

MEMORIAL DE CÁLCULO

Cobertura Pátio Centro de Ensino Fundamental 14

OBRA: CEF 14 - SETOR P EQNP 28/32 – CEILÂNDIA - DF

PROPRIETÁRIO: GDF – Secretaria do Estado do Distrito Federal



Engenheiro Civil Sérgio Júnio Sampaio CREA 26036/D-DF
Brasília – DF
Fevereiro de 2021

SUMÁRIO

SUMÁRIO	2
1.0 CONSIDERAÇÕES DE CÁLCULO	3
2.0 CARREGAMENTOS	3
4.0 – DIMENSIONAMENTO – ESTRUTURA METÁLICA	10
4.1- Dimensionamento Banzo Superior (Mais Solicitado)	10
4.2 - Dimensionamento Banzo Inferior (Mais Solicitado).....	14
4.3 - Dimensionamento Diagonais e Montantes (Mais solicitado)	18
4.4 – Dimensionamento Tirantes.....	23
4.5 – Dimensionamento Pilar	24
4.6 – Dimensionamento Placa de Base.....	27
4.7 – Dimensionamento Terças	35
4.7.1 – Terça Cobertura.....	35
4.7.3 – Terça Fechamento/ Oitão	42
4.8 – Resumo Dimensionamento.....	46
5.0 - Combinações e Reações Nodais	47

1.0 CONSIDERAÇÕES DE CÁLCULO

O presente relatório refere-se ao cálculo da cobertura do pátio, a cobertura será de duas águas medindo 12.7m x 30.65m totalizando uma área de 389.25m², com pé direito de 6.55m e fechamento lateral de 3.7m em todo o perímetro do galpão. Localizado no Ceilândia – DF.

Será elaborado o memorial de cálculo para as treliças do galpão, terças para a cobertura e fechamento, pilares metálicos e placa de base.

Os eixos das tesouras e dos pilares são a cada 5.11m nas laterais e os pilares de oitão a cada 4.23m. A cobertura terá 5 Linhas de terças em cada queda, e espaçamento de cálculo com 1.60m.

2.0 CARREGAMENTOS

Ação Permanente: Telha Metálica Trapezoidal MF 25 - 5 kgf/m²

Peso próprio da estrutura metálica, gerada automaticamente pelo software de cálculo.

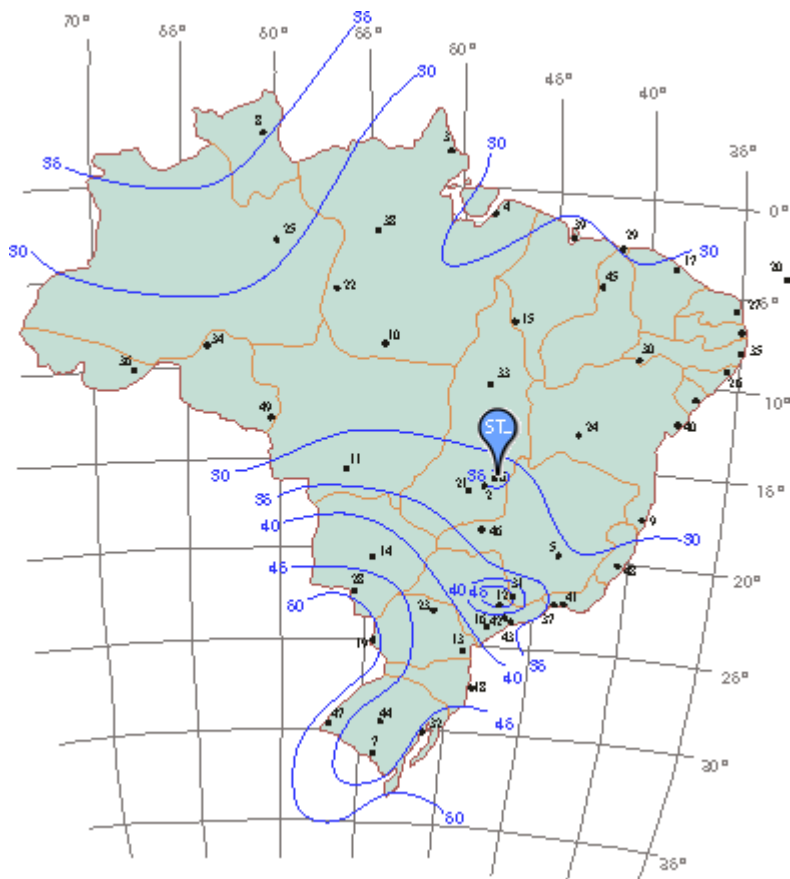
Sobrecarga de manutenção: 25 kgf/m² conforme NBR 8800:2008

Carga de Vento conforme NBR 6123:1988

3. AÇÃO DO VENTO NA EDIFICAÇÃO

3.1. DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO

3.1.1. Velocidade básica do vento



$V_o = 36 \text{ m/s}$

3.1.2. Fator topográfico S1

$S_1 = 1,00$

Terreno plano ou fracamente acidentado

3.1.3. Fator que relaciona rugosidade, dimensões da edificação e altura sobre o terreno S2

Rugosidade do terreno: categoria IV

Dimensões da edificação: classe B

$Z = 7,80 \text{ m}$ Altura acima do terreno

$S_2 = 0,81$

3.1.4. Fator estatístico S3

Edificação Grupo 2

$S_3 = 1,00$

3.1.5. Pressão dinâmica

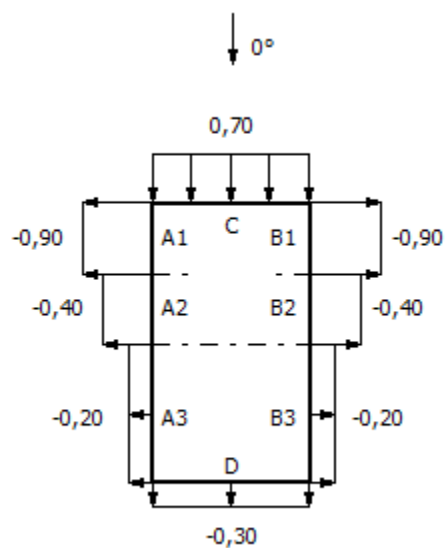
$V_o = 36 \text{ m/s}$ Velocidade básica do vento

$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 29,07 \text{ m/s}$ Velocidade característica do vento

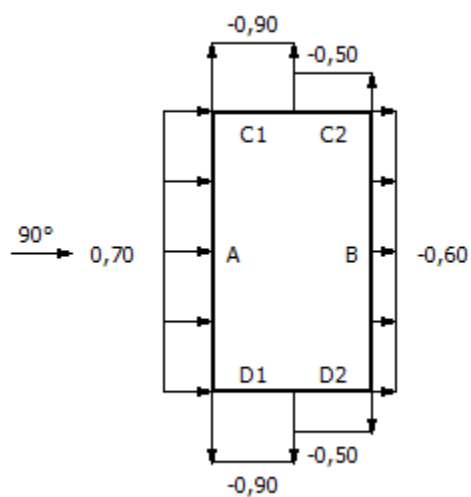
$q = 0,613 \cdot V_k^2 = 52,82 \text{ kgf/m}^2$

3.2. COEFICIENTES DE FORMA EXTERNO PARA PAREDES PERIFÉRICAS

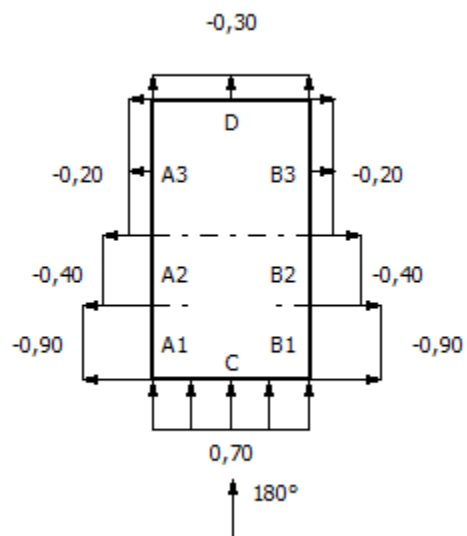
Vento a 0°



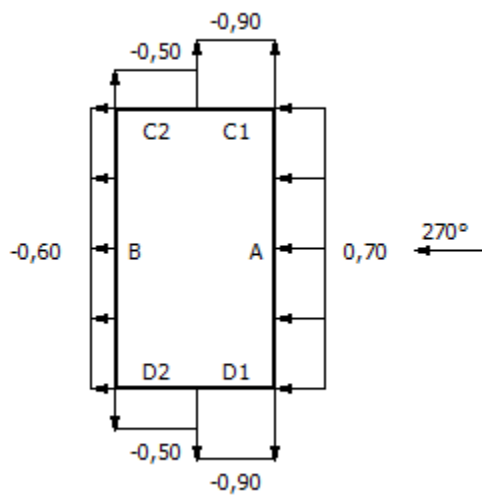
Vento a 90°



Vento a 180°



Vento a 270°



3.3. COEFICIENTES DE FORMA EXTERNO PARA TELHADOS COM DUAS ÁGUAS EM EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR

Vento a 0°

| 0°
↓

E -0,83	G -0,83
F -0,60	H -0,60
I -0,20	J -0,20

Vento a 90°

90°
→

E -1,04	G -0,60
F -1,04	H -0,60
I -1,04	J -0,60

Vento a 180°

I -0,20	J -0,20
F -0,60	H -0,60
E -0,83	G -0,83

↑ 180°

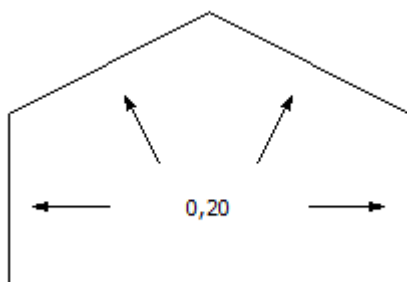
Vento a 270°

G -0,60	E -1,04	← 270°
H -0,60	F -1,04	
J -0,60	I -1,04	

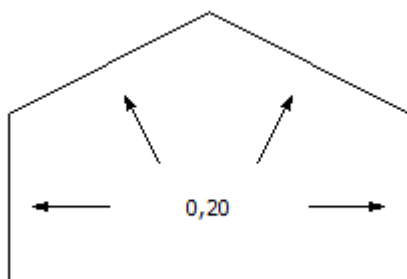
3.4. COEFICIENTES DE PRESSÃO INTERNA

Valores dos coeficientes de pressão interna definidos pelo usuário:

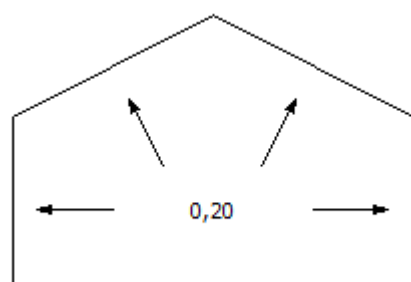
Vento a 0°



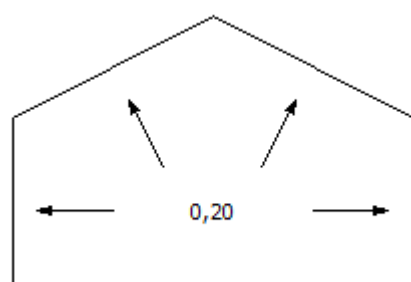
Vento a 90°



Vento a 180°



Vento a 270°



4.0 – DIMENSIONAMENTO – ESTRUTURA METÁLICA

Para o dimensionamento foi utilizado as normas técnicas vigentes referente aos estados limites últimos e de serviço ELU e ELS conforme NBR 8681:2003, e conforme as combinações de Ações para os mesmos.

Os softwares utilizados para cálculos foram o Mcalc3D, McalcPerfis, ST_Terças da Stabile e as normas técnicas vigentes. NBR 8800:2008, NBR 14762:2010.

4.1- Dimensionamento Banzo Superior (Mais Solicitado)

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

Perfil U (Formado a frio)

Perfil: [100 x 50 x 2.65
Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_t L_t = 0,8 \text{ m}$ $K_z L_z = 0,8 \text{ m}$
 $K_y L_y = 1,61 \text{ m}$ $L_b = 0,8 \text{ m}$

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 11407,05 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 12167,52 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 11407,05 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,59 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 59571,15 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 38694,26 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 27225,07 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{\chi_o^2}{r_o^2} = 0,66$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 22566,59 \text{ kgf}$$

$$N_e = 22566,59 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0,75$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0,79$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 7779,04 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 9491,68 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 7779,04 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,63 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 0,05 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{PL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 314,62 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 1695,25 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,48 \quad \lambda_o \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0$$

$$\chi_{FLT} = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 0,05 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{cef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 314,62 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{Rdx} = 314,62 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{yef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z}$$

$$d = 0,04 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$x_{G \text{ final}} = x_G + d = 0,01 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{x_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 206,24 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z}$$

4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$C_s = 1,00$$

$C_m = 1,00$
 $j = 0,06 \text{ m}$ Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010
 $M_e = \frac{C_s \cdot N_{ey}}{C_m} \cdot \left[j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2 \cdot \left(\frac{N_{et}}{N_{ey}} \right)} \right] = 7455,35 \text{ kgf.m}$ Momento fletor de flambagem lateral com torção
 $W_c = 0,00 \text{ m}^3$ Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida
 $\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,17$ $\lambda_o \leq 0,6$ então $\chi_{FLT} = 1,0$
 $\chi_{FLT} = 1,00$ Fator de redução associado à flambagem lateral com torção
 $\sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2$ Cálculo de W_{cef} na tensão
 $A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2$ Área efetiva da seção
 $I_{yef} = 0,00 \text{ m}^4$ Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z
 $d = 0,04 \text{ m}$ Rebaixamento total do eixo baricêntrico
 $X_{G \text{ final}} = X_G + d = 0,01 \text{ m}$ Posição final do eixo baricêntrico
 $I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4$ Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico
 $W_{ef} = \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3$ Módulo elástico efetivo
 $M_{yRd} = 206,24 \text{ kgf.m}$ Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y
 $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,00 < 1,00$ OK!

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$\lambda = \frac{h}{t} = 16,87$ Parâmetro de esbeltez
 $k_v = 5,00$ Coeficiente de flambagem local por cisalhamento
 $\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31$ Parâmetro de esbeltez limite para plastificação
 $\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54$ Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento $\lambda \leq \lambda_p$ então
 $V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$
 $V_{Rdy} = 3230,59 \text{ kgf}$ Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y
 $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00$ OK!

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 33,74 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 3230,59 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zsd}}{V_{zRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{csd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zsd}}{M_{zRd}} = 0,63$$

$$\frac{N_{csd}}{N_{oRd}} + \frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zsd}}{M_{zRd}} = 0,63$$

$$\frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zsd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tsd}}{N_{tRd}} = 0,59$$

$$\frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zsd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tsd}}{N_{tRd}} = 0,59$$

4.2 - Dimensionamento Banzo Inferior (Mais Solicitado)

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

Perfil U (Formado a frio)

Perfil: [100 x 50 x 2.65

Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_t L_t = 0,79 \text{ m}$ $K_z L_z = 0,79 \text{ m}$

$K_y L_y = 1,59 \text{ m}$ $L_b = 0,79 \text{ m}$

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 11407,05 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 12167,52 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 11407,05 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,44 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 61079,22 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 39680,06 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 27832,01 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{\chi_o^2}{r_o^2} = 0,66$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 23084,37 \text{ kgf}$$

$$N_e = 23084,37 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0,74$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0,80$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 7813,93 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 9491,68 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 7813,93 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,86 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{xef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 0,05 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdx}^{FL} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 314,62 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}
 \end{aligned}$$

3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned}
 M_e &= C_b \cdot r_o \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 1735,78 \text{ kgf.m} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\
 W_c &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\
 \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,47 && \lambda_o \leq 0,6 \text{ então } \chi_{FLT} = 1,0
 \end{aligned}$$

$$\chi_{FLT} = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{xef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 0,05 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{cef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdx}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 314,62 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \\
 M_{Rdx} &= 314,62 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y} \\
 \frac{SOLIC.}{RESIST.} &= \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 && \text{OK!}
 \end{aligned}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,04 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}
 \end{aligned}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = \frac{0,00 \text{ m}^3}{0,00 \text{ m}} \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = \frac{78,82 \text{ kgf.m}}{1,10} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z}$$

4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$C_s = -1,00$$

$$C_m = 1,00$$

$$j = 0,06 \text{ m} \quad \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010}$$

$$M_e = \frac{C_s \cdot N_{ey}}{C_m} \cdot \left[j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2 \cdot \left(\frac{N_{et}}{N_{ey}} \right)} \right] = 606,85 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = \frac{0,38}{0,38} \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0$$

$$\chi_{FLT} = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{yef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$X_{G \text{ final}} = X_G + d = 0,04 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = \frac{0,00 \text{ m}^3}{0,00 \text{ m}} \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdy}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = \frac{78,82 \text{ kgf.m}}{1,10} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{yRd} = 78,82 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = \frac{0,00}{78,82} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{16,87}{16,87} \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = \frac{68,31}{68,31} \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \quad \text{então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 3230,59 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 33,74 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \quad \text{então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 3230,59 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,86$$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{oRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,86$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,44$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,44$$

4.3 - Dimensionamento Diagonais e Montantes (Mais solicitado)

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

Perfil U (Formado a frio)

Perfil: [92 x 30 x 2

Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$ **COMPRIIMENTOS DA BARRA** $K_t L_t = 0,5 \text{ m}$ $K_z L_z = 0,5 \text{ m}$ $K_y L_y = 0,5 \text{ m}$ $L_b = 0,5 \text{ m}$ **1. Cálculo da Tração** $C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 6545,45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 6981,82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 6545,45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,34 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 268781,70 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 17983,21 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 19641,50 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{\chi_o^2}{r_o^2} = 0,84$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 19406,63 \text{ kgf}$$

$$N_e = 17983,21 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0,63$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0,85$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 4964,63 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 5612,03 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 4964,63 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,64 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 0,05 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 164,20 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 725,61 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,50 \quad \lambda_o \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0$$

$$\chi_{FLT} = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 0,05 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{cef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 164,20 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{Rdx} = 164,20 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{yef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z}$$

$$d = 0,02 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$X_{G \text{ final}} = X_G + d = 0,01 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 75,75 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z}$$

4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$C_s = 1,00$$

$$C_m = 1,00$$

$$j = 0,05 \text{ m} \quad \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010}$$

$$M_e = \frac{C_s \cdot N_{ey}}{C_m} \cdot \left[j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2 \cdot \left(\frac{N_{et}}{N_{ey}} \right)} \right] = 27856,45 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,05 \quad \lambda_o \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0$$

$$\chi_{FLT} = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{yef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z}$$

$$d = 0,02 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$X_{G \text{ final}} = X_G + d = 0,01 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{yRd} = 75,75 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 13,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 1418,18 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 42,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 2290,91 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,64$$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{oRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,64$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,34$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,34$$

4.4 – Dimensionamento Tirantes

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

Perfil Ferro redondo

Perfil: RED 12.7

Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_t L_t = 0,01 \text{ m}$ $K_z L_z = 0,01 \text{ m}$

$K_y L_y = 0,01 \text{ m}$ $L_b = 0,01 \text{ m}$

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida

$A_n = 0,00 \text{ m}^2$ Área líquida da seção transversal

$A_e = C_T \cdot A_n = 0,00 \text{ m}^2$ Área líquida efetiva da seção transversal

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 2879,02 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$N_{tRd} = 2879,02 \text{ kgf}$ Força normal resistente de cálculo à tração

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,26 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 2520661,47 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 2520661,47 \text{ kgf}$$

$N_e = 2520661,47 \text{ kgf}$

$Q = 1,00$ Fator de redução associado à instabilidade local

$$N_{pl} = A \cdot f_y = 3166,92 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e}} = 0,04$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 1,00$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,10} = 2877,51 \text{ kgf}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,13 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4.5 – Dimensionamento Pilar

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

Perfil Caixa (Formado a frio)

Perfil: CA 300 x 100 x 25 x 3

Aço: ASTM A36 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 400 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_t L_t = 6,55 \text{ m}$ $K_z L_z = 1,64 \text{ m}$

$K_y L_y = 1,64 \text{ m}$ $L_b = 6,55 \text{ m}$

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 71727,27 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 76509,09 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 71727,27 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,03 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 3117311,61 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 1524142,58 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 19268697,09 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{\chi_o^2}{r_o^2} = 1,00$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 3117311,61 \text{ kgf}$$

$$N_e = 1524142,58 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0,23$$

$$\lambda_0 \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_0)^2 = 0,98$$

Elemento A.A. com $b/t > 60$.

