

**CONSTRUÇÃO DE PONTE EM ESTRUTURA MISTA DE
CONCRETO ARMADO DE VIGAS METÁLICAS, COM 12
METROS DE COMPRIMENTO E 4,2 METROS DE
LARGURA SOBRE O CÓRREGO JENIPAPÃO (CONTRATO
DE REPASSE: 962961/2024 E OPERAÇÃO: 1094651-99)**

MEMÓRIA DE CÁLCULO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

SUMÁRIO

1.	<i>INTRODUÇÃO</i>	3
1.1.	OBJETIVO	3
1.2.	SISTEMA DE UNIDADES	3
1.3.	PARÂMETROS ADOTADOS	3
1.4.	NORMAS UTILIZADAS	4
2.	<i>ESTRUTURA E SEÇÃO TÍPICA</i>	5
3.	<i>METODOLOGIA</i>	6
4.	<i>CARREGAMENTOS</i>	8
4.1.	PESO PRÓPRIO (DEAD)	8
4.2.	CARGA DE REVESTIMENTO (REV).....	8
4.3.	SOBRECARGA(SC1).....	9
4.4.	SOBRECARGA(SC2).....	10
4.5.	SOBRECARGA(SC3).....	11
4.6.	SOBRECARGA(SC4).....	12
4.8.	SOBRECARGA(SC5).....	13
4.9.	PESO PRÓPRIO DO GUARDA -RODAS (PPGR)	14
4.10.	MOVE 1	15
4.11.	MOVE 2	16
4.12.	VENTO (VT)	17
4.13.	FRENAGEM (FREN)	18
4.14.	TEMPERATURA (TEMP1)	19
4.15.	TEMPERATURA (TEMP2)	20
4.16.	COEFICIENTE DE IMPACTO.....	21

5.	COMBINAÇÕES.....	22
5.1.	ENVOLTÓRIA DE AÇÕES	22
5.2.	COMBINAÇÃO CONSTRUÇÃO	22
5.3.	COMBINAÇÕES ÚLTIMAS.....	22
6.	VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO.....	23
7.	VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS.....	25
7.1.	VERIFICAÇÃO DO PERFIL – FASE DE CONSTRUÇÃO	25
7.1.1.	GRÁFICOS DOS ESFORÇOS	25
7.1.2.	RESULTADOS	26
7.2.	VERIFICAÇÃO DO PERFIL – COMBINAÇÃO ÚLTIMA	31
7.2.1.	GRÁFICOS DOS ESFORÇOS	31
7.2.2.	VERIFICAÇÃO À FLEXÃO DO CONJUNTO PERFIL/TABULEIRO	32
7.2.3.	VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO	33
7.2.4.	VERIFICAÇÃO DOS CONECTORES	33
8.	TABULEIRO.....	34
8.1.	ARMAÇÃO POSITIVA PRINCIPAL	34
8.2.	ARMAÇÃO NEGATIVA PRINCIPAL.....	35
8.3.	DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO	36
8.4.	ARMAÇÃO SECUNDÁRIA	36

2. INTRODUÇÃO

2.1. OBJETIVO

Esta Memória de Cálculo tem por objetivo apresentar o dimensionamento estrutural de uma Ponte Metálica 12,00m x 4,20m.

Os esforços foram obtidos com o auxílio do software SAP-2000, que utiliza em sua base de cálculo o Método dos Elementos Finitos e para dimensionamento das estruturas foram utilizadas tabelas de cálculo do Excel.

2.2. SISTEMA DE UNIDADES

Nesta memória foi adotado o Sistema Internacional de Unidades. Todas as elevações são dadas em metros.

2.3. PARÂMETROS ADOTADOS

O concreto e o aço que se utilizam para do dimensionamento estrutural possuem as seguintes características:

CONCRETO DA PONTE-TABULEIRO

Resistência à Compressão $f_{ck} = 30\text{MPa}$
Módulo de Elasticidade $E_{cs} = 27,00\text{GPa}$
 α_i $\alpha_i = 0,88$
Coeficiente de Poisson $\mu = 0,2$
Peso Específico $\gamma = 25\text{ kN/m}^3$

Sendo o módulo de elasticidade calculado conforme o item 8.2.8 da NBR-6118/14:

$$E_{CS} = \alpha_i \times 5.600 \times \sqrt{f_{ck}}, \text{ onde } E_{CS} \text{ e } f_{ck} \text{ são dados em MPa.}$$

LONGARINAS E TRANSVERSINAS METÁLICAS – A572gr50

Módulo de Elasticidade $E_c = 205\text{ GPa}$
Coeficiente de Poisson $\mu = 0,3$
 f_y 345 MPa
 f_u 450 MPa

AÇO CA-50

Módulo de Elasticidade $E_c = 210\text{ GPa}$
Módulo de Poisson..... $\mu = 0,3$
 f_y 500 Mpa

2.4. NORMAS UTILIZADAS

- NBR 6118/2014 - “Projeto de estruturas de concreto - Procedimento”.
- NBR 6120/2019 - “Cargas para o Cálculo de Estruturas”.
- NBR 6122/2010 - “Projeto e execução de fundações”.
- NBR 7187/1987 - “Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento”.
- NBR 7188/2013 - “Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre”.
- NBR 8681/2003 - “Ações e segurança nas estruturas - Procedimento”.
- NBR 8800/2003 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado.

3. ESTRUTURA E SEÇÃO TÍPICA

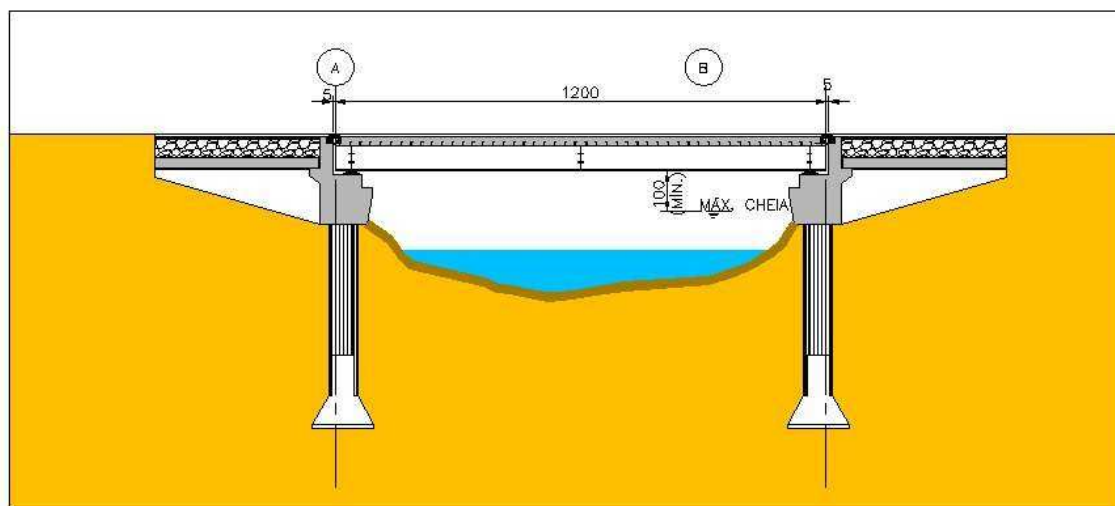


Figura 2.1- Seção Longitudinal

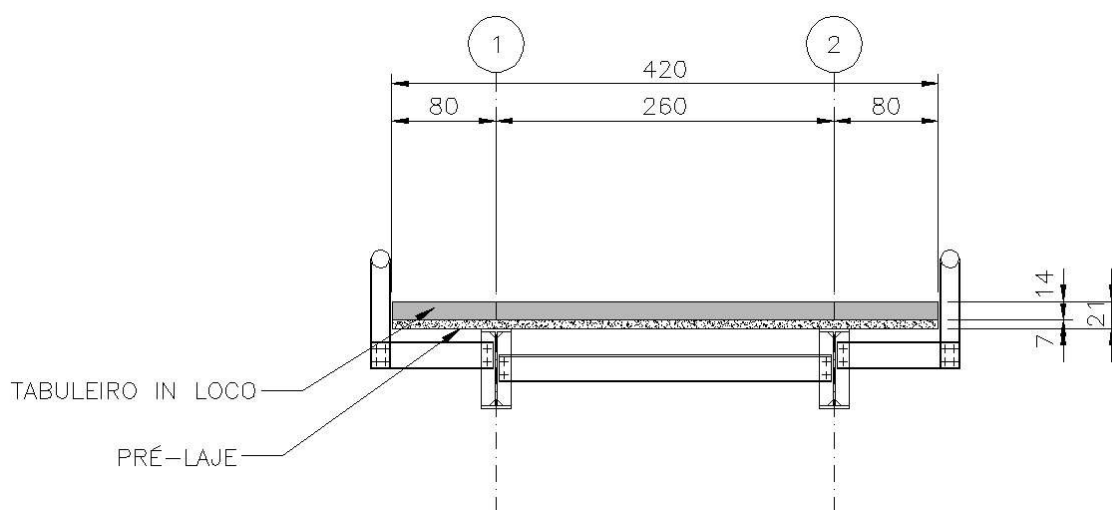


Figura 2.2- Seção Transversal

4. METODOLOGIA

A análise do viaduto tem como base a atuação das cargas de projeto. Para o cálculo dos esforços foi utilizado o software SAP2000 e o dimensionamento dos elementos estruturais das armaduras foi feito através de planilhas de cálculo do Excel. Inicialmente foi criado um modelo tridimensional no Bridge do programa.

A seguir apresentam-se as malhas de elementos finitos da ponte:

