

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Departamento de Engenharia de Estruturas

Curso de Especialização em Estruturas

Trabalho de Conclusão de Curso

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO
COMERCIAL EM ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO**

Autor: Luís Guilherme Duarte Santos

Belo Horizonte

Julho de 2012

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO
COMERCIAL EM ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO**

**Trabalho apresentado à disciplina
Projeto de Estruturas Mistas do Curso
de Especialização em Estruturas do
Departamento de Engenharia de
Estruturas da Universidade Federal de
Minas Gerais.**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Belo Horizonte

Julho de 2012

Sumário

1. DESCRIÇÃO DO TRABALHO.....	5
2. NORMAS UTILIZADAS	5
3. DADOS DE PROJETO.....	5
3.1. Estruturas de Concreto.....	5
3.2. Estruturas de Aço	5
4. CARREGAMENTOS ATUANTES	5
4.1. Cargas Permanentes: (CP)	5
4.2. Cargas Acidentais: (SC)	6
5. COMBINAÇÕES DE UTILIZAÇÃO	8
5.1. Combinações Quase-Permanentes	8
5.2. Combinações Frequentes	8
5.3. Combinações Últimas.....	8
6. MODELO DE CÁLCULO	8
6.1. Dados da estrutura:.....	9
7. VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO (ELS)	12
8. DIMENSIONAMENTO DAS PEÇAS ESTRUTURAIS	14
8.1. Lajes Steel Deck: Conforme Anexo A	14
8.2. Viga mista transversal intermediária: Conforme Anexo A	14
8.3. Pilares Mistos: Conforme Anexo B deste trabalho	14
9. CONCLUSÃO	15
10. ANEXOS.....	15

Projetar os elementos principais do edifício comercial definido abaixo. Exceto as vigas e as diagonais dos pórticos transversais, todos os elementos são mistos. Apresentar duas opções para as vigas secundárias: bi apoiadas e semi contínuas de 2 ou 5 tramos. Dados:

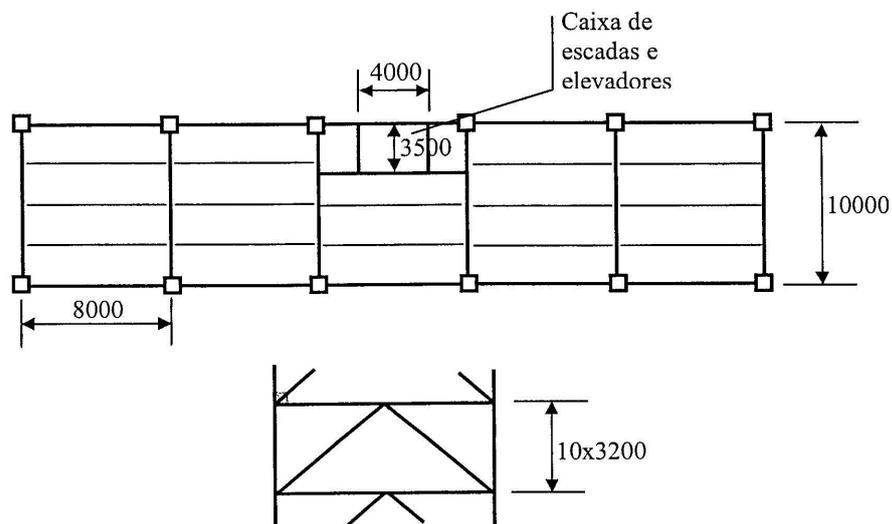
Laje mista com forma Metform 75, espessura de 0,95 mm; capa de concreto com 65 mm;
Perfis WF da Gerdau; pilares mistos com 50 mm de concreto de cobrimento do perfil (mínimo);

Na direção longitudinal usar pórticos com ligações rígidas;

Cargas permanentes além das lajes dos andares: laje de piso da casa de máquinas 5 kN/m^2 ; caixa d'água (acima da casa de máquinas) com altura de 1,5 m e peso total de 300 kN (incluindo a água na carga permanente); peso próprio da estrutura de aço $0,6 \text{ kN/m}^2$ em todos os andares, inclusive no forro; peso próprio da cobertura $0,8 \text{ kN/m}^2$; paredes de tijolo furado com 5 kN/m^2 de projeção vertical no contorno dos andares, da caixa de escadas e elevadores e da casa de máquinas (no contorno da casa de máquinas considerar altura de parede de 4,5 m e no contorno do forro considerar altura de parede de 1,5 m); paredes de tijolo furado com 3 kN/m^2 de projeção vertical nas vigas transversais; revestimentos das lajes com peso total de 2 kN/m^2 ;

Sobrecargas: 5 kN/m^2 nos andares tipo e na caixa de escadas; 1 kN/m^2 no forro; 20 kN/m^2 na casa de máquinas (considerar o mesmo contorno da caixa de escadas e elevadores); $0,5 \text{ kN/m}^2$ na cobertura.

Vento: construção em BH; rugosidade 3, terreno plano;



1. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O presente documento apresenta a memória de cálculo estrutural para o segundo trabalho pratico da cadeira de Estruturas Mistas do Curso de Especialização em engenharia de Estruturas. Este segundo trabalho refere-se ao estudo final da estrutura mista completa da edificação considerando a atuação de todos os carregamentos.

2. NORMAS UTILIZADAS

NBR 6118 – Projeto e execução de obras de concreto armado;

NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas;

NBR 6120 – Carga para Cálculo de Estruturas de Edificações - Procedimento

NBR 6118 – Projeto e execução de obras de concreto armado;

NBR 8800 – Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios;

3. DADOS DE PROJETO

3.1. Estruturas de Concreto

Concreto $f_{ck} = 20$ MPA para lajes; $E_{cs} = 212873$ Kg/cm²

Concreto $f_{ck} = 30$ MPA para pilares; $E_{cs} = 260710$ Kg/cm²

3.2. Estruturas de Aço

Perfis laminados Gerdau Açominas

Aço ASTM A572

$F_y = 350$ MPA e $F_u = 450$ MPA

Aço estrutural para vergalhões CA50 - $F_y = 50$ KN/cm²

Laje mista METFORM 75, esp.0,95mm e capa de concreto de 65mm

4. CARREGAMENTOS ATUANTES

4.1. Cargas Permanentes: (CP)

4.1.1 - Peso próprio dos perfis – Computado eletronicamente pelo software

4.1.2 – Forma para Steel Deck – 11,12 Kg/m² (Catalogo METFORM)

4.1.3 – Peso Próprio do Concreto das lajes, pilares e caixa d'água

4.1.4 – Cargas permanentes conforme indicado no enunciado do trabalho.

4.2. Cargas Acidentais: (SC)

4.2.1 – Sobrecargas conforme indicado no enunciado do trabalho

4.2.2 – Pressão devido ao vento:

V_0 – 35 m/s

S_1 – 1,0 (Terreno Plano)

S_2 – Classe B, Categoria III (S_3 – 0,83 (Fase de construção))

S_3 – Varia com altura

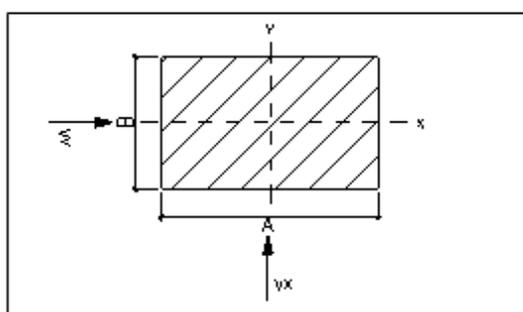
$V_k = S_1 \times S_2 \times S_3 \times V_0$

Determinação da Força do Vento para Edificações Retangulares
De acordo com a NBR 6123 - 1988

Obra:

Fator Topografico: 1.00
 Categoria: III Classe: B
 Fator Estatístico: 0.95
 Vento de alta ou baixa turbulência: Baixa

