

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
1 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURA METÁLICA

Contratante FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – FUSP
Endereço Av. Afrânio Peixoto, nº 14, Butantã, São Paulo, SP
Obra Reforma Cobertura IGC USP

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:

ENGº CIVIL LEANDRO CESAR DE OLIVEIRA – CREA/SP- 5063919466

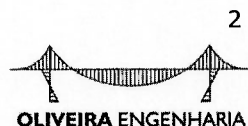
REV.	DATA	DESCRIÇÃO	ELAB. POR	VERIF. POR	APROV. POR
00	13/12/2024	EMIÇÃO INICIAL	LEANDRO	LEANDRO	
01	22/01/2025	REVISÃO DAS CARGAS CONSIDERADAS EM CÁLCULO	LEANDRO	LEANDRO	

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



GEOCIÊNCIAS



OLIVEIRA ENGENHARIA

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
2 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
**MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX**

Revisão
01

Data
13/12/2024

Índice

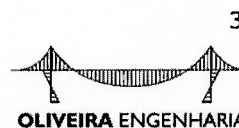
1. CRITÉRIOS GERAIS.....	3
2. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL	3
3. NORMAS TÉCNICAS.....	4
4. CARREGAMENTOS ADOTADOS	5
5. COMBINAÇÕES DOS CARREGAMENTOS E COEFICIENTES ADOTADOS	6
6. MATERIAIS	7
7. MODELO ESTRUTURAL E ANÁLISES	8
8. DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS	10
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES GERAIS	47

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
3 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
**MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX**

Revisão
01

Data
13/12/2024

1. CRITÉRIOS GERAIS

Devido as condições precárias da estrutura da cobertura do Instituto de Geociência da USP, foi definido pela administração do Instituto, junto com a equipe da Superintendência do Espaço Físico da USP, a troca total da estrutura existente para uma estrutura nova metálica, conforme já vem sendo praticado em outras unidades do Campus da USP de São Paulo.

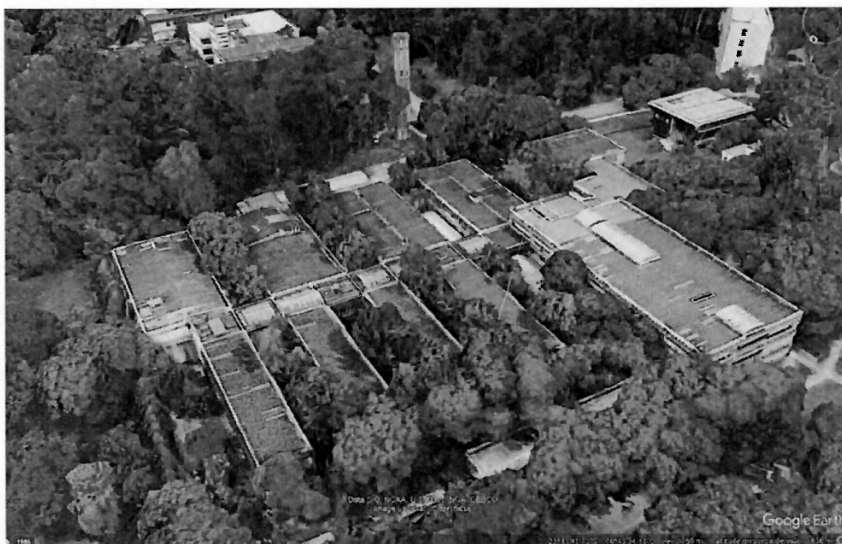


Imagem 01 – Imagem em 3D do Google Maps, da edificação do IGC. (Imagem via Google)

2. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Nossa empresa prestou recentemente serviço de assessoria a obra de reforma e troca de toda estrutura e telhado do ICB da USP, desta forma optamos para concepção dessa estrutura o mesmo conceito adotado no ICB, porém optamos junto com a equipe do IGC a utilização de telhas zipadas.

Conforme a estrutura executada no ICB, definimos pilaretes em perfis U enrijecidos, apoiados em chapas metálicas, chumbadas com chumbadores mecânicos, por praticidade de execução e cargas pequenas, estes pilaretes ficam em distâncias aproximadas de 2,00 metros e intereixos das terças espaçados a cada 3,00 metros. A estrutura na parte alta, cumeeira, possui um travamento por correntes rígidas e no restante do sistema travamento por correntes flexíveis, trabalhando apenas a tração.

Em estudo preliminares realizado para o ICG foi definido a utilização de telhas do tipo zipadas, telha que foi empregado em prédios da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP, prédios próximos ao ICG.

CONTRATANTE: FUSP

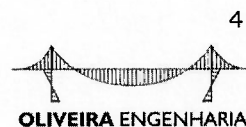
Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA



USP



Página
4 de 47

Seção

Revisão
01

Data
13/12/2024

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

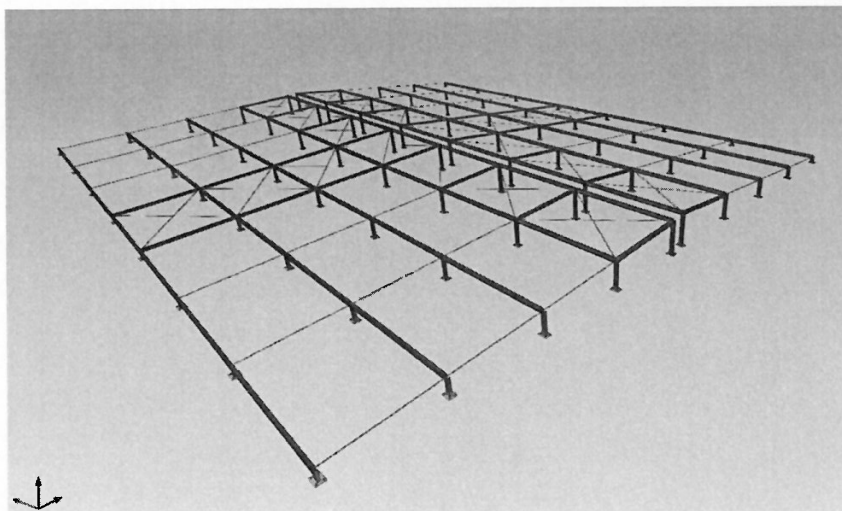


Imagem 02 – Imagem em 3D da concepção geral da estrutura metálica.

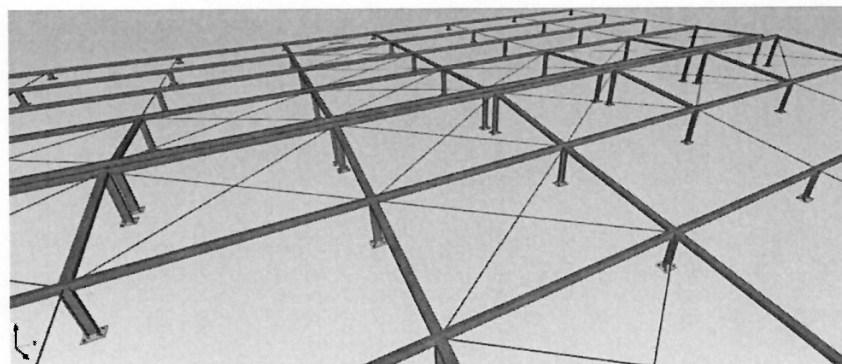


Imagem 03 – Detalhe das disposições das correntes e contraventamentos.