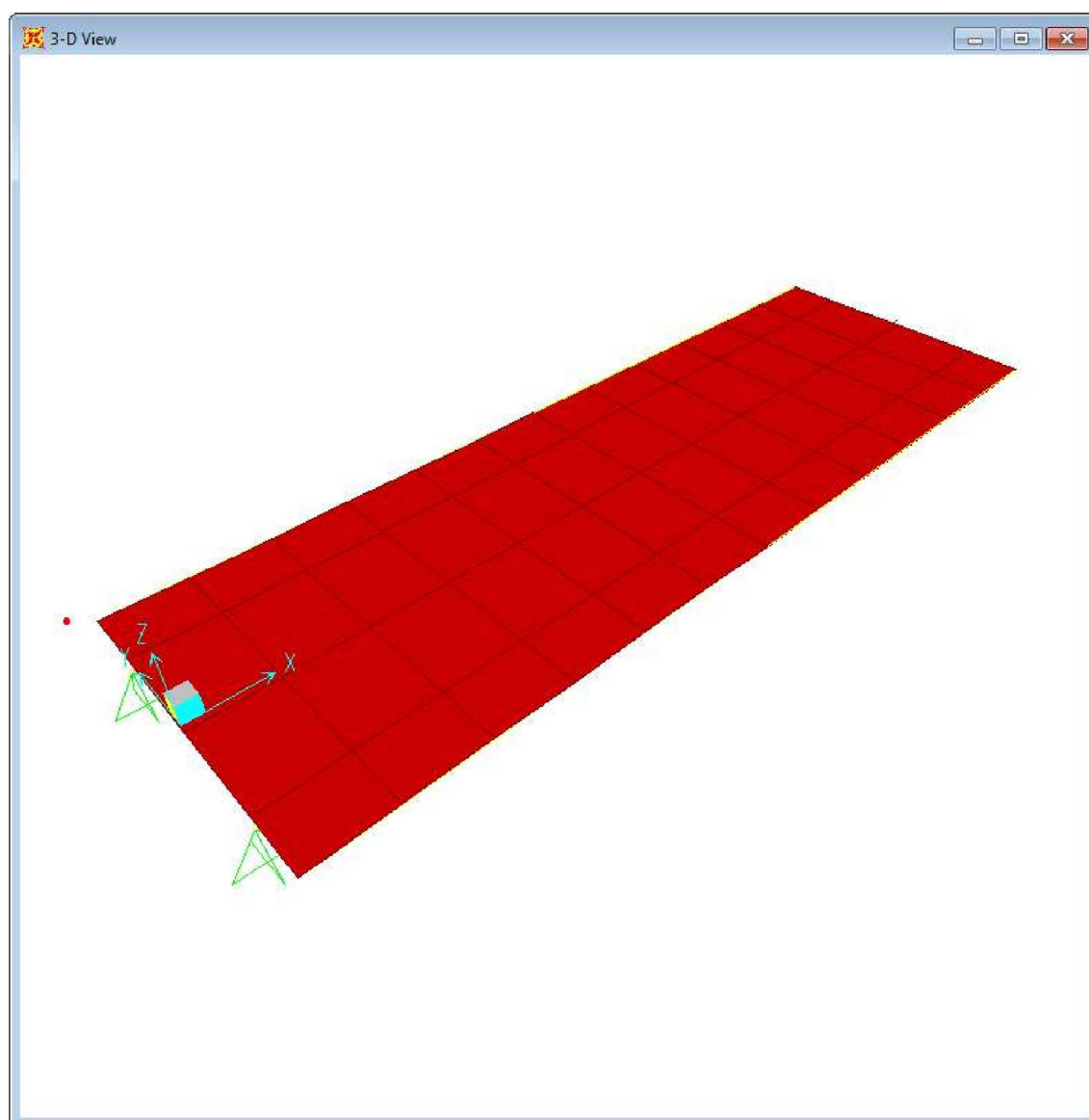


Figura 3.1 – Modelo Tridimensional da Ponte

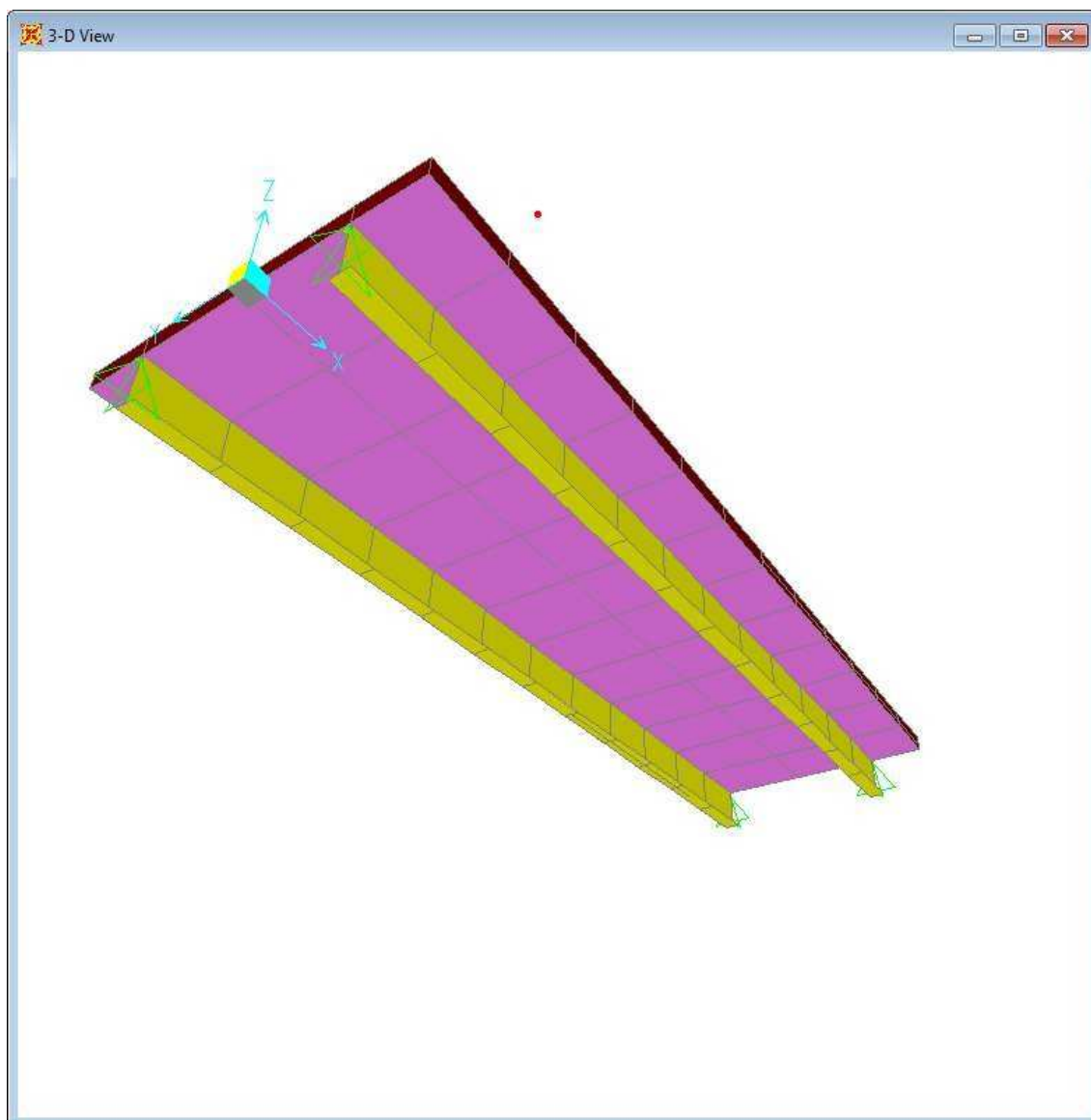


Figura 3.2 – Modelo Tridimensional d Ponte

5. CARREGAMENTOS

5.1. PESO PRÓPRIO (DEAD)

PPLONG = peso próprio das longarinas e transversinas metálicas

PPTAB = peso próprio do tabuleiro

DEAD = PPLONG + PPTAB + peso próprio da meso e infraestrutura.

Considerou-se o peso próprio em toda estrutura, na direção vertical (Z).

5.2. CARGA DE REVESTIMENTO (REV)

Considera-se a carga de revestimento de $2,0 \text{ kN/m}^2$.

