
PONTE SANTANA MURIAÉ – MG

MEMÓRIA DE CÁLCULO

Renato Carvalho Carreira

Renato Carvalho Carreira - CREA MG 96.055 / D

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | <i>INTRODUÇÃO</i> | 5 |
| 1.1. | OBJETIVO | 5 |
| 1.2. | SISTEMA DE UNIDADES | 5 |
| 1.3. | PARÂMETROS ADOTADOS | 5 |
| 1.4. | NORMAS UTILIZADAS | 6 |
| 2. | <i>ESTRUTURA E SEÇÃO TÍPICA</i> | 7 |
| 3. | <i>METODOLOGIA</i> | 8 |
| 4. | <i>CARREGAMENTOS</i> | 9 |
| 4.1. | PESO PRÓPRIO (DEAD) | 9 |
| 4.2. | CARGA DE REVESTIMENTO(REV)..... | 9 |
| 4.3. | SOBRECARGA(SC1)..... | 10 |
| 4.4. | SOBRECARGA(SC2)..... | 11 |
| 4.5. | SOBRECARGA(SC3)..... | 12 |
| 4.6. | SOBRECARGA(SC4)..... | 13 |
| 4.7. | SOBRECARGA(SC5)..... | 14 |
| 4.8. | SOBRECARGA(SC6)..... | 15 |
| 4.9. | SOBRECARGA(SC7)..... | 16 |
| 4.10. | PESO PRÓPRIO DO NEW JERSEY(PPNJ) | 17 |
| 4.11. | MOVE 1..... | 18 |
| 4.12. | MOVE 2..... | 19 |
| 4.13. | VENTO (VENTO)..... | 20 |
| 4.14. | FRENAGEM (FREN) | 21 |
| 4.15. | TEMPERATURA (TEMP1) | 22 |
| 4.16. | TEMPERATURA (TEMP2) | 23 |
| 4.17. | COEFICIENTE DE IMPACTO..... | 24 |
| 5. | <i>COMBINAÇÕES</i> | 25 |
| 5.1. | ENVOLTÓRIAS DE CARREGAMENTO | 25 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 5.2. | COMBINAÇÕES ULTIMAS..... | 25 |
| 5.3. | ENVOLTÓRIA TOTAL..... | 25 |
| 5.4. | COMBINAÇÃO DE CONSTRUÇÃO | 25 |
| 6. | <i>VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO.....</i> | <i>26</i> |
| 7. | <i>VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS – PERFIL 1500x400x12,5x600x31,5x12,5</i> | <i>28</i> |
| 7.1. | VERIFICAÇÃO DO PERFIL – FASE DE CONSTRUÇÃO | 28 |
| 7.1.1. | GRÁFICOS DOS ESFORÇOS | 28 |
| 7.1.2. | RESULTADOS | 30 |
| 7.2. | VERIFICAÇÃO DO PERFIL – COMBINAÇÃO ULTIMA | 35 |
| 7.2.1. | GRÁFICOS DOS ESFORÇOS | 35 |
| 7.2.2. | VERIFICAÇÃO À FLEXÃO DO CONJUNTO PERFIL/TABULEIRO – MEIO DO VÃO..... | 37 |
| 7.2.3. | VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO | 39 |
| 8. | <i>VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS – PERFIL W530x66.....</i> | <i>40</i> |
| 8.1. | VERIFICAÇÃO DO PERFIL – FASE DE CONSTRUÇÃO | 40 |
| 8.1.1. | GRÁFICOS DOS ESFORÇOS | 40 |
| 8.1.2. | RESULTADOS | 42 |
| 8.2. | VERIFICAÇÃO DO PERFIL – COMBINAÇÃO ULTIMA | 47 |
| 8.2.1. | GRÁFICOS DOS ESFORÇOS | 47 |
| 8.2.2. | VERIFICAÇÃO À FLEXÃO DO CONJUNTO PERFIL/TABULEIRO – MEIO DO VÃO..... | 49 |
| 8.2.3. | VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO | 50 |
| 9. | <i>TABULEIRO.....</i> | <i>51</i> |
| 9.1. | ARMAÇÃO POSITIVA PRINCIPAL..... | 51 |
| 9.2. | ARMAÇÃO POSITIVA SECUNDÁRIA | 52 |
| 9.3. | ARMAÇÃO NEGATIVA..... | 53 |
| 9.4. | ARMAÇÃO NEGATIVA SECUNDÁRIA | 54 |
| 10. | <i>NEOPRENES.....</i> | <i>55</i> |
| 11. | <i>LAJE DE TRANSIÇÃO.....</i> | <i>56</i> |

| | | |
|-------|---|----|
| 12. | <i>TRAVESSA</i> | 57 |
| 13. | <i>PILARES</i> | 59 |
| 14. | <i>ENCONTRO</i> | 63 |
| 15. | <i>TUBULÕES</i> | 64 |
| 15.1. | SONDAGEM..... | 64 |
| 15.2. | VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO..... | 66 |

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVO

Esta Memória de Cálculo tem por objetivo apresentar o dimensionamento estrutural da Ponte Santana em Muriaé - MG.

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.

1.2. SISTEMA DE UNIDADES

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

1.3. PARÂMETROS ADOTADOS

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

CONCRETO DA SUPERESTRUTURA

Resistência à Compressão $f_{ck} = 35\text{MPa}$
Módulo de Elasticidade $E_c = 28,2\text{GPa}$
Coeficiente de Poisson $\mu = 0,2$
Peso Específico $\gamma = 25\text{ kN/m}^3$

CONCRETO DA MESOESTRUTURA E INFRAESTRUTURA

Resistência à Compressão $f_{ck} = 25\text{MPa}$
Módulo de Elasticidade $E_c = 23,80\text{GPa}$
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:

$$E_{CS} = 0,85 \times 5.600 \times \sqrt{f_{ck}}, \text{ onde } E_{CS} \text{ e } f_{ck} \text{ são dados em MPa.}$$

LONGARINAS E TRANSVERSINAS METÁLICAS

Módulo de Elasticidade $E_c = 205\text{ GPa}$
Coeficiente de Poisson $\mu = 0,3$
 f_y 350 MPa
 f_u 500 MPa

AÇO CA-50

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

1.4. 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.

2. ESTRUTURA E SEÇÃO TÍPICA

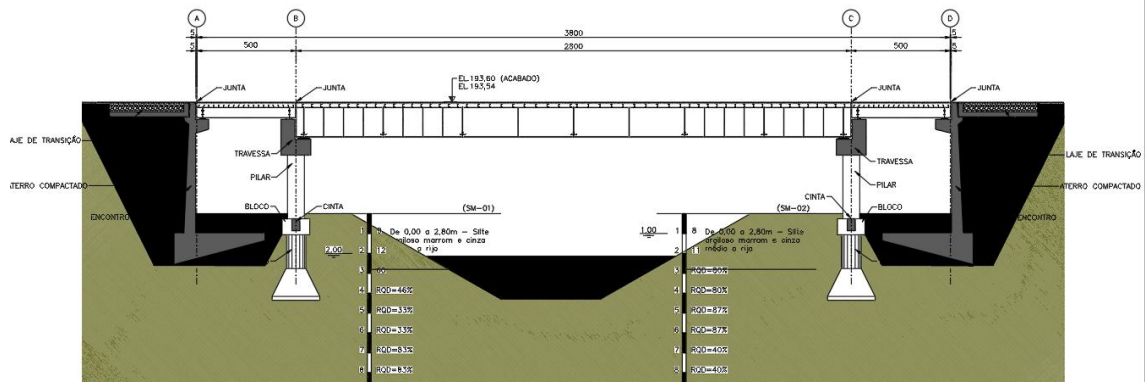


Figura 2.1 – Seção Longitudinal

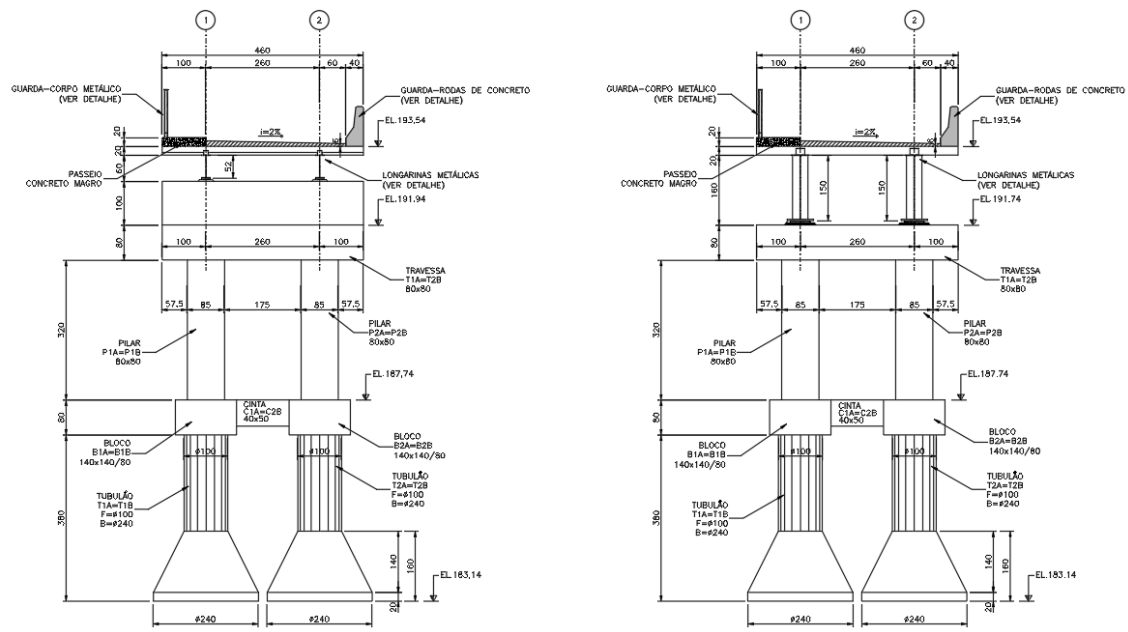


Figura 2.2 – Seção Transversal

3. 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:

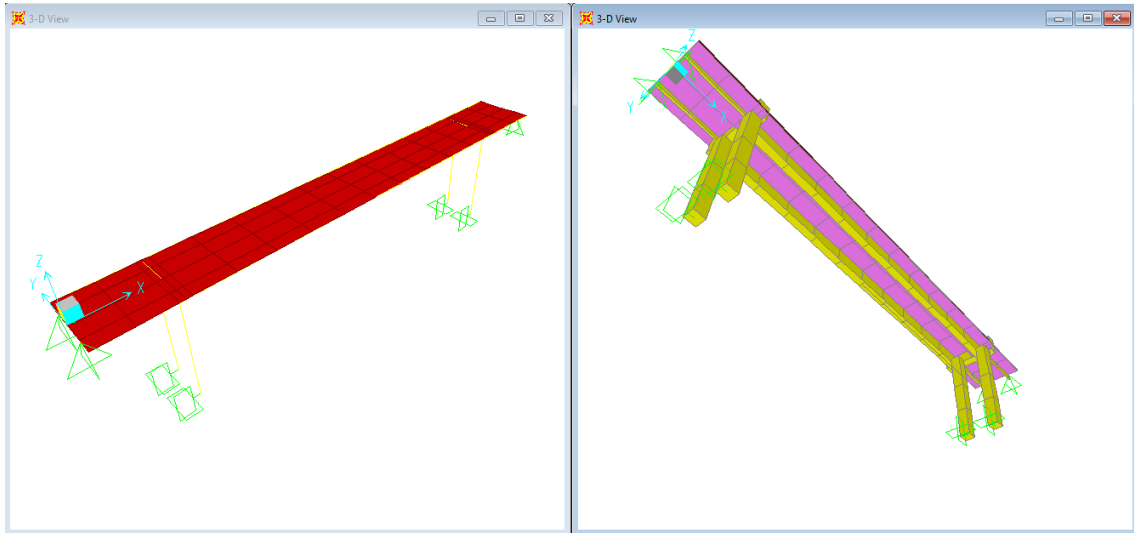


Figura 3.1 – Modelo Tridimensional do Viaduto

4. CARREGAMENTOS

4.1. 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).