3. NORMAS TÉCNICAS

O presente projeto foi elaborado procurando atender as Normas Brasileiras vigentes, em particular:

- Normas Essenciais:
 - ABNT NBR 5674:2024 – Manutenção para o sistema de gestão de manutenção;
 - ABNT NBR 6118:2023 – Projeto e Execução de Obras em Concreto Armado;
 - ABNT NBR 6120:2019 – Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações;
 - ABNT NBR 8800:2024 – Projeto de estrutura de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;

ABNT NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



GEOCIÊNCIAS



OLIVEIRA ENGENHARIA

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
5 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
**MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX**

Revisão
01

Data
13/12/2024

Todos os serviços necessários para execução desta obra de engenharia deverão seguir as diretrizes normativas vigentes da ABNT, devendo ser devidamente respaldadas pela anotação de responsabilidade técnica do profissional perante o Conselho de Engenharia Arquitetura e Agronomia – CREA, garantindo-se a sua segurança e solidez conforme preceitua a legislação pertinente. Todo material utilizado na obra deverá possuir certificados que garantam suas resistências e estarem de acordo com especificados do projeto, tais documentos deverão ser entregues a fiscalização da obra. Deverá ser previsto um controle e inspeção das soldas, em face da grande sensibilidade a defeitos, a solda deve ser sempre feita em condições controladas. A norma americana da "American Welding Society" AWS D1.1 contém as especificações para a execução de solda estrutural, incluindo técnicas, qualificações dos soldadores e procedimentos de inspeção, os quais são também adotados pela norma brasileira NBR 8800.

4. CARREGAMENTOS ADOTADOS

Ações consideradas são estáticas, conforme descritas abaixo:

4.1. AÇÕES VERTICAIS

4.1.1. AÇÕES PERMANENTES

- Peso próprio dos elementos;
- Cargas para implantação de placas fotovoltaicas;
- Telha metálica do tipo zipada;

4.1.2. AÇÕES VARIÁVEIS

- Sobrecargas característica de 0,25 kN/m², conforme anexo B.5.1 da NBR 8800 e item 6.4 da NBR 6120;
- Para as terças realizamos simulação de cargas concentrada de 1,0 kN, no centro do vão, em conjunto com as cargas permanentes, isolada das demais forças variáveis.

4.1.3. VENTO

Para definições das ações do vento, utilizamos a NBR 6123, adotando os valores a seguir:

$$V_0 = 40 \text{ m/s}$$

$$S_1 = 1,0 - \text{Terreno plano}$$

$$S_2 (\text{Categoria IV, Classe B, altura edificação considerada} = 15,0 \text{ m}) = 0,88 - \text{Tabela 2 NBR 6123}$$

$$S_3 = 1,0$$

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 = 35,20 \text{ m/s}$$

$$q = 0,613 \times V_k^2 = 759,53 \text{ N/m}^2 = 75,95 \text{ kgf/m}^2 - \text{adotado } 76,00 \text{ kgf/m}^2$$

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



6

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
6 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

Na NBR 6123 não trata de telhados embutidos em platibandas, desta forma não temos definições de coeficientes de pressão para essa tipologia de telhado. Mesmo assim adotamos um valor uniforme de pressão e um coeficiente médio de 0,80 de sucção. Chegando a uma $F = 76,00 * -0,80 = -60,80 \text{ kgf/m}^2$.

CARREGAMENTOS VERTICAIS		
Tipo	Acidentais (Utilização)	Permanentes
	kgf/m ²	força indicada
Sobrecarga	25,00	
Placas Solares	-	15,00 kgf/m ²
Telha Metálica Zipada	-	15,00 kgf/m ²
Vento	- 60,00	-

4.2. AÇÕES HORIZONTAIS

Não foi considerado carregamento horizontais.

5. COMBINAÇÕES DOS CARREGAMENTOS E COEFICIENTES ADOTADOS

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios:

- Com coeficiente de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sem coeficiente de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Onde:

G_k Ação permanente

P_k Ação de pré-esforço

Q_k Ação variável

γ_G Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes

γ_P Coeficiente parcial de segurança da ação de pré-esforço

$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal

$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento

$\Psi_{p,1}$ Coeficiente de combinação da ação variável principal

$\Psi_{a,i}$ Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento

Para cada situação de projeto e estado limite, os coeficientes a utilizar serão:

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
7 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

E.L.U. Aço dobrado: ABNT NBR 14762:2010

	Normal			
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_s)
Permanente (G)	1.000	1.250	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700
Vento (Q)	0.000	1.400	1.000	0.600

Deslocamentos

	Ações variáveis sem sismo	
	Coeficientes parciais de segurança (γ)	
	Favorável	Desfavorável
Permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000
Vento (Q)	0.000	1.000

6. MATERIAIS

6.1. CONCRETO

Concreto adotado neste projeto: C30 (30 MPa), E_{ci} (GPa) = 30,67, E_{cs} (GPa) = 26,07, $\gamma_s = 1,40$.

6.2. AÇO EM BARRA

Para todos os elementos estruturais da obra: CA-50 e CA-60; $f_{yk} = 5097$ a 6116 kgf/cm²; $\gamma_s = 1,15$.

6.3. ESTRUTURA METÁLICA

Tipo de aço	Aço	Limite elástico (MPa)	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
Aços dobrados	ASTM A36	250	400	210.000
Aços laminados	ASTM A572 Gr. 50	345	450	210.000

6.4. METAIS DE SOLDA

A resistência mínima a tração dos metais de solda encontra em Tabela A.4 da NBR 8800, conforme abaixo imagem abaixo, em detalhe vermelho o tipo da classe indicado para as ligações deste projeto.

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
8 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

Tabela A.4 — Resistência à tração do metal da solda

Metal da solda	f_w MPa
Todos os eletrodos com classe de resistência 6 ou 60	415
Todos os eletrodos com classe de resistência 7 ou 70	485
Todos os eletrodos com classe de resistência 8 ou 80	550

7. MODELO ESTRUTURAL E ANÁLISES

7.1. PARAMETROS DE ESTABILIDADE GLOBAL

Para este trabalho realizamos um modelo estrutural utilizando o software computacional CYPE 3D. O modelo consiste em lançamento de barras e nós, formando um pórtico espacial, onde definimos vínculos e aplicamos carregamentos. Através desse aplicativo conseguimos realizar diversos refinamentos e análises da estrutura, até chegarmos na concepção final que será detalhada para execução.

7.2. DESLOCAMENTOS ADMISSÍVEIS

Foram atendidos os limites para deslocamentos estabelecidos na Tabela C.1 da NBR 8800:2008, sendo:

- Deslocamento vertical máxima para vigas = $L/250$
- Deslocamentos horizontal máxima para vigas = $L/250$
- Deslocamentos horizontais máximos para os pilaretes = $H/300$

7.3. MODELO 3D E RESULTADOS DE ANÁLISES REALIZADAS

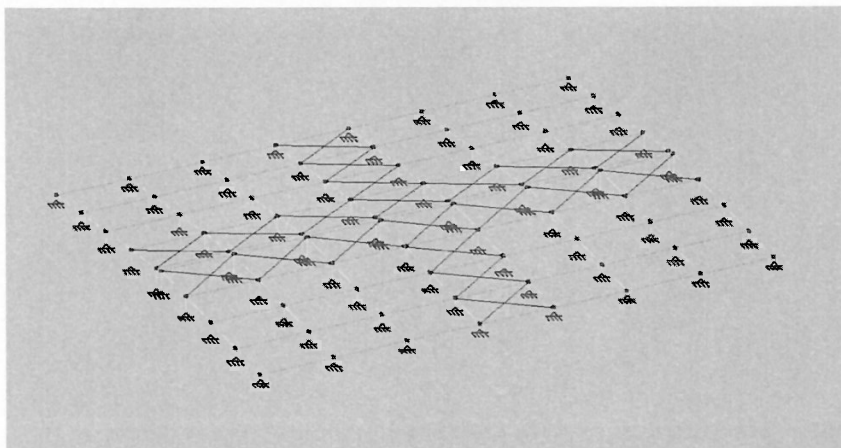


Imagem 04 – Modelo unifilar.