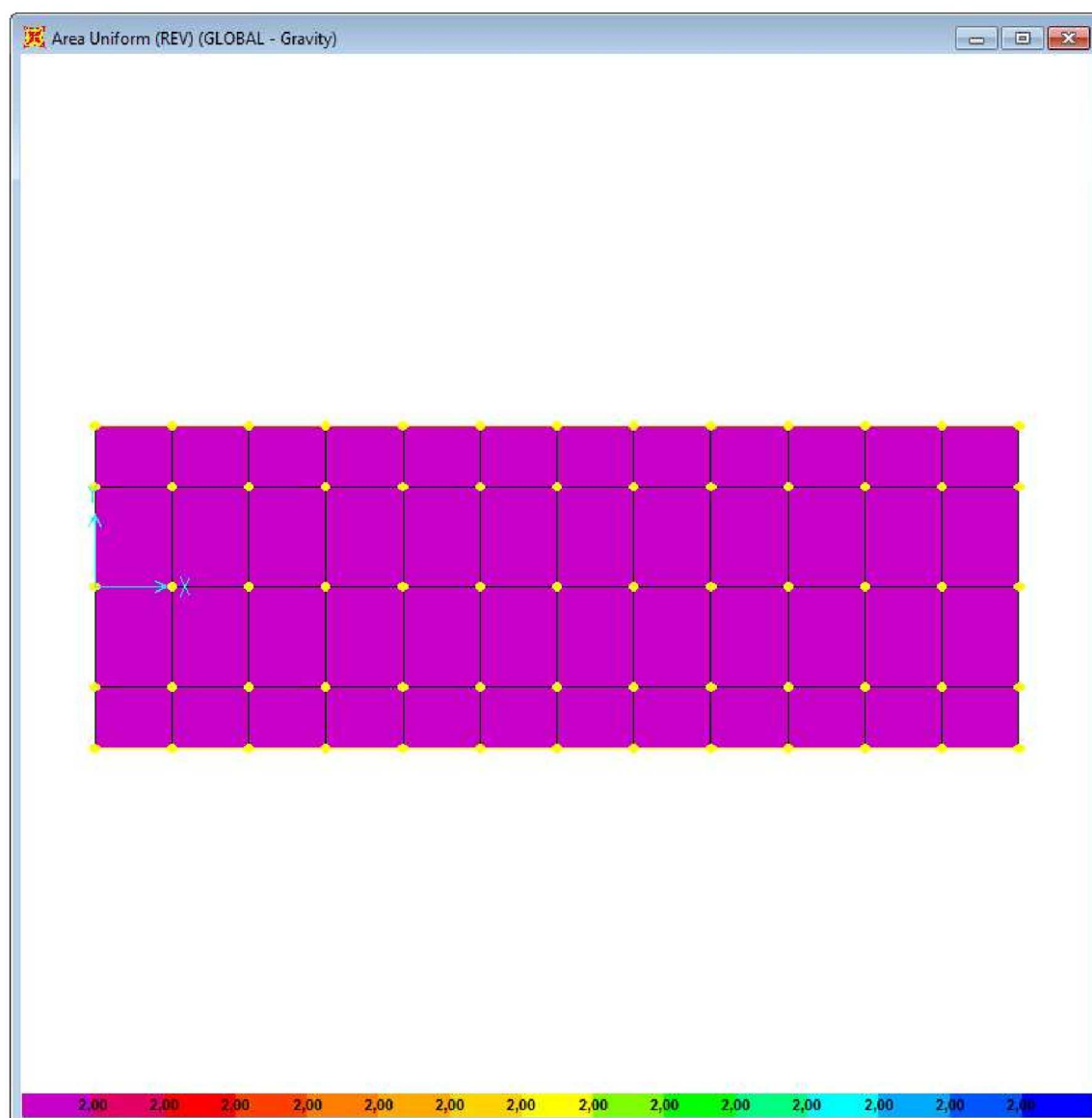


Figura 4.1 –REV

5.3. SOBRECARGA(SC1)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m^2 em todo tabuleiro.

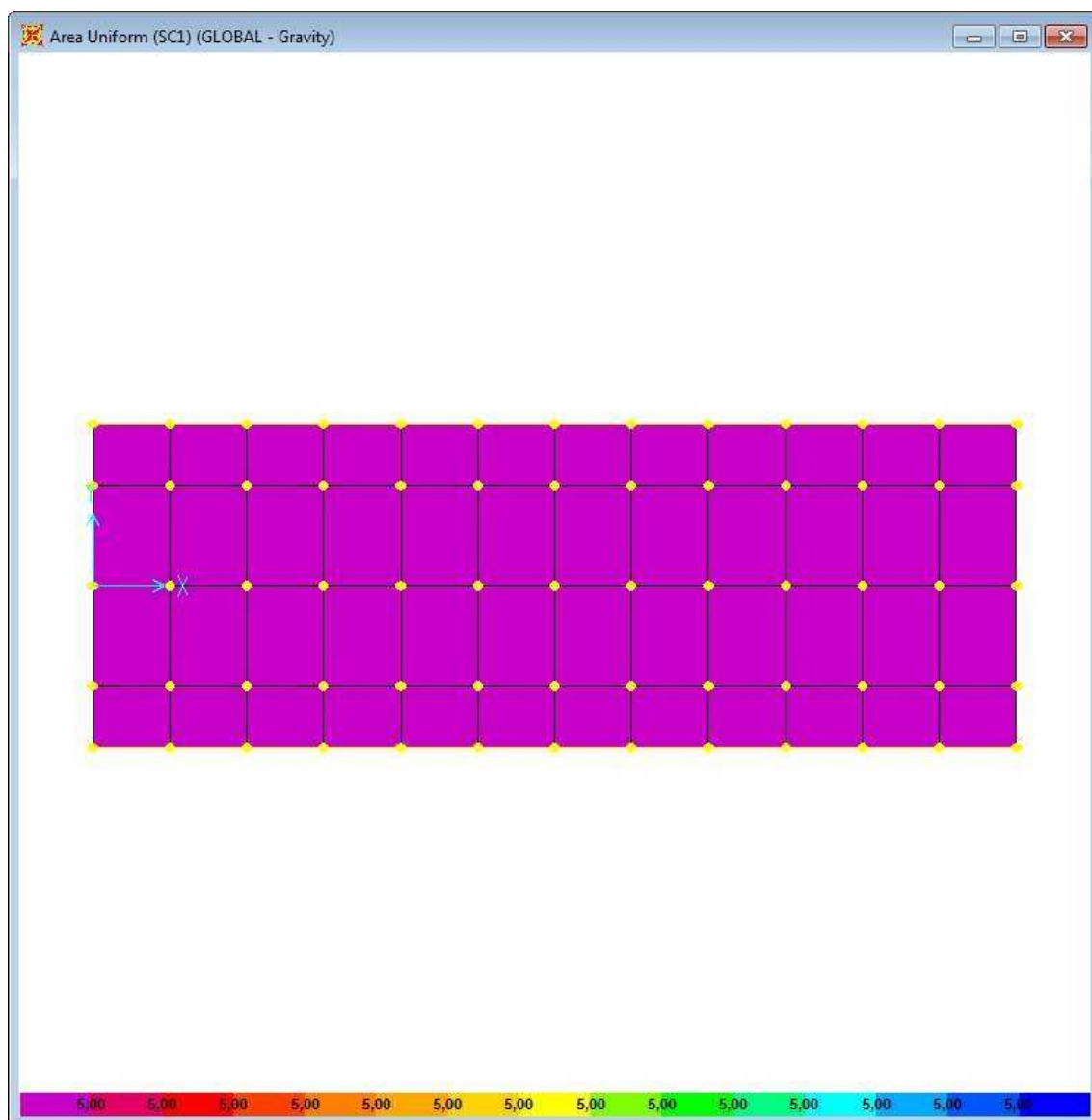


Figura 4.2 – SC1

5.4. SOBRECARGA(SC2)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m^2 na metade do tabuleiro.

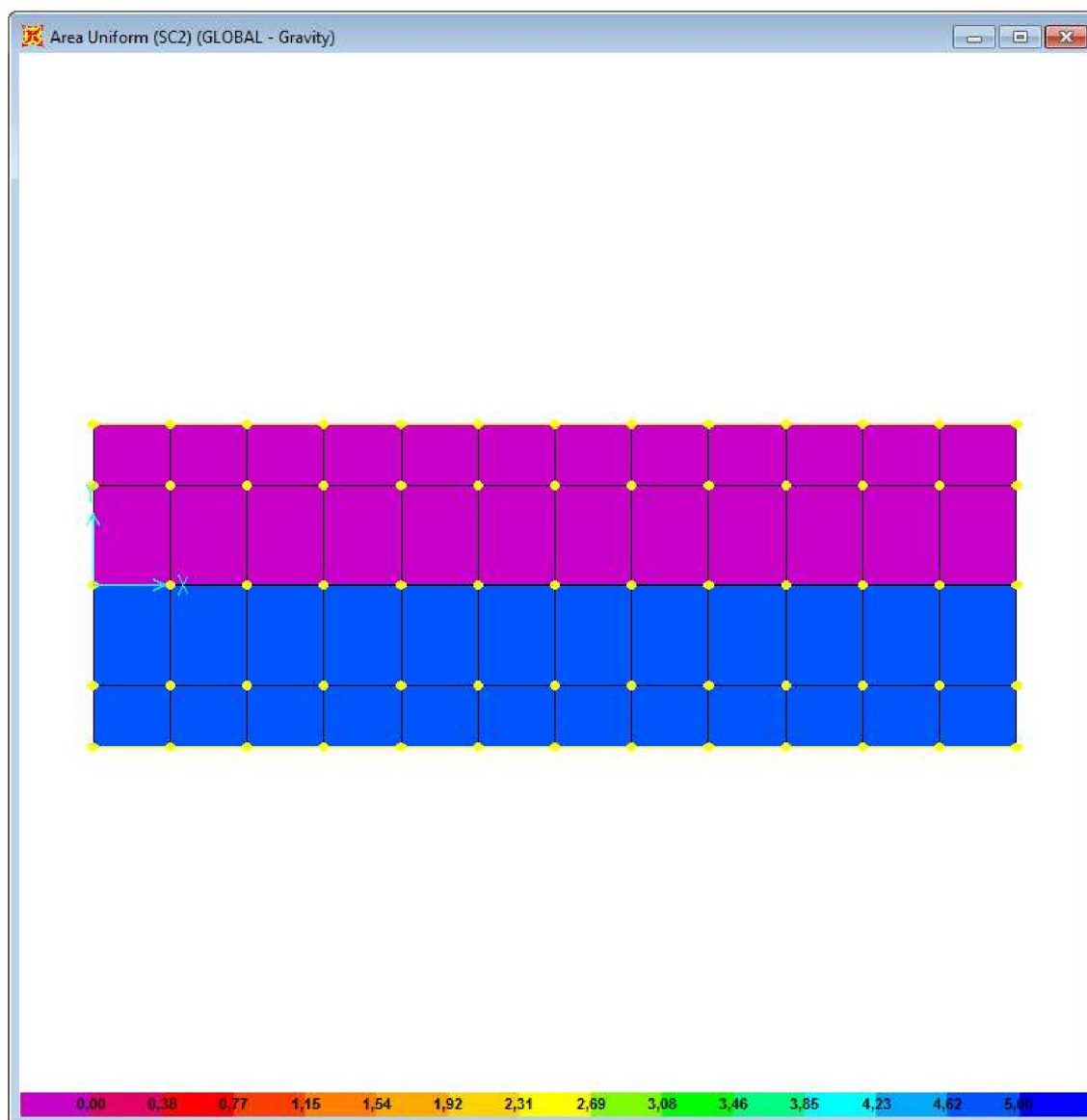


Figura 4.3 – SC2

5.5. SOBRECARGA(SC3)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m^2 no vão das vigas.

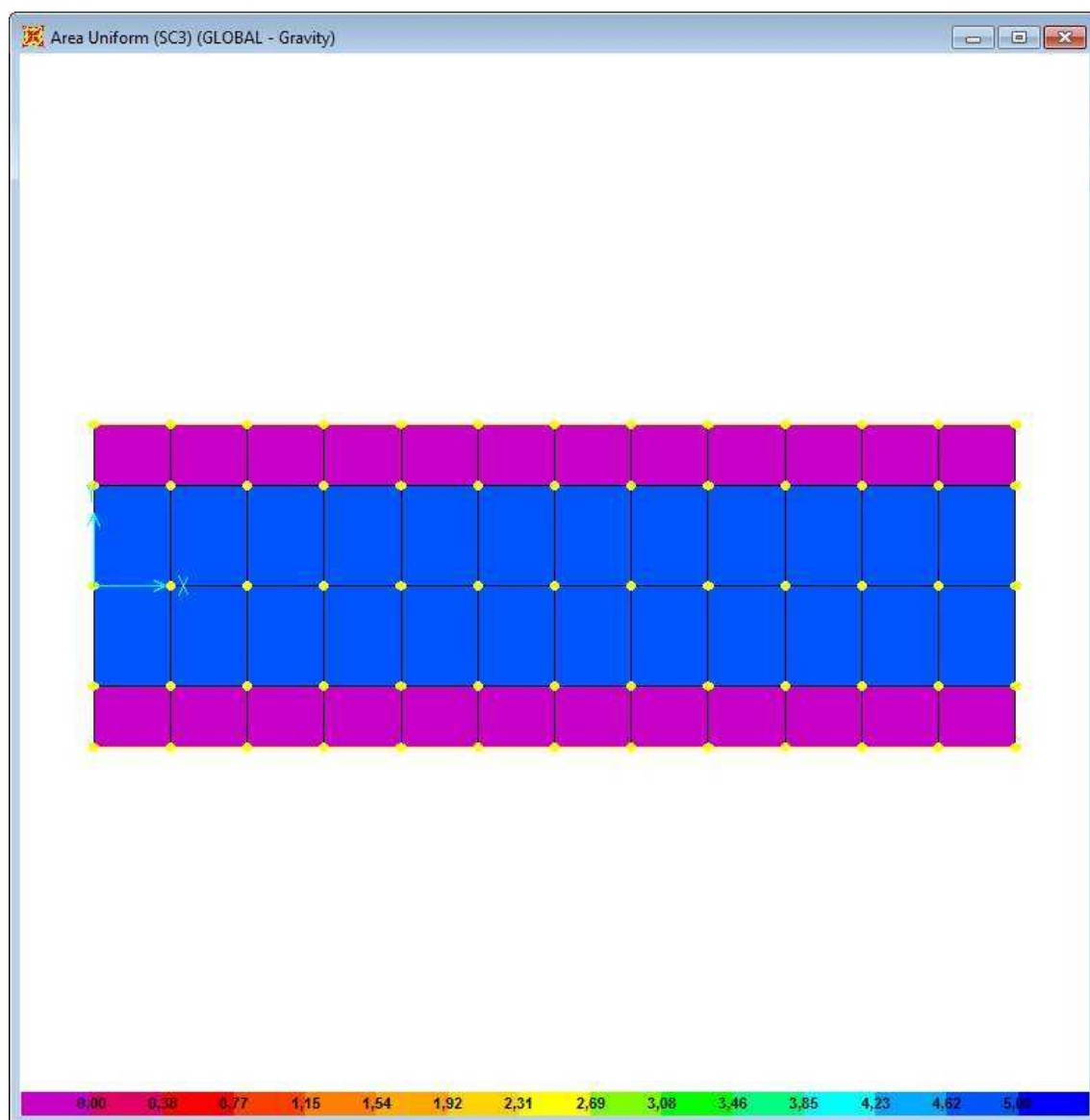


Figura 4.4 – SC3

5.6. SOBRECARGA(SC4)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m^2 nos balanços.

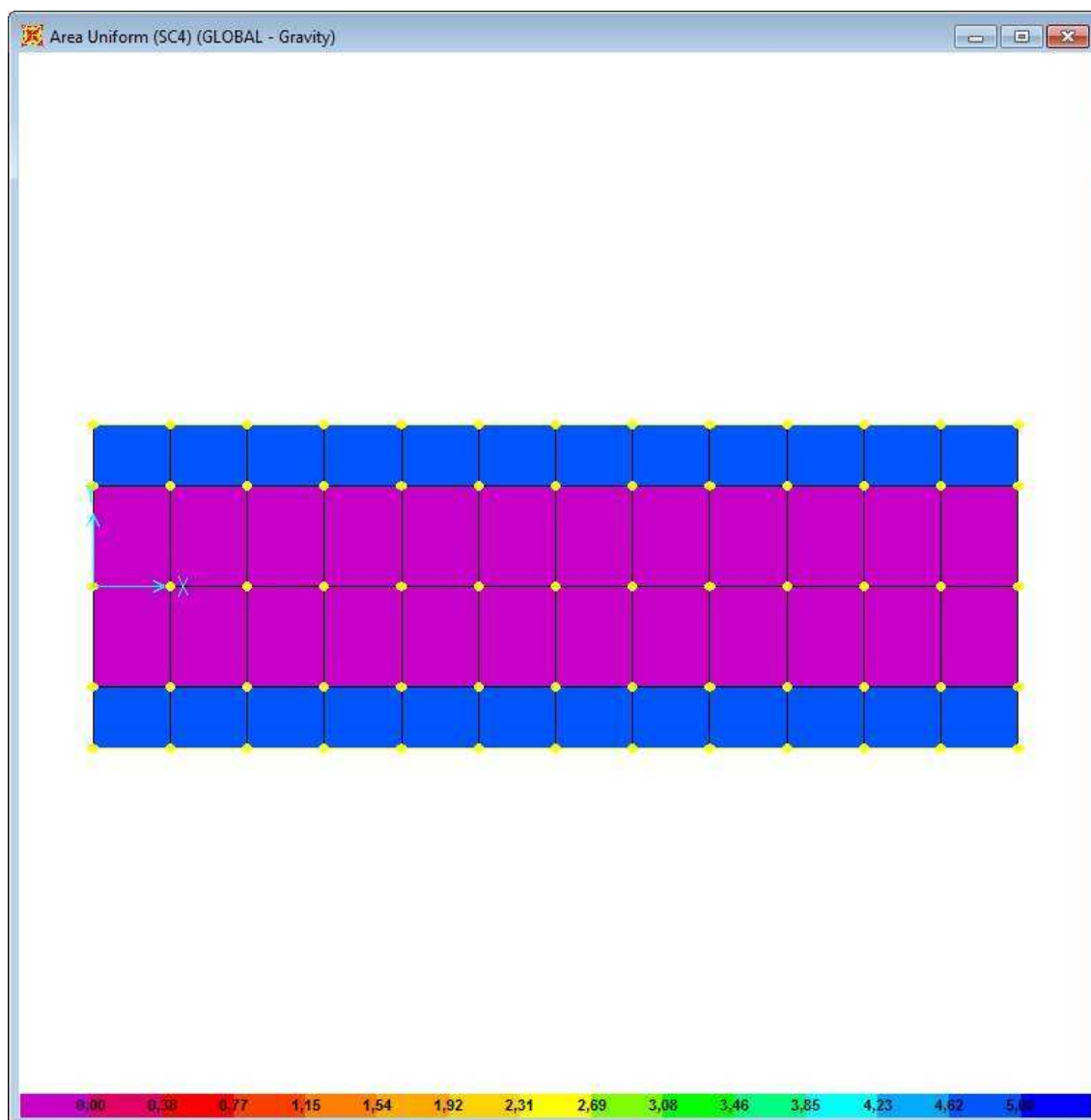


Figura 4.5 – SC4

5.8. SOBRECARGA(SC5)

Considera-se a carga de multidão no valor de 2kN/m^2 em todo tabuleiro na fase de construção.

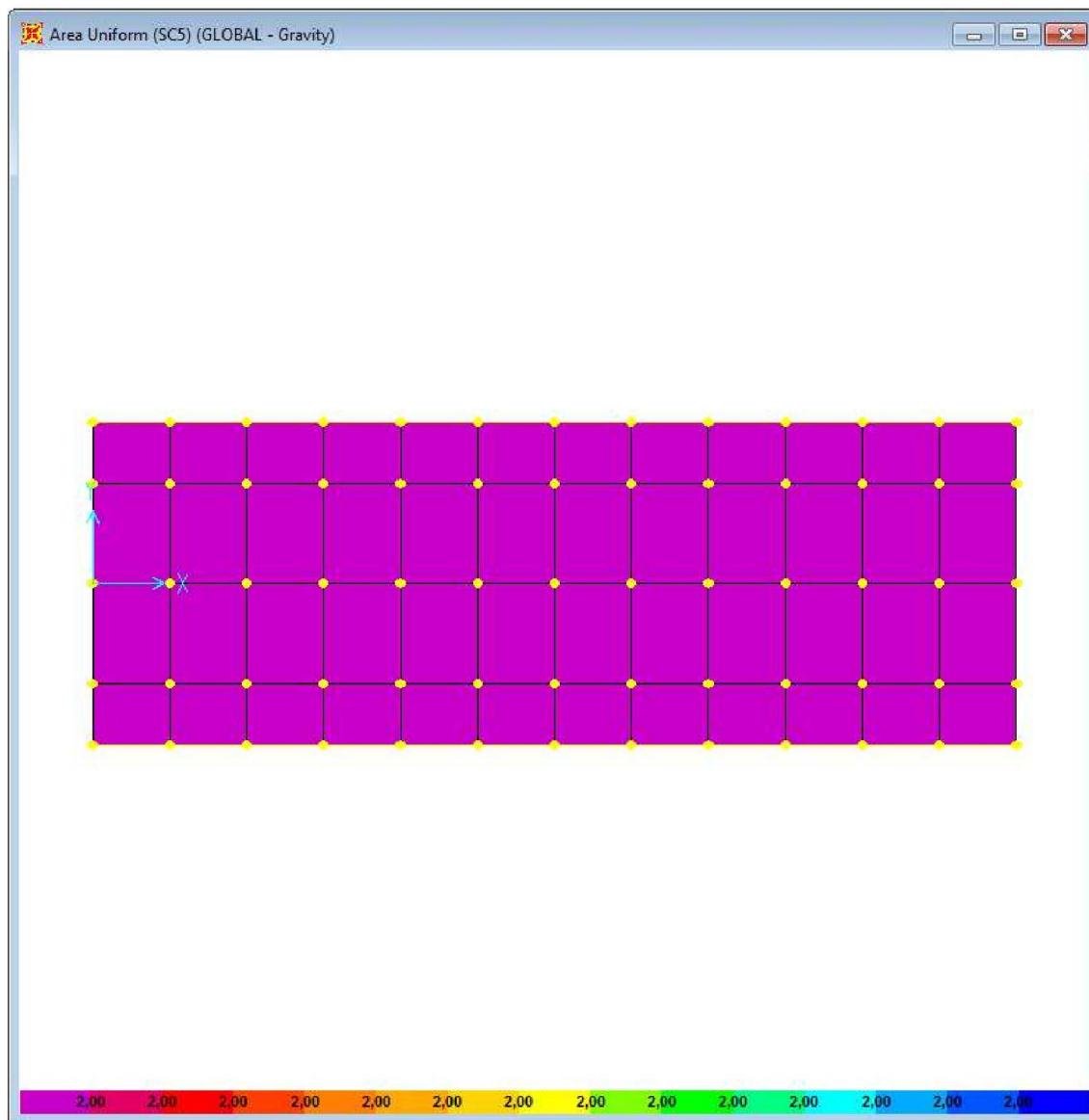


Figura 4.6 – SC5

5.10. MOVE 1

Foi utilizado o Trem Tipo TB-450 kN com a consideração referente à ABNT NBR 7188:2013 que admite a região em que o trem tipo esteja presente não haverá presença de sobrecarga, deste modo houve a redução do TB-450 kN para cargas de 60 kN para a simulação de tráfego. Neste caso o Trem Tipo foi aplicado no centro da ponte de forma a se deslocar longitudinalmente.

