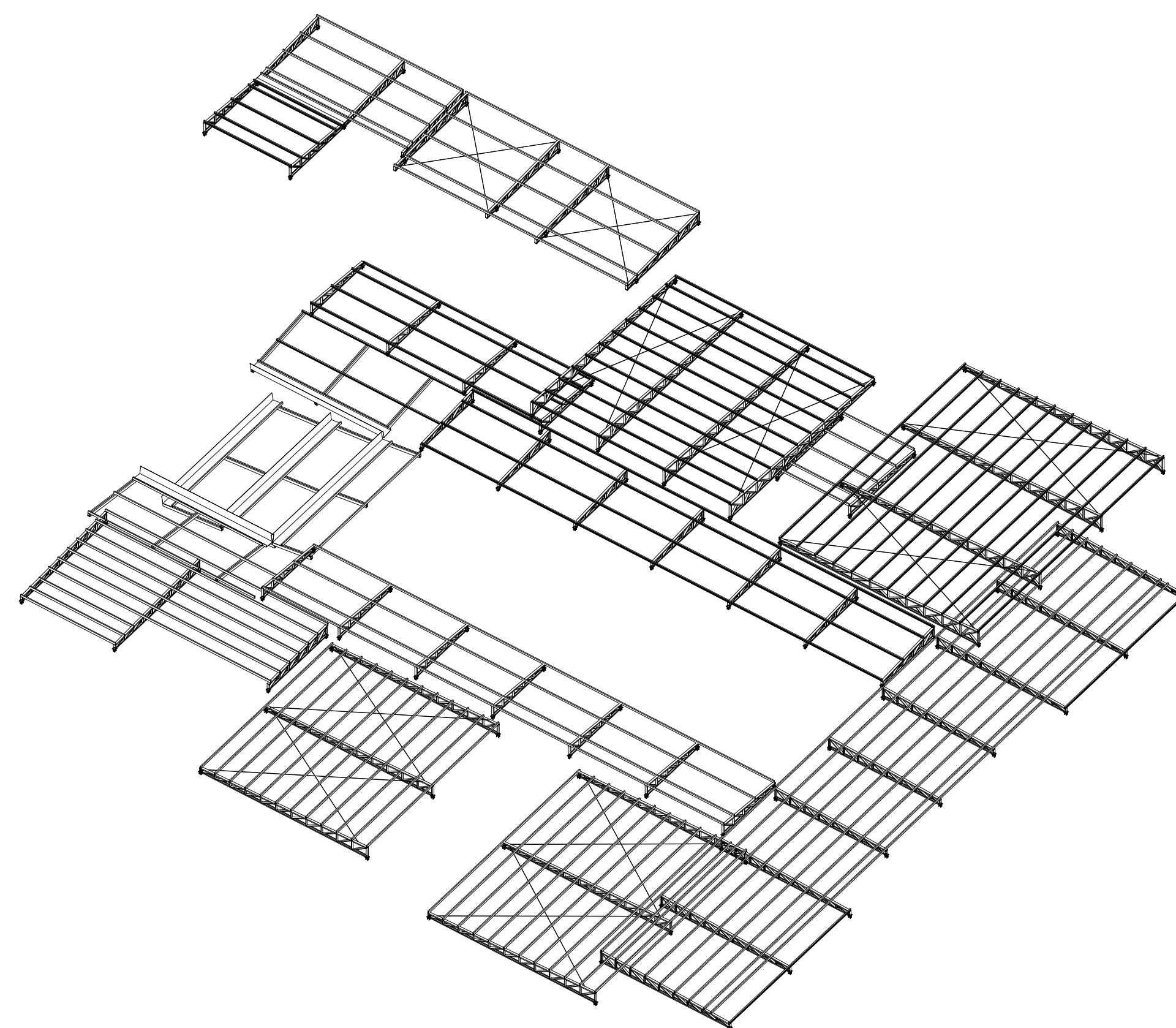
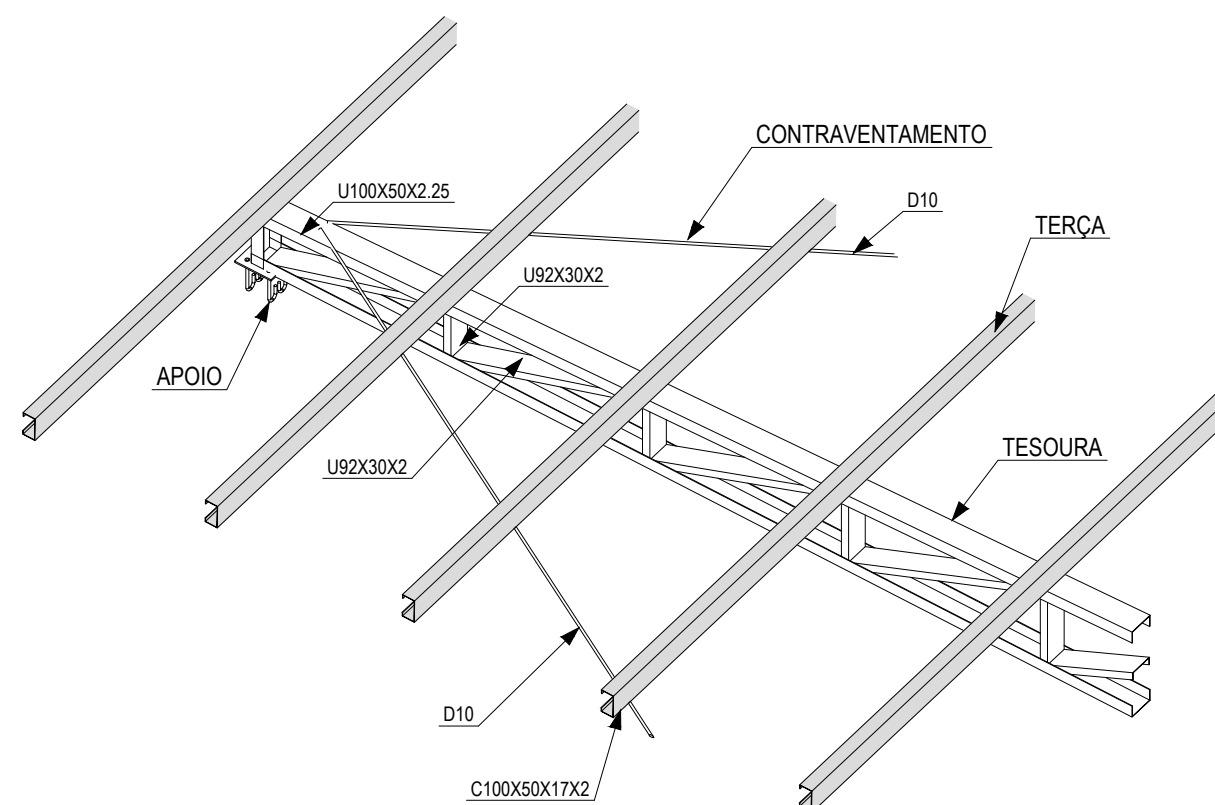