4.2. CARGA DE REVESTIMENTO(REV)

Considera-se a carga de revestimento no valor de 2,0kN/m².

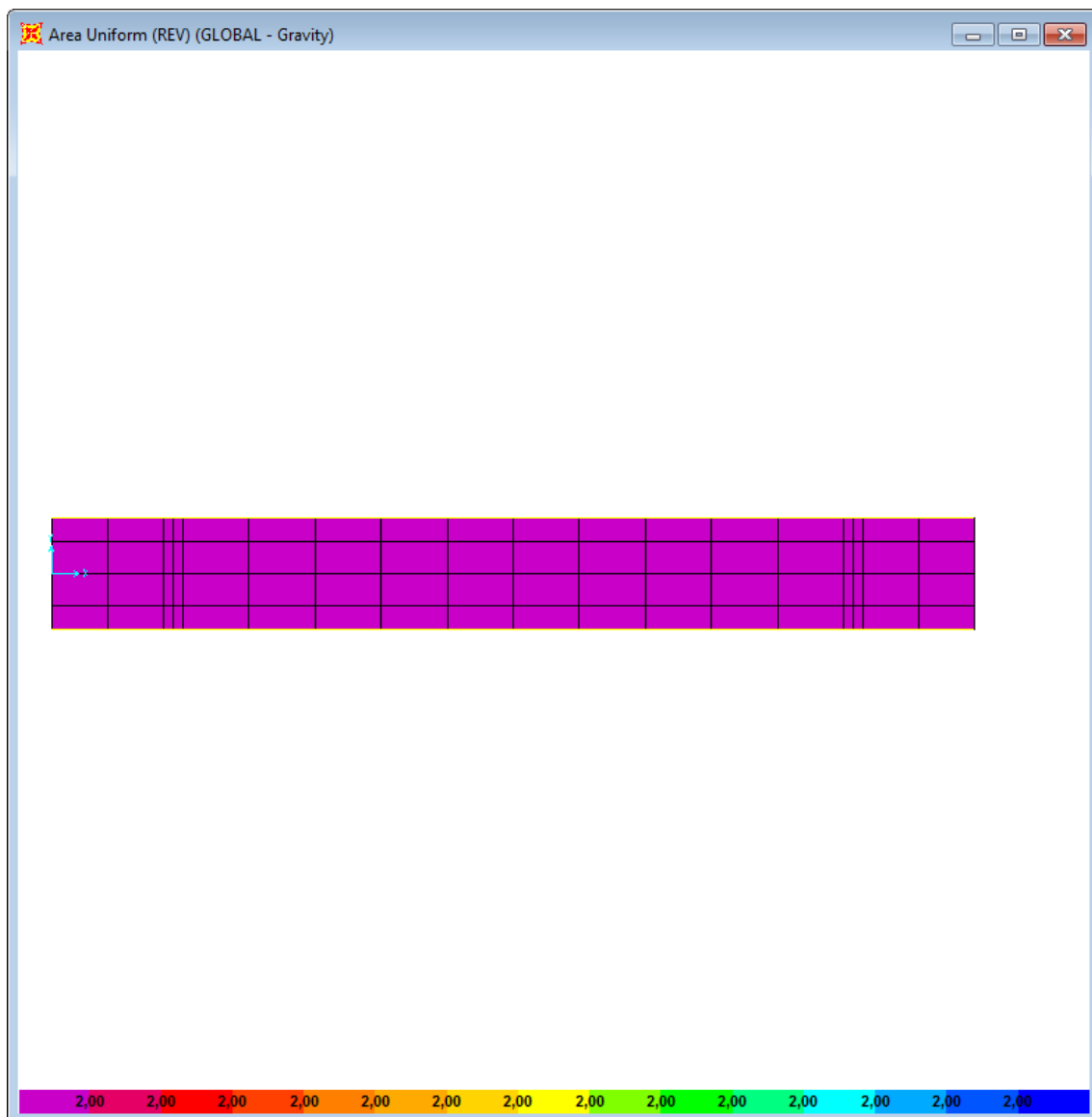


Figura 4.1-REV

4.3. SOBRECARGA(SC1)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m² em todo tabuleiro.

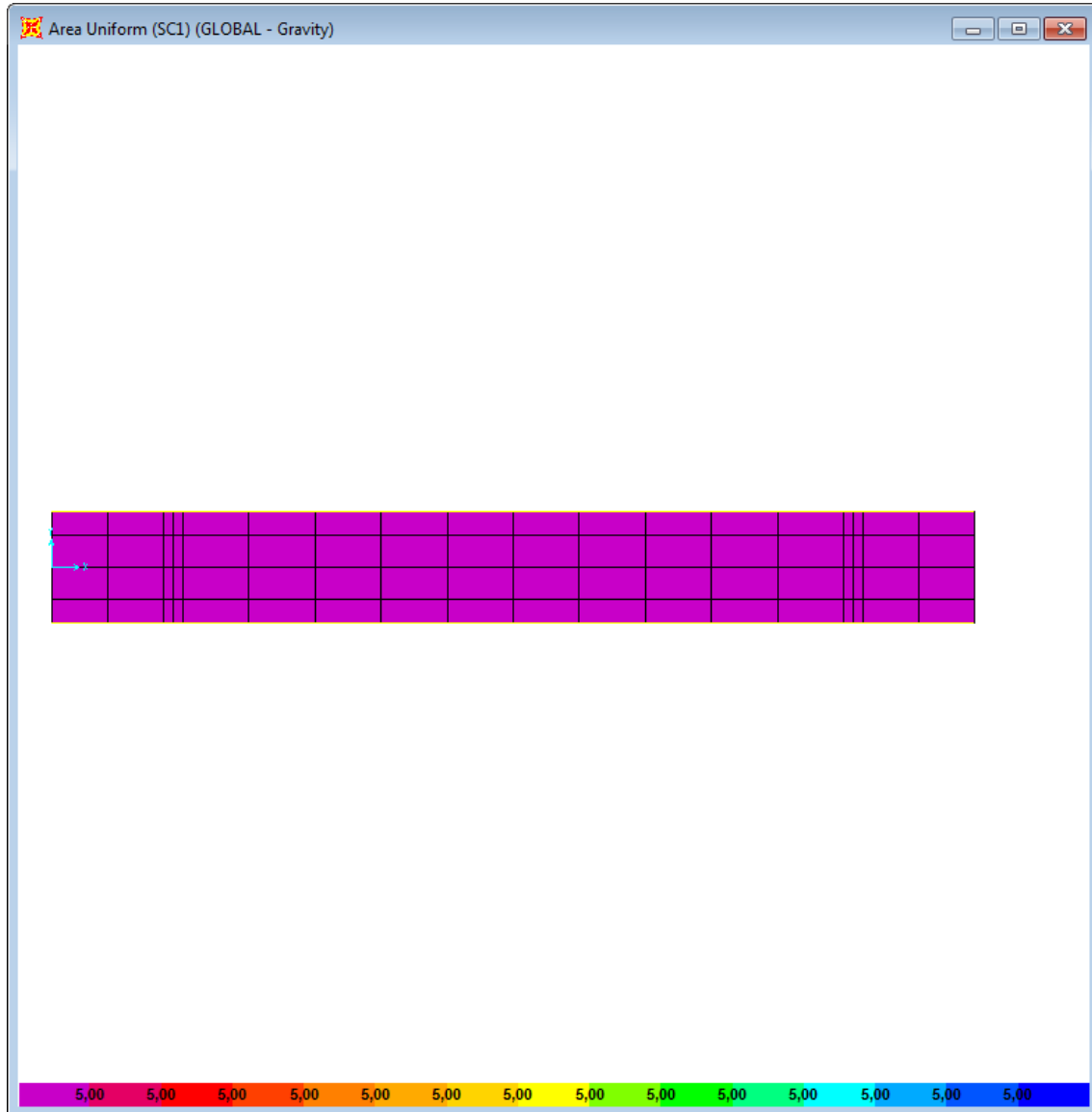


Figura 4.2– SC1

4.4. SOBRECARGA(SC2)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m² em meio tabuleiro.

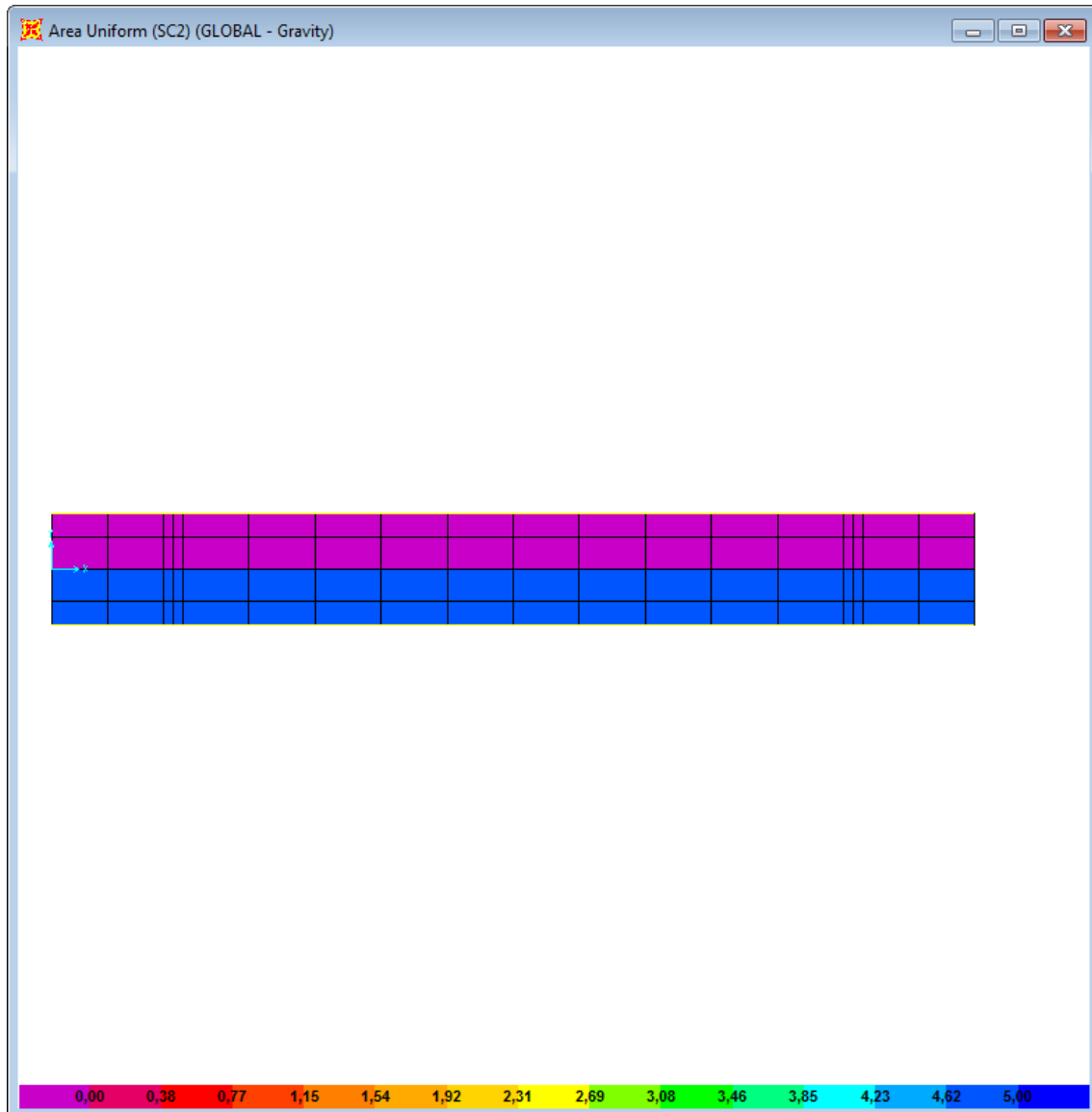


Figura 4.3– SC2