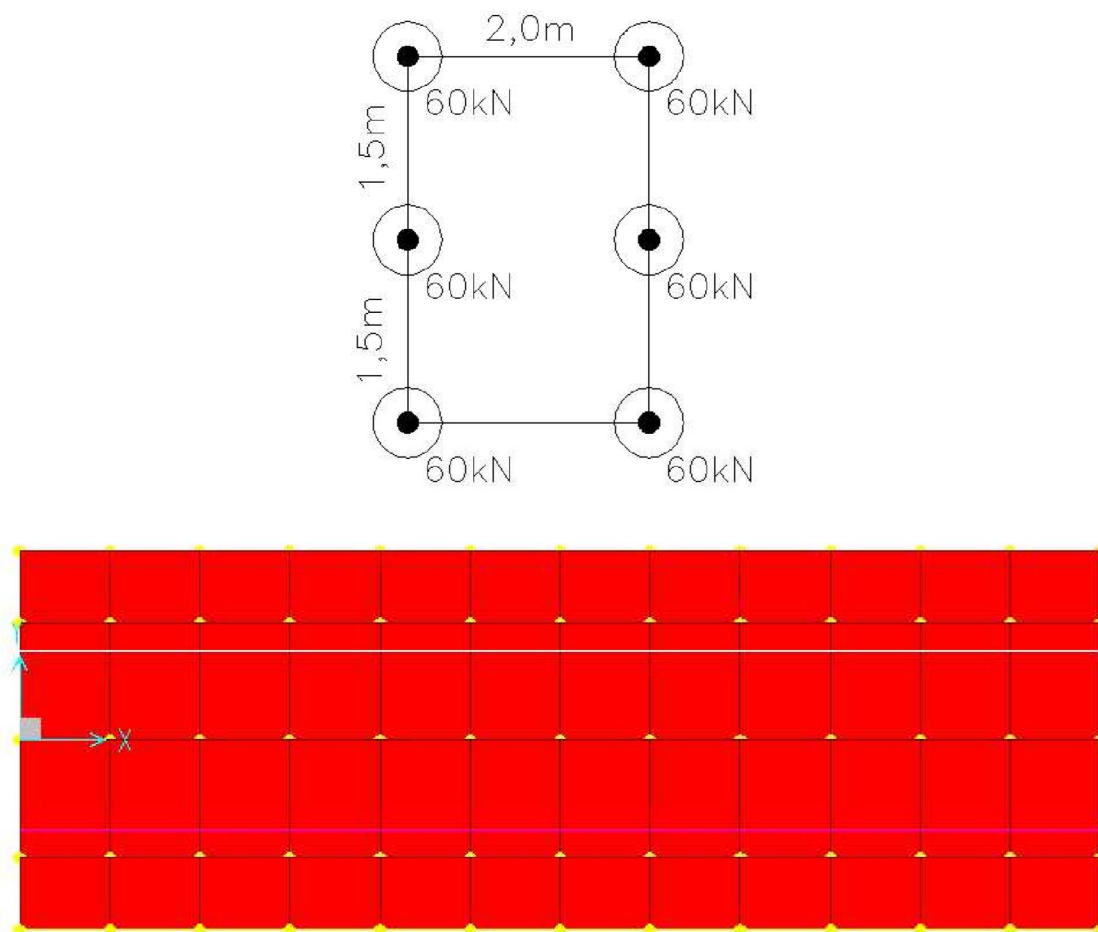


Figura 4.8 – MOVE 1

5.9. PESO PRÓPRIO DO GUARDA-RODAS (PPGR)

Considera-se a carga do New Jersey igual à sua área de corte multiplicado pelo peso específico do concreto armado, resultando em uma carga permanente linear por metro de extensão no valor de 5,8 kN/m.

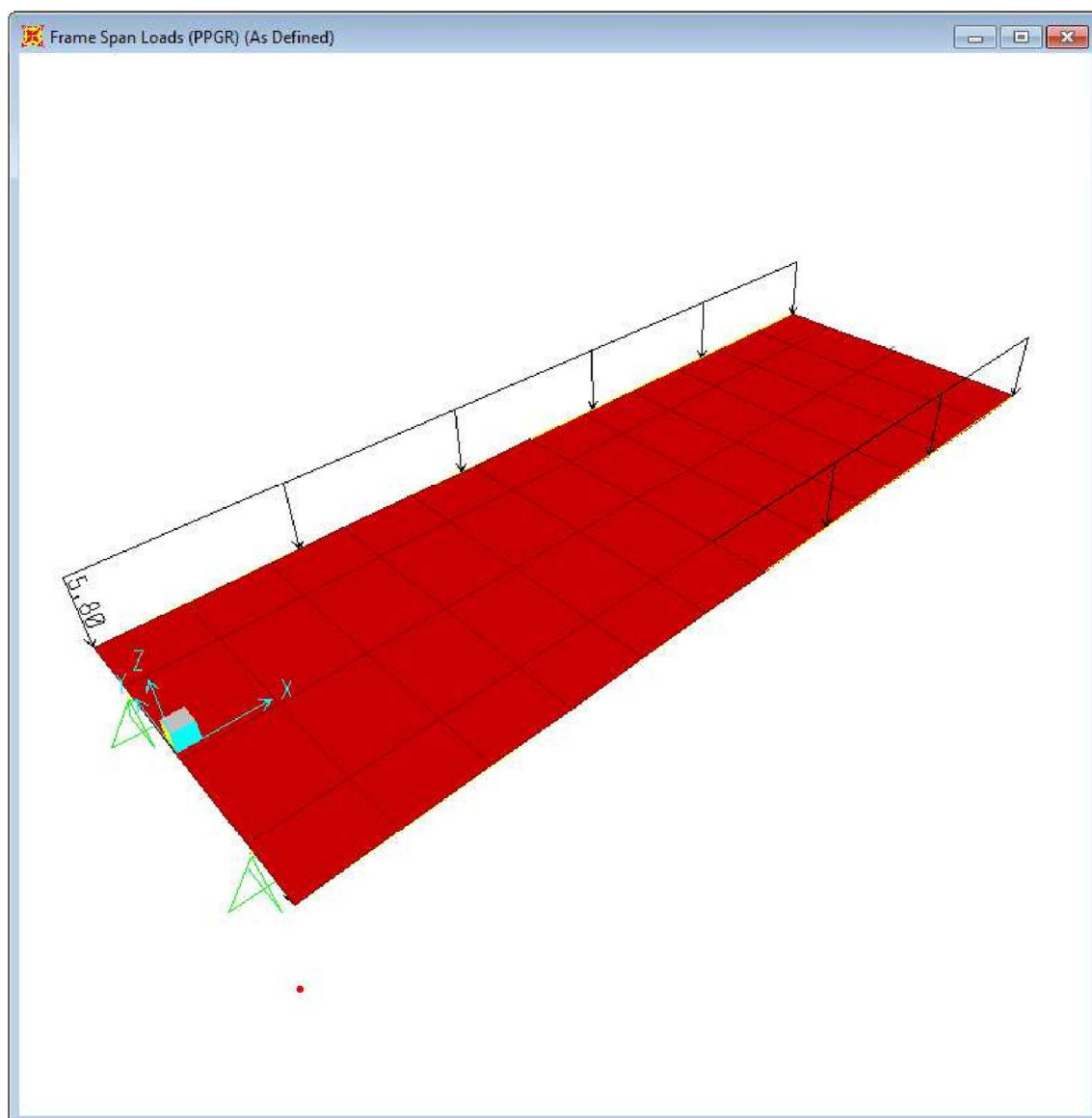


Figura 4.7 – PPGR

5.11. MOVE 2

Foi utilizado o Trem Tipo TB-450 kN com a consideração referente à ABNT NBR 7188:2013 que admite a região em que o trem tipo esteja presente não haverá presença de sobrecarga, deste modo houve a redução do TB-450 kN para cargas de 60 kN para a simulação de tráfego. Neste caso o Trem Tipo foi aplicado a 1,00m do centro da ponte de forma a se deslocar longitudinalmente.

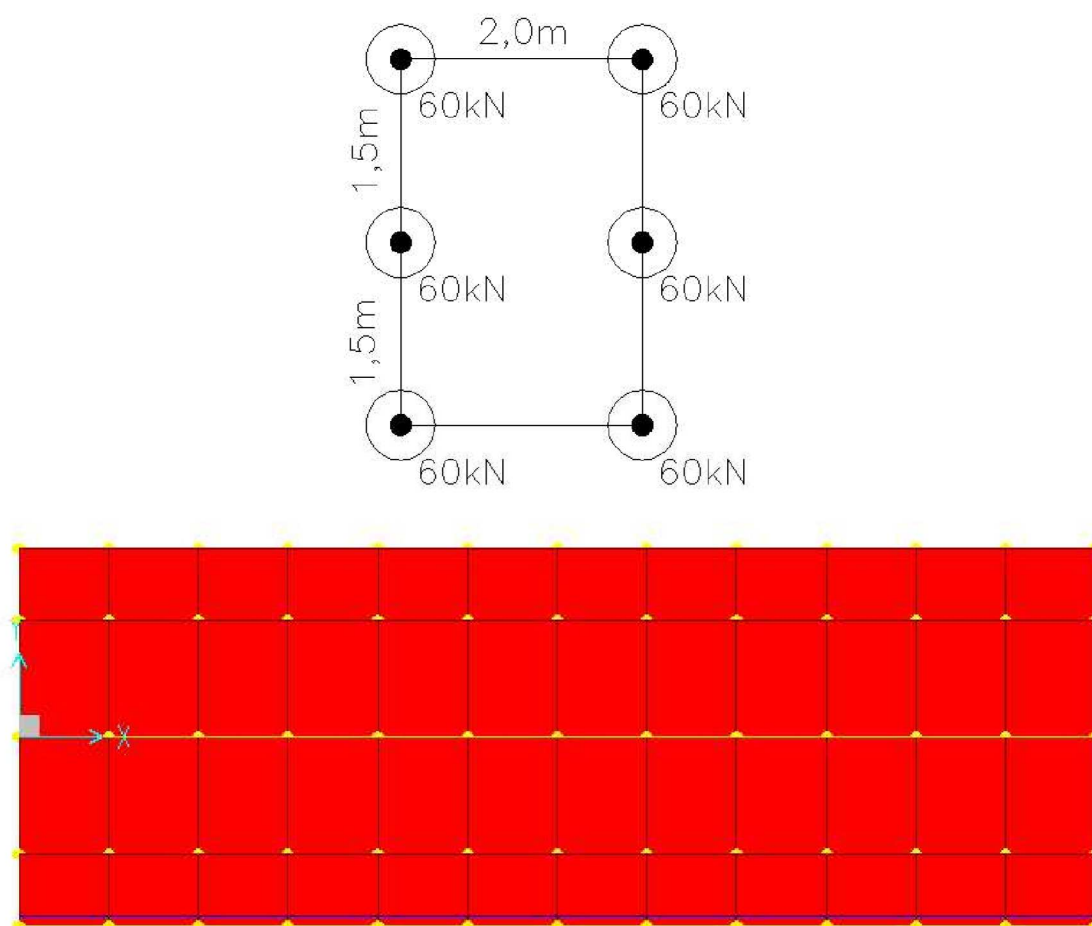
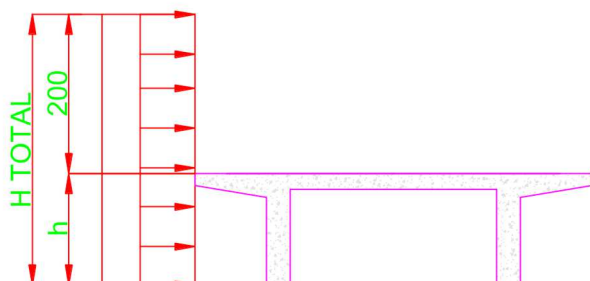


Figura 4.9 – MOVE 2

5.12. VENTO (VT)

Foram lançadas cargas de vento no valor de 4,25kN/m em toda a extensão longitudinal da ponte.