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

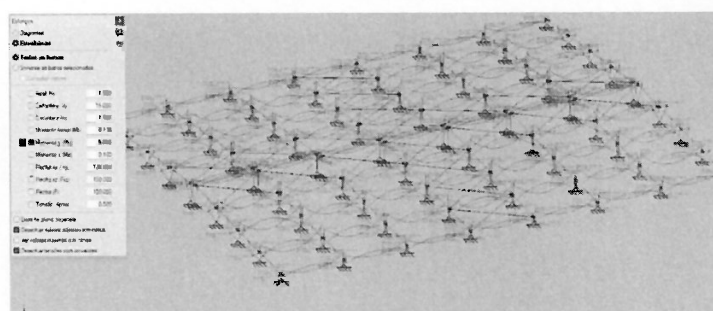
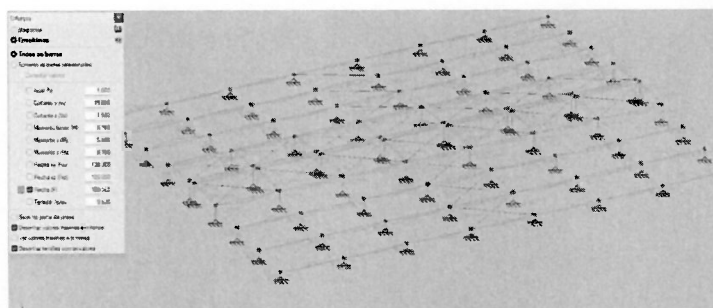
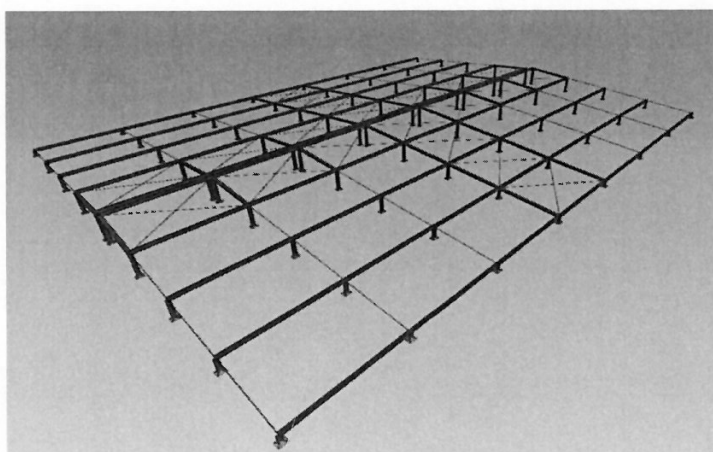
Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC R01.DOCX

Página
9 de 47

Revisão
01

Seção

Data
13/12/2024

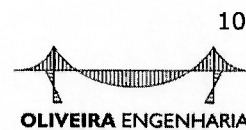


CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA



Página
10 de 47

Seção

Revisão
01

Data
13/12/2024

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

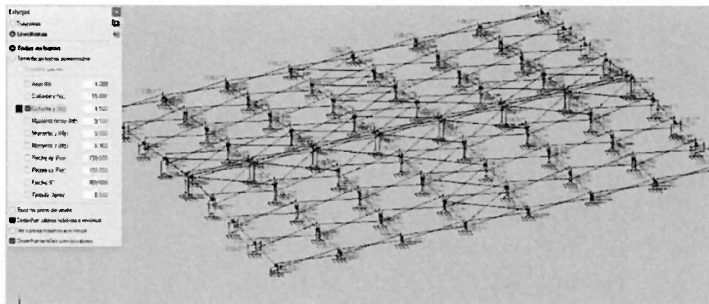


Imagem 08 – Gráfico de cortantes.

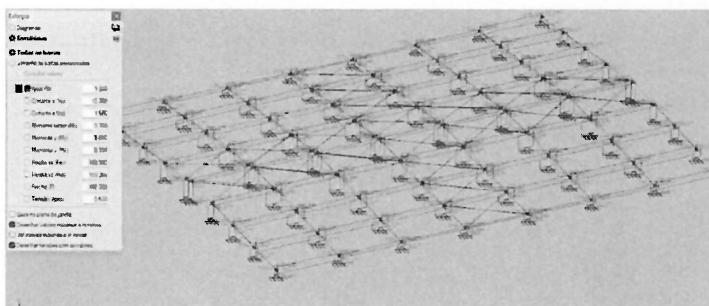


Imagem 09 – Gráfico de esforços axiais.

8. DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS

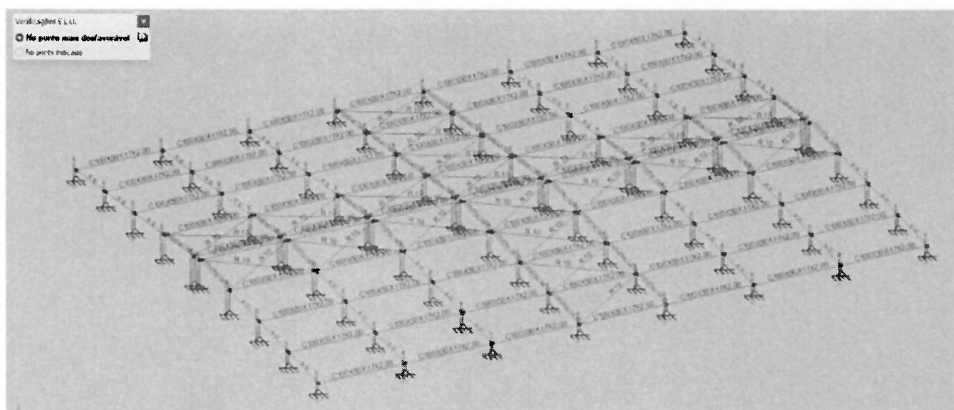


Imagem 10 – Resultado de verificações dos elementos, todos passando.

Abaixo apresentaremos o relatório de verificações do E.L.U. de três elementos, sendo um pilarete e duas situações de terça, uma terça verificada considerando a sobrecarga distribuída de 25 kgf/m² e uma verificação para uma carga pontual no meio do vão de 100 kgf.

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP

GEOCIÊNCIAS

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPPágina
11 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXRevisão
01Data
13/12/2024

8.1. Verificação de pilarete

Barra N44/N43

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)
N44	N43	0.677	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	1.00	1.00	1.00	1.00
L _K	0.677	0.677	0.677	0.677
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 _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	
N44/N43	(b _w /t) ≤ 500 (b _f /t) ≤ 60 Passa	λ _{xx} ≤ 200,0 λ _{yy} ≤ 200,0 Passa	x: 0,626 m η = 1,0	x: 0 m η = 2,5	x: 0,627 m η = 23,1	x: 0,627 m η = 41,1	η = 3,1	η = 4,5	x: 0,627 m η = 5,2	x: 0,627 m η = 17,0	x: 0,627 m η = 32,9	x: 0,627 m η = 60,9	M _{t,SD} = 0,00 N.A. ⁽¹⁾	PASSA η = 60,9
Notação: b/t: Valores máximas 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 _t M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _y M _x : 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 é necessária, já que não existe momento torsor.														

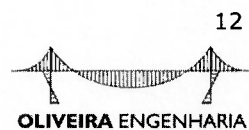
Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

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) : 46 ✓

Sendo:

CONTRATANTE: FUSPObra
REFORMA COBERTURA IGC USPTítulo
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPPágina
12 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC R01.DOCXRevisão
01Data
13/12/2024**b:** Comprimento do elemento.
t: A espessura.**b :** 92.00 mm
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) : 21 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.**b :** 42.00 mm
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. $\lambda_{xx} :$ 17.0 ✓ $\lambda_{yy} :$ 35.8 ✓

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.**K_xL_x :** 0.677 m**K_yL_y:** Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.**K_yL_y :** 0.677 m**r_x:** Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.**r_x :** 3.98 cm**r_y:** Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.**r_y :** 1.89 cm**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

 $\eta :$ 0.010 ✓

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
13 de 47

Revisão
01

Seção
Data
13/12/2024

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.626 m do nó N44, para a combinação de ações PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4·V1.

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

$N_{t,Sd}$: 0.107 t

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

$N_{t,Rd}$: 10.227 t

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

A : 4.41 cm²

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

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 N44, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1.