4.5. SOBRECARGA(SC3)

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

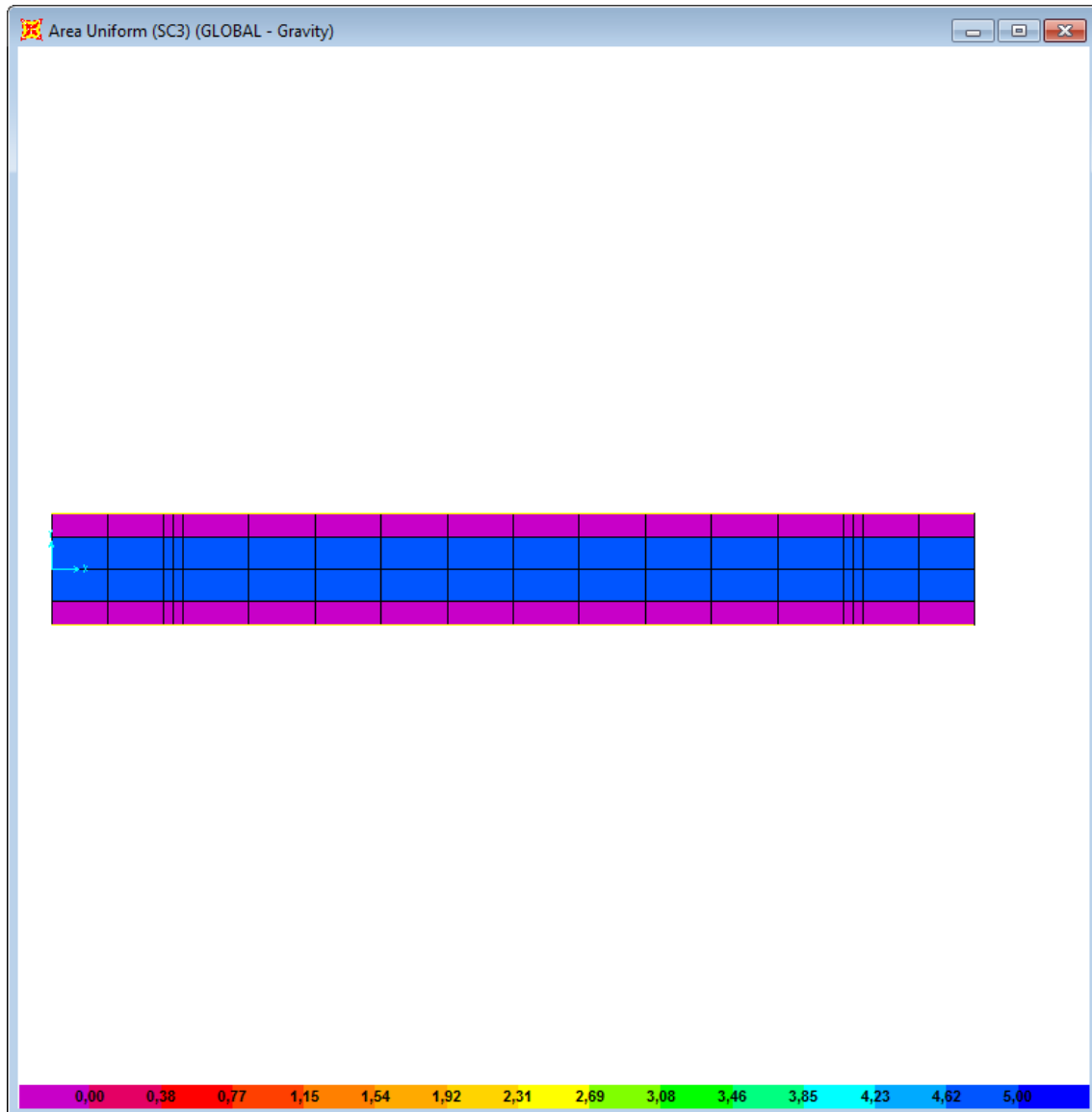


Figura 4.4– SC3

4.6. SOBRECARGA(SC4)

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

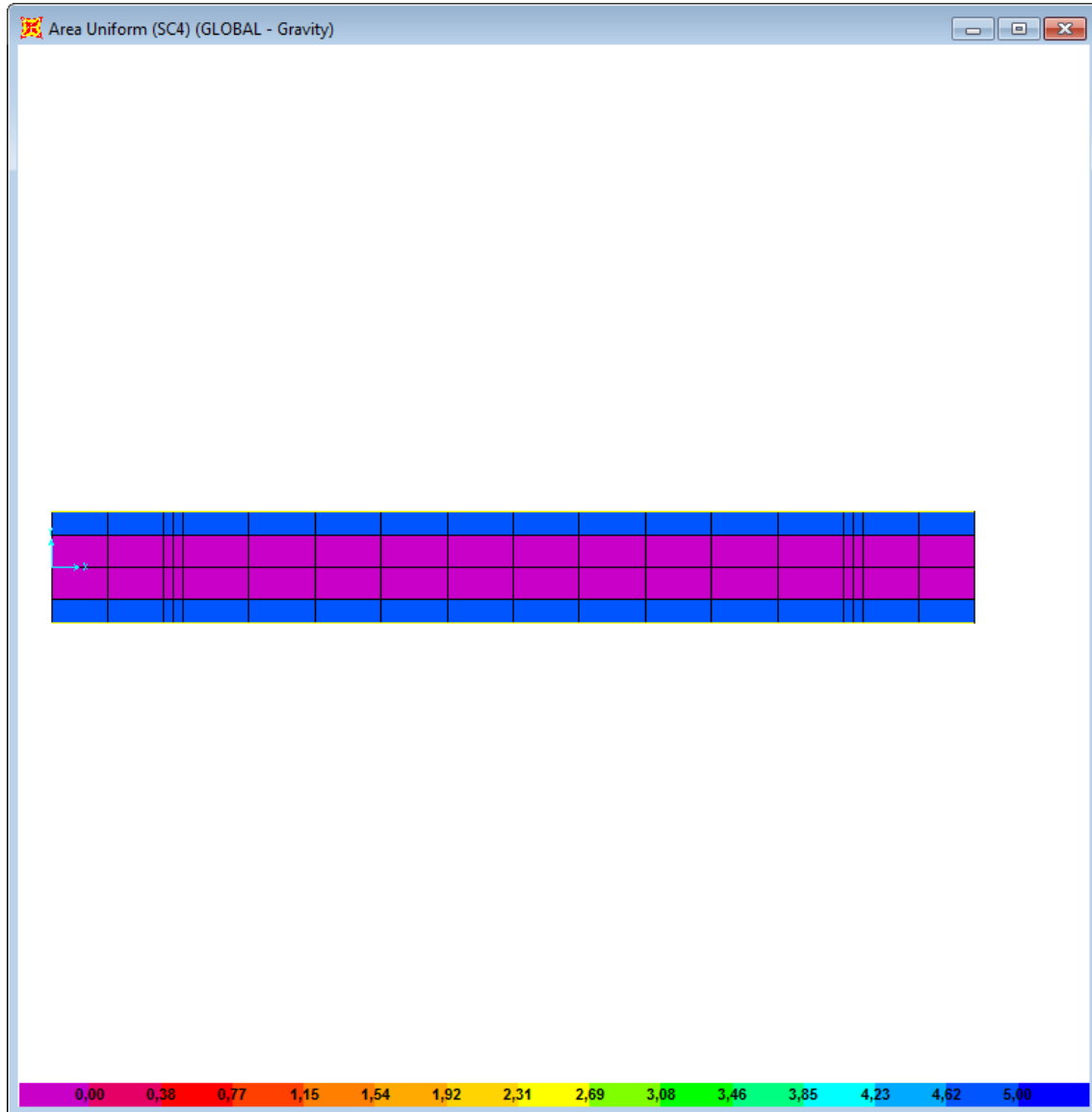


Figura 4.5– SC4

4.7. SOBRECARGA(SC5)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m² no vão central.

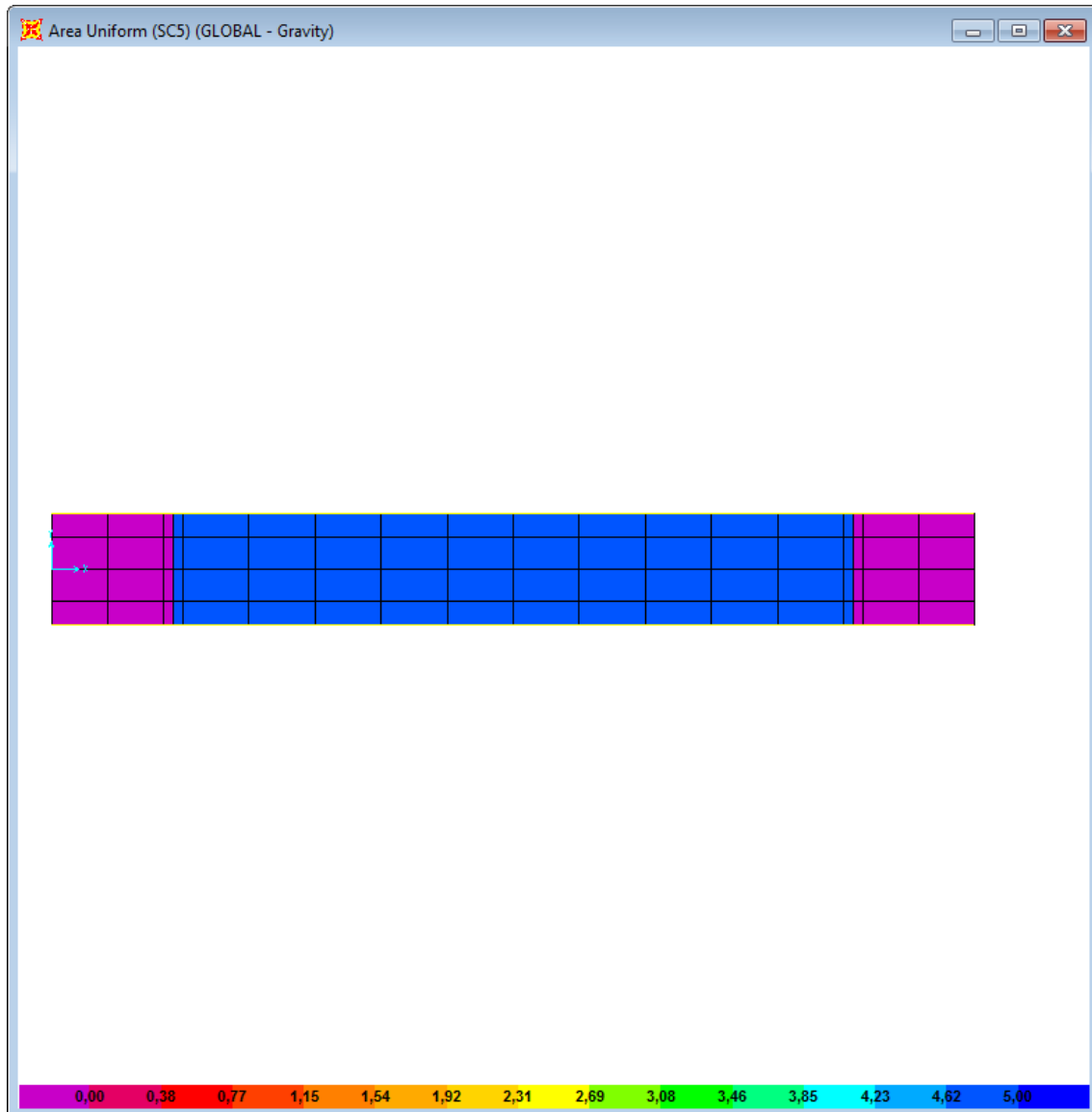


Figura 4.6– SC5

4.8. SOBRECARGA(SC6)