VENTO	
V	1 kN/m ²
h	0,85 m
H(total)	2,85 m
F(resultante)	2,85 kN/m

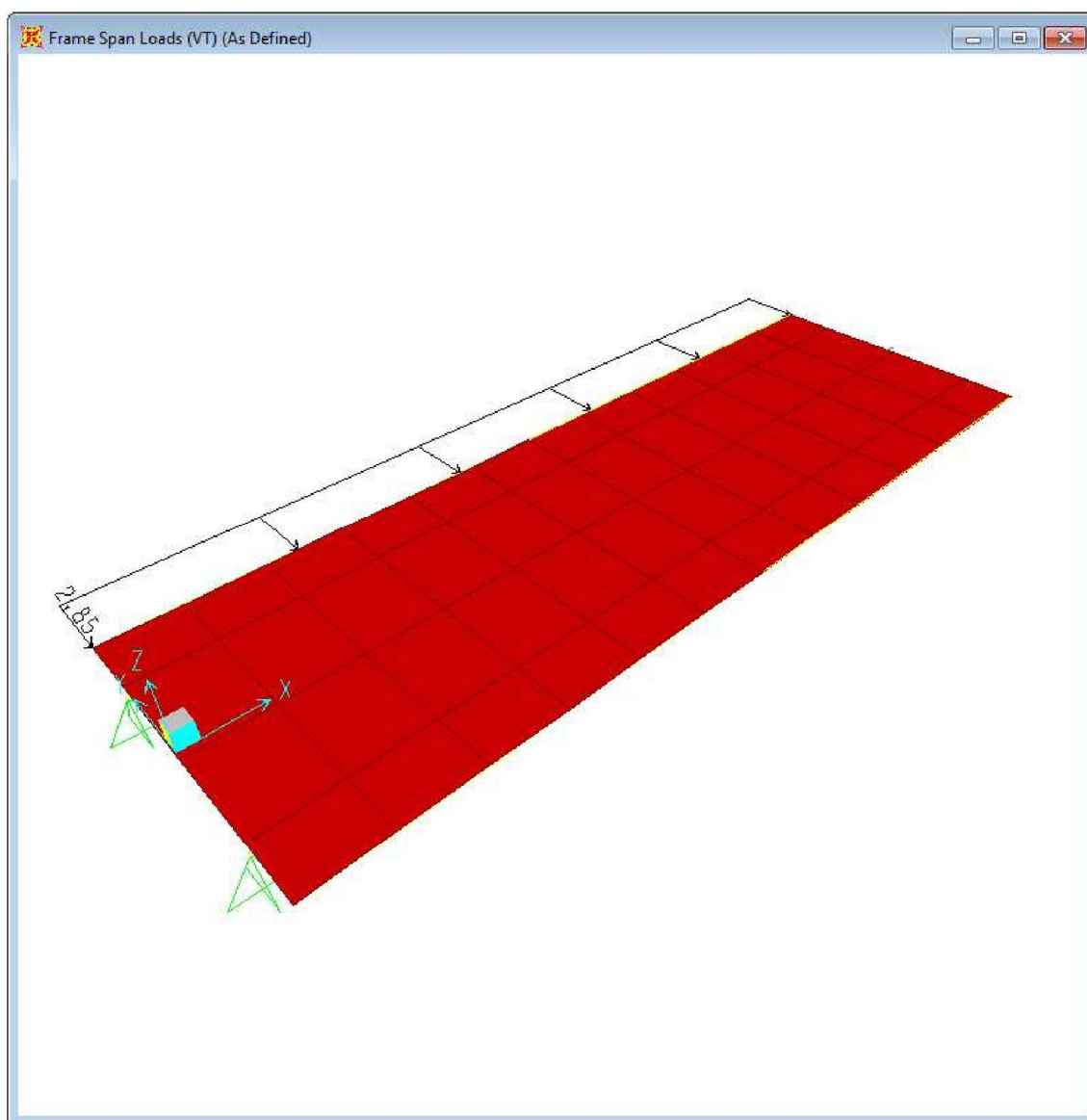


Figura 4.10 – VT

5.13. FRENAGEM (FREN)

Foram lançadas cargas de frenagem no valor de 2,68 kN/m² em toda a extensão da ponte.

FRENAGEM		
LARGURA (B)	4,2	m
CNF	1,05	adm
COMP. TOTAL	12	m
ADOTADO	135	kN
	2,678571	kN/m ²

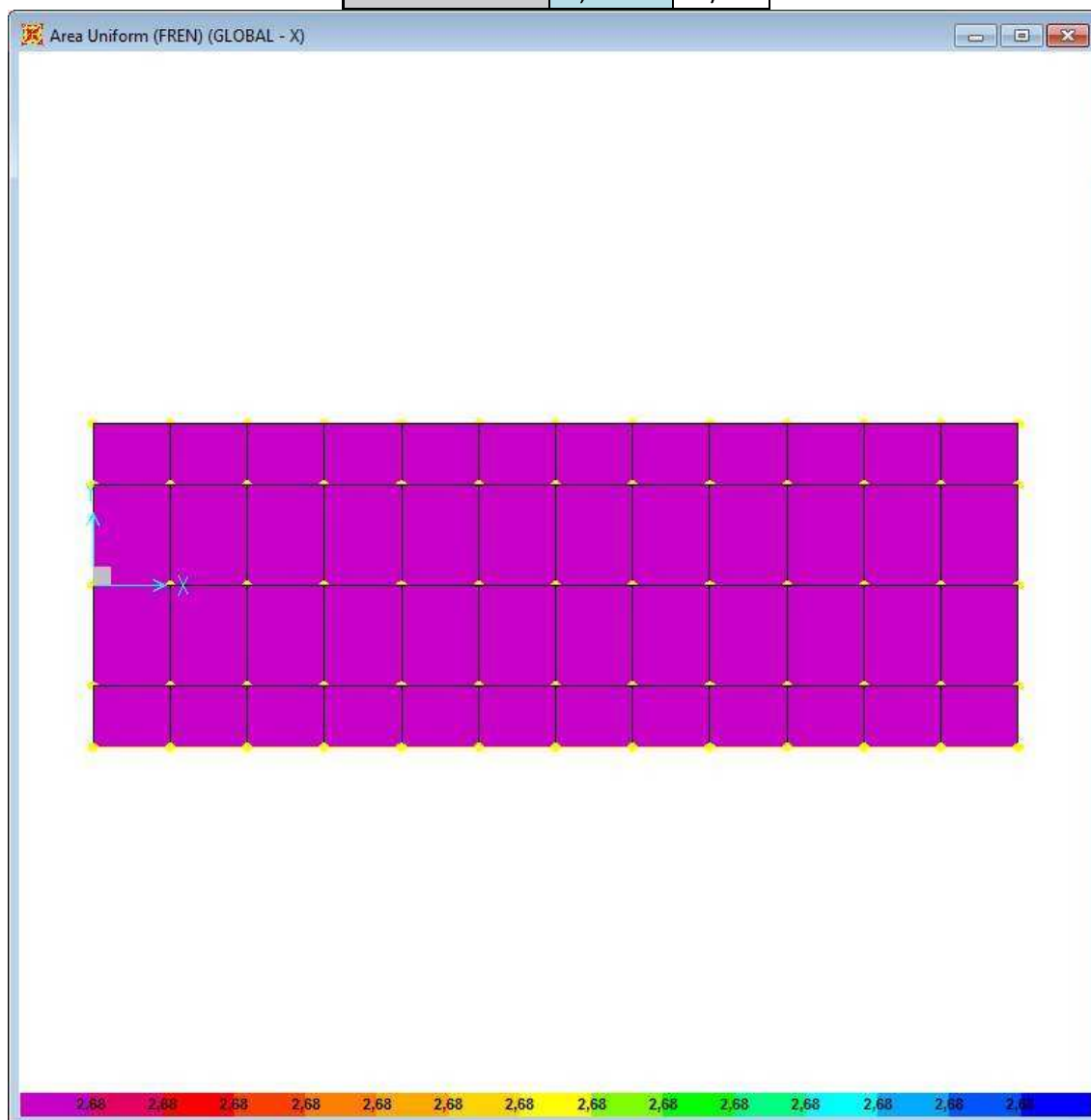


Figura 4.11 – FREN

5.14. TEMPERATURA (TEMP1)

Foi lançada variação de temperatura homogênea no valor de 20°C em toda a seção da ponte.

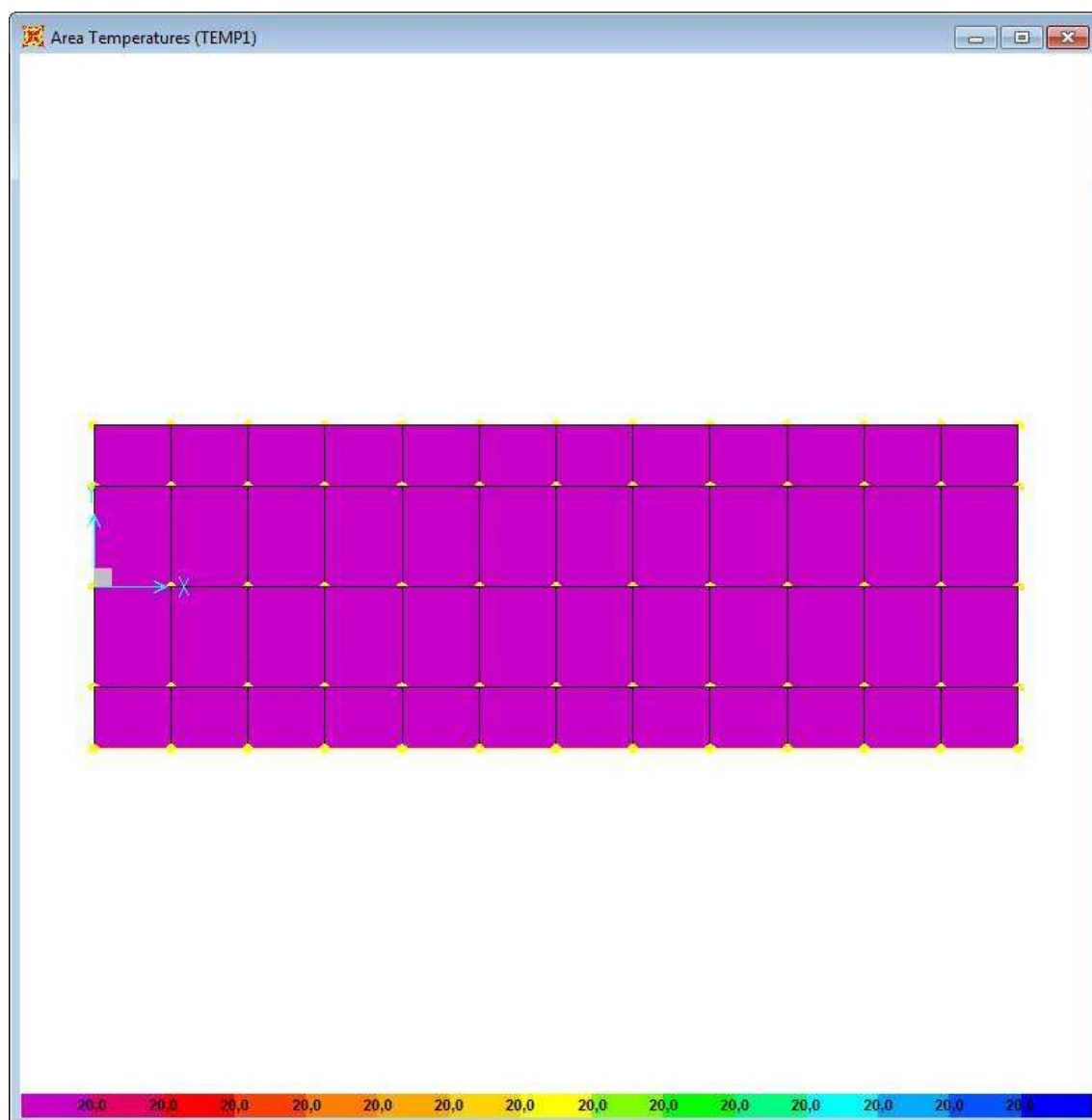


Figura 4.12 – TEMP1

5.15. TEMPERATURA (TEMP2)

Foi lançado um gradiente de temperatura no valor de 5°C/m em todo o tabuleiro da ponte.

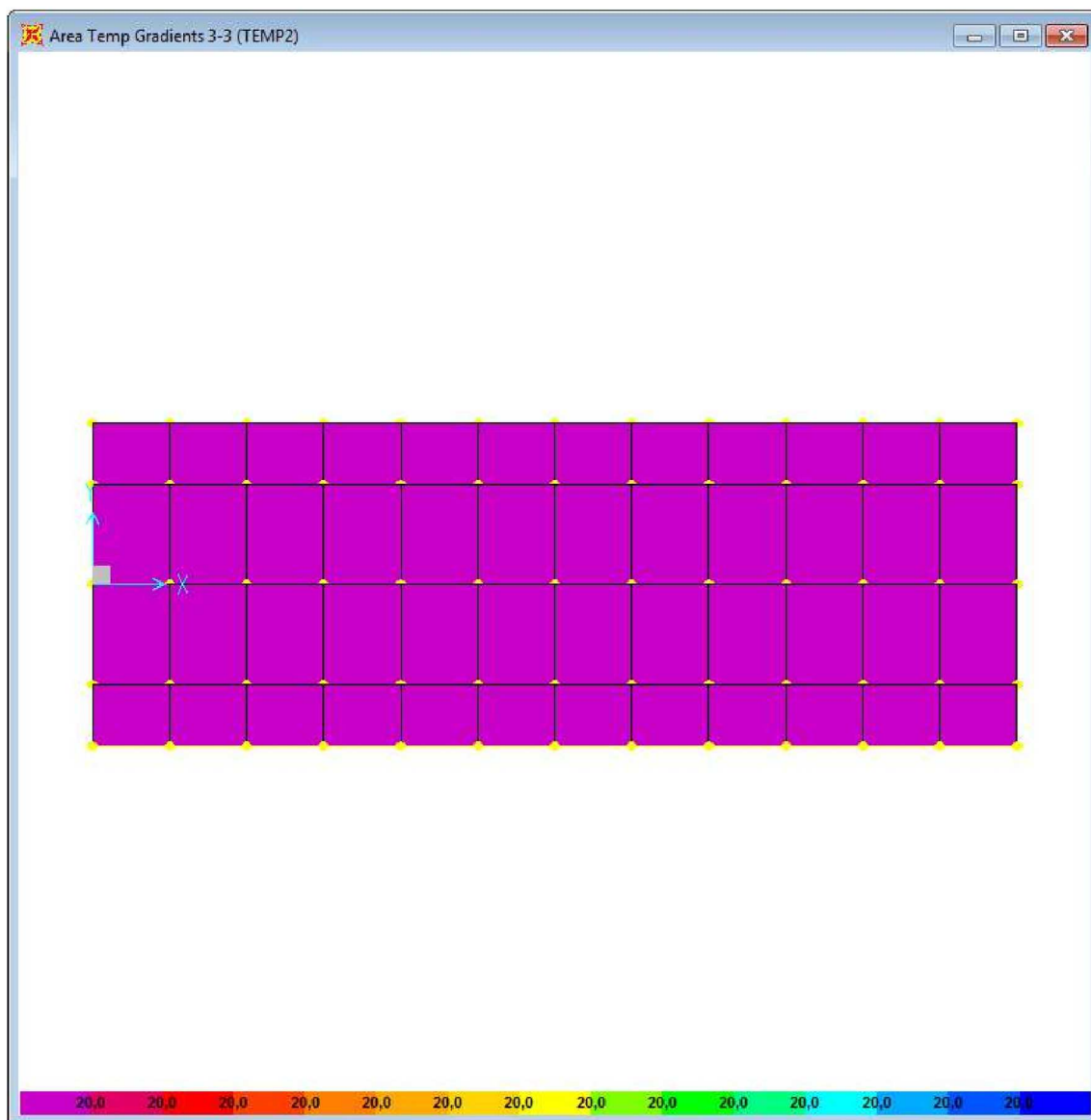


Figura 4.13 – TEMP2

5.16. COEFICIENTE DE IMPACTO

O coeficiente de impacto a ser lançado na estrutura é no valor de 1,76 e 1,41.