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

$N_{c,Sd}$: 0.198 t

A resistência de cálculo à compressão $N_{c,Rd}$ é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens:

$N_{c,Rd}$: 8.022 t

a) Início de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)

$N_{c,Rd}$: 8.022 t

Onde:

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

A_{ef} : 4.23 cm²

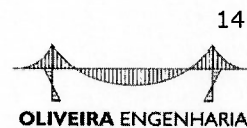
χ : Fator de redução associado à flambagem,

χ_{yy} : 0.93

χ_{xz} : 0.89

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
14 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

λ_0, yy : 0.40

λ_0, xz : 0.52

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

A : 4.41 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 : 41.566 t

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

N_{ey} : 69.158 t

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

N_{exz} : 41.566 t

Onde:

N_{ex} : 307.689 t

N_{ez} : 44.638 t

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

I_x : 70.09 cm⁴

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

I_y : 15.75 cm⁴

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 0.06 cm⁴

C_w : Constante de empenamento da seção.

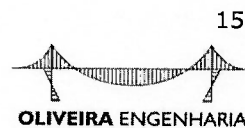
C_w : 364.95 cm⁶

E : Módulo de elasticidade.

E : 2038736 kgf/cm²

CONTRATANTE: FUSPObra
REFORMA COBERTURA IGC USP

GEOCIÊNCIAS

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPDisciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXPágina
15 de 47

Seção

Revisão
01Data
13/12/2024**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 :** 0.677 m**K_yL_y:** Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.**K_yL_y :** 0.677 m**K_zL_z:** Comprimento efetivo de flambagem por torção.**K_zL_z :** 0.677 m**r₀:** Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.**r₀ :** 6.08 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 :** 3.98 cm**r_y :** 1.89 cm**x₀, y₀:** Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.**x₀ :** -41.80 mm**y₀ :** 0.00 mm**b) Flambagem por distorção (9.7.3)**Não se leva em conta a flambagem por distorção, já que a relação D/b_w é maior que o valor mínimo que permite ignorar a verificação $((D/b_w)_{\min})$.

Onde:

D/b_w: Relação entre enrijecedor e alma.**D/b_w :** 0.17**(D/b_w)_{min}:** Valor mínimo para poder ignorar a verificação de flambagem por distorção, em função das seguintes relações geométricas (tabela 11):**(D/b_w)_{min} :** 0.11**b_f/b_w:** Relação entre mesa e alma.**b_f/b_w :** 0.50**b_w/t:** Relação entre alma e espessura.**b_w/t :** 50.00

Sendo:

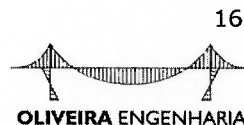
b_w: Largura da alma.**b_w :** 100.00 mm**b_f:** Largura da aba.**b_f :** 50.00 mm**D:** Comprimento do enrijecedor da mesa.**D :** 17.00 mm**t:** A espessura.**t :** 2.00 mm**Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)**

Deve satisfazer:

η : 0.231 ✓**M_{sd} :** 0.072 t·m

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



16

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
16 de 47

Revisão
01

Seção
Data
13/12/2024

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.627 m do nó N44, para a combinação de hipóteses
 $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot TELHADO + 1.25 \cdot PLACASSOLARES + UTILIDADES + 1.5 \cdot SCU1$.

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

$M_{Rd} : 0.312 \text{ t}\cdot\text{m}$

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

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

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.

$W_{ef} : 14.02 \text{ cm}^3$
 $f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$
 $\gamma : 1.1$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

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

Onde:

$W_{c,ef}$: Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando $\sigma = \chi_{FLT} f_y$.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

χ_{FLT} : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$W_{c,ef} : 14.02 \text{ cm}^3$
 $f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$
 $\gamma : 1.1$

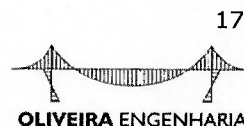
$^{(1)}\chi_{FLT} : 1.00$

Sendo:

$\lambda_0 : 0.33$

CONTRATANTE: FUSPObra
REFORMA COBERTURA IGC USP**GEOCIÊNCIAS**

IST

**OLIVEIRA ENGENHARIA**Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPDisciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXPágina
17 de 47

Seção

Revisão
01Data
13/12/2024 **W_c** : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida. **W_c** : 14.02 cm³

O momento fletor de flambagem lateral com torção **M_e** , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

 M_e : 3.376 t·m

Onde:

 C_b : Coeficiente de equivalência de momento na flexão. **C_b** : 1.00 **N_{ey}** : 69.158 t **N_{ez}** : 44.638 t **I_y** : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. **I_y** : 15.75 cm⁴ **I_t** : Momento de inércia à torção uniforme. **I_t** : 0.06 cm⁴ **C_w** : Constante de empenamento da seção. **C_w** : 364.95 cm⁶ **E** : Módulo de elasticidade. **E** : 2038736 kgf/cm² **G** : Módulo de elasticidade transversal. **G** : 784129 kgf/cm² **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem lateral. **$K_y L_y$** : 0.677 m **$K_z L_z$** : Comprimento efetivo de flambagem por torção. **$K_z L_z$** : 0.677 m **r_o** : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. **r_o** : 6.08 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** : 3.98 cm **r_y** : 1.89 cm **x_o, y_o** : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. **x_o** : -41.80 mm **y_o** : 0.00 mm**c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)** **M_{Rd}** : 0.312 t·m

Onde:

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC R01.DOCX



OLIVEIRA ENGENHARIA

Página
18 de 47

Seção

Revisão
01

Data
13/12/2024

W: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

f_y: Tensão de escoamento.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

χ_{dist}: Fator de redução associado à flambagem por distorção.

W : 14.02 cm³

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ : 1.1

χ_{dist} : 0.96

Sendo:

λ_{dist}: Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

λ_{dist} : 0.72

M_{dist}: Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

M_{dist} : 0.683 t·m

Onde:

k_d: Coeficiente de flambagem por distorção.

k_d : 1.65

E: Módulo de elasticidade.

ν: Coeficiente de Poisson.

b_w: Largura da alma.

b_f: Largura da aba.

D: Comprimento do enrijecedor da mesa.

t: A espessura.

E : 2038736 kgf/cm²

ν : 0.3

b_w : 100.00 mm

b_f : 50.00 mm

D : 17.00 mm

t : 2.00 mm

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

Deve satisfazer:

η : 0.411 ✓

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável **M_{sd}** produz-se num ponto situado a uma distância de 0.627 m do nó N44, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.05·SCU1+1.4·V1.

M_{sd} : 0.046 t·m

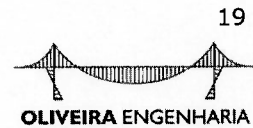
CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC R01.DOCX



Página
19 de 47

Seção

Revisão
01

Data
13/12/2024

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

$M_{Rd} : 0.112 \text{ t}\cdot\text{m}$

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.

$W_{ef} : 4.82 \text{ cm}^3$
 $f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$
 $\gamma : 1.1$

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

Deve satisfazer:

$\eta : 0.031 \checkmark$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses
 $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot TELHADO + 1.25 \cdot PLACASSOLARES + UTILIDADES + 1.05 \cdot SCU1 + 1.4 \cdot V1$.

$V_{sd} : 0.073 \text{ t}$

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

$V_{sd} : 0.037 \text{ t}$

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

$^{(1)}V_{Rd} : 1.168 \text{ t}$

para

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

para

$h/t : 21.00$

para

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

Onde:

t : Espessura da alma.

h : Largura da alma.

f_y : Tensão de escoamento.

E : Módulo de elasticidade.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$t : 2.00 \text{ mm}$
 $h : 42.00 \text{ mm}$
 $f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$
 $E : 2038736 \text{ kgf/cm}^2$
 $\gamma : 1.1$

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



20

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
20 de 47

Revisão
01

Seção
Data
13/12/2024

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

Kv : 1.20

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

Deve satisfazer:

η : 0.045 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{sd}** produz-se para a combinação de hipóteses
1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1.