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

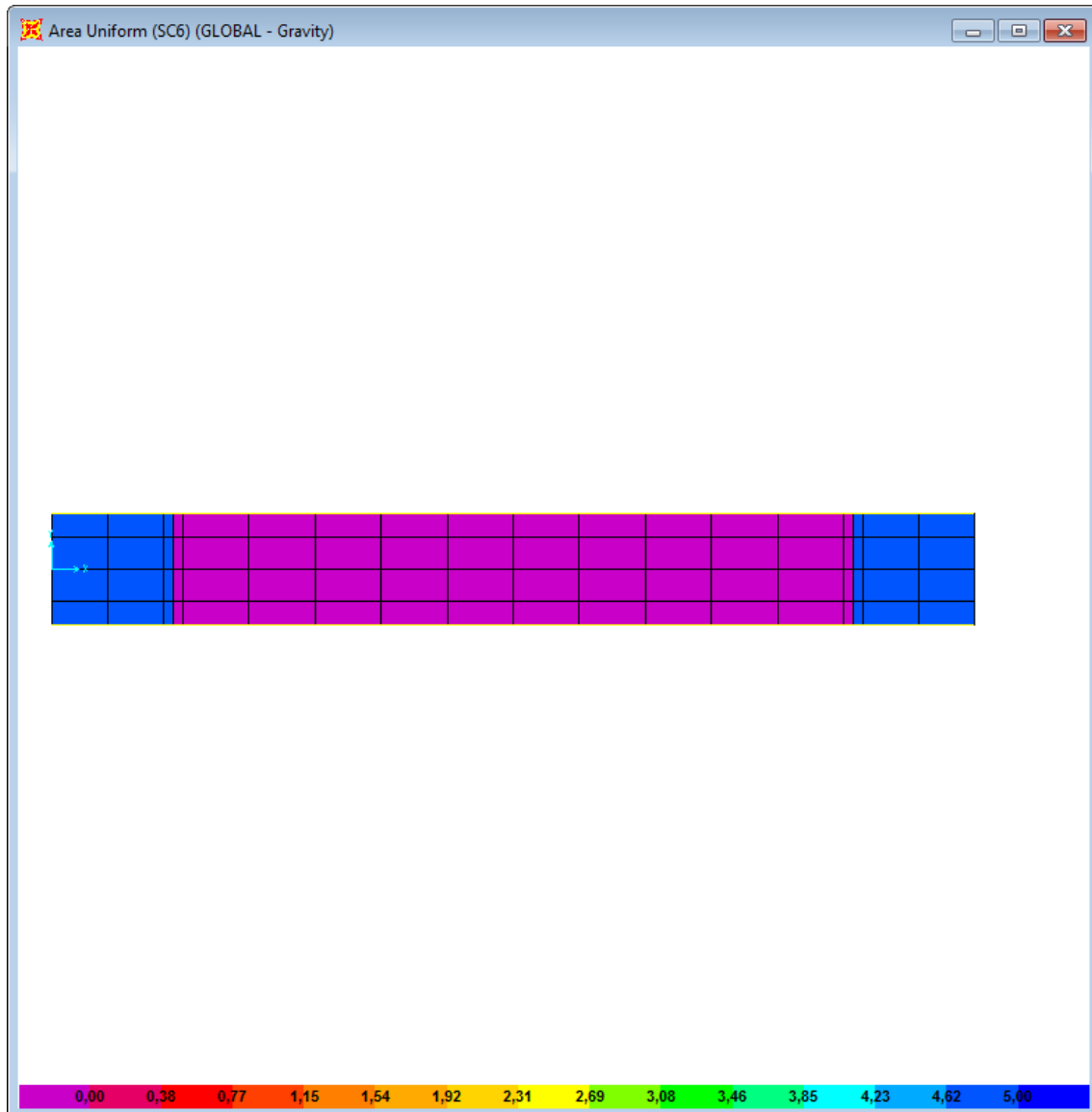


Figura 4.7– SC6

4.9. SOBRECARGA(SC7)

Considera-se a carga de multidão no valor de 5kN/m^2 no primeiro e segundo vão.

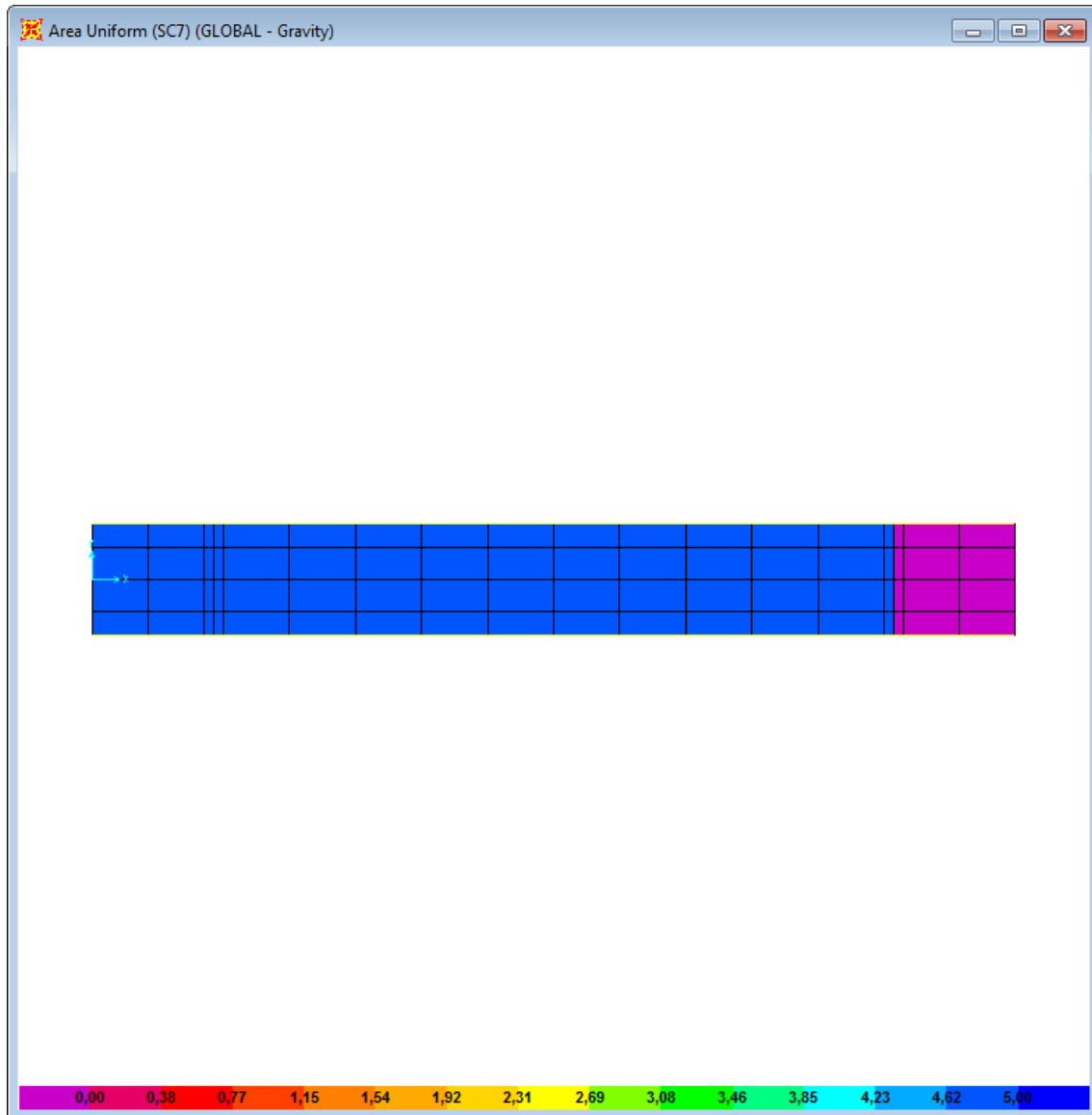


Figura 4.8– SC7

4.10. PESO PRÓPRIO DO NEW JERSEY (PPNJ)

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.

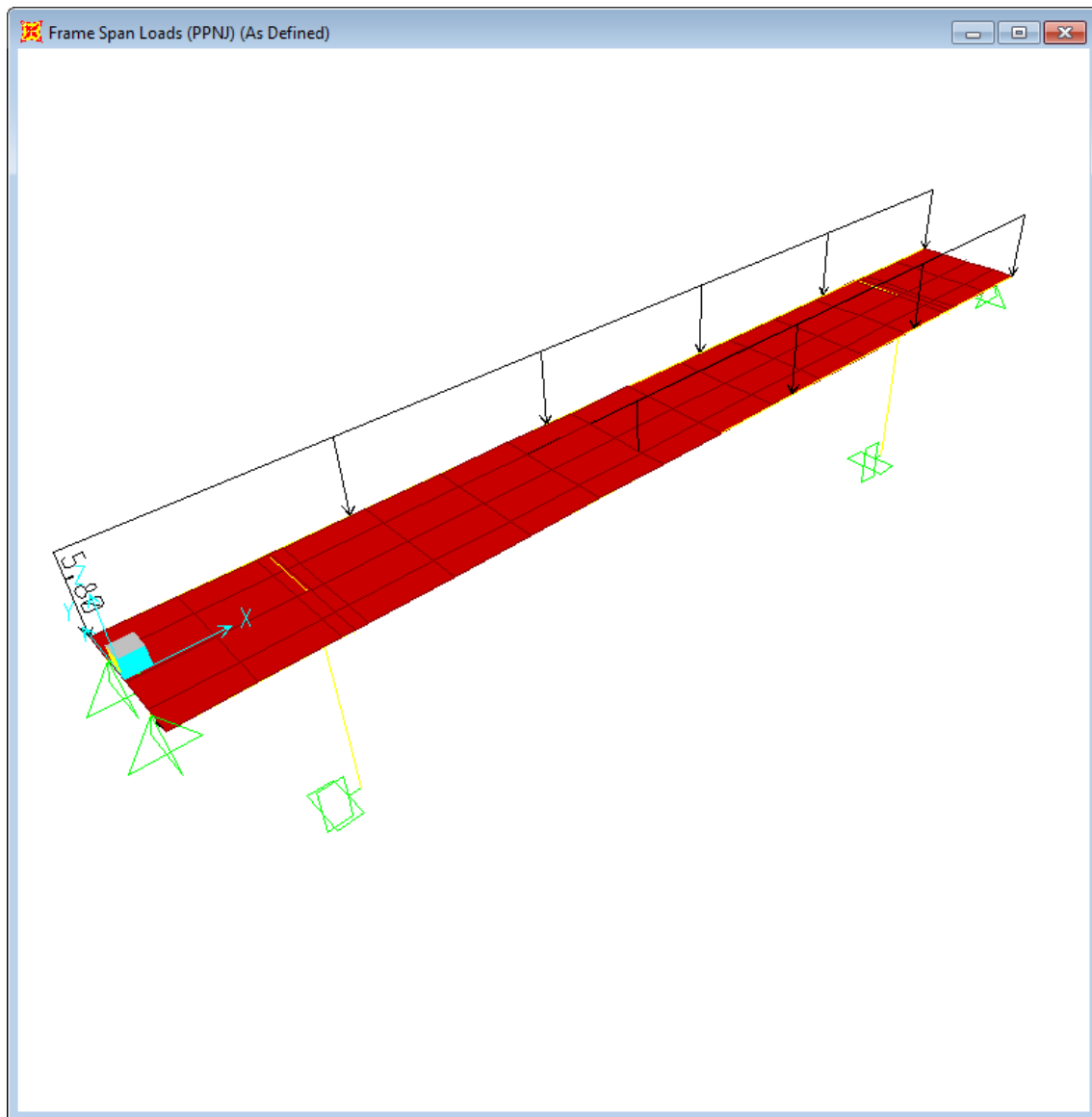


Figura 4.9–PPNJ

4.11. 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.