TB - 450 kN			
COEFICIENTE DE IMPACTO			
VÃO		L(m)	Nº DE FAIXAS
		12	1

CIV	1,341935	1,341935	
CNF	1,05	1,05	
CIA	1	1,25	
COEF. ADOTADO	1,409032	1,76129	

Figura 4.14– CI

6. COMBINAÇÕES

A seguir, serão demonstradas todas as combinações utilizadas para o cálculo do viaduto, com seus coeficientes de segurança:

6.1. ENVOLTÓRIA DE AÇÕES

- ✓ ENV MOVE = MOVE 1; MOVE 2
- ✓ ENV SC = SC1; SC2; SC3; SC4
- ✓ ENV TEMP = TEMP1; TEMP2

6.2. COMBINAÇÃO CONSTRUÇÃO

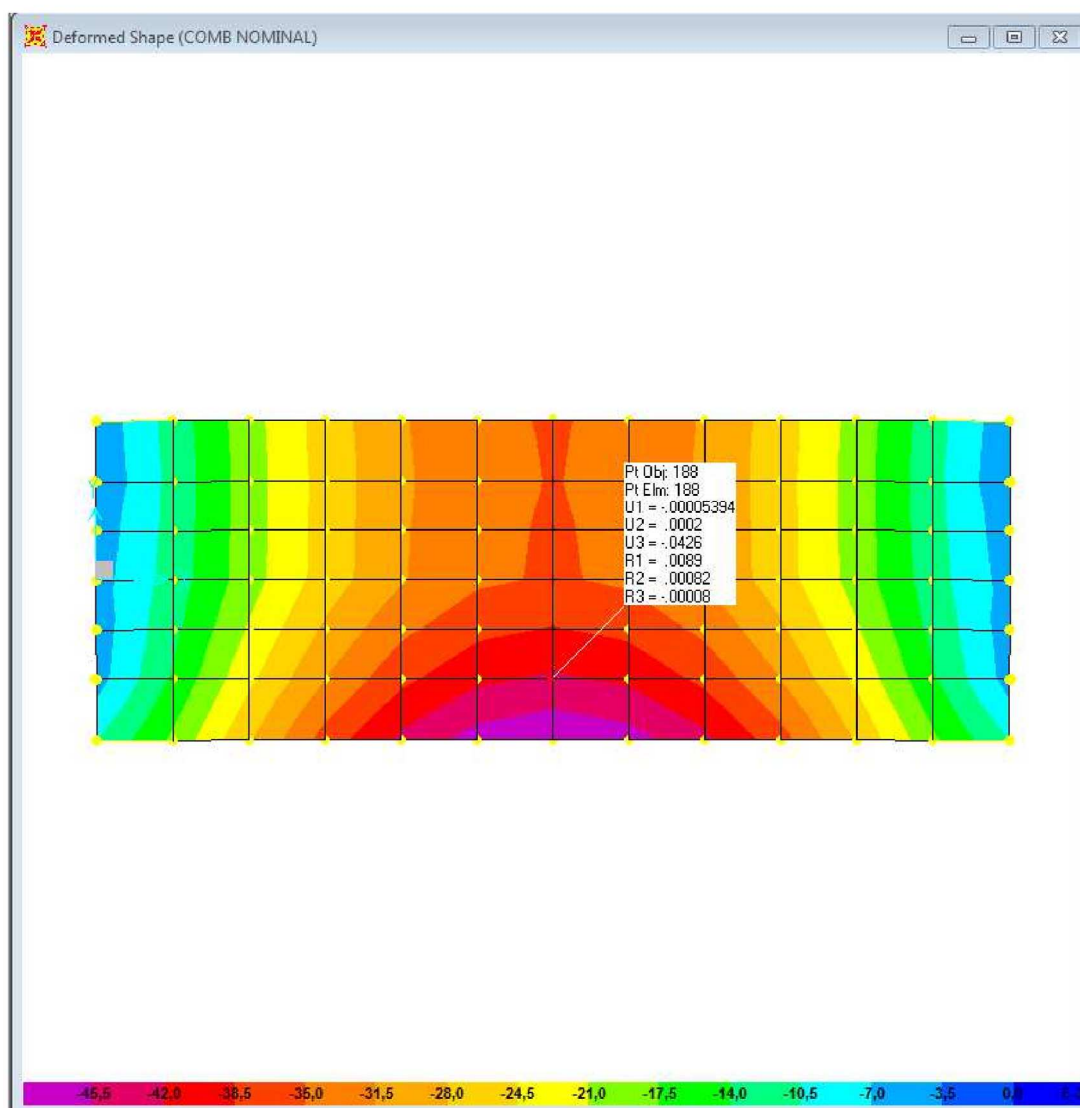
- ✓ COMB CONSTRUÇÃO = $1,35 \times \text{DEAD} + 1,5 \times \text{SC5}$

6.3. COMBINAÇÕES ÚLTIMAS

- ✓ PERM = $1,0 \times \text{DEAD} + 1,0 \times \text{PPGR} + 1,0 \times \text{REV}$
- ✓ MOVEL = $1,0 \times \text{ENV SC} + 1,0 \times \text{ENV MOVE}$
- ✓ COMB PERM = $1,35 \times \text{PERM}$
- ✓ COMB MOVEL (M) = $1,5 \times 1,41 \times \text{MOVEL}$
- ✓ COMB MOVEL (V) = $1,5 \times 1,76 \times \text{MOVEL}$
- ✓ COMB VERT = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,00 \times \text{COMB MOVEL}$
- ✓ COMB PERM+VT = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,5 \times \text{VT}$
- ✓ COMB PERM+TEMP = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,5 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB PERM+VT+TEMP (A) = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,5 \times \text{VT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB PERM+VT+TEMP (B) = $1,00 \times \text{COMB PERM} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT} + 1,5 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB VERT+VT = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT}$
- ✓ COMB VERT+TEMP = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB VERT+FREN = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV FREN}$
- ✓ COMB VERT+VT+TEMP = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP}$
- ✓ COMB VERT+VT+FREN = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV FREN}$
- ✓ COMB VERT+TEMP+FREN = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV FREN}$
- ✓ COMB VERT+TEMP+FREN+VT = $1,00 \times \text{COMB VERT} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV TEMP} + 1,5 \times 0,6 \times \text{ENV FREN} + 1,5 \times 0,6 \times \text{VT}$

7. VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO

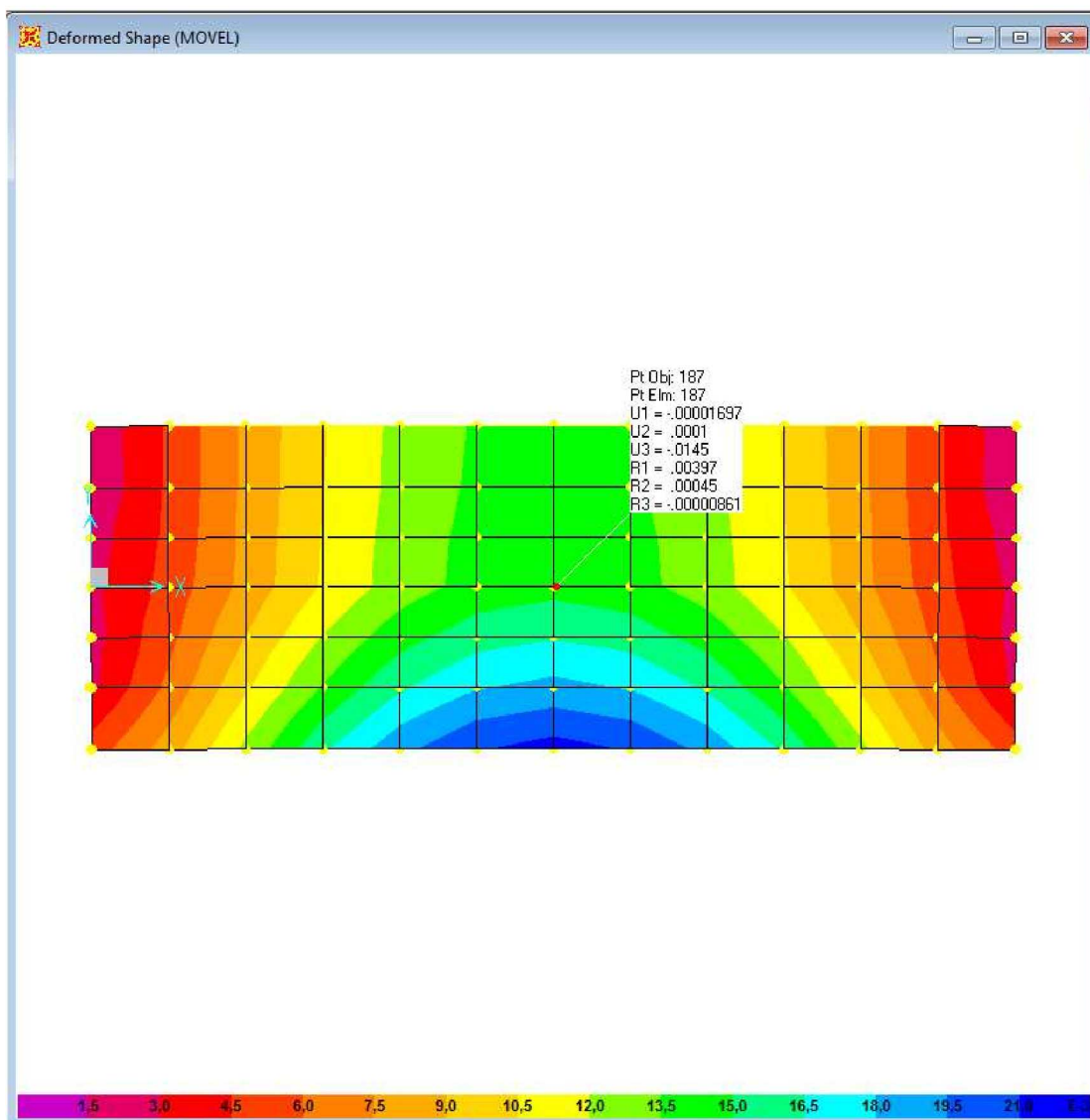
A máxima deformação admissível é de $L/250$, ou seja, $1200/250 = 4,80\text{cm}$.



$4,3 < 4,8\text{cm OK!!!}$

Todas as deformações encontradas são inferiores às estabelecidas.

A máxima deformação admissível para atuação de carga móvel é de $L/800$, ou seja, $1200/800 = 1,5\text{cm}$.



1,45 < 1,5cm OK!!!

Todas as deformações encontradas são inferiores às estabelecidas.

8.1.2. RESULTADOS

ST_Stabile :: mCalc_Perfis

Arquivo Editar Ajuda

Perfil: **I (Lam.) de AÇOMINAS**

Dimensões

b_w 611 mm b_f 324 mm t_f 19 mm t_w 12,7 mm

Solicitações de Cálculo (kN e m)

$N_{c,sd}$ $V_{x,sd}$ $M_{x,sd}$ 414,64 C_b 1
 $N_{t,sd}$ $V_{y,sd}$ 138,23 $M_{y,sd}$ C_{mx} 1
 C_{my} 1

Comprimentos da Barra (m)

$K_x L_x$ 6 $K_z L_z$ 6 λ_x 23,46 λ_y 81,3 λ_y 81,3 λ_z 81,3 λ_z 81,3 λ_z 81,3 λ_z 81,3

Resistências de Cálculo

$N_{c,Rd}$ 3704,33 $Sd/Rd = 0$ $V_{x,Rd}$ 2316,89 $Sd/Rd = 0$
 $N_{t,Rd}$ 6213,14 $Sd/Rd = 0$ $V_{y,Rd}$ 1460,23 $Sd/Rd = 0,095$
 $M_{x,Rd}$ 1202,15 $Sd/Rd = 0,345$ $M_{y,Rd}$ 320,03 $Sd/Rd = 0$

$\frac{N_{c,sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left(\frac{M_{x,sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} \right) = 0,345$ $\frac{N_{c,sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left(\frac{M_{x,sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} \right) = 0,345$

W 610 155

Perfis Favoritos:

W	bw	peso
W 610	153	
W 610	155	
W 610	174	
W 610	195	
W 610	217	

Adiciona Remove Selecciona

Calcular Relatório Configuração Sair

Perfil I da AÇOMINAS

Perfil: W 610 155

Aço: A $f_y = 345$ MPa $f_u = 450$ MPa

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 6$ m $K_t L_t = 6$ m

$K_y L_y = 6$ m $L_b = 6$ m

1. Cálculo da Tração

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

$A_n = 0,02$ m² Área líquida da seção transversal

$A_e = C_T \cdot A_n = 0,02$ m² Área líquida efetiva da seção transversal

$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 6213,14$ kN Resistência de escoamento

$N_{tRd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{1,35} = 6603,33$ kN Resistência à ruptura