PEÇA ch1, (108X)



TESOURA H
1:30

DETAIL A
1:25



ISOMÉTRICO
1:200

REVISÕES:

Nº	Data	Descrição	Autor



TRIBUNAL DE JUSTIÇA
DO ESTADO DO ACRE



Nome: Vetur Engenharia e Construções LTDA
End.: Rua Vênus, 102 - Morada do sol - Rio Branco-Ac
Tel.: (68) 3223-3300

Resp. Técnico (as):

Ricardo Curado
Engº Civil - CREA Nº 5060903792D-SP

ASSUNTO:		FASE DO PROJETO:	
PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA		EXECUTIVO	
OBRA:	REFORMA DO CENTRO INTEGRADO DE CIDADANIA DE EPITACIOLÂNDIA	END:	BR 317, KM 1, AEROPORTO - EPITACIOLÂNDIA/AC
DADOS DA FONTE:		CONTEÚDO:	DETALHES CONSTRUTIVOS
ÁREAS (m²)	Taxas (%)	ESCALA:	INDICADA
Terreno: 3.000,00 m²	TO: 37,70%	DATA:	JULHO/2023
Reformar: 0,00 m²	TP: -	REVISÃO:	REV 00
Demolir: 0,00 m²	CA: -		
Construção: 1.131,19 m²			
TOTAL: 1.131,19 m²			
Endereço Arquivo:			

MET
02/02