Determinação da Pressão Q						
Altura (m)	V0 (m/s)	S1	S2	S3	Vk (m/s)	Q (Kg/m ²)
5.00	35.00	1.00	0.86	0.95	28.60	51.10
10.00	35.00	1.00	0.92	0.95	30.59	58.48
15.00	35.00	1.00	0.96	0.95	31.92	63.68
20.00	35.00	1.00	0.99	0.95	32.92	67.72
30.00	35.00	1.00	1.03	0.95	34.25	73.31



Dimensões	
A	40.00
B	10.00
H	32.00

Coefficiente de arrasto em X Cax : 1.30
 Coefficiente de arrasto em Y Cay : 0.80

Determinação da Força de Arrasto - Lado A						
Altura (m)	Q (Kg/m ²)	Cax	A	Fax (t)	Mx (base)	Mz
5.00	51.10	1.30	40.00	13.29	33.22	
10.00	58.48	1.30	40.00	15.21	114.04	
15.00	63.68	1.30	40.00	16.56	206.96	
20.00	67.72	1.30	40.00	17.61	308.14	
30.00	73.31	1.30	40.00	38.12	952.97	

Determinação da Força de Arrasto - Lado B						
Altura (m)	Q (Kg/m ²)	Cay	B	Fay (t)	My (base)	Mz
5.00	51.10	0.80	10.00	2.04	5.11	
10.00	58.48	0.80	10.00	2.34	17.55	
15.00	63.68	0.80	10.00	2.55	31.84	
20.00	67.72	0.80	10.00	2.71	47.41	
30.00	73.31	0.80	10.00	5.86	146.61	

VL – Vento Longitudinal (Direção X)

VT – Vento Transversal (Direção Y)

5. COMBINAÇÕES DE UTILIZAÇÃO

5.1. Combinações Quase-Permanentes

$$F_{d,util.} = \sum_{i=1}^m FG_{i,j} + \sum_{i=1}^n \psi_{2j} \cdot FQ_{j,k} \quad (5.1.5.1)$$

5.2. Combinações Frequentes

$$F_{d,util.} = \sum_{i=1}^m FG_{i,j} + \psi_1 FQ_{i,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} \cdot FQ_{j,k} \quad (5.1.5.2)$$

5.3. Combinações Últimas

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \cdot FG_{i,k} + \gamma_q \left[FQ_{1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{o,j} \cdot FQ_{i,k} \right] \quad \text{onde,}$$

$FG_{i,k}$ - valores característicos das cargas permanentes.

$FQ_{1,k}$ - valor característico da ação considerada como principal.

$\psi_{o,j} \cdot FQ_{j,k}$ - valores reduzidos de cada uma das demais ações variáveis características.

$\psi_{o,j}$ - fator de combinação.

γ_{g1} e γ_q - coeficientes de ponderação.

6. MODELO DE CÁLCULO

Para o cálculo e dimensionamento das estruturas, foi elaborado um modelo de calculo espacial em elementos finitos de barras. Foram adotados recursos de utilização de diafragmas rígidos para a simulação do efeito das lajes de concreto.

Para a análise estrutural considerou os efeitos globais de 2ª ordem geométrica por meio de análise P-Δ, inclusive com as cargas nocionais simulando a imperfeição geométrica da estrutura. A não-linearidade física foi considerada por meio da alteração da Rigidez das Barras do Pórtico para 0,8EI.

Os efeitos de segunda ordem locais foram obtidos por meio da subdivisão das barras dos pilares em três nós a cada lance da edificação.

O dimensionamento e detalhamento das peças foram obtidos em função do atendimento das mesmas aos Estados Limites Últimos (*E.L.U*) e Estados Limites de Serviços (*E.L.S*) conforme prescrito em norma.

6.1. Dados da estrutura:

Vigas Longitudinais: W460x60

Vigas transversais: W360x44

Diagonais: HP 200x53

Pilar: 400x400x19x16 mm

Seção de Concreto: 600x640 mm: As longitudinal - 4 Φ 25mm

Propriedade dos pilares adotadas no Modelo Computacional:

$$A_e = (EA)_{ef} / E_a \varphi$$

$$I_{xe} = (EI_x)_{ef} / E_a \varphi$$

$$I_{ye} = (EI_y)_{ef} / E_a \varphi$$

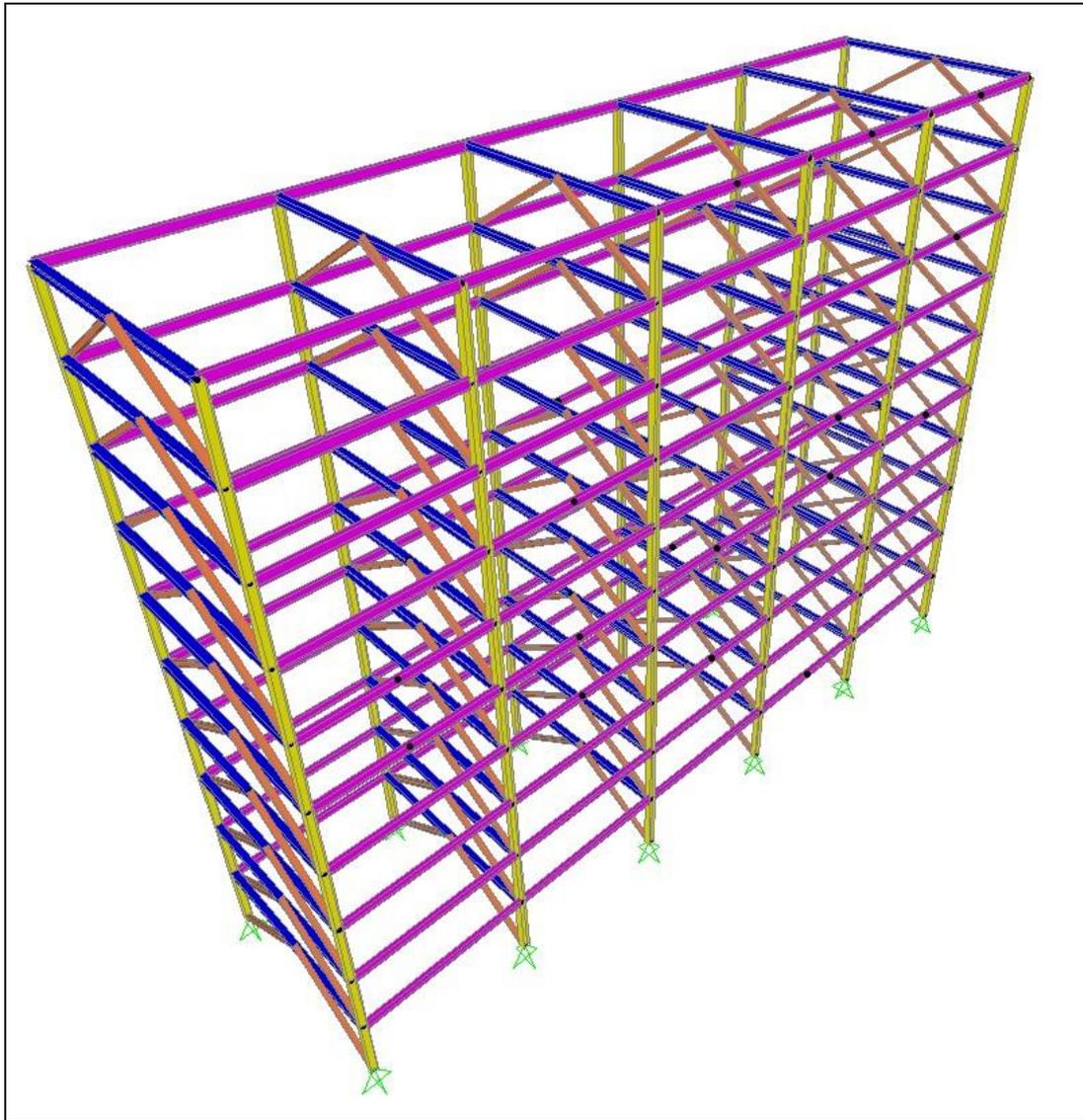


Figura 1 - Modelo Computacional de Calculo

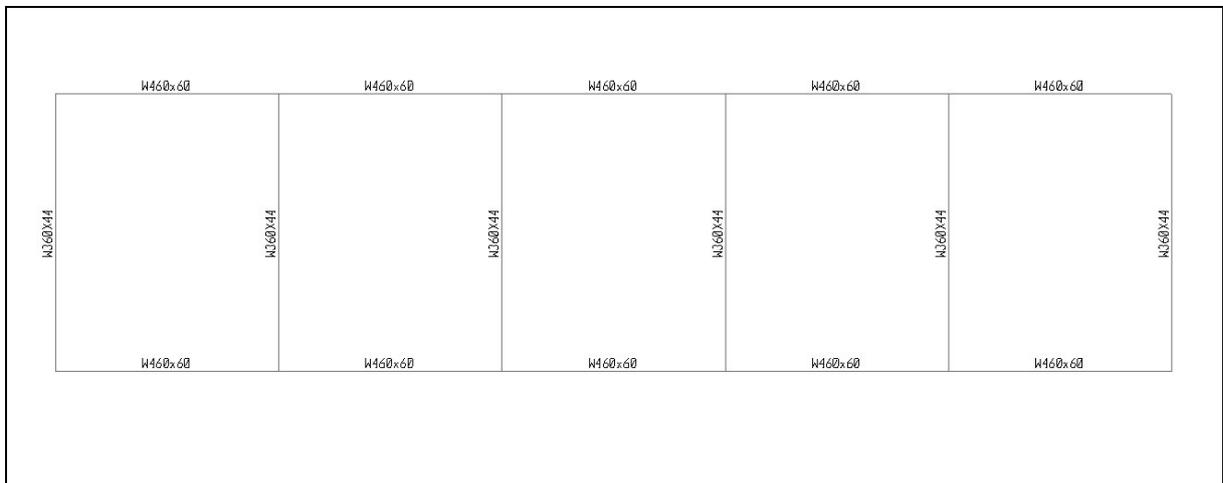


Figura 2 - Peças Estruturais

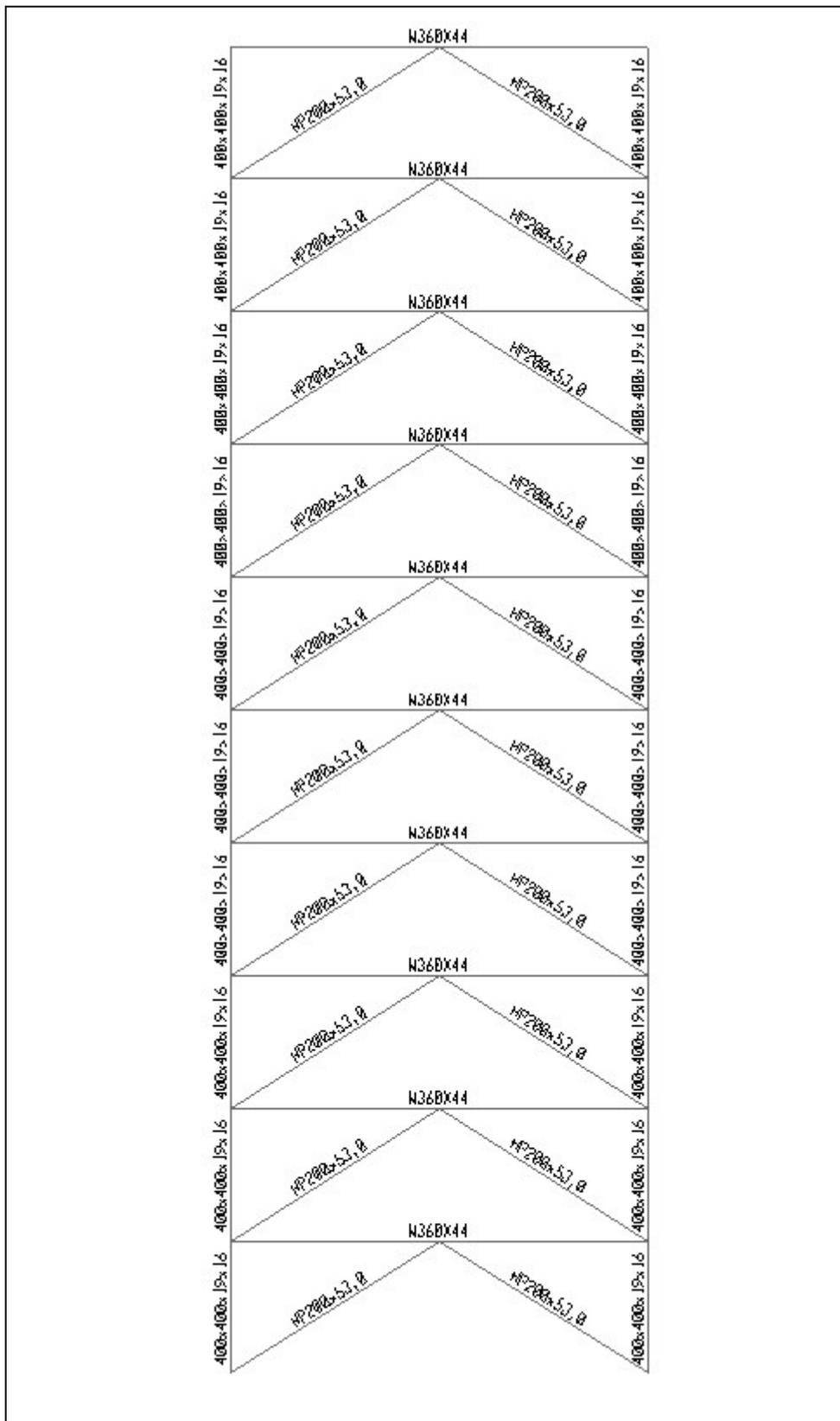


Figura 3 - Peças Estruturais

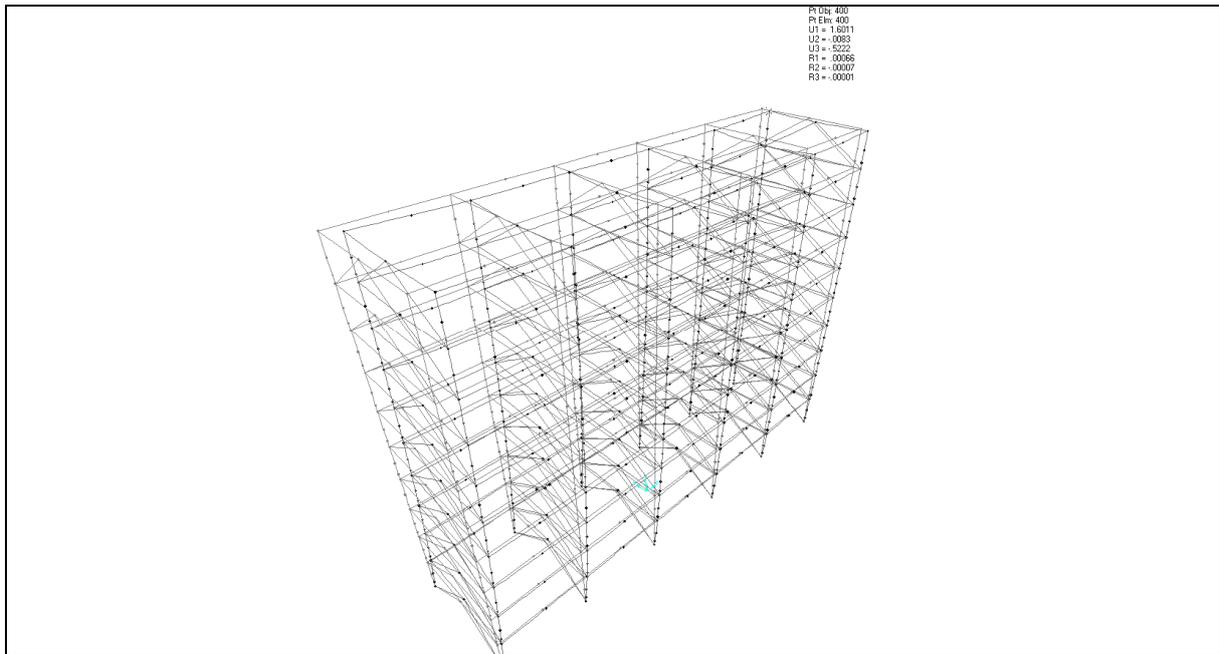


Figura 5 – Deformação no topo direção X = 1,6 cm < 3200/400=8 – OK!