Elemento A.A. com $b/t > 60$.

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 39702,94 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

Elemento A.A. com $b/t > 60$.

Elemento A.A. com $b/t > 60$.

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 40271,19 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 39702,94 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,01 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 0,16 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 5515,44 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot G \cdot I_t} = 1380857,91 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,06 \quad \lambda_0 \leq 0,6 \text{ então } \chi_{FLT} = 1,0$$

$\chi_{FLT} = 1,00$ Fator de redução associado à flambagem lateral com torção

Cálculo de W_{cef} na tensão $\sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2$

$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2$ Área efetiva da seção

$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4$ Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

$d = 0,01 \text{ m}$ Rebaixamento total do eixo baricêntrico

$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 0,16 \text{ m}$ Posição final do eixo baricêntrico

$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4$ Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

$W_{cef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3$ Módulo elástico efetivo

$M_{Rdx}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 5515,44 \text{ kgf.m}$ Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

$M_{Rdx} = 5515,44 \text{ kgf.m}$ Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,86 < 1,00$ OK!

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2$ Área efetiva da seção

$I_{yef} = 0,00 \text{ m}^4$ Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

$d = 0,02 \text{ m}$ Rebaixamento total do eixo baricêntrico

$x_{G \text{ final}} = x_G + d = 0,12 \text{ m}$ Posição final do eixo baricêntrico

$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4$ Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

$W_{ef} = \frac{I_G}{x_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3$ Módulo elástico efetivo

$M_{Rdy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 2805,47 \text{ kgf.m}$ Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z

$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,00 < 1,00$ OK!

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$\lambda = \frac{h}{t} = 62,67$ Parâmetro de esbeltez

$k_v = 5,00$ Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31$ Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54$ Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento $\lambda \leq \lambda_p$ então

$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$

$$V_{Rdy} = 15381,82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$$\lambda = \frac{h}{t} = 96,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

$\lambda > \lambda_r$ então

$$V_{Rd} = \frac{(0,905 \cdot t^3 \cdot k_v \cdot E) / h}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 15426,14 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0,07 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

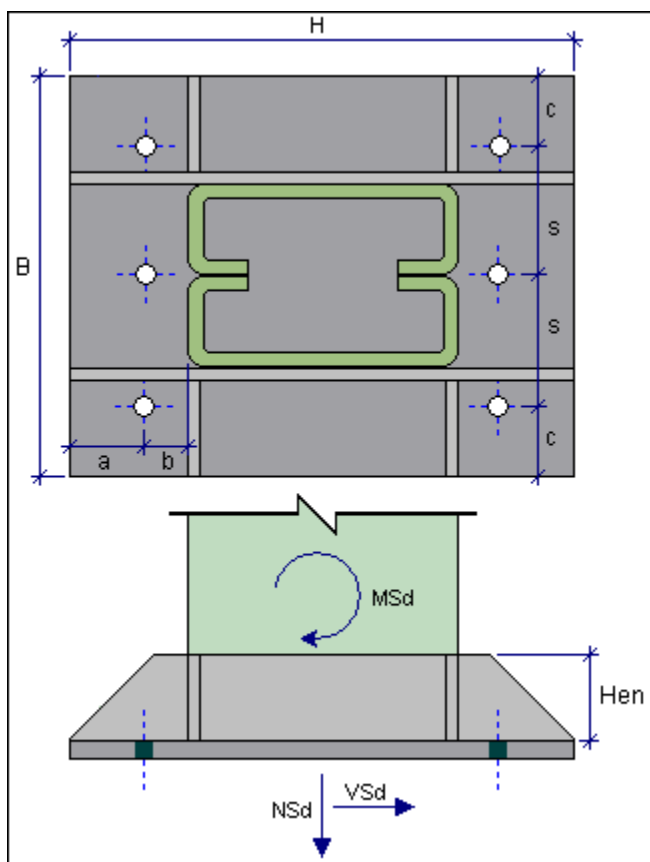
7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,86$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,89$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,83$$

4.6 – Dimensionamento Placa de Base



1.DADOS DE ENTRADA

Solicitações de cálculo: Combinação 11

Esforço normal atuante na placa(Nsd)	1671.43 kgf
Esforço cortante atuante na placa(Vsd)	1195.42 kgf
Momento atuante na placa(Msd)	6689.9 kgf.m

Chumbadores

Tipo	SAE 1020
Tensão de escoamento(f_y)	240 MPa
Tensão de ruptura(f_u)	400 MPa
Diâmetro	22 mm
Comprimento de ancoragem mínimo dos chumbadores(Lanc)	424 mm
Número de chumbadores(nch)	6

Tipo de borda

Borda	Laminada ou lisa, sem entalhes cortada a maçarico.
--------------	--

Concreto

Resistência característica do concreto(f_{ck})	25 MPa
Altura da placa de base(H_c)	700 mm

Largura da placa de base(Bc)	600 mm
------------------------------	--------

Placa de base	
Altura da base de concreto(H)	500 mm
Largura da base de concreto(B)	400 mm
Espessura da placa de base(tp)	25 mm
Aço	ASTM A36
Tensão de escoamento(fy)	250 MPa
Tensão de ruptura(fu)	400 MPa

Espaçamentos	
Espaçamento entre os chumbadores na vertical(s)	150 mm
Distância entre chumbadores e borda na vertical(c)	50 mm
Distância entre chumbadores e borda na horizontal(a)	50 mm
Distância entre chumbadores e a mesa da coluna na horizontal(b)	50 mm

Enrijecedores	
Altura do enrijecedor(Hen)	150 mm
Espessura do enrijecedor(ten)	10 mm
Aço	ASTM A36
Tensão de escoamento(fy)	250 MPa
Tensão de ruptura(fu)	400 MPa

Eletrodo	
Tipo	7 ou E 70XX
Tensão de ruptura da solda(fw)	485 MPa
Espessura do filete de solda(bw)	25 mm

Coluna	
Perfil	CA 300 x 100 x 25 x 3
Aço	ASTM A36
Tensão de escoamento(fy)	250 MPa
Tensão de ruptura(fu)	400 MPa

2.Cálculo do comprimento mínimo de ancoragem dos chumbadores de acordo com a NBR 6118/2003

$f_{ck} = 2500000 \text{ kgf/m}^2$ Resistência característica do concreto.
 $f_{yd} = 20869566 \text{ kgf/m}^2$ Resistência do chumbador à tração.

$\phi = 0.02 \text{ m}$ Diâmetro do chumbador

$\eta_1 = 1,00$ Parâmetro considerado para barras lisas

$\eta_2 = 1,00$ Parâmetro associado à boa aderência entre concreto e chumbador

$$\eta_3 = 1,00 \quad \text{Parâmetro associado ao diâmetro do chumbador}$$

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot \left(f_{ck}\right)^{2/3} = 256496.39 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{Resistência média à tração}$$

$$f_{ct,d} = \frac{0,7 \cdot f_{ct,m}}{1,40} = 128248.2 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{Resistência à tração direta}$$

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ct,d} = 128248.2 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{Resistência de aderência de cálculo entre chumbador e concreto}$$

$$l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = 0.9 \text{ m} \quad \text{Comprimento básico (reto) de ancoragem}$$

OBS.: recomenda-se um raio de dobra de $2 \cdot \phi$ e um comprimento reto mínimo de 100 mm para o gancho.

3. Resistência do concreto

$A_1 = 0.2 \text{ m}^2$ É a área carregada sob a placa de apoio.

$A_2 = 0.42 \text{ m}^2$ É a área da superfície de concreto.

$$\frac{R_{Rknc}}{\gamma} = \frac{0,70 \cdot f_{ck} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}}{1,40 \cdot 1,40} \leq f_{ck} = 1293873 \text{ kgf/m}^2$$

4. Verificação das dimensões da placa de base

$$f_c = \frac{N_{sd}}{H \cdot B} = 8357.15 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{Pressão na placa de base.}$$

$$f_c \leq \frac{R_{Rknc}}{\gamma} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_c}{R_{Rknc} / \gamma} = 0.01 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5. Avaliação da solicitação na placa de base

$$m = H - a = 0.45 \text{ m} \quad \text{Parâmetro geométrico utilizado no cálculo da posição da linha neutra.}$$

$P = 0$ Parâmetro utilizado no cálculo da posição da linha neutra

$Z = 380.25$ Parâmetro para avaliação do esforço na placa de base.

$$Z > 0 \quad \text{Há compressão no concreto.}$$

6. Determinação da posição da linha neutra

$$A_s = 1.14 \text{E-}3 \text{ m}^2 \quad \text{Área dos chumbadores na região tracionada}$$

$$\mu = \frac{A_s}{B \cdot m} = 0.01 \quad \text{Parâmetro geométrico utilizado no cálculo da posição da linha}$$

$$k^3 - 3 \cdot p \cdot k^2 + 6 \cdot n \cdot \mu \cdot (1 - p) \cdot k - 6 \cdot n \cdot \mu \cdot (1 - p) = 0$$

$$K = 0.27$$

$$LN = k \cdot m = 0.12 \text{ m} \quad \text{Posição da linha neutra.}$$

7. Verificação dos chumbadores

7.1. Esforços nos chumbadores

$V_o = 199.24 \text{ kgf}$ Esforço cortante em cada chumbador.
 $T_o = 5721.16 \text{ kgf}$ Esforço de tração em cada chumbador.
 $A_{ch} = 0 \text{ m}^2$ Área de cada chumbador.