V_{sd} : 0.115 t

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

⁽¹⁾**V_{Rd} :** 2.558 t

para

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

para

h/t : 46.00

para

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

Onde:

t: Espessura da alma.

t : 2.00 mm

h: Largura da alma.

h : 92.00 mm

f_y: Tensão de escoamento.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

E: Módulo de elasticidade.

E : 2038736 kgf/cm²

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

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

Kv : 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 0.627 m do nó N44, para a combinação de hipóteses
1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1.

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
21 de 47

Revisão
01

Seção
Data
13/12/2024

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:

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

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{o,Rd}$: 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.

$$M_{Sd} : \underline{0.072} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{Sd} : \underline{0.115} \text{ t}$$

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

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.627 m do nó N44, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.05·SCU1+1.4·V1.

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:

$$\eta : \underline{0.170} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{o,Rd}$: 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.

$$M_{Sd} : \underline{0.046} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{o,Rd} : \underline{0.112} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$$V_{Rd} : \underline{2.335} \text{ t}$$

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 0.627 m do nó N44, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$\eta : \underline{0.329} \checkmark$$

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



22

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
22 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

Onde:

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

$N_{c,sd}$: 0.087 t

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

$M_{x,sd}$: 0.021 t·m

$M_{y,sd}$: 0.028 t·m

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

$N_{c,Rd}$: 8.022 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.

$M_{x,Rd}$: 0.312 t·m

$M_{y,Rd}$: 0.112 t·m

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 0.627 m do nó N44, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4·V1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.609} \checkmark$$

Onde:

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

$N_{t,sd}$: 0.105 t

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

$M_{x,sd}$: 0.060 t·m

$M_{y,sd}$: 0.046 t·m

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

N_{Rd} : 10.227 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.

$M_{x,Rd}$: 0.312 t·m

$M_{y,Rd}$: 0.112 t·m

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

8.2. Verificação de terça com sobrecarga distribuída

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP

GEOCIÊNCIAS

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPPágina
23 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXRevisão
01Data
13/12/2024

Barra N35/N75

Perfil: C100X50X17X2.00
Material: Aço (A-36)

Academia Age (X-00)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
N35	N75	2.950	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	1.00	1.00	1.00	1.00
L _K	2.950	2.950	2.950	2.950
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 _x	M _y V _y	N _t M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	M _t S _d = 0.00	
N35/N75	(b _w /t) ≤ 500 (b _f /t) ≤ 60 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	η = 1.3	η = 6.6	x: 2.9 m η = 53.1	x: 2.9 m η = 10.2	x: 2.9 m η = 1.0	x: 2.9 m η = 8.1	x: 2.9 m η = 10.9	x: 2.9 m η = 1.1	x: 2.9 m η = 59.7	x: 2.9 m η = 57.3	M _t S _d = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	Passa	Passa
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 _x : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante X combinados M _y V _y : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante Y combinados N _t 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 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) : 46 ✓

Sendo:

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



ISO



24

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
24 de 47

Seção

Revisão
01

Data
13/12/2024

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 92.00 mm
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) : 21 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 42.00 mm
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.

$\lambda_{xx} :$ 74.0 ✓

$\lambda_{yy} :$ 156.2 ✓

Onde:

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

K_xL_x : 2.950 m

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

K_yL_y : 2.950 m

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

r_x : 3.98 cm

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

r_y : 1.89 cm

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

Deve satisfazer:

$\eta :$ 0.013 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4.V1.

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA



Página
25 de 47

Seção

Revisão
01

Data
13/12/2024

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

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

$N_{t,sd}$: 0.132 t

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

$N_{t,Rd}$: 10.227 t

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

A : 4.41 cm²

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

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

Deve satisfazer:

η : 0.066 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações

1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1.

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

$N_{c,sd}$: 0.154 t

A resistência de cálculo à compressão $N_{c,Rd}$ é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens:

$N_{c,Rd}$: 2.317 t

a) Início de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)

$N_{c,Rd}$: 2.317 t

Onde:

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

A_{ef} : 4.41 cm²

χ : Fator de redução associado à flambagem,

χ_{yy} : 0.28

χ_{xz} : 0.25

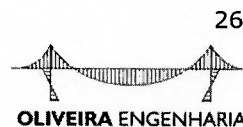
Sendo:

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



ISSO



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
26 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$\lambda_{0, yy}$: 1.76

$\lambda_{0, xz}$: 1.88

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 : 4.41 cm²

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ : 1.2

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

N_e : 3.170 t

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

N_{ey} : 3.643 t

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

N_{exz} : 3.170 t

Onde:

N_{ex} : 16.207 t

N_{ez} : 3.535 t

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.

I_x : 70.09 cm⁴

I_y : 15.75 cm⁴

I_t : 0.06 cm⁴

C_w : 364.95 cm⁶

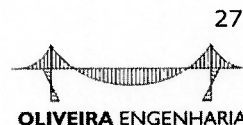
E : 2038736 kgf/cm²

G : 784129 kgf/cm²

CONTRATANTE: FUSP

Obra

REFORMA COBERTURA IGC USP



Título

Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
27 de 47

Seção

Disciplina

ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico

MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

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

$K_x L_x$: 2.950 m

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

$K_y L_y$: 2.950 m

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

$K_z L_z$: 2.950 m

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

r_o : 6.08 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 : 3.98 cm

r_y : 1.89 cm

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

x_o : -41.80 mm

y_o : 0.00 mm

b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não se leva em conta a flambagem por distorção, já que a relação D/b_w é maior que o valor mínimo que permite ignorar a verificação $((D/b_w)_{\min})$.

Onde:

D/b_w : Relação entre enrijecedor e alma.

D/b_w : 0.17

$(D/b_w)_{\min}$: Valor mínimo para poder ignorar a verificação de flambagem por distorção, em função das seguintes relações geométricas (tabela 11):

b_f/b_w : Relação entre mesa e alma.

$(D/b_w)_{\min}$: 0.11

b_w/t : Relação entre alma e espessura.

b_f/b_w : 0.50

b_w/t : 50.00

Sendo:

b_w : Largura da alma.

b_w : 100.00 mm

b_f : Largura da aba.

b_f : 50.00 mm

D : Comprimento do enrijecedor da mesa.

D : 17.00 mm

t : A espessura.

t : 2.00 mm

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

Deve satisfazer:

η : 0.531 ✓

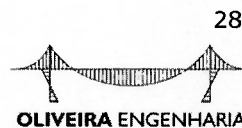
M_{sd} : 0.104 t.m

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



ISO



28

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
28 de 47

Revisão
01

Seção
Data
13/12/2024

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 2.900 m do nó N35, para a combinação de hipóteses
 $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot TELHADO + 1.25 \cdot PLACASSOLARES + UTILIDADES + 1.5 \cdot SCU1$.

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

$M_{Rd} : 0.196 \text{ t}\cdot\text{m}$

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

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

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.