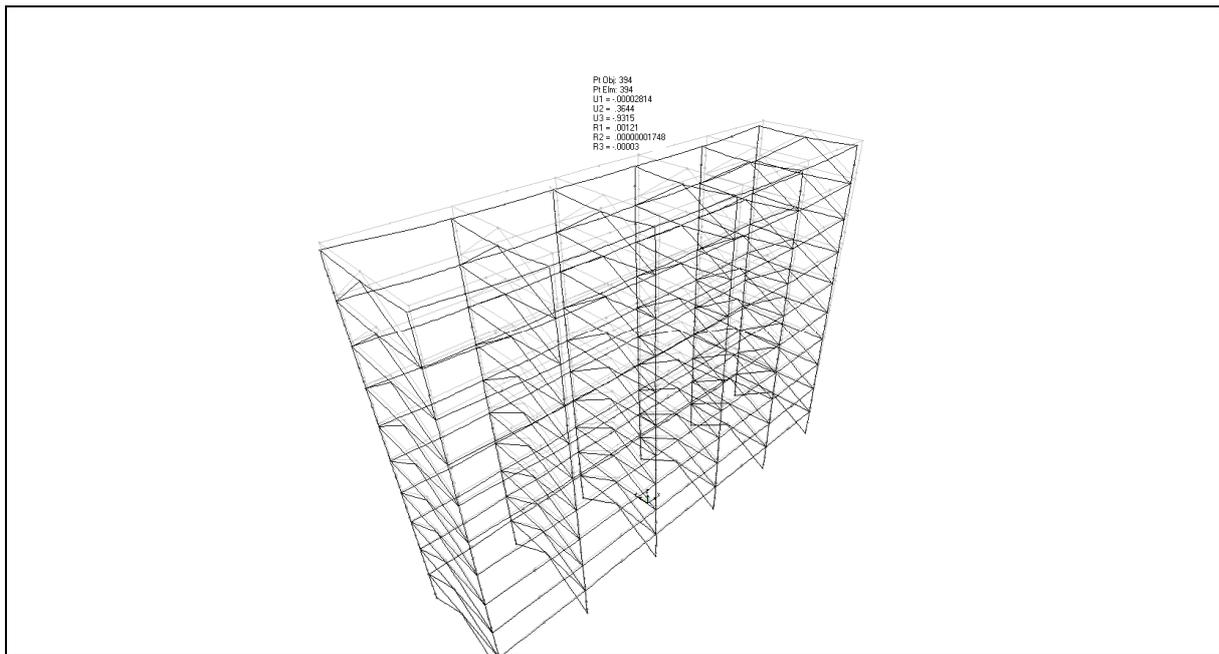


Figura 6 – Deformação no topo direção Y = 0,36 cm < 3200/400=8 – OK!

Deslocamento entre pisos = 0,48 cm < 320/500=0,64 cm

8. DIMENSIONAMENTO DAS PEÇAS ESTRUTURAIS

8.1. Lajes Steel Deck: Conforme Anexo A

8.2. Viga mista transversal intermediária: Conforme Anexo A

8.3. Pilares Mistos: Conforme Anexo B deste trabalho

Iremos dimensionar apenas o pilar com o caso de carregamento mais crítico. Após a análise da estrutura chegamos aos seguintes valores:

Dados para o dimensionamento dos pilares:

Pilar: 400x400x19x16 mm

Seção de Concreto: 600x640 mm

As longitudinal - 4 Φ 25mm

Sentido da Maior inércia: longitudinal

$F_{ck}=30\text{Mpa}$

Comprimento de cálculo 3x2 m – Travado nos dois sentidos

Esforços:

Caso com a maior carga normal:

$N_d= 6385 \text{ KN}$

$M_{dx}= 10721,34 \text{ KNxcm}$

$M_{dy}= -9389,66 \text{ KNxcm}$

$V_{dx}= 1,87 \text{ t}$

$V_{dy}= -3,42$

Esforços:

Caso com o maior Momento fletor:

$N_d = 3319 \text{ KN}$

$M_{dx} = 14950,21 \text{ KNxcm}$

$M_{dy} = -2470,52 \text{ KNxcm}$

$V_{dx} = 1,19 \text{ t}$

$V_{dy} = -2,62$

9. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos cálculos dos elementos estruturais do edifício em estrutura mista de aço e concreto estão respeitando os critérios estabelecidos pelas normas vigentes já explicitadas no item 2 deste trabalho. Sendo assim estes elementos estão aptos para serem usados na construção do referido edifício sem causar nenhum dano à segurança e ao conforto dos futuros usuários.

10. ANEXOS

Anexo A
Laje Mista e Viga Mista

DIMENSIONAMENTO

1.Dados gerais da viga mista

Características da viga	
Vão	8 m
Intervigas(d1)	2.5 m
Sistema de construção	Não Escorada
Posicionamento da viga	Viga intermediária
Tipo de interação	Completa

Características da laje de concreto(fck = 30 MPA)	
Largura da Laje de concreto adotada(bef)	2 m
Espessura da Laje (tc)	50 mm
Tipo de laje	Fôrma metálica incorporada

Características da fôrma	
Altura da fôrma (hF)	75 mm
Largura da fôrma (bF)	119 mm
Tipo de fôrma	Metform MF-75

Características do perfil	
----------------------------------	--

Perfil	W 360 x 44.0
Limite de escoamento do perfil(f_y)	345 MPa
Altura do perfil(d)	352 mm
Momento de inércia do perfil (I_a)	11926.35 cm ⁴

Característica dos conectores	
Tipo	STB 115.0x19.0

Solicitações de cálculo	
Momento fletor máximo de cálculo(M_{Sd})	272 kN.m
Momento fletor máximo de cálculo antes da cura(M_{Sdo})	96 kN.m
Esforço cortante máximo de cálculo(V_{Sd})	136 kN

2.Verificação da esbeltez

$$\frac{h}{t_w} = 48.17 \quad \text{Esbeltez da viga.}$$

$$3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 91.65 \quad \text{Esbeltez limite da viga.}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{A viga não é esbelta.}$$

3.Verificação da flambagem na mesa

$M_{Sdo} = 96 \text{ kN.m}$ Momento fletor na viga antes da cura do concreto.

$W = 6.78E-4 \text{ m}^3$ Módulo elástico da seção de aço.

$W_c = 3.39E-4 \text{ m}^3$ Módulo elástico da região comprimida da seção de aço.

$f_r = 70000 \text{ kN/m}^2$ Tensão residual de compressão nas mesas.

$$\lambda = \frac{b}{t_w} = 8.37 \quad \text{Parâmetro de esbeltez.}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9.26 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y - f_r}} = 22.66 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.}$$

$$M_r = W \cdot f_y = 233.78 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento.}$$

$$M_{pl} = 1,15 \cdot M_r = 268.85 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de plastificação da seção.}$$

$$M_{cr} = \frac{0,69 \cdot E \cdot W_c}{\lambda^2} = 683.7 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem elástica.}$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 268.85 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor característico.}$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 244.41 \text{ kN.m} \quad \text{Momento resistente de cálculo antes da cura do concreto.}$$

4.Verificação da flambagem na alma

$M_{Sdo} = 96 \text{ kN.m}$ Momento fletor na viga antes da cura do concreto.