$N_{tRd} = 6213,14$ kN Força normal resistente de cálculo à tração

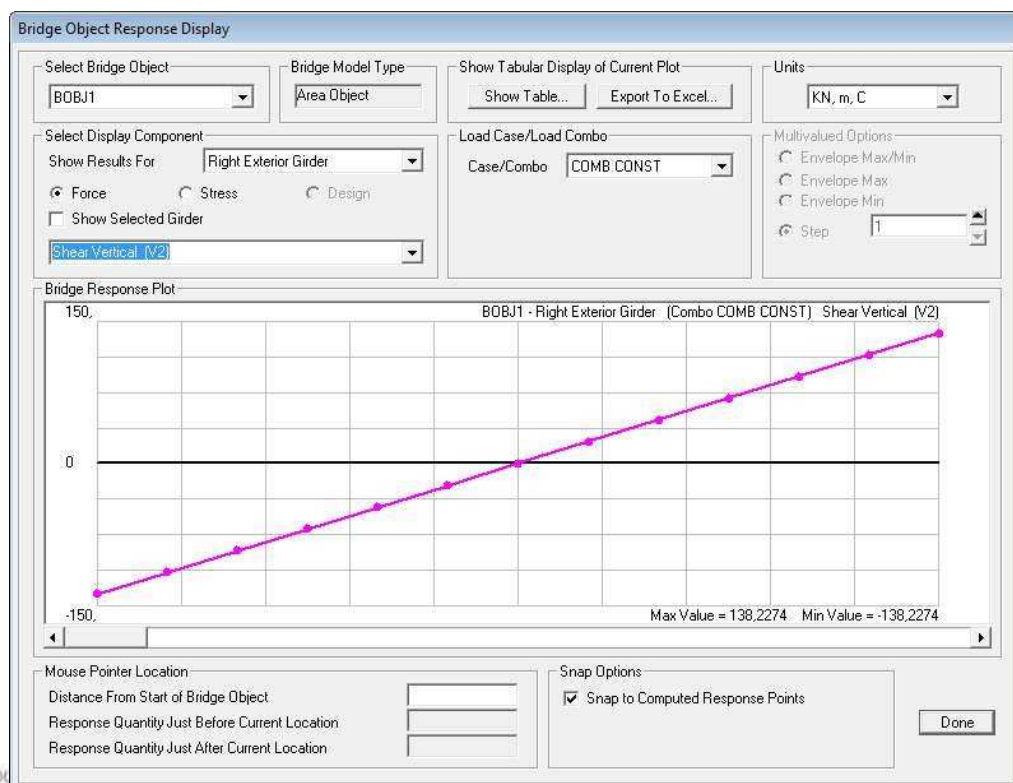
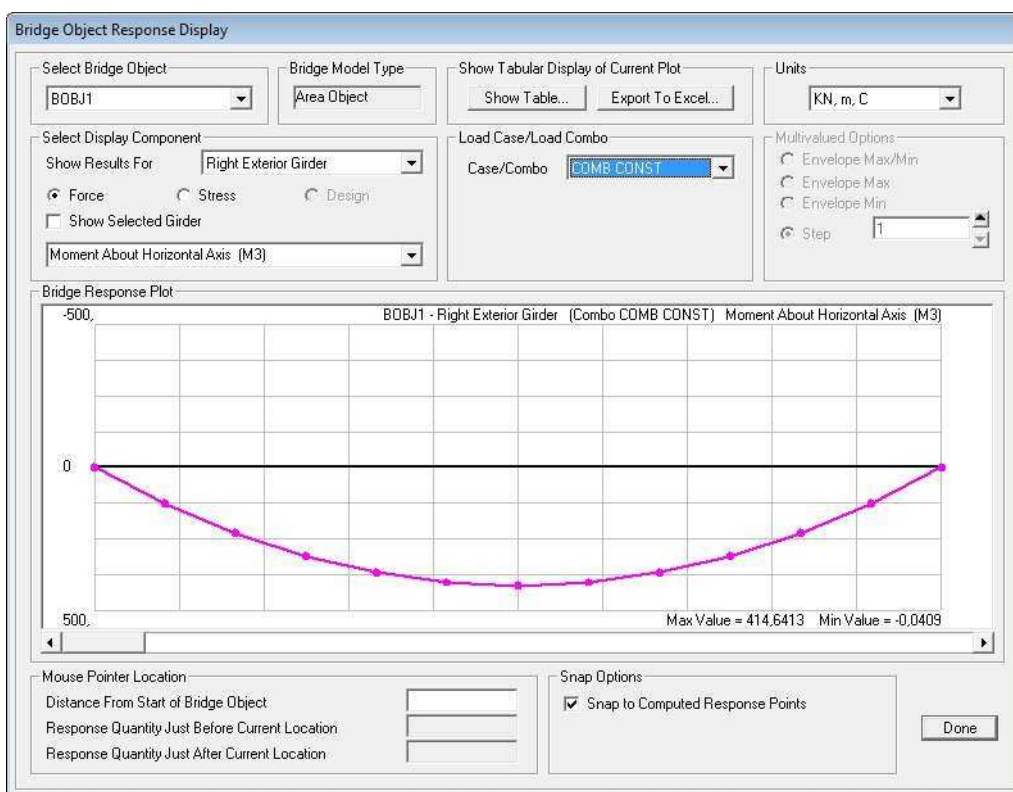
$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00 < 1,00$ OK!

2. Cálculo da Compressão

8. VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS

8.1. VERIFICAÇÃO DO PERFIL – FASE DE CONSTRUÇÃO

8.1.1. GRÁFICOS DOS ESFORÇOS



$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então } M_{Rk} = C_b \cdot \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq M_{pl}$$

$$M_{Rk}^{FLT} = 1322,37 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLT}$$

3.2. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$\lambda = \frac{b}{t} = 8,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9,15 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 23,89 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$M_{cr} = \frac{0,69 \cdot E}{\lambda^2} \cdot W_c = 4025,90 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem elástica}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } M_{Rk} = \frac{M_{pl}}{1,10}$$

$$M_{Rk}^{FLM} = 1616,94 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

3.3. FLA - Flambagem Local da Alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 45,12 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137,24 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$M_y = W \cdot f_y = 1463,38 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } M_{Rk} = \frac{M_{pl}}{1,10}$$

$$M_{Rk}^{FLA} = 1616,94 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLA}$$

$$M_{Rk} = 1322,37 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico}$$

$$M_{xRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 1202,15 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,34 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4 Cálculo da Resistência à flexão - eixo Y

$$\begin{aligned}\sigma_r &= 103500,00 \text{ kN/m}^2 && \text{Tensão residual} \\ W &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo resistente elástico} \\ Z &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo resistente plástico} \\ M_{pl} &= Z \cdot f_y = 352,03 \text{ kN.m} && \text{Momento fletor de plastificação da seção}\end{aligned}$$

4.1. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 71051,83 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 5912,44 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 9481,06 \text{ kN}$$

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

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 9481,06 \text{ kN}$$

$$N_e = 5912,44 \text{ kN}$$

$$Q = 0,94 \quad \text{Fator de redução associado à instabilidade local}$$

$$N_{pl} = A \cdot f_y = 6834,45 \text{ kN}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e}} = 1,04$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0,63$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,10} = 3704,33 \text{ kN}$$

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

3 Cálculo da Resistência à flexão - eixo X

$$\begin{aligned}\sigma_r &= 103500,00 \text{ kN/m}^2 && \text{Tensão residual} \\ W &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo resistente elástico} \\ Z &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo resistente plástico} \\ M_{pl} &= Z \cdot f_y = 1616,94 \text{ kN.m} && \text{Momento fletor de plastificação da seção}\end{aligned}$$

3.1. FLT - Flambagem Lateral com Torção

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = 81,30 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42,38 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\beta_1 = 0,03$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \cdot \sqrt{I_y \cdot I_t}}{r_y \cdot I_t \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} = 120,68 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente}$$

ao início do escoamento

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \cdot W = 1024,36 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento}$$

$$C_b = 1,00 \quad \text{Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme}$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left(1 + 0,039 \cdot \frac{I_t \cdot L_b^2}{C_w}\right)} \leq M_{pl} = 1616,94 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de}$$

flambagem elástica

$$\lambda = \frac{b}{t} = 8,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9,15 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 23,89 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } M_{Rk} = \frac{M_{pl}}{1,10}$$

$$M_{Rk}^{FLM} = 352,03 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

$$M_{Rk} = 352,03 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico}$$

$$M_{yRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 320,03 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

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

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 8,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 1,20 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 29,01 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 36,13 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

$$A_w = 0,01 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva de cisalhamento}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 2548,58 \text{ kN} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } V_{Rk} = V_{pl}$$

$$V_{xRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 2316,89 \text{ kN} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

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

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 45,12 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

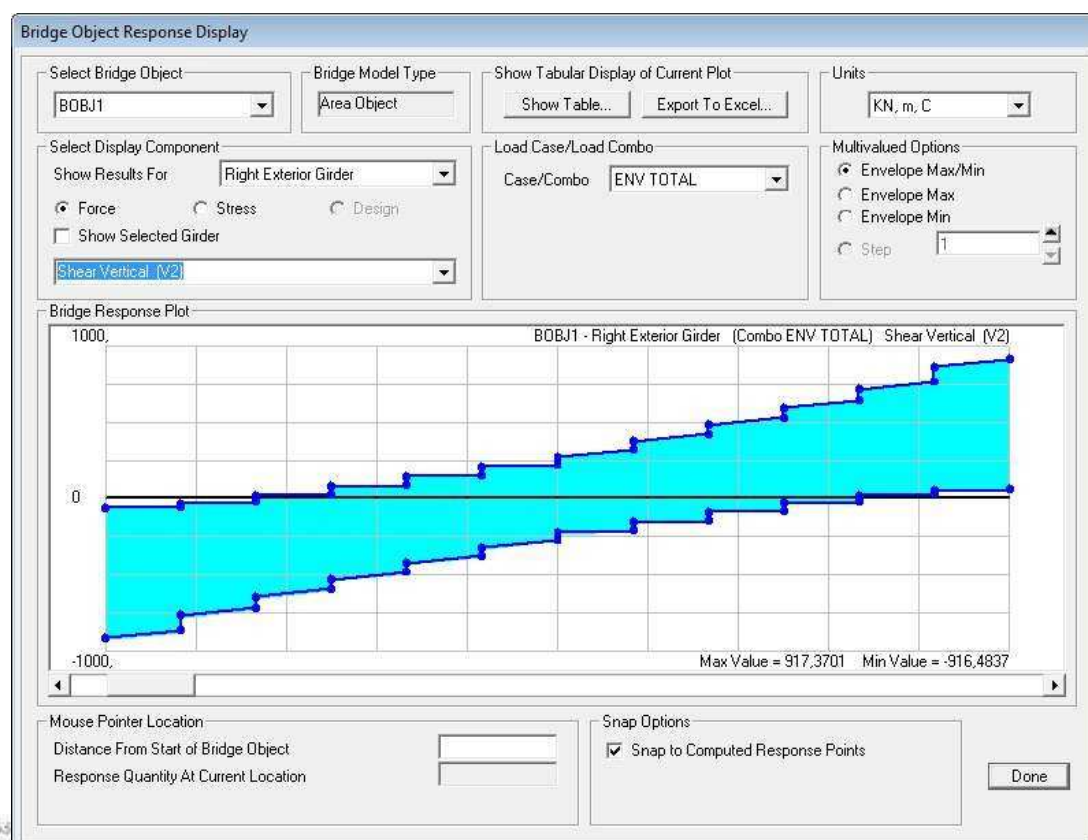
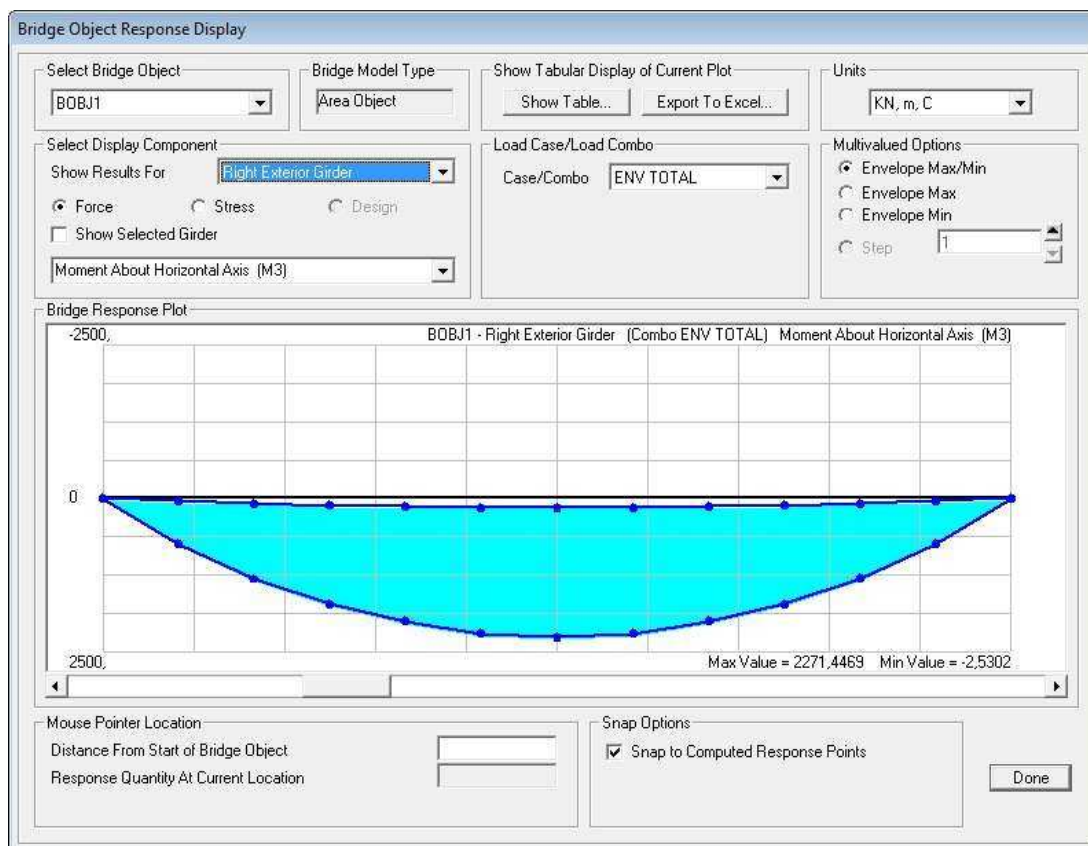
$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 59,22 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 73,76 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

8.2. VERIFICAÇÃO DO PERFIL – COMBINAÇÃO ULTIMA

8.2.1. GRÁFICOS DOS ESFORÇOS



$$A_w = 0,01 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva de cisalhamento}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 1606,26 \text{ kN} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \quad \text{então} \quad V_{Rk} = V_{pl}$$

$$V_{yRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 1460,23 \text{ kN} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,09 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{tRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,34$$

$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{cRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,34$$

8.2.3. VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO

Verificação ao Cisalhamento com Enrijecedor		
Vd	917,4	KN
a/h	5,038394415	
Kv	5	
Aw	77,597	cm ²
Ve(nomina	3516,49095	KN
Vr(escome	1285,00632	kN
Vpl	1606,2579	KN
Vrd	1460,234455	KN
Vrd > Vd	OK!	