7.2. Resistência de cálculo à tração dos chumbadores

$$F_{Rdt} = \frac{0,75 \cdot A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} = 8447.39 \text{ kgf}$$

$$F_{Rdt} \geq T_o \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{T_o}{F_{Rdt}} = 0.68 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

7.3. Resistência de cálculo ao cisalhamento

$$F_{Rds} = \frac{0,40 \cdot A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} = 4505.28 \text{ kgf}$$

$$F_{Rds} \geq V_o \quad \text{OK!}$$

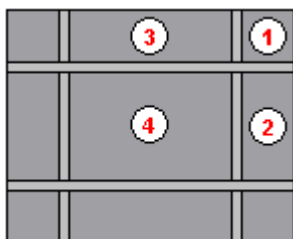
$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{V_o}{F_{Rds}} = 0.04 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

7.4. Interação tração + cisalhamento

$$\frac{A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} - 1,90 \cdot F_{Sdv} = 10884.64 \text{ kgf}$$

$$F_{Sdt} \leq \frac{A_{ch} \cdot f_{uch}}{1,35} - 1,90 \cdot F_{Sdv} \quad \text{OK!}$$

8. Verificação da placa de base



8.1.Cálculo do Momento Fletor Máximo no Setor 1

$$\alpha_1 = \frac{a+b}{z} = 1$$

$$\alpha_1 \leq 1,0$$

$$\beta_1 = \frac{0,38}{1 + 31,21 \cdot e^{-5,43 \cdot \alpha_1}} = 0.33$$

$$M_{01} = \beta_1 \cdot f_{c1} \cdot z^2 = 2171.31$$

8.2.Cálculo do Momento Fletor Máximo no Setor 2

$$\alpha_2 = \frac{a+b}{b_f} = 0.5$$

$$\alpha_2 \leq 1,0$$

$$\beta_2 = \frac{0,093}{1 + 36,60 \cdot e^{-10,22 \cdot \alpha_2}} = 0.08$$

$$M_{02} = \beta_2 \cdot f_{c1} \cdot b_f^2 = 1979.14$$

8.3.Cálculo do Momento Fletor Máximo no Setor 3

$$\alpha_3 = \frac{b_f - t_w}{2 \cdot (d - 2 \cdot t_f)} = 0.66$$

$$\alpha_3 \leq 1,0$$

$$\beta_3 = \frac{0,04}{1 + 22,40 \cdot e^{-5,48 \cdot \alpha_3}} = 0.02$$

$$M_{03} = \beta_3 \cdot f_{c0} \cdot h_w^2 = 0$$

$M_o = 21.71 \text{ kgf.m}$ Momento fletor máximo.

$M_p = 294.64 \text{ kgf.m}$ Momento máximo devido a tração.

$t_p = 0.03 \text{ m}$ Espessura da placa de base.

$$t_{pmin1} = \sqrt{\frac{16 \cdot M_o}{3 \cdot f_y}} = 0.02 \text{ m} \quad \text{Espessura mínima em função da flexão na placa.}$$

$$t_{pmin2} = \sqrt{\frac{16 \cdot M_p}{3 \cdot L \cdot f_y}} = 0.02 \text{ m} \quad \text{Espessura mínima em função da tração máxima no chumbador.}$$

$$t_p \geq t_{pmin} \quad \text{OK!}$$

9.Verificação dos enrijecedores

9.1.Verificação da seção paralela à placa de base

$f_{en1} = 7884616.5 \text{ kgf/m}^2$ Tensão paralela à placa de base.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{f_y}{1,10} = 22727272 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{Resistência de cálculo à tensão normal.}$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{en1} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_{en1}}{R_{Rkn}/\gamma} = 0.35 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

9.2.Verificação da seção perpendicular à placa de base

$f_{en2} = 15028772 \text{ kgf/m}^2$ Tensão perpendicular à placa de base.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{f_y}{1,10} = 22727272 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{Resistência de cálculo à tensão normal.}$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{en2} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_{en2}}{R_{Rkn}/\gamma} = 0.66 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

9.3.Verificação da tensão cisalhante

$f_v = 7721206.5 \text{ kgf/m}^2$ Tensão cisalhante.

$$\frac{R_{Rkw}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_y}{1,10} = 13636364 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{Resistência de cálculo à tensão cisalhante.}$$

$$\frac{R_{Rkw}}{\gamma} \geq f_v \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_v}{R_{Rkvw} / \gamma} = 0.57 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

10. Verificação da solda dos enrijecedores

$f_r = 4493199 \text{ kgf/m}^2$ Tensão resultante na solda.

$$\frac{R_{Rkrs1}}{\gamma} = \frac{0.6 \cdot f_y \cdot \sqrt{2}}{1.10} = 19284730 \text{ kgf/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkrs2}}{\gamma} = \frac{0.6 \cdot f_w}{1.35} = 21555556 \text{ kgf/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkrs}}{\gamma} = 19284730 \text{ kgf/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkrs}}{\gamma} \geq f_r \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_r}{R_{Rkrs} / \gamma} = 0.23 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

11. Verificação das soldas do perfil com a placa de base

11.1. Verificação das soldas das mesas

$f_{sm} = 11120413 \text{ kgf/m}^2$ Tensão resultante nas soldas das mesas

$$f_{Rd1} = \frac{0.6 \cdot f_y \cdot \sqrt{2}}{1.10} = 19284730 \text{ kgf/m}^2$$

$$f_{Rd2} = \frac{0.6 \cdot f_w}{1.35} = 21555556 \text{ kgf/m}^2$$

$$f_{Rd} = 19284730 \text{ kgf/m}^2$$

$$f_{Rd} \geq f_{sm} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{S_d}{R_d} = \frac{f_{sm}}{f_{Rd}} = 0.58 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

11.2. Verificação das soldas da alma

$f_r = 1456313.13 \text{ kgf/m}^2$ Tensão resultante nas soldas da alma

$$f_{Rd1} = \frac{0.6 \cdot f_y \cdot \sqrt{2}}{1.10} = 19284730 \text{ kgf/m}^2$$

$$f_{Rd2} = \frac{0,6 \cdot f_w}{1,35} = 21555556 \text{ kgf/m}^2$$

$$f_{Rd} = 19284730 \text{ kgf/m}^2$$

$$f_{Rd} \geq f_r \quad \text{OK!}$$

$$\frac{S_d}{R_d} = \frac{f_r}{f_{Rd}} = 0.08 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

4.7 – Dimensionamento Terças

4.7.1 – Terça Cobertura

1. DADOS GEOMÉTRICOS

Aplicação:	Cobertura, tipo 2 água
Perfil:	Tipo U Enrigecido
Sistema:	Terça biapoiada
Características:	Largura: 12.70m; Comprimento: 30.65m; Posição da Cumeeira: 6.35m; Pé direito: 6.55m; Inclinação do Telhado: 14.90%; 1 linhas de correntes; Mesa superior da terça lateralmente contida;
Modulação:	6 módulos(5.11)
Água Esquerda:	4 interterças(1.61;1.61;1.61;1.61)
	4 interterças(1.61;1.61;1.61;1.61)

2. CARREGAMENTO

Aplicação:	Telha: peso próprio de 6.00 kgf/m ²
Sobrecarga:	25.00 kgf/m ²
Pressão Dinâmica:	40.50 kgf/m ²

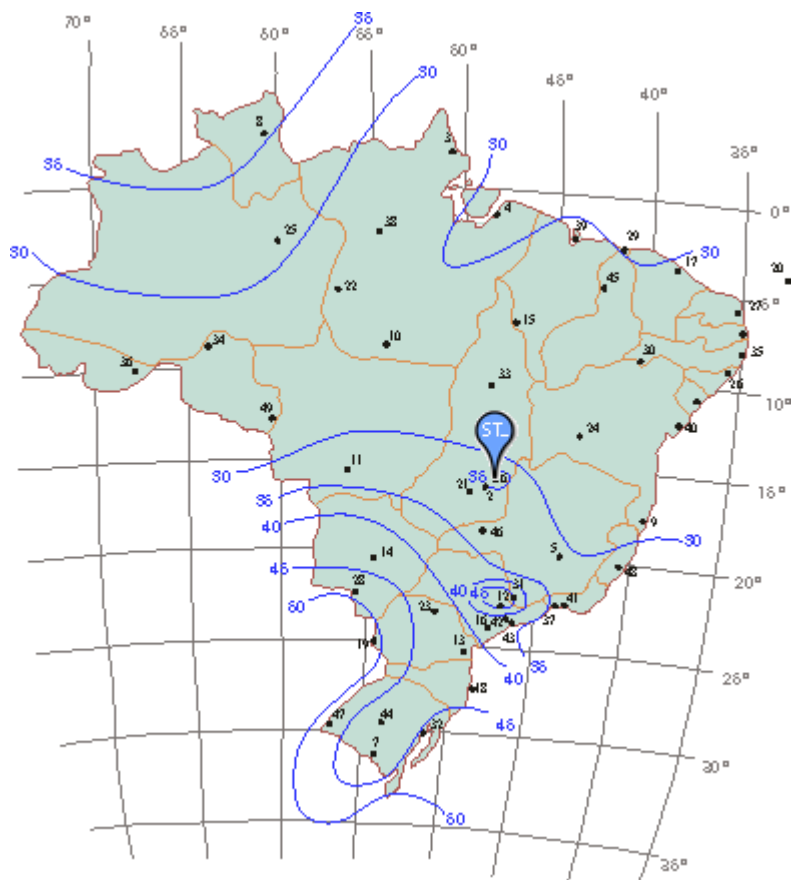
Ações Lineares:	Interterça adotado: 1.61 m
	Ação Perm.: -13.48 kgf/m
	Utilidades: 0 kgf/m
	Sobrecarga: -40.25 kgf/m
	Vento 90°: 67.81 kgf/m
	Vento 0°: 54.12 kgf/m
	PI/90°: 13.04 kgf/m
	PI/0°: 13.04 kgf/m