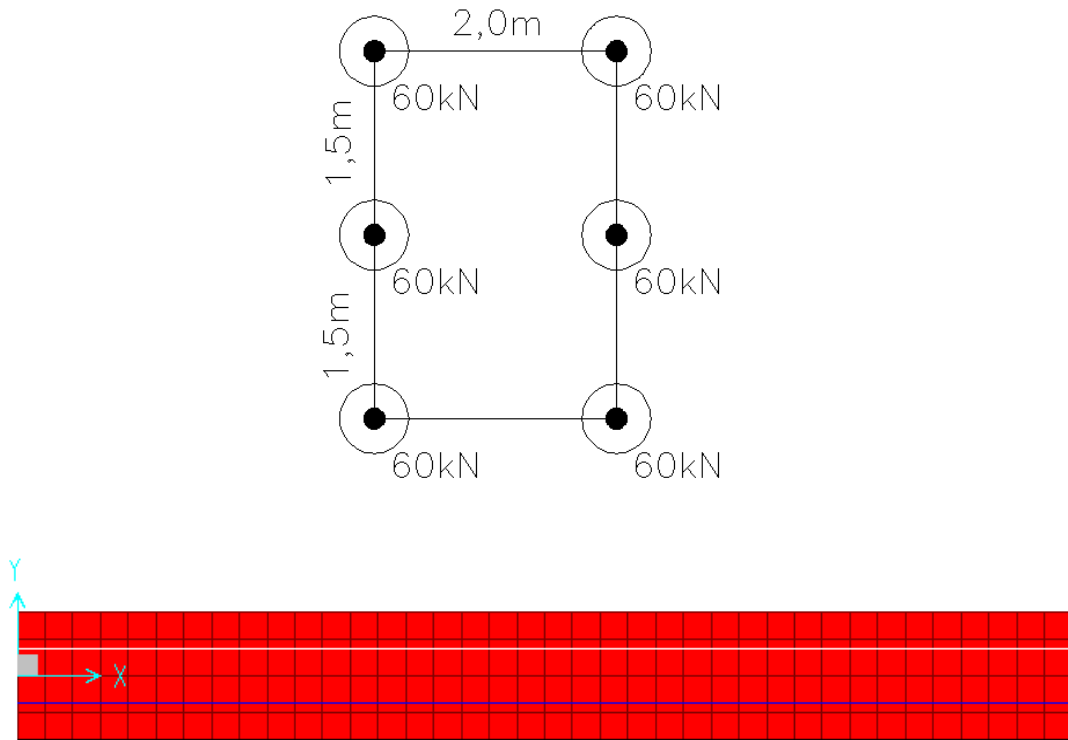


Figura 4.10–MOVE 1

4.12. 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.

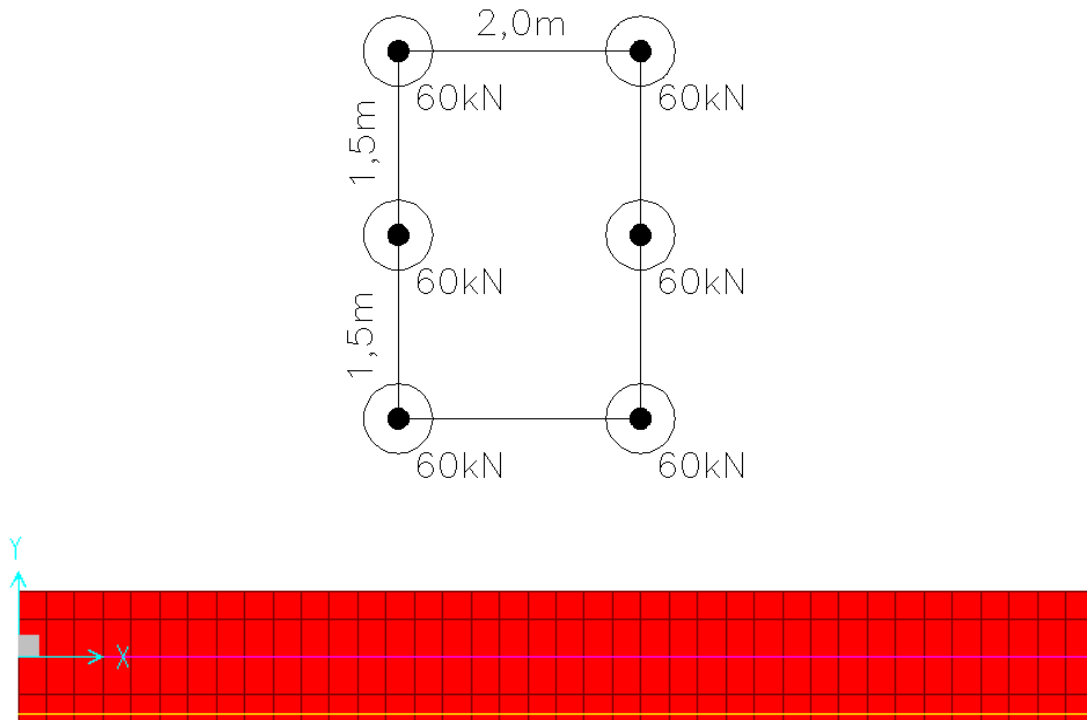
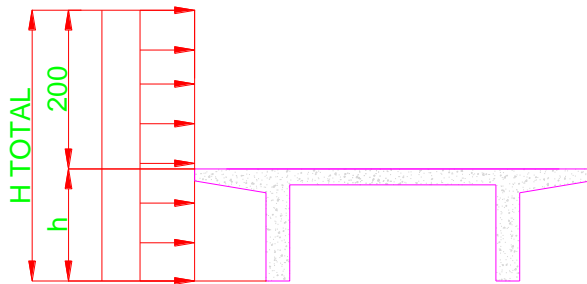


Figura 4.11– MOVE 2

4.13. VENTO (VENTO)

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 | 1,3 m |
| H(total) | 3,3 m |
| F(resultante) | 3,3 kN/m |

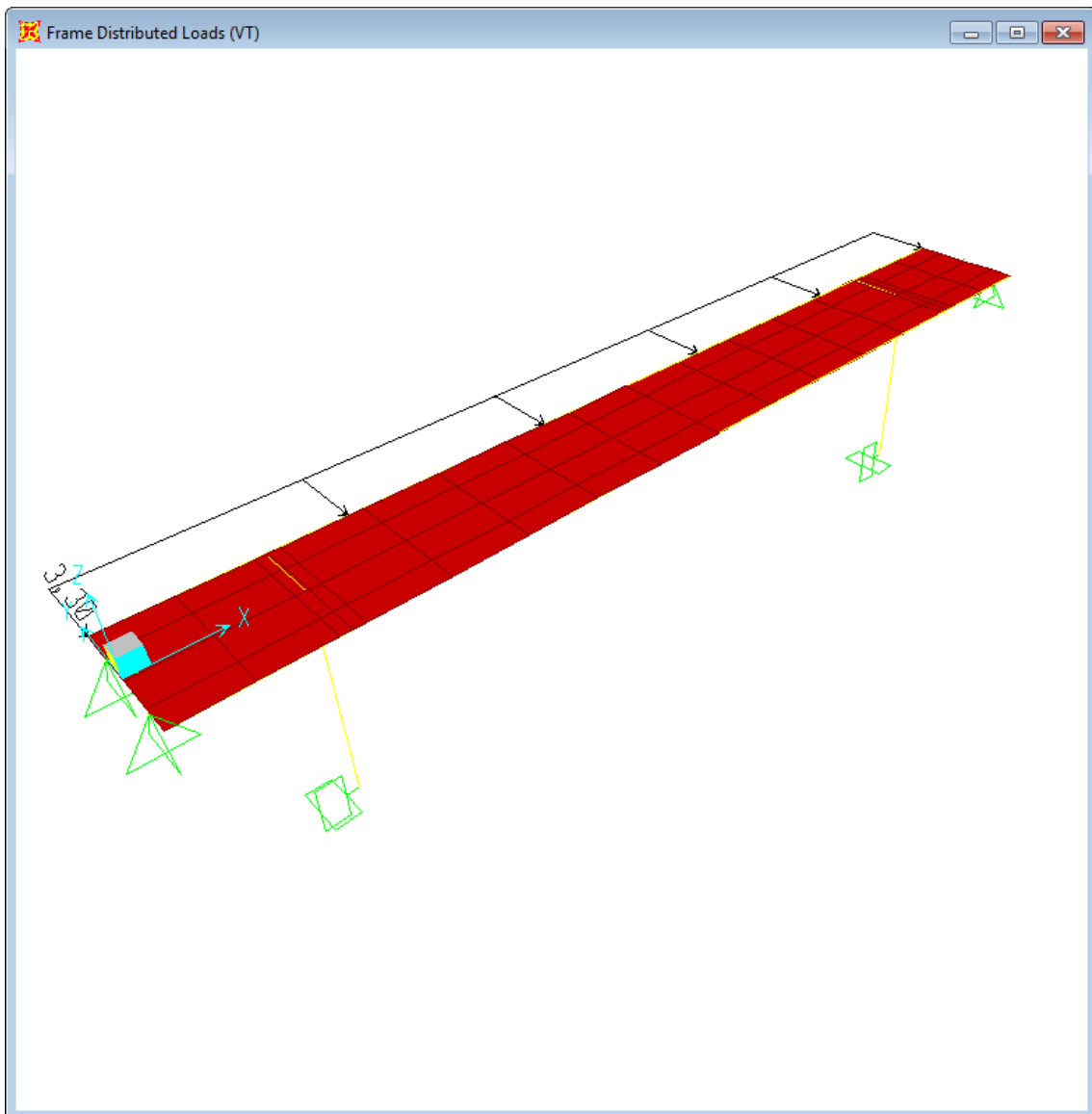


Figura 4.12– VENTO

4.14. FRENAGEM (FREN)

Foram lançadas cargas de frenagem no valor de $0,77\text{kN/m}^2$ em toda a extensão da ponte.

| FRENAGEM | | |
|-------------|----------|-------------------|
| LARGURA (B) | 4,6 | m |
| CNF | 1 | adm |
| COMP. TOTAL | 38 | m |
| | | |
| ADOTADO | 135 | kN |
| | 0,772311 | kN/m ² |