$W_{ef} : 14.02 \text{ cm}^3$
 $f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$
 $\gamma : 1.1$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$M_{Rd} : 0.196 \text{ t}\cdot\text{m}$

Onde:

$W_{c,ef}$: Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando $\sigma = \chi_{FLT} f_y$.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

χ_{FLT} : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$W_{c,ef} : 14.02 \text{ cm}^3$
 $f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$
 $\gamma : 1.1$

$^{(2)}\chi_{FLT} : 0.60$

Sendo:

$\lambda_0 : 1.28$

CONTRATANTE: FUSPObra
REFORMA COBERTURA IGC USP**GEOCIÊNCIAS**

USP

**OLIVEIRA ENGENHARIA**Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPPágina
29 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXRevisão
01Data
13/12/2024 **W_c** : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida. **W_c** : 14.02 cm³

O momento fletor de flambagem lateral com torção **M_e** , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

 M_e : 0.218 t·m

Onde:

 C_b : Coeficiente de equivalência de momento na flexão. **C_b** : 1.00 **N_{ey}** : 3.643 t **N_{ez}** : 3.535 t **I_y** : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. **I_y** : 15.75 cm⁴ **I_t** : Momento de inércia à torção uniforme. **I_t** : 0.06 cm⁴ **C_w** : Constante de empenamento da seção. **C_w** : 364.95 cm⁶ **E** : Módulo de elasticidade. **E** : 2038736 kgf/cm² **G** : Módulo de elasticidade transversal. **G** : 784129 kgf/cm² **$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem lateral. **$K_y L_y$** : 2.950 m **$K_z L_z$** : Comprimento efetivo de flambagem por torção. **$K_z L_z$** : 2.950 m **r_o** : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. **r_o** : 6.08 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** : 3.98 cm **r_y** : 1.89 cm **x_o, y_o** : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. **x_o** : -41.80 mm **y_o** : 0.00 mm**c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)** **M_{Rd}** : 0.312 t·m

Onde:

CONTRATANTE: FUSPObra
REFORMA COBERTURA IGC USP

USP

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPPágina
30 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXRevisão
01Data
13/12/2024**W:** Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão. **f_y :** Tensão de escoamento. **γ :** Coeficiente de ponderação das resistências. **χ_{dist} :** Fator de redução associado à flambagem por distorção.**W :** 14.02 cm³ **f_y :** 2548.42 kgf/cm² **γ :** 1.1 **χ_{dist} :** 0.96

Sendo:

 λ_{dist} : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção. **λ_{dist} :** 0.72 **M_{dist} :** Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)). **M_{dist} :** 0.683 t·m

Onde:

 k_d : Coeficiente de flambagem por distorção. **k_d :** 1.65**E:** Módulo de elasticidade.**E :** 2038736 kgf/cm² **ν :** Coeficiente de Poisson. **ν :** 0.3 **b_w :** Largura da alma. **b_w :** 100.00 mm **b_f :** Largura da aba. **b_f :** 50.00 mm**D:** Comprimento do enrijecedor da mesa.**D :** 17.00 mm**t:** A espessura.**t :** 2.00 mm**Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)**

Deve satisfazer:

 η : 0.102 ✓O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável **M_{sd}** produz-se num ponto situado a uma distância de 2.900 m do nó N35, para a combinação de hipóteses PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4·V1. **M_{sd} :** 0.011 t·m

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
31 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

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

M_{Rd} : 0.112 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} : 4.82 cm³

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ : 1.1

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

Deve satisfazer:

η : 0.010 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 2.900 m do nó N35, para a combinação de hipóteses PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4.V1.

V_{sd} : 0.023 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} : 0.012 t

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

⁽¹⁾ V_{Rd} : 1.168 t

para

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

para

h/t : 21.00

para

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

Onde:

t : Espessura da alma.

t : 2.00 mm

h : Largura da alma.

h : 42.00 mm

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
32 de 47

Seção

Revisão
01

Data
13/12/2024

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:

f_y : 2548.42 kgf/cm²

E : 2038736 kgf/cm²

γ : 1.1

K_v : 1.20

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

Deve satisfazer:

η : 0.081 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 2.900 m do nó N35, para a combinação de hipóteses
1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1.

V_{sd} : 0.206 t

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

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

para

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

para

h/t : 46.00

para

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

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 cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

t : 2.00 mm

h : 92.00 mm

f_y : 2548.42 kgf/cm²

E : 2038736 kgf/cm²

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)

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USPTítulo
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPPágina
33 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXRevisão
01Data
13/12/2024

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 2.900 m do nó N35, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot TELHADO + 1.25 \cdot PLACASSOLARES + UTILIDADES + 1.5 \cdot SCU1$.

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:

$$\eta : \underline{0.109} \checkmark$$

Onde:

 M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{sd} : 0.104 \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{o,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. $M_{o,Rd} : 0.325 \text{ t}\cdot\text{m}$ V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo. $V_{sd} : 0.206 \text{ t}$ V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. $V_{Rd} : 2.558 \text{ t}$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X 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 2.900 m do nó N35, para a combinação de hipóteses $PP + TELHADO + PLACASSOLARES + UTILIDADES + 1.4 \cdot V1$.

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:

$$\eta : \underline{0.011} \checkmark$$

Onde:

 M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo. $M_{sd} : 0.011 \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{o,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. $M_{o,Rd} : 0.112 \text{ t}\cdot\text{m}$ V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo. $V_{sd} : 0.023 \text{ t}$ V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. $V_{Rd} : 2.335 \text{ t}$

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 2.900 m do nó N35, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot TELHADO + 1.25 \cdot PLACASSOLARES + UTILIDADES + 1.5 \cdot SCU1$.

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



USP



34

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
34 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

η : 0.597 ✓

Onde:

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

$N_{c,sd}$: 0.154 t

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

$M_{x,sd}$: 0.104 t·m

$M_{y,sd}$: 0.000 t·m

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

$N_{c,Rd}$: 2.317 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.

$M_{x,Rd}$: 0.196 t·m

$M_{y,Rd}$: 0.113 t·m

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 2.900 m do nó N35, para a combinação de hipóteses PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4·V1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

η : 0.573 ✓

Onde:

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

$N_{t,sd}$: 0.132 t

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

$M_{x,sd}$: 0.090 t·m

$M_{y,sd}$: 0.011 t·m

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

N_{Rd} : 10.227 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.

$M_{x,Rd}$: 0.196 t·m

$M_{y,Rd}$: 0.112 t·m

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

8.2. Verificação de terça com carga concentrada

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP

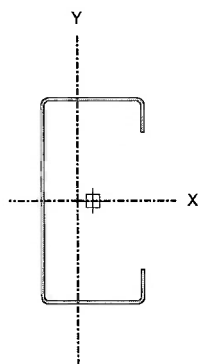
USP

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPPágina
35 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXRevisão
01Data
13/12/2024

Barra N75/N245

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)
N75	N245	1.475	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	1.00	1.00	1.00		1.00			
L _K	1.475	1.475	1.475		1.475			
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 _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	
N75/N245	(b/t) ≤ 500 (b/t) ≤ 60 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	η = 1.1	η = 3.5	x: 0.05 m η = 44.6	x: 0.05 m η = 10.4	x: 0.05 m η = 0.9	x: 0.05 m η = 10.5	x: 0.05 m η = 19.5	x: 0.05 m η = 1.1	x: 0.05 m η = 48.1	x: 0.05 m η = 36.5	M _{t,td} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	PASSA η = 48.1
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 _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 _t M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _y M _x : 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 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) : 46 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 92.00 mm

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



ISSP



36

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
36 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

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) : 21 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 42.00 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.

λ_{xx} : 37.0 ✓

λ_{yy} : 78.1 ✓

Onde:

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

$K_x L_x$: 1.475 m

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

$K_y L_y$: 1.475 m

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

r_x : 3.98 cm

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

r_y : 1.89 cm

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

Deve satisfazer:

η : 0.011 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4·V1.

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
37 de 47

Revisão
01

Seção

Data
13/12/2024

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

$N_{t,Sd}$: 0.109 t

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

$N_{t,Rd}$: 10.227 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)

Deve satisfazer:

η : 0.035 ✓

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

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

$N_{c,Sd}$: 0.201 t

A resistência de cálculo à compressão $N_{c,Rd}$ é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens:

$N_{c,Rd}$: 5.741 t

a) Início de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)

$N_{c,Rd}$: 5.741 t

Onde:

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.
 χ : Fator de redução associado à flambagem,
Sendo:

A_{ef} : 4.41 cm²
 χ_{yy} : 0.72
 χ_{xz} : 0.61

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

λ_0, yy : 0.88

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



GEOCIÊNCIAS

USP



OLIVEIRA ENGENHARIA

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
38 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC - R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

$\lambda_{0, xz} :$ 1.08

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$A :$ 4.41 cm²

$f_y :$ 2548.42 kgf/cm²

$\gamma :$ 1.2

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

$N_e :$ 9.601 t

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

$N_{ey} :$ 14.571 t

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

$N_{exz} :$ 9.601 t

Onde:

$N_{ex} :$ 64.827 t

$N_{ez} :$ 10.392 t

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.