Verificação Esbeltez	
$\lambda(h/tw)$	45,11811
λ_p	59,96
λ_r	74,67

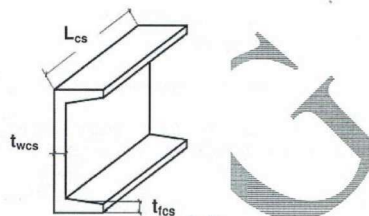
8.2.4. VERIFICAÇÃO DOS CONECTORES

fycs	250	MPa
fucs	400	MPa
Ccd	5737,5	KN
Tad	5596,276364	KN
Fhd	5596,276364	KN
n	23	
n total	46	
vão	12	m
n conect/fileira	1	
c/	26,7	cm
bf	4	cm
Lcs	18	cm
twcs	0,457	cm
tfcs	0,75	cm
Qrd(kN)	α	OK
373,8427771	1,536447329	

(número de conectores entre o apoio e o ponto de Mmax)

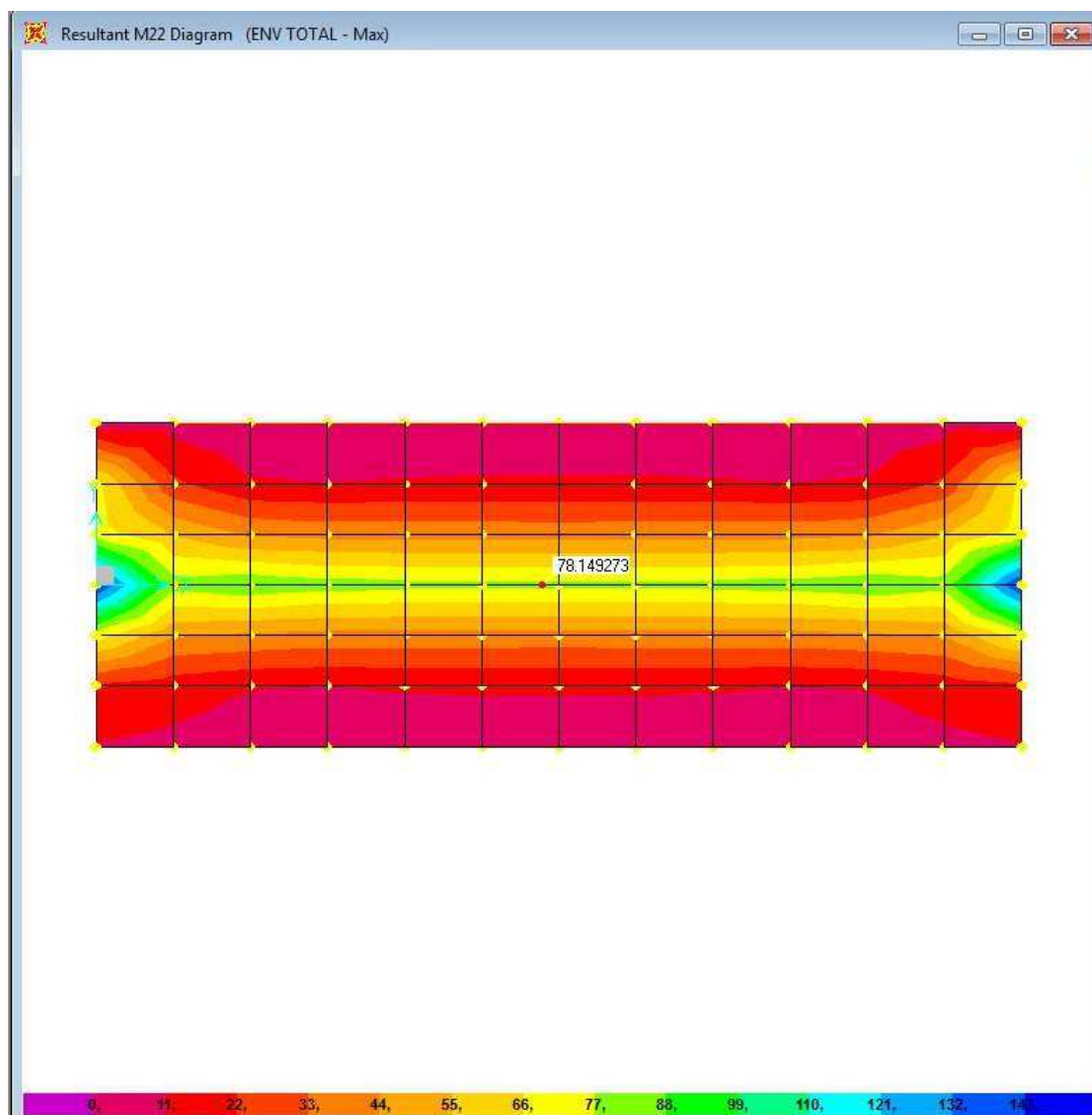
$$Q_{Rd} = \frac{0,3(t_{fcs} + 0,5t_{wcs})L_{cs}\sqrt{f_{cs}E_c}}{\gamma_{cs}} \quad (13.5)$$

onde t_{fcs} é a espessura da mesa do conector, tomada a meia distância entre a borda livre e a face adjacente da alma; t_{wcs} é a espessura da alma do conector e L_{cs} é o comprimento do perfil U, figura 13.13.

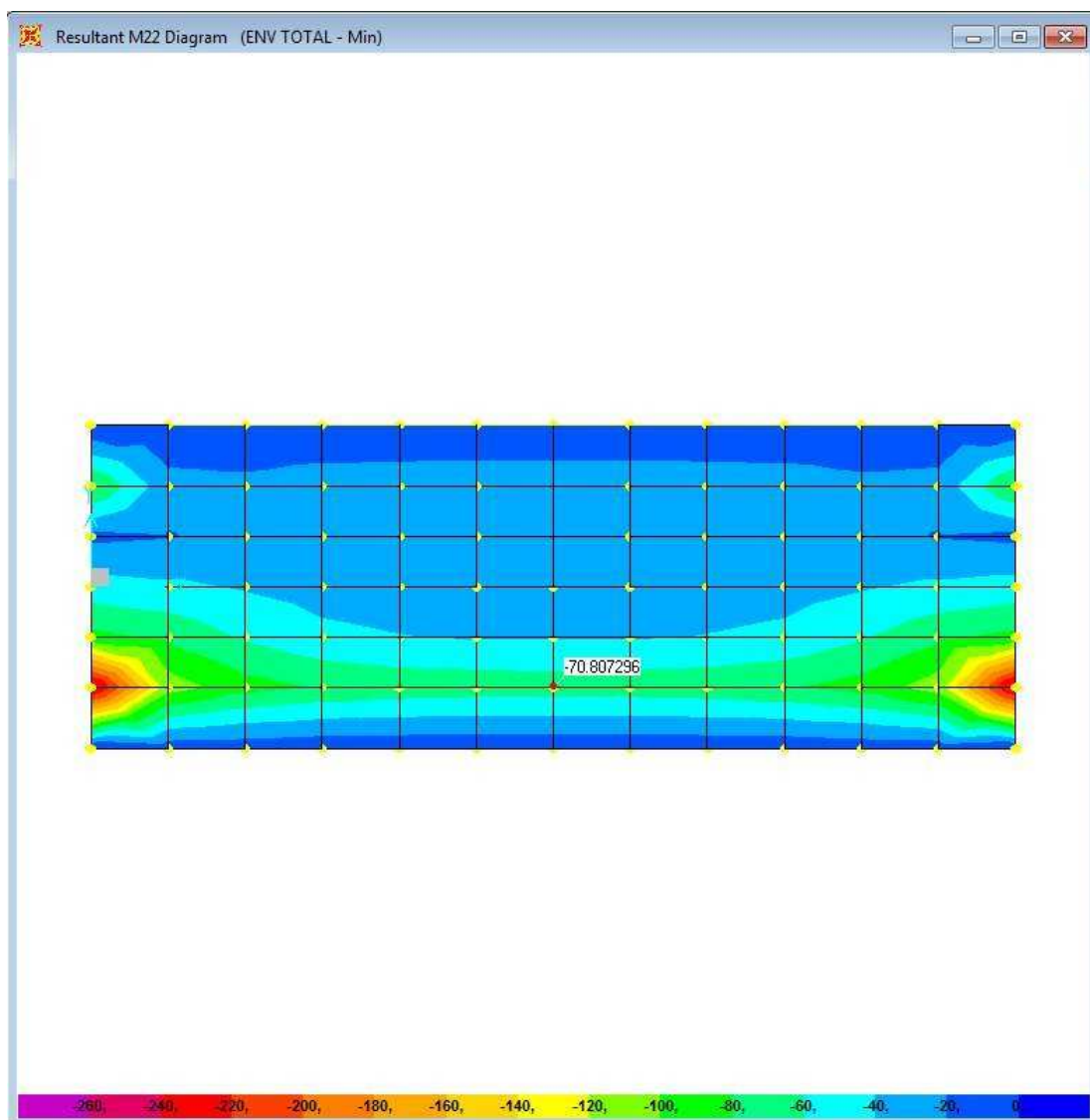


9. TABULEIRO

9.1. ARMAÇÃO POSITIVA PRINCIPAL

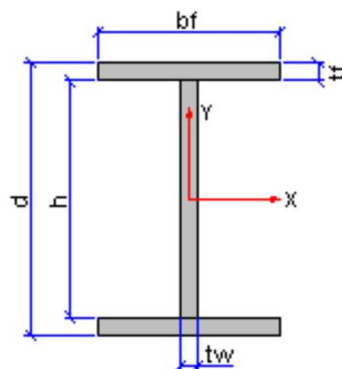


9.2. ARMAÇÃO NEGATIVA PRINCIPAL



8.2.2. VERIFICAÇÃO À FLEXÃO DO CONJUNTO PERFIL/TABULEIRO

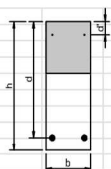
PROPRIEDADES DA VIGA		
PERFIL	W610x155	
d	611	mm
tw	12,7	mm
bf sup	324	mm
bf inf	324	mm
tf sup	19	mm
tf inf	19	mm
h	573	mm
Area (cm ²)	198,1	cm ²
Zx	4689,884628	cm ³
yg	302,0933897	mm
Iperfil	127843,2823	cm ⁴
Aço	A572 gr50	
fy	345	MPa
fu	450	MPa
Es	20500	KN/cm ²
PROPRIEDADES DA LAJE		
Concreto	30	MPa
B	150	cm
e	21	cm
Ec	2607,16	KN/cm ²
αe	7,86	
btr	19,08	cm
hf	0	cm
A'c	400,61	cm ²



Verificação Esbeltez			
h/tw	45,12	Plastificação	
FLA	91,65		
FLA,lim	138,94		
PARA INTERAÇÃO COMPLETA E REGIME PLÁSTICO			
Posição da LNP			
Ccd	5737,5	kN	
Tad	6213,136364	kN	
LN está na viga			
POSIÇÃO DA LN NA VIGA:		LNP NA MESA SUPERIOR	
PARA LNP NA MESA SUPERIOR			
Yp	0,234031133	cm	OK
Yc	0,117015566	cm	
Yt	29,32455587	cm	
Mrd	250084,3106	kN.cm	

Md	227145	KNcm	
----	--------	------	--

9.3. DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO

ELU - Ruptura														
fck	30	MPa												
fyd	500	MPa												
b	100,00	cm												
h	20,00	cm												
d'	2,50	cm												
d	17,50	cm												
fc	1,821428571	kN/cm²												
CAA	II													
wk	0,3	mm												
Flexão														
Seção	Md (kN.m)	k	k'	As1 (cm²)	As2 (cm²)	As (cm²)	As' (cm²)	As,min (cm²)	φ (mm)	Espaçamento	φ (mm)	Espaçamento	As,adotado (cm²)	Verificação
M22(+)	78,15	0,140	0,140	11,11	0,00	11,11	0,00	3,00	12,5	12,5	+	6,3	12,31	OK
M22(-)	70,80	0,127	0,127	9,99	0,00	9,99	0,00	3,00	12,5	10			12,27	OK
Fissuração														
Seção	As,calc (cm²)	As,efe (cm²)	σsi (kN/cm²)	Acr (cm²)	p.cr	w1	w2	Verificação						
M22(+)	11,11	12,31	28,05	1187,50	0,010	0,17	0,26	OK						
M22(-)	9,99	12,27	25,28	1187,50	0,010	0,14	0,23	OK						

9.4. ARMAÇÃO SECUNDÁRIA

$A_{s_{necessário}}$ é o maior valor entre:

- 0,9cm²
- 0,2 x As principal = 2,46cm²
- 0,5 x As min = 1,50cm²

$$A_{s_{necessário}} = 2,46 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s, adotada} = \emptyset 8 \text{ c} / 15 = 3,35 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

É o relatório.

Catuji-MG, 13 de março de 2025