CC: -50.00 kgf

3. AÇÃO DO VENTO NA EDIFICAÇÃO

3.1. DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO

3.1.1. Velocidade básica do vento



$V_o = 36 \text{ m/s}$

3.1.2. Fator topográfico S_1

$S_1 = 1,00$

Terreno plano ou fracamente acidentado

3.1.3. Fator que relaciona rugosidade, dimensões da edificação e altura sobre o terreno S_2

Rugosidade do terreno: categoria IV

Dimensões da edificação: classe A

$Z = 7,500 \text{ m}$ Altura acima do terreno

$S_2 = 0,83$

3.1.4. Fator estatístico S_3

Edificação Grupo 4

$$S_3 = 0,88$$

3.1.5. Pressão dinâmica

$V_0 = 36 \text{ m/s}$ Velocidade básica do vento

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 26,32 \text{ m/s} \quad \text{Velocidade característica do vento}$$

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 = 43,30 \text{ kgf/m}^2$$

3.2. COEFICIENTES DE FORMA EXTERNO PARA PAREDES DE EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR

Vento a 0°

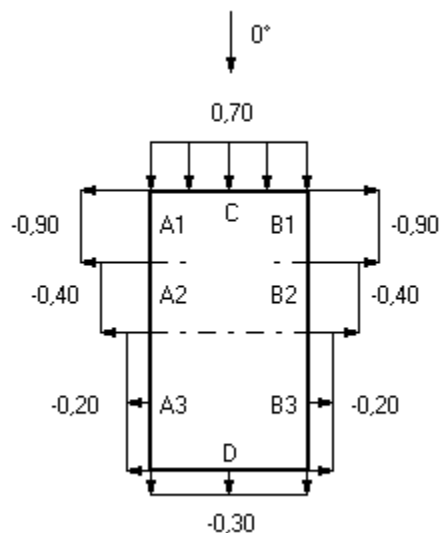
$a = 30,65 \text{ m}$ Maior dimensão horizontal da edificação

$b = 12,70 \text{ m}$ Menor dimensão horizontal da edificação

$h = 6,55 \text{ m}$ Altura da edificação

$$a_1 = \text{Max} \left(\frac{b}{3}; \frac{a}{4} \right) \leq 2 \cdot h = 7,66 \text{ m}$$

$$a_2 = \frac{a}{2} - a_1 = 7,66 \text{ m}$$



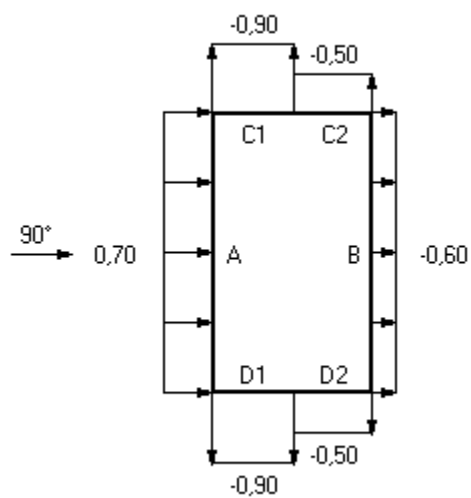
Vento a 90°

$a = 30,65 \text{ m}$ Maior dimensão horizontal da edificação

$b = 12,70 \text{ m}$ Menor dimensão horizontal da edificação

$h = 6,55 \text{ m}$ Altura da edificação

$$b_1 = \text{Min} \left(\frac{b}{2}; 2 \cdot h \right) = 6,35 \text{ m}$$



3.3. COEFICIENTES DE FORMA EXTERNO PARA TELHADOS COM DUAS ÁGUAS EM EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR

Vento a 0°

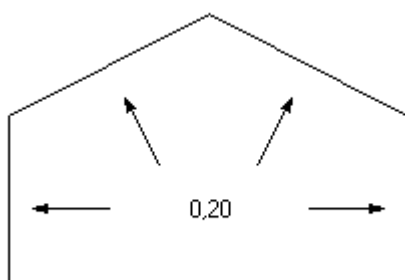
E -0,83	G -0,83
F -0,60	H -0,60
I -0,20	J -0,20

Vento a 90°

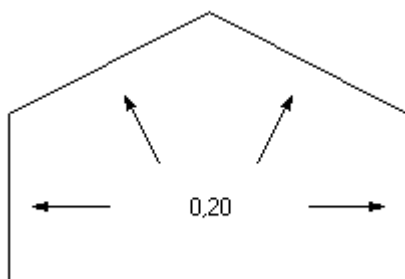
	E -1,04	G -0,60
90° →	F -1,04	H -0,60
	I -1,04	J -0,60

3.4. COEFICIENTES DE PRESSÃO INTERNA

Vento a 0°



Vento a 90°



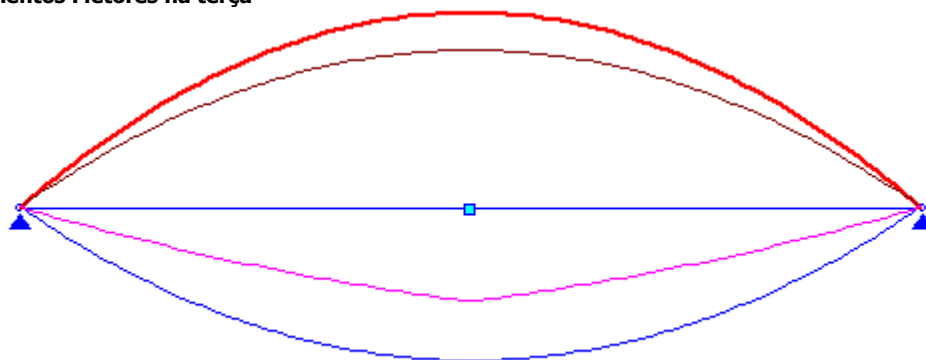
3. ANÁLISE

Combinações de Ações:	Combinação 1: $1.35 \cdot \text{Ação Perm.} + 1.35 \cdot \text{Utilidades} + 1.50 \cdot \text{Sobrecarga} = -78.57 \text{ kgf/m}$
	Combinação 2: $1.00 \cdot \text{Ação Perm.} + 1.40 \cdot \text{Vento } 90^\circ + 1.40 \cdot \text{PI}/90^\circ = 99.72 \text{ kgf/m}$
	Combinação 3: $1.00 \cdot \text{Ação Perm.} + 1.40 \cdot \text{Vento } 0^\circ + 1.40 \cdot \text{PI}/0^\circ = 80.55 \text{ kgf/m}$
	Combinação 4: $1.40 \cdot \text{Ação Perm.} = -18.87 \text{ kgf/m}$ $P = 1.50 \cdot \text{CC} = -75.00 \text{ kgf}$

4. RESULTADOS DA ANÁLISE

Diagrama de Momentos Fletores na terça

Combinação 1
Combinação 2
Combinação 3
Combinação 4

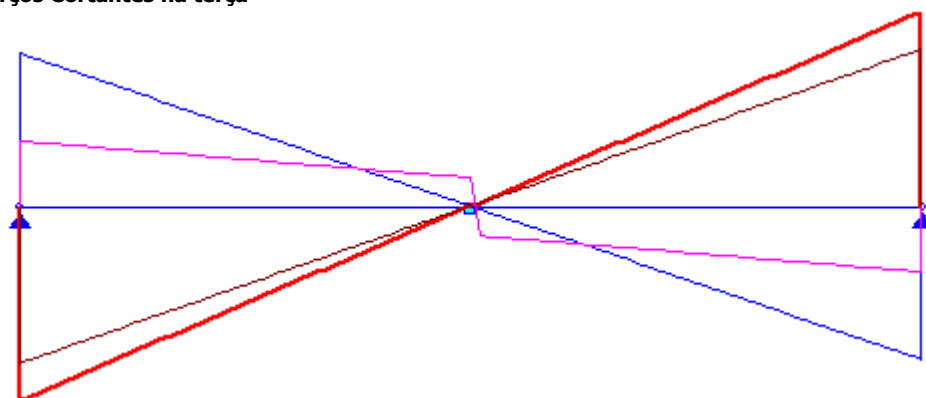


Valores máximos:

Tramo 1	-325.49 kgf.m	Apoio 1	1.3E-5 kgf.m
		Apoio 2	6.7E-6 kgf.m

Diagrama de Esforços Cortantes na terça

Combinação 1
Combinação 2
Combinação 3
Combinação 4



Valores máximos:

		Apoio 1 Direita	-254.79 kgf
Apoio 2 Esquerda	254.79 kgf		

Diagrama de Deformada

Combinação 1



Combinação 2



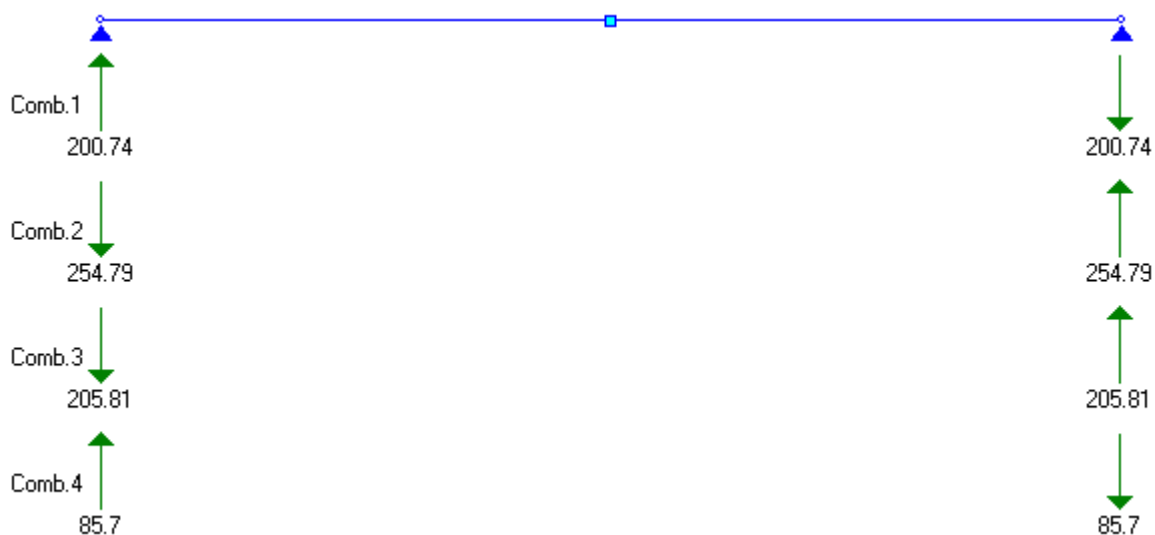
Combinação 3



Combinação 4



Reações de apoio



Valores máximos:

5.DIMENSIONAMENTO

Perfis Adotados:

UENR 125 x 50 x 17 x 2
Flexão: $S_d/R_d=0.99$; Corte: $S_d/R_d=0.08$;

6.LISTA DE PERFIS

Quantidade	Descrição	Perfil	Comp. Unitário(mm)
5	Terça1	UENR 125 x 50 x 17 x 2	5110
5	Terça2	UENR 125 x 50 x 17 x 2	5110

5	Terça3	UENR 125 x 50 x 17 x 2	5110
5	Terça4	UENR 125 x 50 x 17 x 2	5110
5	Terça5	UENR 125 x 50 x 17 x 2	5110
5	Terça6	UENR 125 x 50 x 17 x 2	5110

4.7.3 – Terça Fechamento/ Oitão

1. DADOS GEOMÉTRICOS

Aplicação:	Fechamento Lateral, tipo 2 água
Perfil:	Tipo U Enrignado
Sistema:	Terça biapoiada
Características:	Largura: 12.70m; Comprimento: 30.65m; Posição da Cumeeira: 6.35m; Pé direito: 6.55m; Inclinação do Telhado: 14.90%; 1 linhas de correntes; Mesa superior da terça lateralmente contida;
Modulação:	6 módulos(5.11)
Água Esquerda:	3 interterças(1.23;1.23;1.23)
	3 interterças(1.23;1.23;1.23)

2. CARREGAMENTO

Aplicação:	Telha: peso próprio de 6.00 kgf/m ²
Sobrecarga:	25.00 kgf/m ²
Pressão Dinâmica:	40.50 kgf/m ²
Ações Lineares:	Interterça adotado: 1.23 m
	Ação Perm.: -11.20 kgf/m
	Vento 90°: 34.87 kgf/m
	Vento 0°: 44.83 kgf/m, 0 kgf
	PI/90°: 9.96 kgf/m
	PI/0°: 9.96 kgf/m
	CC: -50.00 kgf

3. ANÁLISE

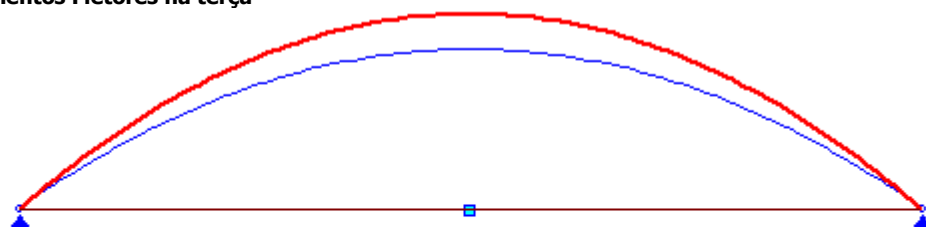
Combinações de Ações:	Combinação 1: $1.35 \cdot \text{Ação Perm.} + 1.40 \cdot \text{Vento } 90^\circ + 1.40 \cdot \text{PI}/90^\circ = 47.65 \text{ kgf/m}$
	Combinação 2: $1.35 \cdot \text{Ação Perm.} + 1.40 \cdot \text{Vento } 0^\circ + 1.40 \cdot \text{PI}/0^\circ = 61.60 \text{ kgf/m}$

	$P = 1.40 \cdot \text{Vento } 0^\circ = 0 \text{ kgf}$
	Combinação 3: $1.35 \cdot \text{Ação Perm.} = -15.11 \text{ kgf/m}$

4. RESULTADOS DA ANÁLISE

Diagrama de Momentos Fletores na terça

Combinação 1
Combinação 2
Combinação 3

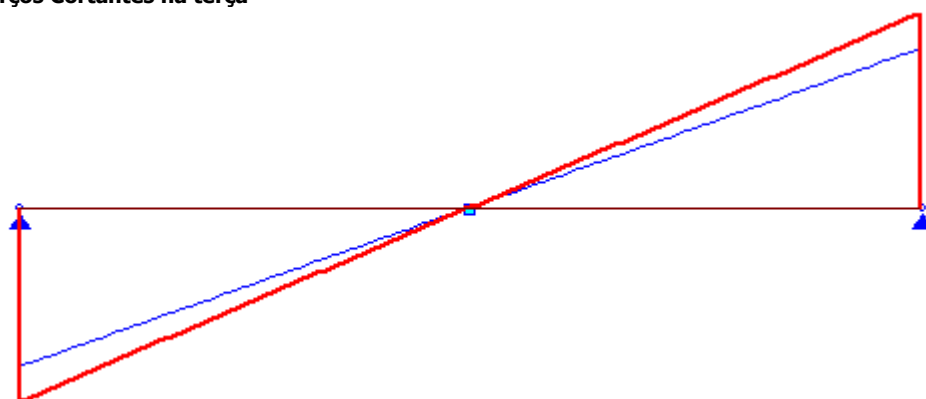


Valores máximos:

Tramo 1	-250.40 kgf.m	Apoio 1	5.7E-5 kgf.m
		Apoio 2	4.1E-5 kgf.m

Diagrama de Esforços Cortantes na terça

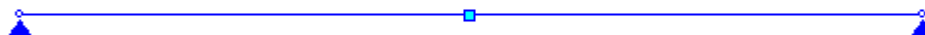
Combinação 1
Combinação 2
Combinação 3



Valores máximos:

		Apoio 1 Direita	-196.01 kgf
Apoio 2 Esquerda	196.01 kgf		

Diagrama de Esforços Normais na terça



Valores máximos:

Primeiro tramo	0 kgf
-----------------------	-------

Diagrama de Deformada

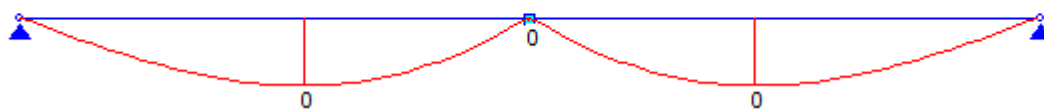
Combinação 1



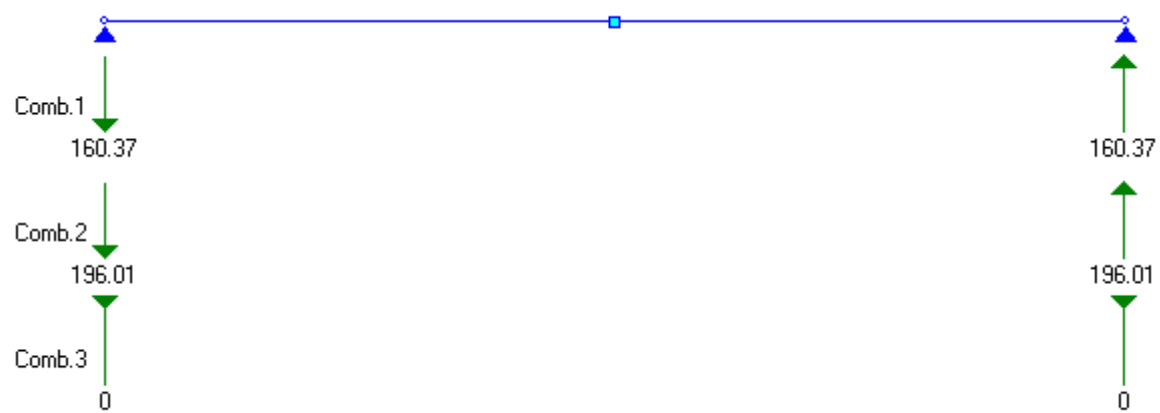
Combinação 2



Combinação 3



Reações de apoio



Valores máximos:

4.8 – Resumo Dimensionamento

- **Dimensionamento Banzo Superior:**

U SIMP 100x50 #2.65mm

- **Dimensionamento Banzo Inferior:**

U SIMP 100x50 #2.65mm

- **Dimensionamento Diagonais e Montantes:**

U SIMP 92x30 #2.00mm

- **Dimensionamento Tirantes:**

FER RED. Ø1/2" (12.7mm)

- **Dimensionamento Pilares:**

2x U ENR 300x100x25 #3.00

- **Dimensionamento Placa de Base**

CHAPA CORTADA 500x400 #5/8" (16mm)

ALETA REFORÇO 150x500 e 150X90 #5/16" (8mm)

- **Terça Cobertura**

U ENR 127x50x17 #14

Nº. de correntes: 01 LINHAS

- **Terça Fechamento / Terça Oitão**

U ENR 127x50x17 #14

Nº. de correntes: 01 LINHA

5.0 - Combinações e Reações Nodais

Unidades:	kgf	m	rad*1000
-----------	-----	---	----------

REAÇÕES NODAIS - Eixos Globais(não ponderadas)