$I_x :$ 70.09 cm⁴

$I_y :$ 15.75 cm⁴

$I_t :$ 0.06 cm⁴

$C_w :$ 364.95 cm⁶

$E :$ 2038736 kgf/cm²

$G :$ 784129 kgf/cm²

$K_x L_x :$ 1.475 m

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



ISSO



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
39 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

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

$K_y L_y$: 1.475 m

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

$K_z L_z$: 1.475 m

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

r_o : 6.08 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 : 3.98 cm

r_y : 1.89 cm

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

x_o : -41.80 mm

y_o : 0.00 mm

b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não se leva em conta a flambagem por distorção, já que a relação D/b_w é maior que o valor mínimo que permite ignorar a verificação $((D/b_w)_{\min})$.

Onde:

D/b_w : Relação entre enrijecedor e alma.

D/b_w : 0.17

$(D/b_w)_{\min}$: Valor mínimo para poder ignorar a verificação de flambagem por distorção, em função das seguintes relações geométricas (tabela 11):

$(D/b_w)_{\min}$: 0.11

b_f/b_w : Relação entre mesa e alma.

b_f/b_w : 0.50

b_w/t : Relação entre alma e espessura.

b_w/t : 50.00

Sendo:

b_w : Largura da alma.

b_w : 100.00 mm

b_f : Largura da aba.

b_f : 50.00 mm

D : Comprimento do enrijecedor da mesa.

D : 17.00 mm

t : A espessura.

t : 2.00 mm

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

Deve satisfazer:

η : 0.446 ✓

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.050 m do nó N75, para a combinação de hipóteses

M_{sd} : 0.139 t·m

1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1.

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
40 de 47

Revisão
01

Seção

Data
13/12/2024

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

$$M_{Rd} : \underline{0.312} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

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.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: \underline{14.02} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd} : \underline{0.313} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$: Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando $\sigma = \chi_{FLT} f_y$.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

χ_{FLT} : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$\begin{aligned} W_{c,ef} &: \underline{14.02} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT} : \underline{0.96}$$

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{0.69}$$

W_c : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c : \underline{14.02} \text{ cm}^3$$

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Página
41 de 47

Seção

Revisão
01

Data
13/12/2024

O momento fletor de flambagem lateral com torção M_e , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e = 0.748 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_b : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b = 1.00$$

$$N_{ey} = 14.571 \text{ t}$$

$$N_{ez} = 10.392 \text{ t}$$

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

$$I_y = 15.75 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t = 0.06 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w = 364.95 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

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

G : Módulo de elasticidade transversal.

$$G = 784129 \text{ kgf/cm}^2$$

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

$$K_y L_y = 1.475 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z = 1.475 \text{ m}$$

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

$$r_o = 6.08 \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x = 3.98 \text{ cm}$$

$$r_y = 1.89 \text{ cm}$$

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

$$x_o = -41.80 \text{ mm}$$

$$y_o = 0.00 \text{ mm}$$

c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

$$M_{Rd} = 0.312 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W : Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão.

$$W = 14.02 \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

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

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

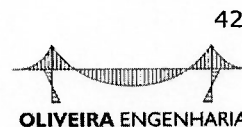
$$\gamma = 1.1$$

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
42 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

χ_{dist} : Fator de redução associado à flambagem por distorção.

χ_{dist} : 0.96

Sendo:

λ_{dist} : Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção.

λ_{dist} : 0.72

M_{dist} : Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)).

M_{dist} : 0.683 t.m

Onde:

k_d : Coeficiente de flambagem por distorção.

k_d : 1.65

E : Módulo de elasticidade.

E : 2038736 kgf/cm²

ν : Coeficiente de Poisson.

ν : 0.3

b_w : Largura da alma.

b_w : 100.00 mm

b_f : Largura da aba.

b_f : 50.00 mm

D : Comprimento do enrijecedor da mesa.

D : 17.00 mm

t : A espessura.

t : 2.00 mm

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

Deve satisfazer:

η : 0.104 ✓

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.050 m do nó N75, para a combinação de hipóteses PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4.V1.

M_{sd} : 0.012 t.m

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

M_{Rd} : 0.112 t.m

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
43 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

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.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: 4.82 \text{ cm}^3 \\ f_y &: 2548.42 \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.050 m do nó N75, para a combinação de hipóteses PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4·V1.

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

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

$$V_{Sd} : 0.010 \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 1.168 \text{ t}$$

para

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

para

$$h/t : 21.00$$

para

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

Onde:

t : Espessura da alma.

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

h : Largura da alma.

$$h : 42.00 \text{ mm}$$

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.

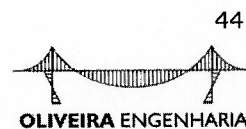
$$\gamma : 1.1$$

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



USP



Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
44 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

Data
13/12/2024

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 : 0.105 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.050 m do nó N75, para a combinação de hipóteses
1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1.

V_{sd} : 0.268 t

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

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

para

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

para

h/t : 46.00

para

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

Onde:

t : Espessura da alma.

t : 2.00 mm

h : Largura da alma.

h : 92.00 mm

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

E : Módulo de elasticidade.

E : 2038736 kgf/cm²

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 solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.050 m do nó N75, para a combinação de hipóteses
1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1.

CONTRATANTE: FUSPObra
REFORMA COBERTURA IGC USP

USP

**OLIVEIRA ENGENHARIA**Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPPágina
45 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXRevisão
01Data
13/12/2024

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:

$$\eta : \underline{0.195} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.**M_{Sd}** : 0.139 t·m**M_{0,Rd}**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.**M_{0,Rd}** : 0.325 t·m**V_{Sd}**: Força cortante solicitante de cálculo.**V_{Sd}** : 0.268 t**V_{Rd}**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.**V_{Rd}** : 2.558 t

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X 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 0.050 m do nó N75, para a combinação de hipóteses PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4·V1.

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:

$$\eta : \underline{0.011} \checkmark$$

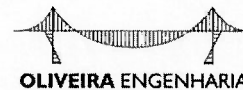
Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.**M_{Sd}** : 0.012 t·m**M_{0,Rd}**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.**M_{0,Rd}** : 0.112 t·m**V_{Sd}**: Força cortante solicitante de cálculo.**V_{Sd}** : 0.020 t**V_{Rd}**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.**V_{Rd}** : 2.335 t

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 0.050 m do nó N75, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·TELHADO+1.25·PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.5·SCU1.

$$\eta : \underline{0.481} \checkmark$$

CONTRATANTE: FUSPObra
REFORMA COBERTURA IGC USPTítulo
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USPPágina
46 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURAArquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCXRevisão
01Data
13/12/2024

Onde:

 $N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo. $N_{c,Sd}$: 0.201 t $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. $M_{x,Sd}$: 0.139 t·m $M_{y,Sd}$: 0.000 t·m $N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. $N_{c,Rd}$: 5.741 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. $M_{x,Rd}$: 0.312 t·m $M_{y,Rd}$: 0.113 t·m**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 0.050 m do nó N75, para a combinação de hipóteses PP+TELHADO+PLACASSOLARES+UTILIDADES+1.4·V1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

 η : 0.365 ✓

Onde:

 $N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo. $N_{t,Sd}$: 0.109 t $M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. $M_{x,Sd}$: 0.078 t·m $M_{y,Sd}$: 0.012 t·m N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6. N_{Rd} : 10.227 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. $M_{x,Rd}$: 0.312 t·m $M_{y,Rd}$: 0.112 t·m**Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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

CONTRATANTE: FUSP

Obra
REFORMA COBERTURA IGC USP



47

Título
Memorial de Cálculo Estrutura Metálica da Cobertura do IGC USP

Página
47 de 47

Seção

Disciplina
ESTRUTURA

Arquivo Eletrônico
MEMORIAL DE CALCULO ESTRUTURA DA COBERTURA DO
IGC_R01.DOCX

Revisão
01

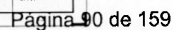
Data
13/12/2024

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES GERAIS

Esse documento tem a função de conferência do roteiro realizado para concepção, análise e dimensionamento da estrutura, para os carregamentos indicados a estrutura está apta, quaisquer alterações nos carregamentos aqui citados o calculista deverá ser informado para novas análises.