$W = 6.78E-4 \text{ m}^3$ Módulo elástico da seção de aço.

$h_p = 0.33 \text{ m}$ Altura comprimida da alma da viga.

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 48.17 \quad \text{Parâmetro de esbeltez.}$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \frac{h}{h_p} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 91.65 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.}$$

$$M_r = W_{ef} \cdot f_y = 233.78 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento.}$$

$$M_{pl} = 1,15 \cdot M_r = 268.85 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de plastificação da seção.}$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rk} = M_{pl} = 268.85 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor característico.}$$

O momento resistente de cálculo para verificação da viga antes da cura do concreto é:

$$M_{Rd} = 244.41 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor na viga antes da cura do concreto.}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Sdo} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{M_{Sdo}}{M_{Rd}} = 0.39 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5.Avaliação da posição da linha neutra plástica na laje de concreto

(A_f)_a: é o produto da área da seção da viga de aço pela sua resistência ao escoamento.

$$\frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,40} = 182142.86 \text{ kgf} \quad \text{Força de plastificação da laje de concreto.}$$

$$\frac{(A \cdot f_y)_a}{1,10} = 177052.75 \text{ kgf} \quad \text{Força de plastificação do perfil de aço.}$$

$$\frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_c}{1,40} \geq \frac{(A \cdot f_y)_a}{1,10} \quad \text{A linha neutra plástica passa na laje de concreto.}$$

$$T_{ad} = \frac{(A \cdot f_y)_a}{1,10} = 1770.53 \text{ kN} \quad \text{Resistência de cálculo da região tracionada do perfil de aço.}$$

$$a = \frac{T_{ad}}{\frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b}{1,40}} \leq t_c = 4.86 \text{ cm} \quad \text{Espessura comprimida da laje.}$$

$$C_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot a}{1,40} = 1770.53 \text{ kN} \quad \text{Resistência de cálculo da região comprimida da laje}$$

6. Determinação do momento resistente de cálculo

β_{vm} coeficiente dado conforme a capacidade de rotação da ligação. Para vigas biapoiadas é igual a 1,00.

$$M_{Rd} = \beta_{vm} \cdot T_{ad} \cdot \left[d_1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right] = 489.9 \text{ kN.m} \quad \text{Resistência de cálculo ao momento fletor.}$$

$$\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} = 0.56 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

7. Verificação ao esforço cortante

$\lambda = 48.17$ Parâmetro de esbeltez.

$\lambda_p = 59.96$ Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.

$\lambda_r = 74.67$ Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

$A_w = 2.43E-3 \text{ m}^2$ Área efetiva de cisalhamento.

$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 502.76 \text{ kN}$ Força cortante correspondente à plastificação.

$V_{Rk} = V_{pl} = 502.76 \text{ kN}$ Força cortante resistente característica.

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 457.06 \text{ kN}$ Força cortante resistente de cálculo.

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.3 \leq 1.0$ **OK!**

8.Determinação do número de conectores

Conector: STB 115.0x19.0

$A_{cs} = 2.84E-4 \text{ m}^2$ Área da seção transversal dos conectores.

$E_c = 4760 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 26071.59 \text{ MPA}$ Módulo de elasticidade do concreto.

$C_{red} = 0.42$ Coeficiente de redução.

$$Q_{Rd} = C_{red} \cdot \frac{A_{cs} \cdot f_{ucs}}{1,25} = 46 \text{ kN}$$

$$\frac{T_d}{Q_{Rd}} = 39 \quad \text{Número de conectores para meio vão}$$

Distribuição: 3 conectores a cada 274 mm (3 por nervura)

8.1. Verificação dos espaçamentos máximos e mínimos

$$e_{\text{máx}} = 8 \cdot t_c = 0,4 \text{ m}$$

0,25 m \leq 0,4 m **OK!**

$$e_{\text{mín}} = 4 \cdot \phi = 0,08 \text{ m}$$

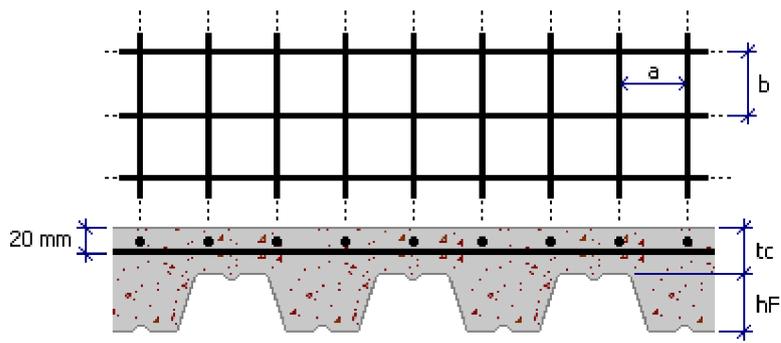
$$e_{\text{mín}} = b_f = 0,02 \text{ m}$$

0,25 m \geq 0,02 m **OK!**

9. Armadura adicional

9.1. Armadura de retração

Recomendações do fabricante da fôrma metálica



$$hF + tc = 130 \text{ mm}$$

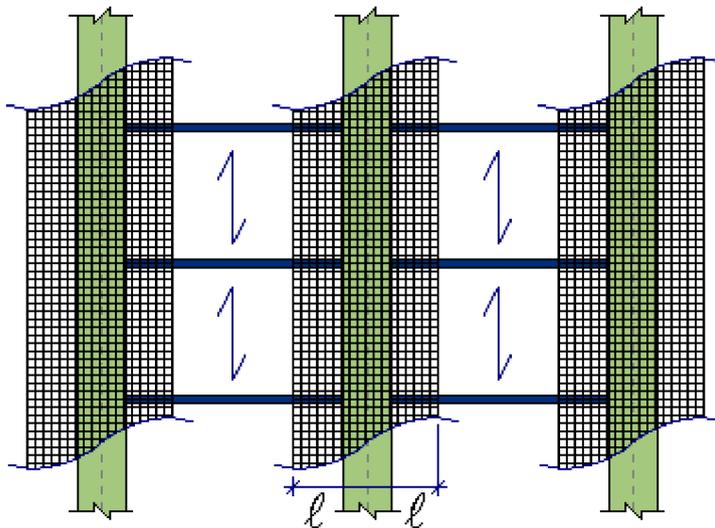
$$a = 150 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$\phi = 3.8 \text{ mm}$$

9.2. Armadura de fissuração

Recomenda-se uma malha de mesmas proporções que a de retração sobre as vigas de apoio.



l = Largura de influência da armadura de fissuração

10.Determinação da inércia da viga mista: Análise elástica simplificada

$$E_c = 4760 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 26071.59 \text{ MPA} \quad \text{Módulo de elasticidade do concreto.}$$

$\kappa = 2$ Coeficiente que leva em conta a fluência do concreto no cálculo da relação modular.

$$R_{MO} = \frac{E_a}{E_c} = 7.86 \quad \text{Relação modular para ações de curta duração.}$$

$$R_M = \kappa \cdot R_{MO} = 15.73 \quad \text{Relação modular para ações de longa duração.}$$

Para ações de curta duração

$I_{tr} = 4.2E-4 \text{ m}^4$ Momento de inércia da seção mista homogeneizada.

Para ações de longa duração

$I_{tr} = 3.48E-4 \text{ m}^4$ Momento de inércia da seção mista homogeneizada.