Combinação 1: A.P.+Sobrecarga+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	7	-1	380	-1	18
2	15	1	1319	-5	99
3	16	1	1362	-2	105
4	16	0	1362	0	105
5	16	-1	1362	2	105
6	15	-1	1319	5	99
7	7	1	380	1	18
8	0	0	635	0	1
9	0	0	635	0	1
10	0	0	635	0	-1
11	0	0	635	0	-1
12	-7	-1	380	-1	-18
13	-15	1	1319	-5	-99
14	-16	1	1362	-2	-105
15	-16	0	1362	0	-105
16	-16	-1	1362	2	-105
17	-15	-1	1319	5	-99
18	-7	1	380	1	-18

Combinação 2: A.P.+V 90+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	607	59	500	-121	2509
2	427	2	-698	-6	2100
3	797	1	-671	-3	4521
4	797	0	-671	0	4521
5	797	-1	-671	3	4521
6	427	-2	-698	6	2100
7	607	-59	500	121	2509
8	137	378	-524	-1855	900
9	137	-378	-524	1855	900
10	138	680	71	-3339	901
11	138	-372	71	1826	901
12	632	110	-410	-219	2567
13	481	0	-918	-1	2338

14	853	0	-1036	-1	4770
15	853	0	-1036	0	4770
16	853	0	-1036	1	4770
17	481	0	-918	1	2338
18	632	-110	-410	219	2567

Combinação 3: A.P.+V 270+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	-632	110	-410	-219	-2567
2	-481	0	-918	-1	-2338
3	-853	0	-1036	-1	-4770
4	-853	0	-1036	0	-4770
5	-853	0	-1036	1	-4770
6	-481	0	-918	1	-2338
7	-632	-110	-410	219	-2567
8	-138	680	71	-3339	-901
9	-138	-680	71	3339	-901
10	-137	378	-524	-1855	-900
11	-137	-669	-524	3287	-900
12	-607	59	500	-121	-2509
13	-427	2	-698	-6	-2100
14	-797	1	-671	-3	-4521
15	-797	0	-671	0	-4521
16	-797	-1	-671	3	-4521
17	-427	-2	-698	6	-2100
18	-607	-59	500	121	-2509

Combinação 4: A.P.+V 0+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	119	-130	7	489	238
2	218	-57	-856	343	381
3	94	-56	-477	340	149
4	73	-55	-134	338	127
5	52	-55	209	336	105
6	52	-55	224	336	107
7	28	-88	197	401	55
8	0	-529	-174	2597	2
9	0	-227	189	1113	0
10	0	-529	-174	2597	-2
11	0	-227	189	1113	0
12	-119	-130	7	489	-238
13	-218	-57	-856	343	-381
14	-94	-56	-477	340	-149
15	-73	-55	-134	338	-127
16	-52	-55	209	336	-105
17	-52	-55	224	336	-107
18	-28	-88	197	401	-55

Combinação 5: A.P.+V 180+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	28	88	197	-401	55
2	52	55	224	-336	107
3	52	55	209	-336	105
4	73	55	-134	-338	127
5	94	56	-477	-340	149
6	218	57	-856	-343	381
7	119	130	7	-489	238
8	0	227	189	-1113	0
9	0	529	-174	-2597	2
10	0	227	189	-1113	0
11	0	529	-174	-2597	-2
12	-28	88	197	-401	-55
13	-52	55	224	-336	-107
14	-52	55	209	-336	-105
15	-73	55	-134	-338	-127
16	-94	56	-477	-340	-149
17	-218	57	-856	-343	-381
18	-119	130	7	-489	-238

Combinação 6: A.P.+V 90+PI V 90+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	632	83	439	-169	2560
2	474	2	-1028	-7	2177
3	844	1	-1013	-3	4596
4	844	0	-1013	0	4596
5	844	-1	-1013	3	4596
6	474	-2	-1028	7	2177
7	632	-83	439	169	2560
8	137	529	-647	-2597	900
9	137	-529	-647	2597	900
10	137	831	-52	-4081	901
11	137	-523	-52	2568	901
12	606	134	-470	-267	2516
13	434	0	-1248	-2	2261
14	806	0	-1379	-1	4695
15	806	0	-1379	0	4695
16	806	0	-1379	1	4695
17	434	0	-1248	2	2261
18	606	-134	-470	267	2516

Combinação 7: A.P.+V 270+PI V 270+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	-606	134	-470	-267	-2516

2	-434	0	-1248	-2	-2261
3	-806	0	-1379	-1	-4695
4	-806	0	-1379	0	-4695
5	-806	0	-1379	1	-4695
6	-434	0	-1248	2	-2261
7	-606	-134	-470	267	-2516
8	-137	831	-52	-4081	-901
9	-137	-831	-52	4081	-901
10	-137	529	-647	-2597	-900
11	-137	-820	-647	4029	-900
12	-632	83	439	-169	-2560
13	-474	2	-1028	-7	-2177
14	-844	1	-1013	-3	-4596
15	-844	0	-1013	0	-4596
16	-844	-1	-1013	3	-4596
17	-474	-2	-1028	7	-2177
18	-632	-83	439	169	-2560

Combinação 8: A.P.+V 0+PI V 0+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	145	-106	-53	442	288
2	265	-56	-1186	342	458
3	141	-56	-819	339	224
4	120	-55	-477	338	202
5	99	-55	-134	337	180
6	99	-55	-106	337	184
7	53	-111	137	449	106
8	0	-378	-297	1855	2
9	0	-378	66	1855	0
10	0	-378	-297	1855	-2
11	0	-378	66	1855	0
12	-145	-106	-53	442	-288
13	-265	-56	-1186	342	-458
14	-141	-56	-819	339	-224
15	-120	-55	-477	338	-202
16	-99	-55	-134	337	-180
17	-99	-55	-106	337	-184
18	-53	-111	137	449	-106

Combinação 9: A.P.+V 180+PI V 180+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	53	111	137	-449	106
2	99	55	-106	-337	184
3	99	55	-134	-337	180
4	120	55	-477	-338	202
5	141	56	-819	-339	224
6	265	56	-1186	-342	458

7	145	106	-53	-442	288
8	0	378	66	-1855	0
9	0	378	-297	-1855	2
10	0	378	66	-1855	0
11	0	378	-297	-1855	-2
12	-53	111	137	-449	-106
13	-99	55	-106	-337	-184
14	-99	55	-134	-337	-180
15	-120	55	-477	-338	-202
16	-141	56	-819	-339	-224
17	-265	56	-1186	-342	-458
18	-145	106	-53	-442	-288

Combinação 10: A.P.+V 90+Peso-Próprio

Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	607	59	500	-121	2509
2	427	2	-698	-6	2100
3	797	1	-671	-3	4521
4	797	0	-671	0	4521
5	797	-1	-671	3	4521
6	427	-2	-698	6	2100
7	607	-59	500	121	2509
8	137	378	-524	-1855	900
9	137	-378	-524	1855	900
10	138	680	71	-3339	901
11	138	-372	71	1826	901
12	632	110	-410	-219	2567
13	481	0	-918	-1	2338
14	853	0	-1036	-1	4770
15	853	0	-1036	0	4770
16	853	0	-1036	1	4770
17	481	0	-918	1	2338
18	632	-110	-410	219	2567

Combinação 11: A.P.+V 270+Peso-Próprio

Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	-632	110	-410	-219	-2567
2	-481	0	-918	-1	-2338
3	-853	0	-1036	-1	-4770
4	-853	0	-1036	0	-4770
5	-853	0	-1036	1	-4770
6	-481	0	-918	1	-2338
7	-632	-110	-410	219	-2567
8	-138	680	71	-3339	-901
9	-138	-680	71	3339	-901
10	-137	378	-524	-1855	-900
11	-137	-669	-524	3287	-900

12	-607	59	500	-121	-2509
13	-427	2	-698	-6	-2100
14	-797	1	-671	-3	-4521
15	-797	0	-671	0	-4521
16	-797	-1	-671	3	-4521
17	-427	-2	-698	6	-2100
18	-607	-59	500	121	-2509

Combinação 12: A.P.+V 0+Peso-Próprio

Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	119	-130	7	489	238
2	218	-57	-856	343	381
3	94	-56	-477	340	149
4	73	-55	-134	338	127
5	52	-55	209	336	105
6	52	-55	224	336	107
7	28	-88	197	401	55
8	0	-529	-174	2597	2
9	0	-227	189	1113	0
10	0	-529	-174	2597	-2
11	0	-227	189	1113	0
12	-119	-130	7	489	-238
13	-218	-57	-856	343	-381
14	-94	-56	-477	340	-149
15	-73	-55	-134	338	-127
16	-52	-55	209	336	-105
17	-52	-55	224	336	-107
18	-28	-88	197	401	-55

Combinação 13: A.P.+V 180+Peso-Próprio

Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	28	88	197	-401	55
2	52	55	224	-336	107
3	52	55	209	-336	105
4	73	55	-134	-338	127
5	94	56	-477	-340	149
6	218	57	-856	-343	381
7	119	130	7	-489	238
8	0	227	189	-1113	0
9	0	529	-174	-2597	2
10	0	227	189	-1113	0
11	0	529	-174	-2597	-2
12	-28	88	197	-401	-55
13	-52	55	224	-336	-107
14	-52	55	209	-336	-105
15	-73	55	-134	-338	-127
16	-94	56	-477	-340	-149

17	-218	57	-856	-343	-381
18	-119	130	7	-489	-238

Combinação 14: A.P.+V 90+PI V 90+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	632	83	439	-169	2560
2	474	2	-1028	-7	2177
3	844	1	-1013	-3	4596
4	844	0	-1013	0	4596
5	844	-1	-1013	3	4596
6	474	-2	-1028	7	2177
7	632	-83	439	169	2560
8	137	529	-647	-2597	900
9	137	-529	-647	2597	900
10	137	831	-52	-4081	901
11	137	-523	-52	2568	901
12	606	134	-470	-267	2516
13	434	0	-1248	-2	2261
14	806	0	-1379	-1	4695
15	806	0	-1379	0	4695
16	806	0	-1379	1	4695
17	434	0	-1248	2	2261
18	606	-134	-470	267	2516