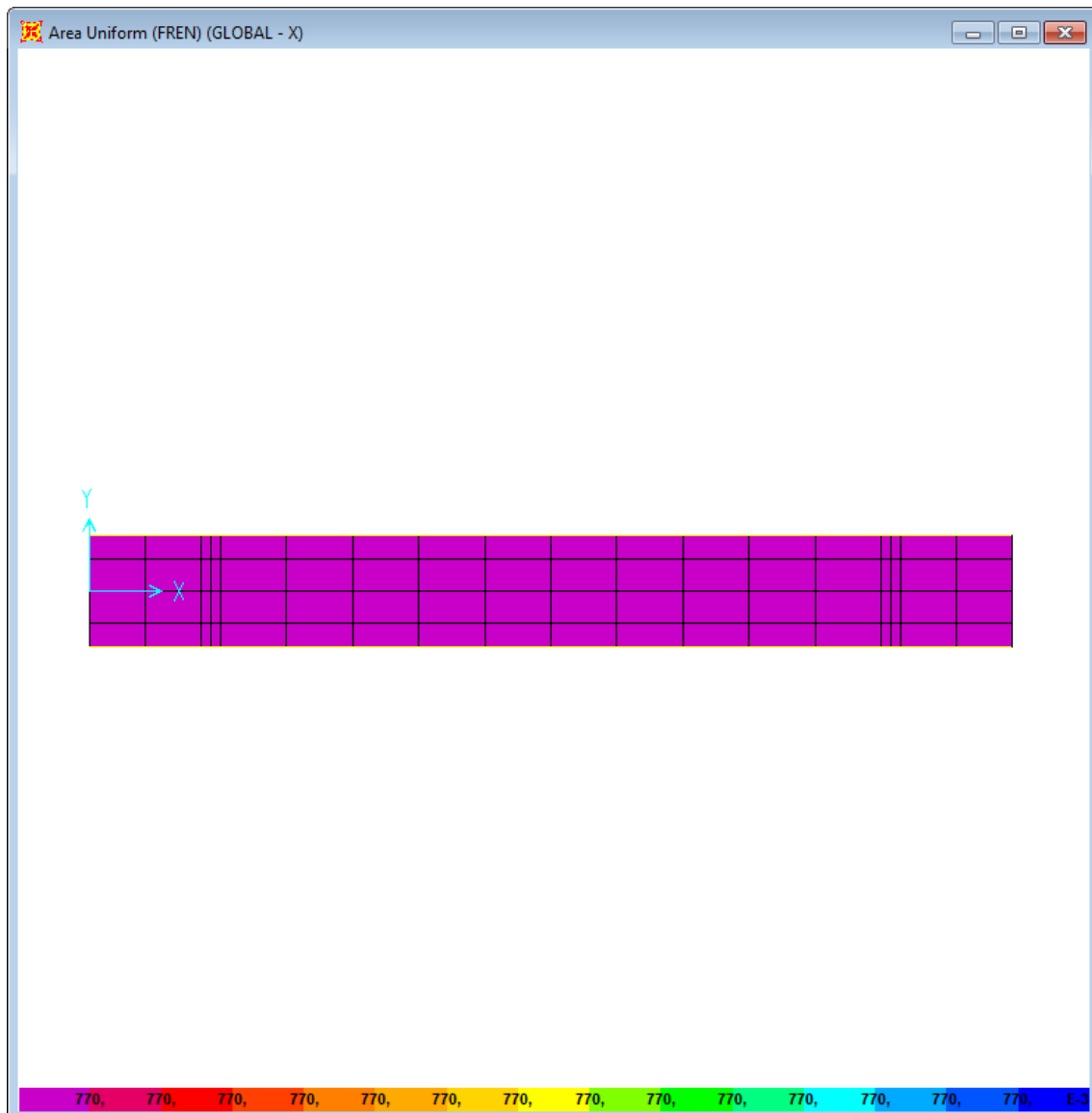


Figura 4.13– FREN

4.15. TEMPERATURA (TEMP1)

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

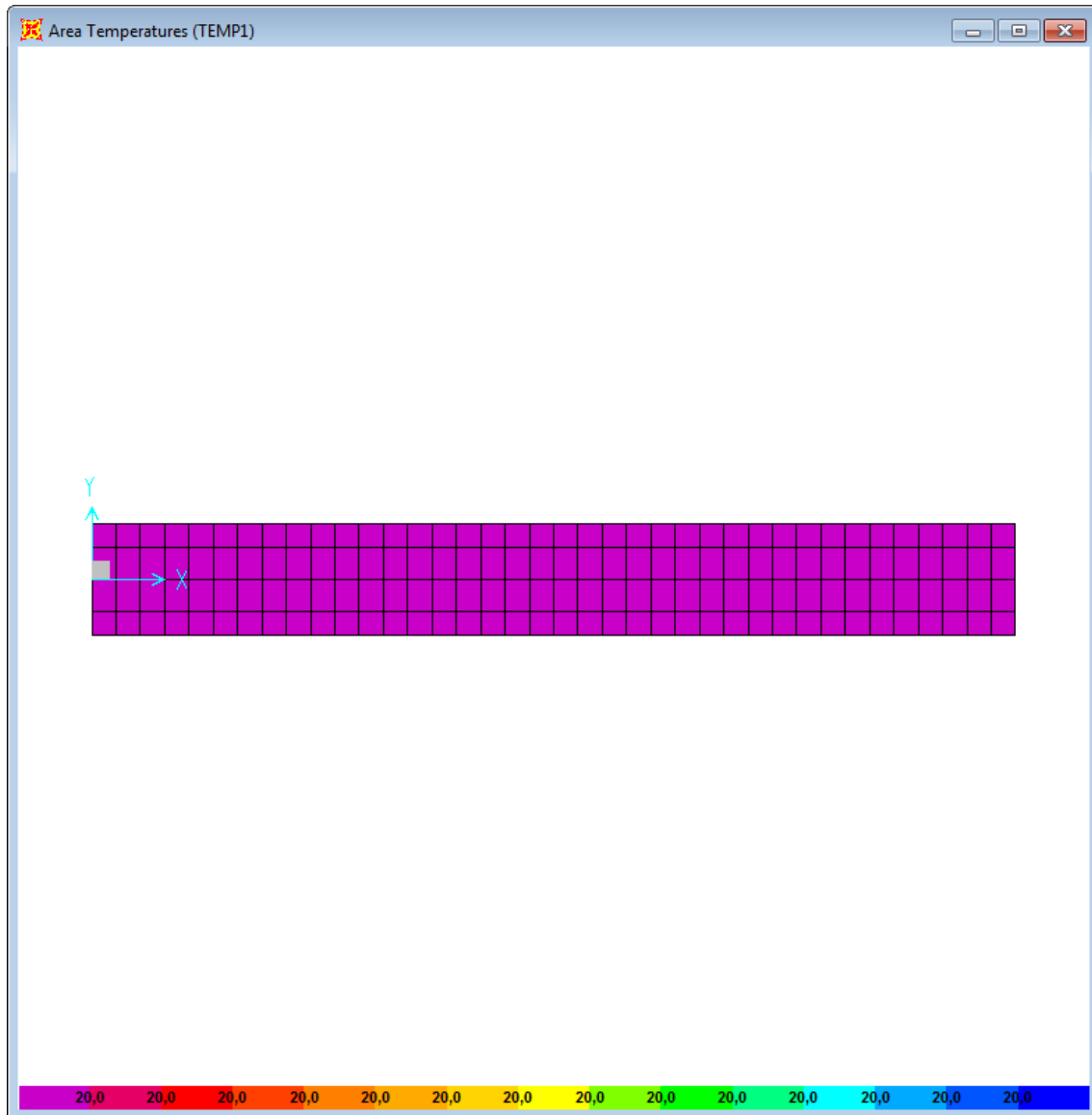


Figura 4.14– TEMP1

4.16. TEMPERATURA (TEMP2)

Foi lançado um gradiente de temperatura no valor de $5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ em todo o tabuleiro da ponte.

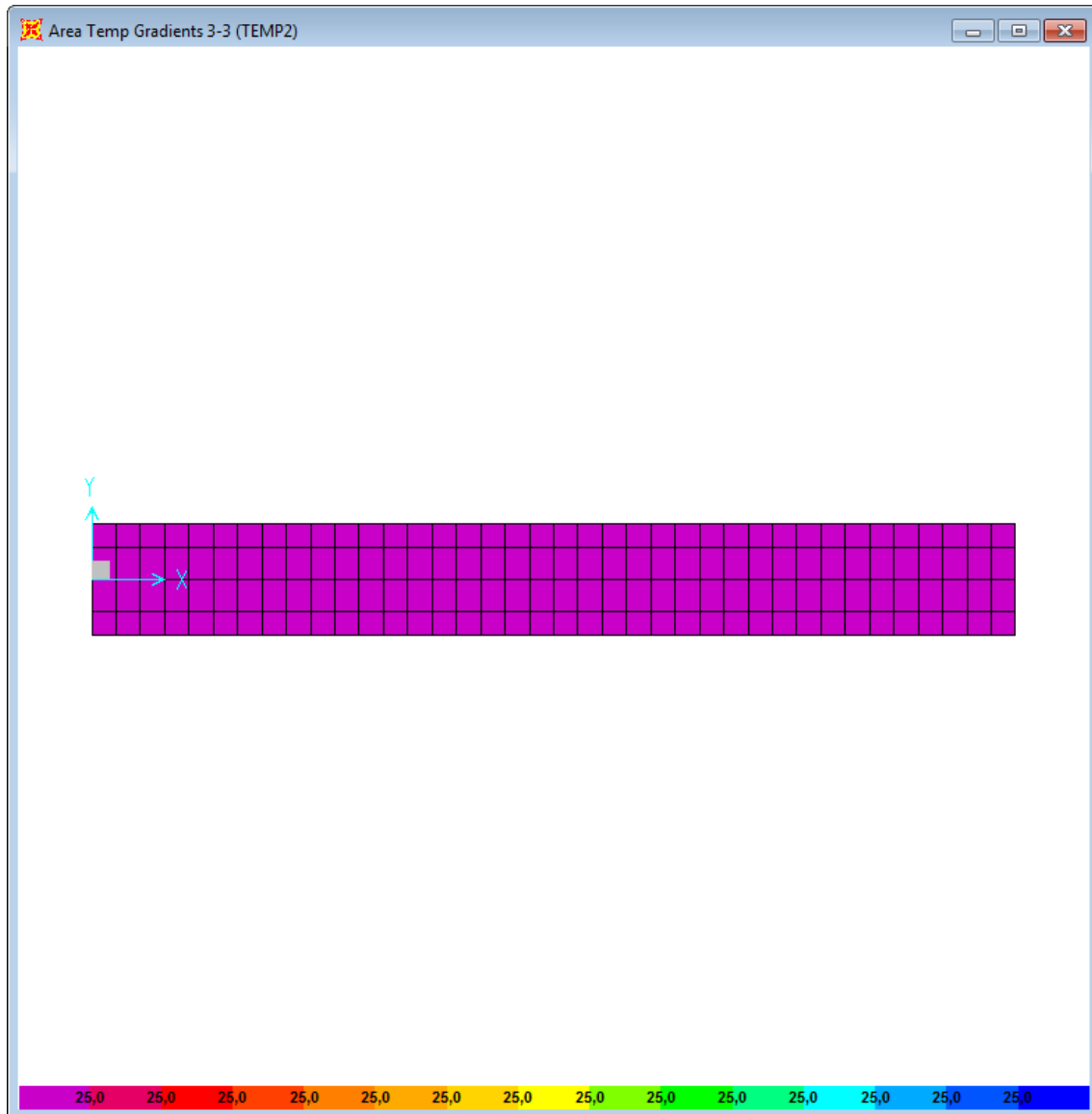


Figura 4.15– TEMP2

4.17. COEFICIENTE DE IMPACTO

O coeficiente de impacto a ser lançado na estrutura é de:

| TB - 450 kN | | | |
|------------------------|----------|----------|--------------|
| COEFICIENTE DE IMPACTO | | | |
| BALANÇO | | L(m) | N° DE FAIXAS |
| | | 5 | 1 |
| CIV | 1,35 | | |
| CNF | 1,05 | | |
| CIA | 1,25 | | |
| COEF. ADOTADO | 1,771875 | | |
| VÃO | | L(m) | N° DE FAIXAS |
| | | 28 | 1 |
| CIV | 1,271795 | 1,271795 | |
| CNF | 1,05 | 1,05 | |
| CIA | 1 | 1,25 | |
| COEF. ADOTADO | 1,335 | 1,669 | |

5. COMBINAÇÕES

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

5.1. ENVOLTÓRIAS DE CARREGAMENTO

- $MOVE = MOVE\ 1 + MOVE\ 2$
- $SC = SC1 + SC2 + SC3 + SC4 + SC5 + SC6$
- $TEMP = TEMP1 + TEMP2$

5.2. COMBINAÇÕES ULTIMAS

- $PERM = 1,0 \times DEAD + 1,0 \times PPNJ + 1,0 \times REV + 1,0 \times REC$
- $MOVEL = 1,218 \times MOVE + 1,218 \times SC$
- $COMB\ PERM = 1,35 \times PERM$
- $COMB\ MOVEL = 1,5 \times MOVEL$
- $COMB\ VERT = 1,00 \times COMB\ PERM + 1,0 \times COMB\ MOVEL$
- $COMB\ VERT\ VT = 1,00 \times COMB\ VERT + 1,5 \times 0,6 \times VT$
- $COMB\ VERT\ FREN = 1,00 \times COMB\ VERT + 1,5 \times ENV\ FREN$
- $COMB\ VERT\ TEMP = 1,00 \times COMB\ VERT + 1,5 \times 0,6 \times ENV\ TEMP$
- $COMB\ VERT\ TOTAL = 1,00 \times COMB\ VERT + 1,5 \times 0,6 \times (VENTO+TEMP) + 1,5 \times (FREN + LTacid) + 1,4 \times COLISÃO$