11.Peso da viga de aço e conectores

LAJE DE COBERTURA:W 360 x 44.0 com STB 115.0x19.0 a cada 250 mm

Viga	
Perfil	Peso
W 360 x 44.0	354.51 kgf
STB 115.0x19.0	4.1 kgf

Peso Total	358.6 kgf
-------------------	-----------

ANÁLISE

12.Dados gerais

Vão	8 m	Intervigas	2.5 m
Inércia Perfil	11926.35 cm ⁴	Inércia Viga Mista	34838.59 cm ⁴

13.Estado de Ações

AP Antes da Cura	7 kN/m	AP Depois da Cura	5 kN/m
SC Antes da Cura	2.5 kN/m	SC Depois da Cura	10 kN/m

14. Combinações de ações:

Combinções para dimensionamento				
Combinções	AP antes cura γ	SC antes cura γ	AP depois cura γ	SC depois cura γ
Combinção 1	1.25	1.3	---	---
Combinção 2	---	---	1.4	1.5

Combinções para cálculo da flecha				
Combinções	AP antes cura ψ	SC antes cura ψ	AP depois cura ψ	SC depois cura ψ
Combinção 3	1	1	---	---
Combinção 4	---	---	1	1

15. Cortantes:

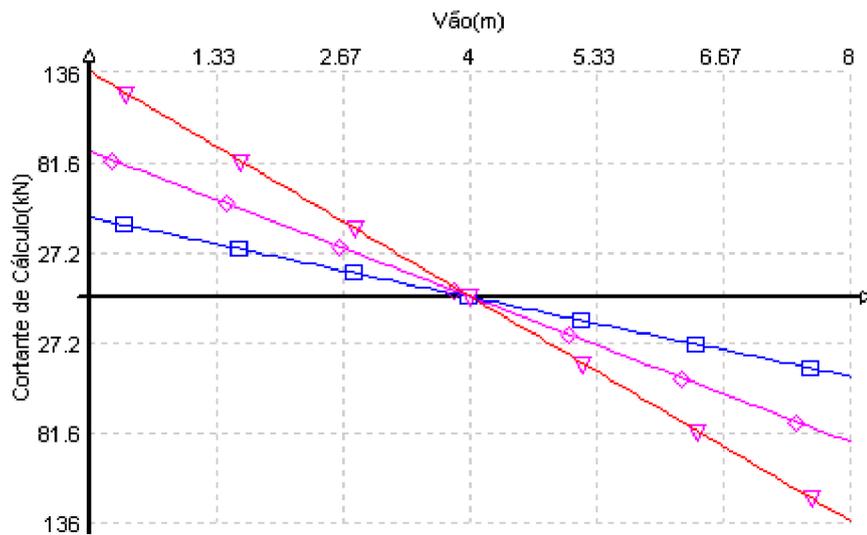
Combinção	Cortante Máximo(kN)	Posição(m)
Combinção 1 - Dimensionamento	48	0
Combinção 2 - Dimensionamento	88	0
Ação final	136	0

15.1. Diagrama de Cortantes:

 Combinção 1 - Dimensionamento

 Combinção 2 - Dimensionamento

 Ação final



16. Momentos:

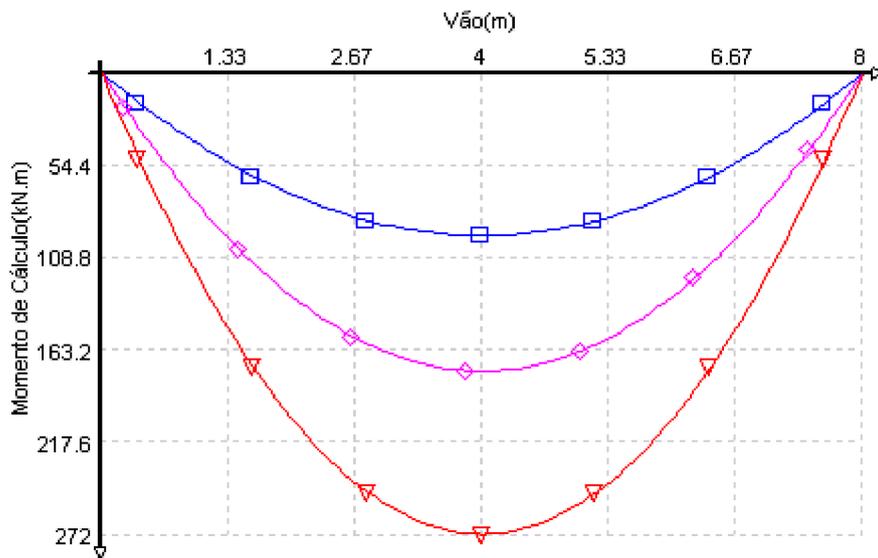
Combinação	Momento Máximo(kN.m)	Posição(m)
Combinação 1 - Dimensionamento	96	4
Combinação 2 - Dimensionamento	176	4
Ação final	272	4

16.1. Diagrama de Momentos:

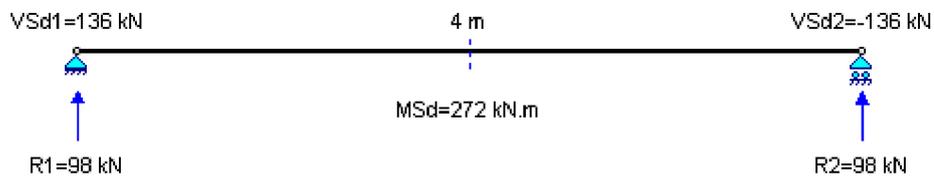
□ Combinação 1 - Dimensionamento

◇ Combinação 2 - Dimensionamento

▽ Ação final



17. REAÇÕES E SOLICITAÇÕES MÁXIMAS:



Estados	R1(kN)	R2(kN)
AP Antes da Cura	28	28
SC Antes da Cura	10	10
AP Depois da Cura	20	20
SC Depois da Cura	40	40

18. Diagrama de deslocamentos com Contra flecha:

$$CF = - (f_{AP0} + f_{AP2}) = 0 \text{ mm}$$

$$f_T = f_{AP0} + f_o + f_{AP2} + f_2 - CF = 31.92 \text{ mm}$$

$f_{AP0} = 15.27 \text{ mm}$ flecha máxima devido à ação permanente no lançamento.

$f_o = 5.45 \text{ mm}$ flecha máxima devido à sobrecarga no lançamento.

$f_{AP2} = 3.73 \text{ mm}$ flecha máxima relacionada à ação permanente após a cura.

$f_2 = 7.47 \text{ mm}$ flecha máxima relacionada à sobrecarga após a cura.

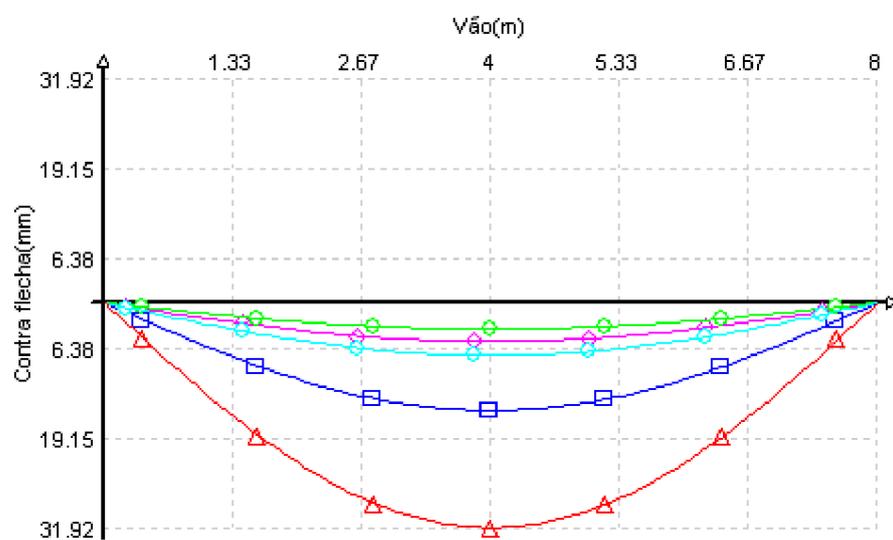
□ f_{AP0}

◇ f_o

◇ f_{AP2}

◇ f_2

△ f_T



Anexo C
Pilar Misto

Características do pilar	
Perfil	CS 400 x 165
Altura do perfil(d)	400 mm
Largura da mesa(bf)	400 mm
Espessura da mesa(tf)	19 mm
Espessura da alma(tw)	16 mm
Área do perfil(Ag)	209.92 cm ²
Momento de inércia em torno do eixo x(Iax)	61531.96 cm ⁴
Momento de inércia em torno do eixo y(Iay)	20279.02 cm ⁴
Tensão de escoamento do aço(fy)	345 MPA