Essa memória se limita exclusivamente ao dimensionamento das estruturas conforme projeto executivo, não cabendo a Contratada qualquer responsabilidade de detalhamentos de fabricação e montagem das estruturas na obra.

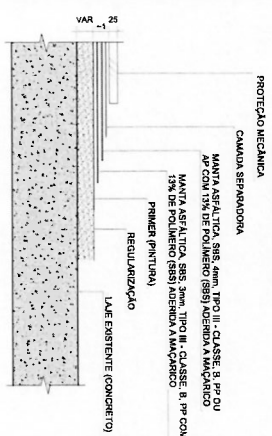
OLIVEIRA PROJETOS ESTRUTURAIS E CONSULTORIA LTDA ME
CNPJ: 22.425.373/0001-47 - ART Nº: 2620241958572



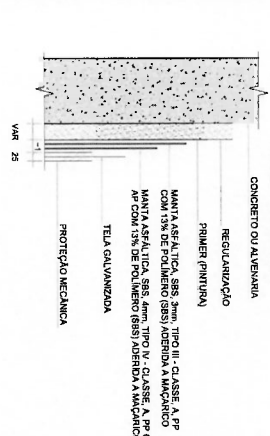
IMPERMEABILIZAÇÃO TIPO 1

MANTA DUPLA SEM ESCALA

SEÇÃO HORIZONTAL

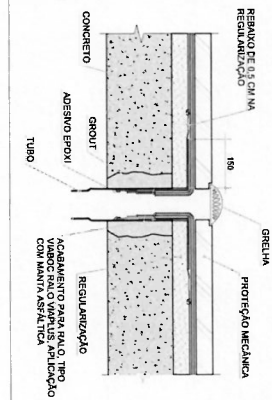


SEÇÃO VERTICAL



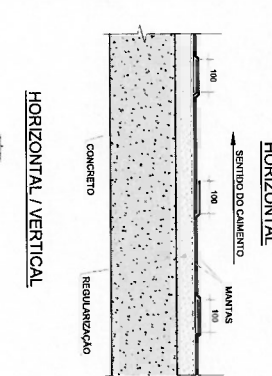
DET. TÍPICO 2

RAIO SOB PISO ELEVADO SEM ESCALA



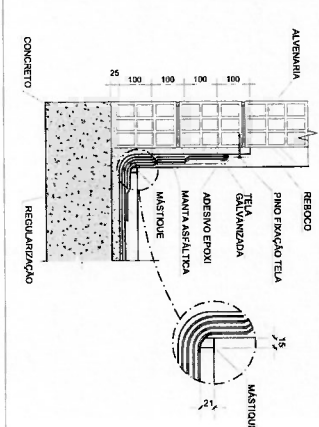
DET. TÍPICO 1

SOBREPOSIÇÃO DE MANTAS SEM ESCALA



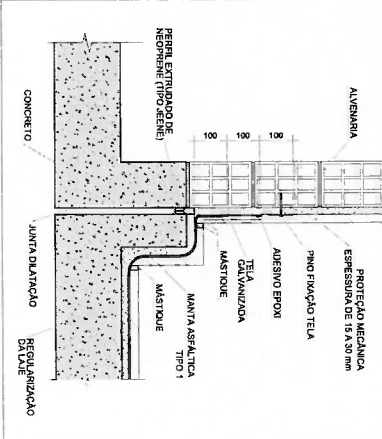
DET. TÍPICO 3

RODAPÊ ARREIMATE NA PLATIBANDA SEM ESCALA



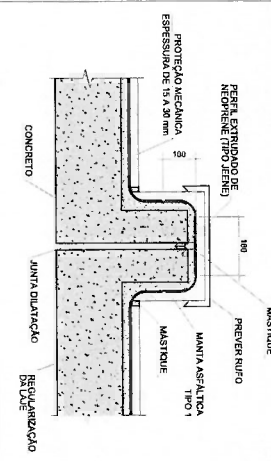
DET. TÍPICO 5

UNTA DE DILATAÇÕES 2 ENCONTRO COM PLATIBANDAS SEM ESCALA



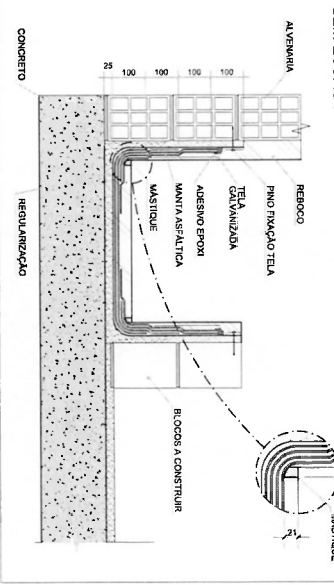
DET. TÍPICO 4

JUNTA DE DILATAÇÕES 1 SEM ESCALA



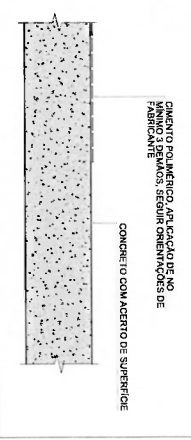
DET. TÍPICO 6

ARREIMATE CANALETAS CALHAS SEM ESCALA



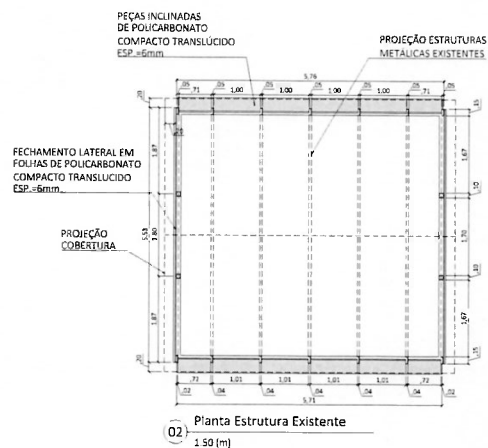
IMPERMEABILIZAÇÃO TIPO 2

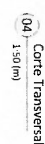
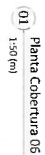
CIMENTO POLIMÉRICO SEM ESCALA



VER NOTAS EM FOLHA IMP-01

00		1		Borçat, mestr. da prouta	
Desig.	Ref.	Descrição		Data	
OLIVEIRA ENGENHARIA PROJETOS ESTRUTURAIS E CONSULTORIA FUNDADA EM 1980, POR OLIVEIRA ENGENHARIA S.A. - SP END: AV. JACQUES KILIAN, 100 - JARDIM MONTE ALEGRE - SP FONE: (11) 5555-1234 - FAX: (11) 5555-5678 - E-MAIL: OLIVEIRA@OLIVEIRA-ENGENHARIA.COM.BR					
ORCA REFORMA COBERTURA - IGC USP CLIENTE INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS LOCAL DA OBRA R. DO LAGO, 562, BUTANTÃ, SÃO PAULO, SP CONTÍDUO EXECUTIVO					
ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA ENGR. LEONARDO C. OLIVEIRA					
IMP-002					





TORNADOES AND HURRICANES IN THE UNITED STATES: A REVIEW OF THE LITERATURE (A. C. M. ALLEN, *Princeton University, Princeton, New Jersey*)

Abstract. A review of the literature published in the past 10 years of the subject is presented. The paper is divided into two parts: the first dealing with tornadoes and the second with hurricanes. The literature is divided into three categories: (1) general reviews, (2) synoptic studies, and (3) case studies. The literature is divided into three categories: (1) general reviews, (2) synoptic studies, and (3) case studies. The literature is divided into three categories: (1) general reviews, (2) synoptic studies, and (3) case studies.

[illegible]