Combinação 15: A.P.+V 270+PI V 270+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	-606	134	-470	-267	-2516
2	-434	0	-1248	-2	-2261
3	-806	0	-1379	-1	-4695
4	-806	0	-1379	0	-4695
5	-806	0	-1379	1	-4695
6	-434	0	-1248	2	-2261
7	-606	-134	-470	267	-2516
8	-137	831	-52	-4081	-901
9	-137	-831	-52	4081	-901
10	-137	529	-647	-2597	-900
11	-137	-820	-647	4029	-900
12	-632	83	439	-169	-2560
13	-474	2	-1028	-7	-2177
14	-844	1	-1013	-3	-4596
15	-844	0	-1013	0	-4596
16	-844	-1	-1013	3	-4596
17	-474	-2	-1028	7	-2177
18	-632	-83	439	169	-2560

Combinação 16: A.P.+V 0+PI V 0+Peso-Próprio					
--	--	--	--	--	--

Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	145	-106	-53	442	288
2	265	-56	-1186	342	458
3	141	-56	-819	339	224
4	120	-55	-477	338	202
5	99	-55	-134	337	180
6	99	-55	-106	337	184
7	53	-111	137	449	106
8	0	-378	-297	1855	2
9	0	-378	66	1855	0
10	0	-378	-297	1855	-2
11	0	-378	66	1855	0
12	-145	-106	-53	442	-288
13	-265	-56	-1186	342	-458
14	-141	-56	-819	339	-224
15	-120	-55	-477	338	-202
16	-99	-55	-134	337	-180
17	-99	-55	-106	337	-184
18	-53	-111	137	449	-106

Combinação 17: A.P.+V 180+PI V 180+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	53	111	137	-449	106
2	99	55	-106	-337	184
3	99	55	-134	-337	180
4	120	55	-477	-338	202
5	141	56	-819	-339	224
6	265	56	-1186	-342	458
7	145	106	-53	-442	288
8	0	378	66	-1855	0
9	0	378	-297	-1855	2
10	0	378	66	-1855	0
11	0	378	-297	-1855	-2
12	-53	111	137	-449	-106
13	-99	55	-106	-337	-184
14	-99	55	-134	-337	-180
15	-120	55	-477	-338	-202
16	-141	56	-819	-339	-224
17	-265	56	-1186	-342	-458
18	-145	106	-53	-442	-288

Combinação 18: A.P.+Sobrecarga+V 90+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	611	58	623	-120	2521
2	438	3	82	-9	2171
3	808	1	140	-5	4596
4	808	0	140	0	4596

5	808	-1	140	5	4596
6	438	-3	82	9	2171
7	611	-58	623	120	2521
8	137	378	-211	-1855	900
9	137	-378	-211	1855	900
10	137	680	384	-3339	900
11	137	-372	384	1826	900
12	627	108	-286	-218	2554
13	470	1	-138	-4	2267
14	841	1	-226	-2	4695
15	841	0	-226	0	4695
16	841	-1	-226	2	4695
17	470	-1	-138	4	2267
18	627	-108	-286	218	2554

Combinação 19: A.P.+Sobrecarga+V 270+Peso-Próprio

Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	-627	108	-286	-218	-2554
2	-470	1	-138	-4	-2267
3	-841	1	-225	-2	-4695
4	-841	0	-225	0	-4695
5	-841	-1	-225	2	-4695
6	-470	-1	-138	4	-2267
7	-627	-108	-286	218	-2554
8	-137	680	384	-3339	-900
9	-137	-680	384	3339	-900
10	-137	378	-211	-1855	-900
11	-137	-669	-211	3287	-900
12	-611	58	623	-120	-2521
13	-438	3	82	-9	-2171
14	-808	1	140	-5	-4596
15	-808	0	140	0	-4596
16	-808	-1	140	5	-4596
17	-438	-3	82	9	-2171
18	-611	-58	623	120	-2521

Combinação 20: A.P.+Sobrecarga+V 0+Peso-Próprio

Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	123	-132	131	491	250
2	229	-56	-76	340	452
3	105	-55	334	338	224
4	84	-55	677	338	202
5	63	-55	1019	338	180
6	63	-56	1004	340	178
7	32	-86	321	400	68
8	0	-529	139	2597	2
9	0	-227	502	1113	1

10	0	-529	139	2597	-2
11	0	-227	502	1113	-1
12	-123	-132	131	491	-250
13	-229	-56	-76	340	-452
14	-105	-55	334	338	-224
15	-84	-55	677	338	-202
16	-63	-55	1019	338	-180
17	-63	-56	1004	340	-178
18	-32	-86	321	400	-68

Combinação 21: A.P.+Sobrecarga+V 180+Peso-Próprio

Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	32	86	321	-400	68
2	63	56	1004	-340	178
3	63	55	1019	-338	180
4	84	55	677	-338	202
5	105	55	334	-338	224
6	229	56	-76	-340	452
7	123	132	131	-491	250
8	0	227	502	-1113	1
9	0	529	139	-2597	2
10	0	227	502	-1113	-1
11	0	529	139	-2597	-2
12	-32	86	321	-400	-68
13	-63	56	1004	-340	-178
14	-63	55	1019	-338	-180
15	-84	55	677	-338	-202
16	-105	55	334	-338	-224
17	-229	56	-76	-340	-452
18	-123	132	131	-491	-250

Combinação 22: A.P.+Sobrecarga+V 90+PI V 90+Peso-Próprio

Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	637	81	563	-167	2572
2	485	3	-249	-10	2247
3	855	1	-203	-5	4671
4	855	0	-203	0	4671
5	855	-1	-203	5	4671
6	485	-3	-249	10	2247
7	637	-81	563	167	2572
8	137	529	-334	-2597	900
9	137	-529	-334	2597	900
10	137	831	260	-4081	900
11	137	-523	260	2568	900
12	601	132	-347	-266	2504
13	423	1	-468	-5	2190
14	794	1	-568	-3	4620

15	794	0	-568	0	4620
16	794	-1	-568	3	4620
17	423	-1	-468	5	2190
18	601	-132	-347	266	2504

Combinação 23: A.P.+Sobrecarga+V 270+PI V 270+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	-601	132	-347	-266	-2504
2	-423	1	-468	-5	-2190
3	-794	1	-568	-3	-4620
4	-794	0	-568	0	-4620
5	-794	-1	-568	3	-4620
6	-423	-1	-468	5	-2190
7	-601	-132	-347	266	-2504
8	-137	831	261	-4081	-900
9	-137	-831	261	4081	-900
10	-137	529	-334	-2597	-900
11	-137	-820	-334	4029	-900
12	-637	81	563	-167	-2572
13	-485	3	-248	-10	-2248
14	-855	1	-202	-5	-4671
15	-855	0	-202	0	-4671
16	-855	-1	-202	5	-4671
17	-485	-3	-248	10	-2248
18	-637	-81	563	167	-2572

Combinação 24: A.P.+Sobrecarga+V 0+PI V 0+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	149	-108	70	443	301
2	276	-56	-406	339	528
3	152	-55	-9	338	299
4	131	-55	334	338	277
5	110	-55	677	338	255
6	110	-56	673	341	255
7	58	-110	260	448	118
8	0	-378	16	1855	3
9	0	-378	379	1855	1
10	0	-378	16	1855	-3
11	0	-378	379	1855	-1
12	-149	-108	70	443	-301
13	-276	-56	-406	339	-528
14	-152	-55	-9	338	-299
15	-131	-55	334	338	-277
16	-110	-55	677	338	-255
17	-110	-56	673	341	-255
18	-58	-110	260	448	-118

Combinação 25: A.P.+Sobrecarga+V 180+PI V 180+Peso-Próprio					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	58	110	260	-448	118
2	110	56	673	-341	255
3	110	55	677	-338	255
4	131	55	334	-338	277
5	152	55	-9	-338	299
6	276	56	-406	-339	528
7	149	108	70	-443	301
8	0	378	379	-1855	1
9	0	378	16	-1855	3
10	0	378	379	-1855	-1
11	0	378	16	-1855	-3
12	-58	110	260	-448	-118
13	-110	56	673	-341	-255
14	-110	55	677	-338	-255
15	-131	55	334	-338	-277
16	-152	55	-9	-338	-299
17	-276	56	-406	-339	-528
18	-149	108	70	-443	-301

Reações Máximas					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	637	134	623	491	2572
2	485	56	1319	343	2247
3	855	55	1362	340	4671
4	855	55	1362	338	4671
5	855	56	1362	338	4671
6	485	57	1319	341	2247
7	637	132	623	449	2572
8	137	831	635	2597	900
9	137	529	635	4081	900
10	138	831	635	2597	901
11	138	529	635	4029	901
12	632	134	623	491	2567
13	481	56	1319	343	2338
14	853	55	1362	340	4770
15	853	55	1362	338	4770
16	853	56	1362	338	4770
17	481	57	1319	341	2338
18	632	132	623	449	2567

Reações Mínimas					
Nó	Fx	Fy	Fz	Mx	My
1	-632	-132	-470	-449	-2567
2	-481	-57	-1248	-341	-2338

3	-853	-56	-1379	-338	-4770
4	-853	-55	-1379	-338	-4770
5	-853	-55	-1379	-340	-4770
6	-481	-56	-1248	-343	-2338
7	-632	-134	-470	-491	-2567
8	-138	-529	-647	-4081	-901
9	-138	-831	-647	-2597	-901
10	-137	-529	-647	-4081	-900
11	-137	-820	-647	-2597	-900
12	-637	-132	-470	-449	-2572
13	-485	-57	-1248	-341	-2248
14	-855	-56	-1379	-338	-4671
15	-855	-55	-1379	-338	-4671
16	-855	-55	-1379	-340	-4671
17	-485	-56	-1248	-343	-2248
18	-637	-134	-470	-491	-2572