Características do concreto	
Tensão característica do concreto(fck)	30 MPA
Área(Ac)	3630.08 cm ²

Momento de inércia em torno do eixo x(Icx)	1249188 cm ⁴
Momento de inércia em torno do eixo y(Icy)	1131721 cm ⁴

Cobrimentos	
Cobrimento na direção x(Cx)	100 mm
Cobrimento na direção y(Cy)	120 mm

Comprimentos de flambagem	
Comprimento de flambagem na direção X(KxLx)	4000 mm
Comprimento de flambagem na direção y(KyLy)	4000 mm

Solicitações	
Esforço normal atuante(Nsd)	6385 kN
Momento fletor atuante(Msd)	10721.34 kN.cm

2. Propriedades geométricas do perfil de aço

$E = 2050 \text{ kN/cm}^2$ Módulo de elasticidade do aço.

$I_{ax} = 61531.96 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da seção de aço na direção x.

$I_{ay} = 20279.02 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da seção de aço na direção y.

$A = 209.92 \text{ cm}^2$ Área da seção de aço.

3. Propriedades geométricas da armadura longitudinal

$A_s = 19.63 \text{ cm}^2$ Área da armadura longitudinal.

$I_s = 7.67 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da armadura longitudinal.

4. Propriedades geométricas do concreto

$E_c = 2607.16 \text{ kN/cm}^2$ Módulo de elasticidade do concreto.

$I_{cx} = 1249188 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da seção de concreto na direção x.

$I_{cy} = 1131721 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da seção de concreto na direção y.

$A_c = 3630.08 \text{ cm}^2$ Área da seção de concreto.

5. Flambagem local

$\lambda = 10.11$ Esbeltez do perfil parcialmente envolvido por concreto.

$\lambda_{lim} = 34.13$ Esbeltez limite do perfil parcialmente envolvido por concreto.

$$\lambda \leq \lambda_{lim}$$

$(EI)_{ex} = 3541344768 \text{ kN.cm}^2$ Rigidez do pilar na direção do eixo x.

$(EI)_{ey} = 2481281024 \text{ kN.cm}^2$ Rigidez do pilar na direção do eixo y.

$\alpha = 0.85$ Coeficiente relacionado ao efeito Rüsçh.

$N_{R,pl} = f_y \cdot A + \alpha \cdot f_{ck} \cdot A_c + f_{sy} \cdot A_{sy} = 17480.69 \text{ kN}$ Força normal resistente.

$$N_{Rd,pl} = \frac{f_y \cdot A}{1,10} + \frac{\alpha \cdot f_{ck} \cdot A_c}{1,40} + \frac{f_{sy} \cdot A_s}{1,15} = 14049.48 \text{ kN}$$
 Força normal resistente de cálculo.

$N_{ex} = 218447.95 \text{ kN}$ Força de flambagem elástica na direção x.

$N_{ey} = 153057.89 \text{ kN}$ Força de flambagem elástica na direção y.

$N_e = 153057.89 \text{ kN}$ Menor valor entre os dois acima.

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{N_{Rd,pl}}{N_e}} = 0.34 \quad \text{Esbeltez relativa no plano de flexão.}$$

$\lambda_{rel,lim} = 0.5$ Esbeltez relativa limite para desprezar efeito de retração e fluência no concreto.

$$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel,lim}$$

$\alpha = 0.49$ Fator associado às curvas de flambagem.

$\chi = 1.14$ Fator associado à flambagem.

$N_{c,Rd} = \chi \cdot N_{Rd,pl} = 16013.98 \text{ kN}$ Força normal resistente de cálculo.

$N_{c,Rd} \geq N_{Sd} \quad \text{OK!} = 0.4 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$

6. Cálculo do momento fletor

6.1. Momento fletor em torno do eixo x

LNP na alma do perfil de aço.

$f_{yd} = 31.36 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo do aço.

$f_{cd} = 1.82 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo do concreto à compressão.

$f_{ys} = 50 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo da armadura longitudinal.

$Z_a = 3419.78 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço.

$Z_c = 57602.98 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção de concreto.

$Z_{an} = 312.25 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço.

$Z_{cn} = 11188.55 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção de concreto.

$Z_s = 417.24 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da armadura longitudinal.

$Z_{sn} = 208.62 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da armadura longitudinal.

$$M_{Rd,pl,x} = f_{yd} \cdot (Z_a - Z_{an}) + 0,5 \cdot f_{cd} \cdot (Z_c - Z_{cn}) + f_{sd} \cdot (Z_s - Z_{sn}) = 157874.55 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd,pl,x} \geq M_{Sdx} \quad \text{OK!} = 0.07 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.2.Momento fletor em torno do eixo y

LNP na mesa do perfil de aço.

$f_{yd} = 31.36 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo do aço.

$f_{cd} = 1.82 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo do concreto à compressão.

$f_{sd} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo da armadura longitudinal.

$Z_a = 1543.17 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço.

$Z_c = 55639.59 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção de concreto.

$Z_{an} = 62.82 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço.

$Z_{cn} = 396.43 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção de concreto.

$Z_s = 417.24 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da armadura longitudinal.

$Z_{sn} = 208.62 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da armadura longitudinal.

$$M_{Rd,pl,y} = f_{yd} \cdot (Z_a - Z_{an}) + 0,5 \cdot f_{cd} \cdot (Z_c - Z_{cn}) + f_{sd} \cdot (Z_s - Z_{sn}) = 114880.72 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd,pl,y} \geq M_{Sdy} \quad \text{OK!} = 0.08 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

7.Equações de interação

$$N_c = \frac{\alpha \cdot f_{ck} \cdot A_c}{\gamma_c} = 6611.93 \text{ kN}$$

$$M_{c,x} = 0,90 \cdot M_{Rd,pl,x} = 142087.09 \text{ kN.cm}$$

$$M_{c,y} = 0,90 \cdot M_{Rd,pl,y} = 103392.65 \text{ kN.cm}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 31.36 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{sd} = \frac{f_{ys}}{\gamma_s} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 1.82 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{\max,Rd,pl,x} = f_{yd} \cdot Z_{pa} + 0,5 \cdot f_{cd} \cdot Z_{pc} + f_{sd} \cdot Z_{ps} = 177857.45 \text{ kN.cm}$$

$$M_{\max,Rd,pl,y} = f_{yd} \cdot Z_{pa} + 0,5 \cdot f_{cd} \cdot Z_{pc} + f_{sd} \cdot Z_{ps} = 117212.12 \text{ kN.cm}$$

$$M_{d,x} = 0,8 \cdot M_{\max,Rd,pl,x} = 142285.97 \text{ kN.cm}$$

$$M_{d,y} = 0,8 \cdot M_{\max,Rd,pl,y} = 93769.7 \text{ kN.cm}$$

$$\frac{N_c}{2} < N_{sd} < N_c$$

$$\mu_x = 2 \cdot \left(\frac{M_{d,x} - M_{c,x}}{N_c} \right) \cdot \left(\frac{N_{sd} - \frac{N_c}{2}}{M_{d,x}} \right) = 1.3E-3$$

$$\mu_y = 2 \cdot \left(\frac{M_{d,y} - M_{c,y}}{N_c} \right) \cdot \left(\frac{N_{sd} - \frac{N_c}{2}}{M_{d,y}} \right) = -0.1$$

= 0.08 ≤ 1.0 **OK!**

Características do pilar	
Perfil	CS 400 x 165
Altura do perfil(d)	400 mm
Largura da mesa(bf)	400 mm
Espessura da mesa(tf)	19 mm
Espessura da alma(tw)	16 mm
Área do perfil(Ag)	209.92 cm ²
Momento de inércia em torno do eixo x(I_{ax})	61531.96 cm ⁴
Momento de inércia em torno do eixo y(I_{ay})	20279.02 cm ⁴
Tensão de escoamento do aço(f_y)	345 MPa

Características do concreto	
Tensão característica do concreto(f_{ck})	30 MPa
Área(A_c)	3630.08 cm ²
Momento de inércia em torno do eixo x(I_{cx})	1249188 cm ⁴
Momento de inércia em torno do eixo y(I_{cy})	1131721 cm ⁴

Cobrimentos	
Cobrimento na direção x(C_x)	100 mm
Cobrimento na direção y(C_y)	120 mm

Comprimentos de flambagem	
Comprimento de flambagem na direção X(K_xL_x)	4000 mm
Comprimento de flambagem na direção y(K_yL_y)	4000 mm

Solicitações	
Esforço normal atuante(Nsd)	3319 kN
Momento fletor atuante(Msd)	14950.21 kN.cm

2.Propriedades geométricas do perfil de aço

$E = 2050 \text{ kN/cm}^2$ Módulo de elasticidade do aço.

$I_{ax} = 61531.96 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da seção de aço na direção x.

$I_{ay} = 20279.02 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da seção de aço na direção y.

$A = 209.92 \text{ cm}^2$ Área da seção de aço.

3.Propriedades geométricas da armadura longitudinal

$A_s = 19.63 \text{ cm}^2$ Área da armadura longitudinal.

$I_s = 7.67 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da armadura longitudinal.

4.Propriedades geométricas do concreto

$E_c = 2607.16 \text{ kN/cm}^2$ Módulo de elasticidade do concreto.

$I_{cx} = 1249188 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da seção de concreto na direção x.

$I_{cy} = 1131721 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da seção de concreto na direção y.

$A_c = 3630.08 \text{ cm}^2$ Área da seção de concreto.

5.Flambagem local

$\lambda = 10.11$ Esbeltez do perfil parcialmente envolvido por concreto.

$\lambda_{lim} = 34.13$ Esbeltez limite do perfil parcialmente envolvido por concreto.

$$\lambda \leq \lambda_{lim}$$

$(EI)_{ex} = 3541344768 \text{ kN.cm}^2$ Rigidez do pilar na direção do eixo x.

$(EI)_{ey} = 2481281024 \text{ kN.cm}^2$ Rigidez do pilar na direção do eixo y.

$\alpha = 0.85$ Coeficiente relacionado ao efeito Rüsç.

$N_{R,pl} = f_y \cdot A + \alpha \cdot f_{ck} \cdot A_c + f_{sy} \cdot A_{sy} = 17480.69 \text{ kN}$ Força normal resistente.

$$N_{Rd,pl} = \frac{f_y \cdot A}{1,10} + \frac{\alpha \cdot f_{ck} \cdot A_c}{1,40} + \frac{f_{sy} \cdot A_s}{1,15} = 14049.48 \text{ kN}$$
 Força normal resistente de cálculo.

$N_{ex} = 218447.95 \text{ kN}$ Força de flambagem elástica na direção x.

$N_{ey} = 153057.89 \text{ kN}$ Força de flambagem elástica na direção y.

$N_e = 153057.89 \text{ kN}$ Menor valor entre os dois acima.

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{N_{R,pl}}{N_e}} = 0.34$$
 Esbeltez relativa no plano de flexão.

$\lambda_{rellim} = 0.5$ Esbeltez relativa limite para desprezar efeito de retração e fluência no concreto.

$$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rellim}$$

$\alpha = 0.49$ Fator associado às curvas de flambagem.

$\chi = 1.14$ Fator associado à flambagem.

$N_{c,Rd} = \chi \cdot N_{Rd,pl} = 16013.98 \text{ kN}$ Força normal resistente de cálculo.

$N_{c,Rd} \geq N_{sd}$ **OK!** = $0.21 \leq 1.0$ **OK!**

6.Cálculo do momento fletor

6.1.Momento fletor em torno do eixo x

LNP na alma do perfil de aço.

$f_{yd} = 31.36 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo do aço.

$f_{cd} = 1.82 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo do concreto à compressão.

$f_{ys} = 50 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo da armadura longitudinal.

$Z_a = 3419.78 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço.

$Z_c = 57602.98 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção de concreto.

$Z_{an} = 312.25 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço.

$Z_{cn} = 11188.55 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção de concreto.

$Z_s = 417.24 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da armadura longitudinal.

$Z_{sn} = 208.62 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da armadura longitudinal.

$M_{Rd,pl,x} = f_{yd} \cdot (Z_a - Z_{an}) + 0,5 \cdot f_{cd} \cdot (Z_c - Z_{cn}) + f_{sd} \cdot (Z_s - Z_{sn}) = 157874.55 \text{ kN.cm}$

$M_{Rd,pl,x} \geq M_{Sdx}$ **OK!** = $0.09 \leq 1.0$ **OK!**

6.2.Momento fletor em torno do eixo y

LNP na mesa do perfil de aço.

$f_{yd} = 31.36 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo do aço.

$f_{cd} = 1.82 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo do concreto à compressão.

$f_{sd} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$ Resistência de cálculo da armadura longitudinal.

$Z_a = 1543.17 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço.

$Z_c = 55639.59 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção de concreto.

$Z_{an} = 62.82 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço.

$Z_{cn} = 396.43 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da seção de concreto.

$Z_s = 417.24 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da armadura longitudinal.

$Z_{sn} = 208.62 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência plástico da armadura longitudinal.

$$M_{Rd,pl,y} = f_{yd} \cdot (Z_a - Z_{an}) + 0,5 \cdot f_{cd} \cdot (Z_c - Z_{cn}) + f_{sd} \cdot (Z_s - Z_{sn}) = 114880.72 \text{ kN.cm}$$

$$M_{Rd,pl,y} \geq M_{Sdy} \quad \text{OK!} = 0.02 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

7.Equações de interação

$$N_c = \frac{\alpha \cdot f_{ck} \cdot A_c}{\gamma_c} = 6611.93 \text{ kN}$$

$$M_{c,x} = 0,90 \cdot M_{Rd,pl,x} = 142087.09 \text{ kN.cm}$$

$$M_{c,y} = 0,90 \cdot M_{Rd,pl,y} = 103392.65 \text{ kN.cm}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 31.36 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{sd} = \frac{f_{ys}}{\gamma_s} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 1.82 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{\max,Rd,pl,x} = f_{yd} \cdot Z_{pa} + 0,5 \cdot f_{cd} \cdot Z_{pc} + f_{sd} \cdot Z_{ps} = 177857.45 \text{ kN.cm}$$

$$M_{\max,Rd,pl,y} = f_{yd} \cdot Z_{pa} + 0,5 \cdot f_{cd} \cdot Z_{pc} + f_{sd} \cdot Z_{ps} = 117212.12 \text{ kN.cm}$$

$$M_{d,x} = 0,8 \cdot M_{\max,Rd,pl,x} = 142285.97 \text{ kN.cm}$$

$$M_{d,y} = 0,8 \cdot M_{\max,Rd,pl,y} = 93769.7 \text{ kN.cm}$$

$$\frac{N_c}{2} < N_{sd} < N_c$$

$$\mu_x = 2 \cdot \left(\frac{M_{d,x} - M_{c,x}}{N_c} \right) \cdot \left(\frac{N_{sd} - \frac{N_c}{2}}{M_{d,x}} \right) = 5.51E-6$$

$$\mu_y = 2 \cdot \left(\frac{M_{d,y} - M_{c,y}}{N_c} \right) \cdot \left(\frac{N_{sd} - \frac{N_c}{2}}{M_{d,y}} \right) = -4.05E-4$$

= 0.13 ≤ 1.0 **OK!**