5.3. ENVOLTÓRIA TOTAL

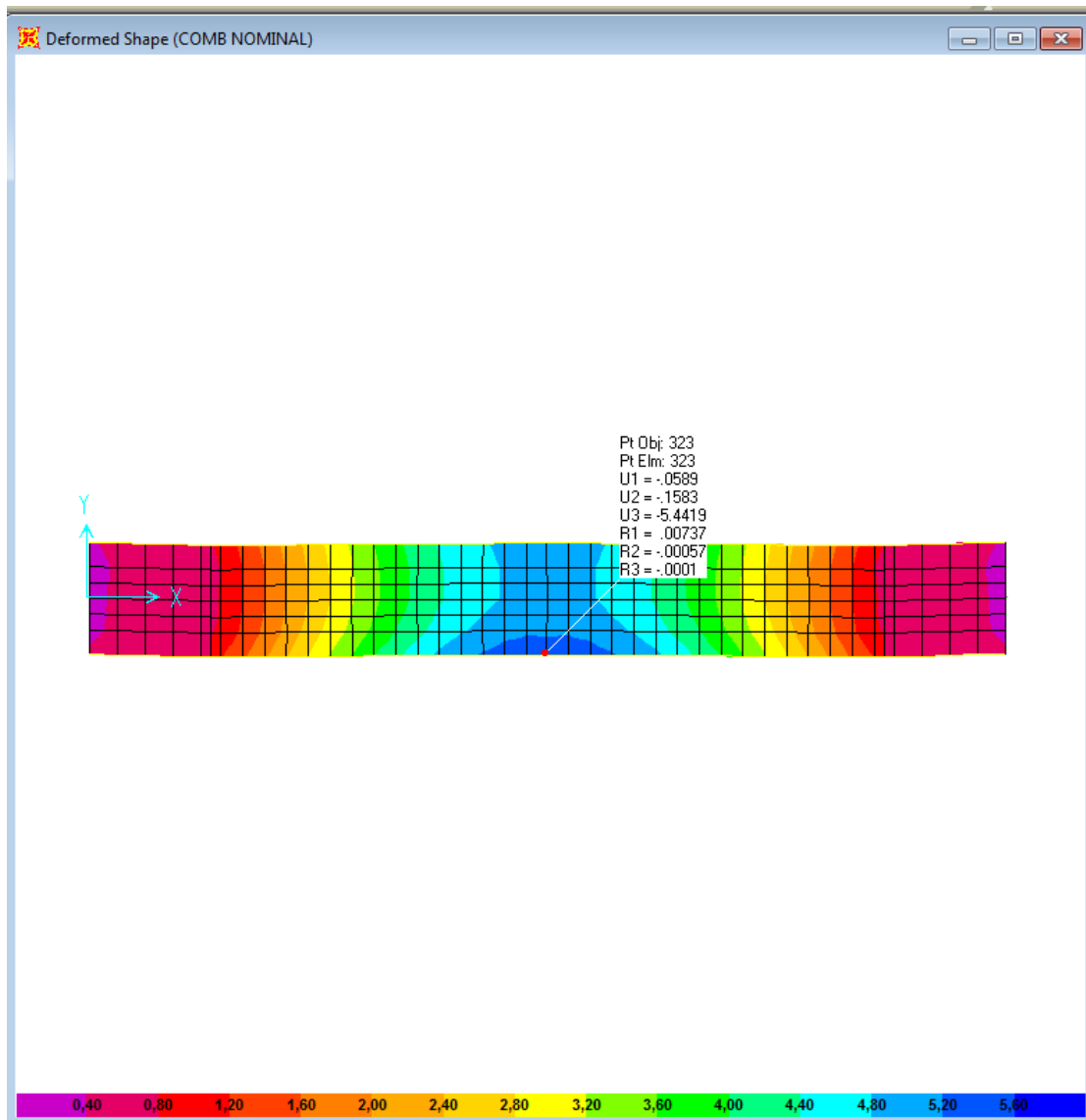
- $ENV\ TOTAL = COMB\ PERM + COMB\ VERT + COMB\ VERT\ VT + COMB\ VERT\ FREN\ LT + COMB\ VERT\ TEMP + COMB\ VERT\ TOTAL + COMB\ VERT\ COLISÃO + COMB\ VERT\ COL\ VT$

5.4. COMBINAÇÃO DE CONSTRUÇÃO

- $COMB\ 1ª\ FASE = 1,35 \times DEAD + 1,5 \times SC$

6. VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO

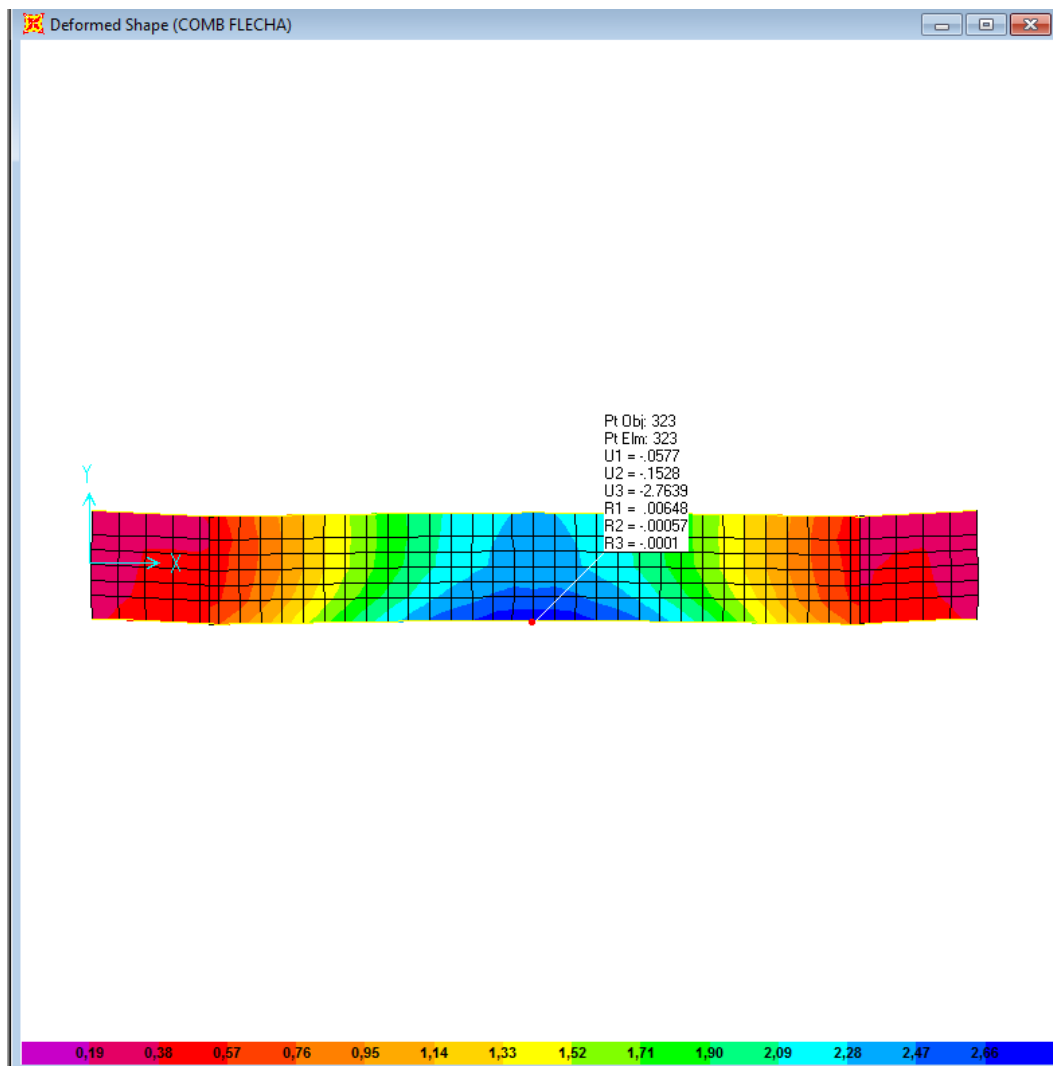
A máxima deformação admissível é de $L/350$, ou seja, $28/350 = 0,08\text{m}$.



0,054m < 0,080m OK!

Todas as deformações encontradas são inferiores às estabelecidas.

A máxima deformação admissível para atuação de carga móvel é de $L/800$, ou seja, $28/800 = 0,035\text{m}$.



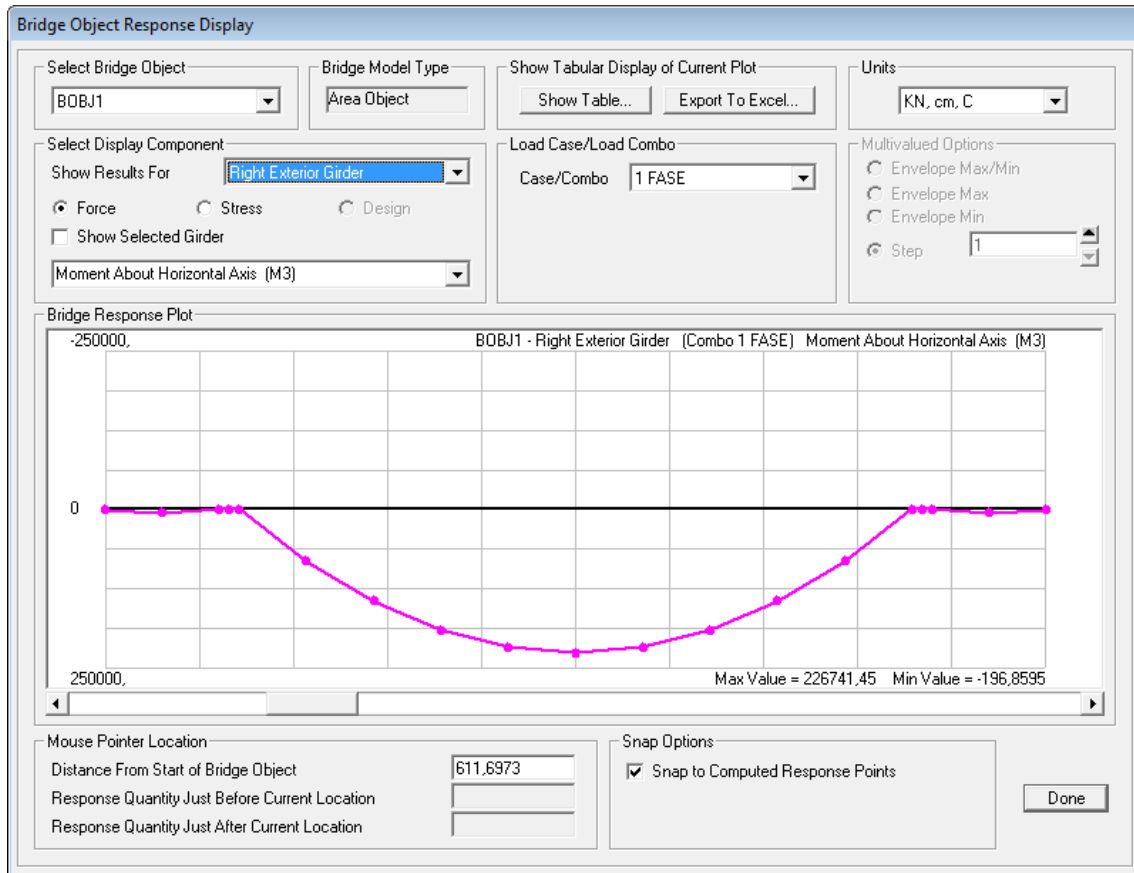
0,028m < 0,0350m OK!

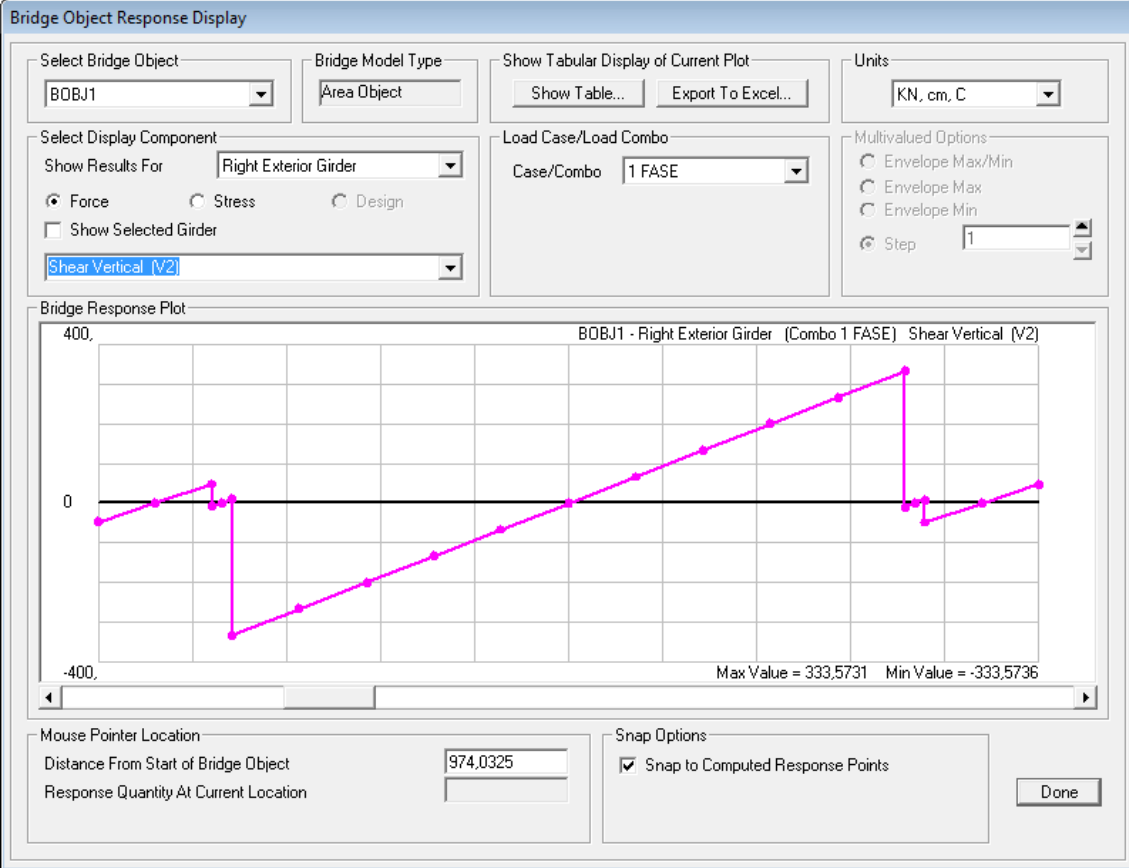
Todas as deformações encontradas são inferiores às estabelecidas.

7. VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS – PERFIL 1500x400x12,5x600x31,5x12,5

7.1. VERIFICAÇÃO DO PERFIL – FASE DE CONSTRUÇÃO

7.1.1. GRÁFICOS DOS ESFORÇOS





7.1.2. RESULTADOS

ST_Stabile :: mCalc_Perfis

Arquivo Editar Ajuda

Perfil: **Perfil I Soldado Assimétrico**

Dimensões

b_w 1500 mm
 b_{fs} 400 mm
 t_{fs} 12,5 mm
 b_{fi} 600 mm
 t_{fi} 31,5 mm
 t_w 12,5 mm

Solicitações de Cálculo (kN e m)

$N_{o,sd}$ $V_{x,sd}$ $M_{x,sd}$ 2267,5 C_b 1
 $N_{t,sd}$ $V_{y,sd}$ 333 $M_{y,sd}$ C_{mX} 1
 C_{mY} 1

Comprimentos da Barra (m)

$K_x L_x$ 4 $K_z L_z$ 4 λ_x 6,99 Travej. L/ Aço A588 Selecionar
 $K_y L_y$ 4 L_b 4 λ_y 32,6 3 f_y 345 MPa f_u 485 MPa

Resistências de Cálculo

$N_{o,Rd}$ 6430,07 $Sd/Rd = 0$ $V_{x,Rd}$ 7113,27 $Sd/Rd = 0$
 $N_{t,Rd}$ 13204,09 $Sd/Rd = 0$ $V_{y,Rd}$ 1131 $Sd/Rd = 0,294$
 $M_{x,Rd}$ 3088,62 $Sd/Rd = 0,734$ $M_{y,Rd}$ 662,72 $Sd/Rd = 0$

$\frac{N_{t,sd}}{2 \cdot N_{t,Rd}} + \left(\frac{M_{x,sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} \right) = 0,734$ $\frac{N_{o,sd}}{2 \cdot N_{o,Rd}} + \left(\frac{M_{x,sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} \right) = 0,734$

Perfis Favoritos:

| b_w | b_{fs} | t_{fs} | b_{fi} | t_{fi} | t_w |
|-------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 2000 | 500 | 25 | 670 | 50 | 9,5 |
| 1500 | 400 | 12,5 | 600 | 31,5 | 12,5 |

Adiciona Remove Selecciona **Calcular** Relatório Configuração Sair

Perfil Soldado Assimétrico

Perfil: PSA 1500x400x12.5x600x31.5x12.5
 Aço: A588 $f_y = 345$ MPa $f_u = 485$ MPa

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 4$ m $K_t L_t = 4$ m
 $K_y L_y = 4$ m $L_b = 4$ m

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida
 $A_n = 0,04$ m² Área líquida da seção transversal
 $A_e = C_T \cdot A_n = 0,04$ m² Área líquida efetiva da seção transversal

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 13204,09 \text{ kN} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{1,35} = 15124,81 \text{ kN} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$N_{tRd} = 13204,09$ kN Força normal resistente de cálculo à tração

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

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 1703155,24 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 78204,73 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 48548,47 \text{ kN}$$

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

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 48548,47 \text{ kN}$$

$$N_e = 48548,47 \text{ kN}$$

$$Q = 0,52 \quad \text{Fator de redução associado à instabilidade local}$$

$$N_{pl} = A \cdot f_y = 14524,50 \text{ kN}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e}} = 0,39$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0,94$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,10} = 6430,07 \text{ kN}$$

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

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

Perfil de alma esbelta - conforme Anexo H da NBR 8800:2008.

$\alpha_y = 0,12$ Relação entre os momentos de inércia das mesas comprimida e tracionada em relação ao eixo que passa pelo plano médio da alma

$$\frac{1}{9} \leq \alpha_y \leq 9 \quad \text{Ok!}$$

$A_w = 182,00 \text{ cm}^2$ Área da alma da seção
 $A_{fs} = 50,00 \text{ cm}^2$ Área da mesa comprimida da seção

$$\frac{A_w}{A_{fs}} \leq 10 \quad \text{Ok!}$$

$h_w = 1,46 \text{ m}$ Altura da alma
 $t_w = 0,01 \text{ m}$ Espessura da alma

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 260 \quad \text{Ok!}$$

$a = 4,00 \text{ m}$ Vão destravado

$$\frac{a}{h_w} > 1,5 : \text{então:}$$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 0,42 \cdot \frac{E}{f_y} \quad \text{OK!}$$

3.1. Estado-limite último de escoamento da mesa tracionada

$W_{xt} = 26920,77 \text{ cm}^3$ Módulo de resistência elástico do lado tracionado da seção

$$M_{Rd,ESC} = \frac{W_{xt} \cdot f_y}{1,10} = 8443,33 \text{ kN.m}$$

Momento fletor resistente de cálculo para o estado-limite último de escoamento da mesa tracionada

3.2. FLT - Flambagem Lateral com Torção

$h_c = 1,95 \text{ m}$ Duas vezes a distância do centro geométrico da seção transversal à face interna da mesa comprimida

$r_{yT} = 0,09 \text{ m}$ Raio de giração, relativo ao eixo de menor momento de inércia, da seção formada pela mesa comprimida mais um terço da alma comprimida

$L_b = 4,00 \text{ m}$ Distância entre duas seções contidas lateralmente

$$\lambda = \frac{L_b}{r_{yT}} = 46,62$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 26,48$$

$$\lambda_r = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{0,7 \cdot f_y}} = 90,41$$

$a_r = 3,64$ Relação entre a área da alma e da mesa comprimida

$W_{xc} = 13984,40$ Módulo de resistência elástico do lado comprimido da seção

$C_b = 1,00$ Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

$$k_{pg} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300 \cdot a_r} \cdot \left(\frac{h_c}{t_w} - 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right) \leq 1,00 = 0,97$$

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ então:

$$M_{Rd,FLT} = \frac{C_b \cdot k_{pg}}{1,10} \cdot \left[1 - 0,3 \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \cdot W_{xc} \cdot f_y \leq \frac{k_{pg} \cdot W_{xc} \cdot f_y}{1,10} = 3853,64 \text{ kN.m}$$

3.3. FLM - Flambagem Local da Mesa

$k_c = 0,37$

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = 16,00$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9,15$$

$$\lambda_r = 0,95 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_c}{0,7 \cdot f_y}} = 16,64$$

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então:}$$

$$M_{Rd,FLT} = \frac{k_{pg} \cdot W_{xc} \cdot f_y}{1,10} = 3088,62 \text{ kN.m}$$

$$M_{xRd} = 3088,62 \text{ kN.m}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,73 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

$$W_y = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico em relação ao eixo y}$$

$$M_{Rdy} = \frac{W_y \cdot f_y}{1,10} = 662,72 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

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

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$k_v = 5,00$$

$$\lambda = \frac{h_w}{t_w} = 19,05$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 59,22$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 73,76$$

$$V_{pl} = 7824,60 \text{ kN} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação por cisalhamento}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então:}$$

$$V_{Rdx} = \frac{V_{pl}}{1,10} = 71,13 \text{ kN.m}$$

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

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$k_v = 5,00$$

$$\lambda = 116,48$$

$$\lambda_p = 59,22$$

$$\lambda_r = 73,76$$

$V_{pl} = 3881,25 \text{ kN}$ Força cortante correspondente à plastificação por cisalhamento

$\lambda > \lambda_r$ então:

$$V_{RdV} = 1,24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{1,10} = 11,31 \text{ kN.m}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,29 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

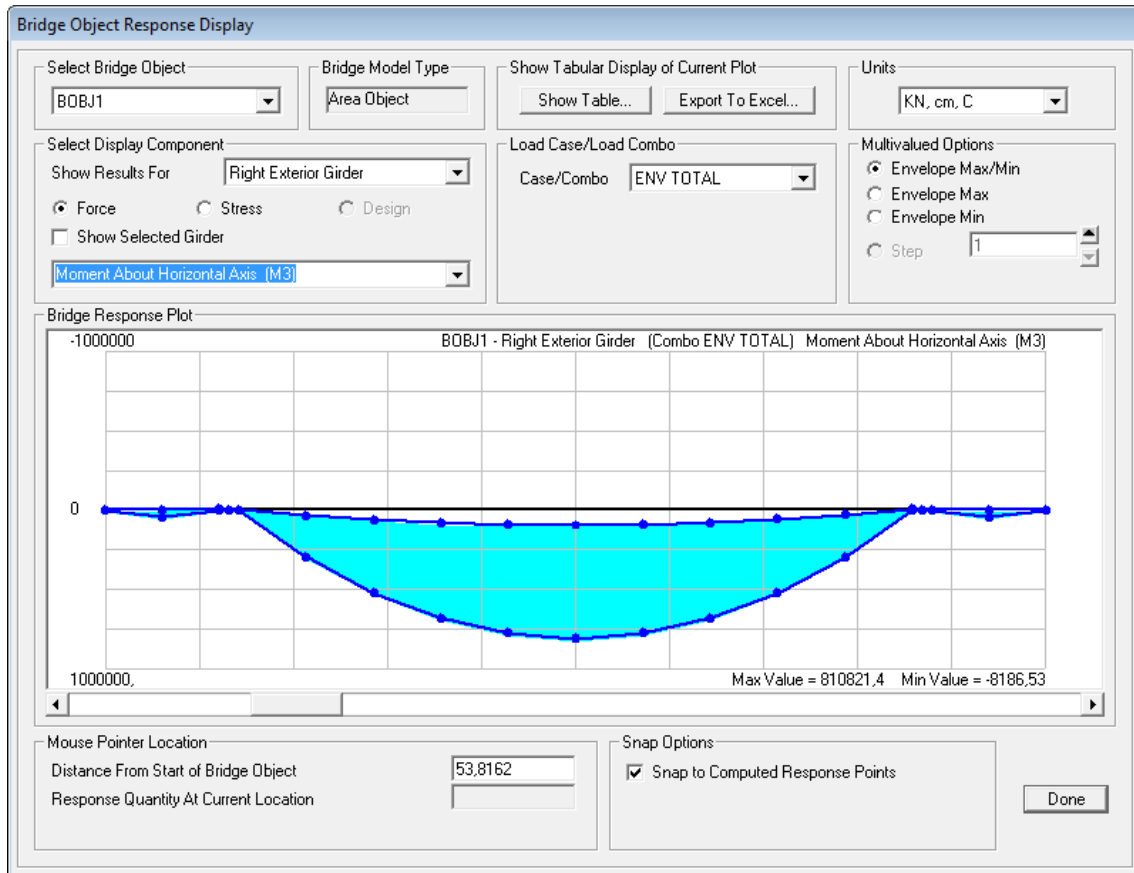
7. Equações de Interação

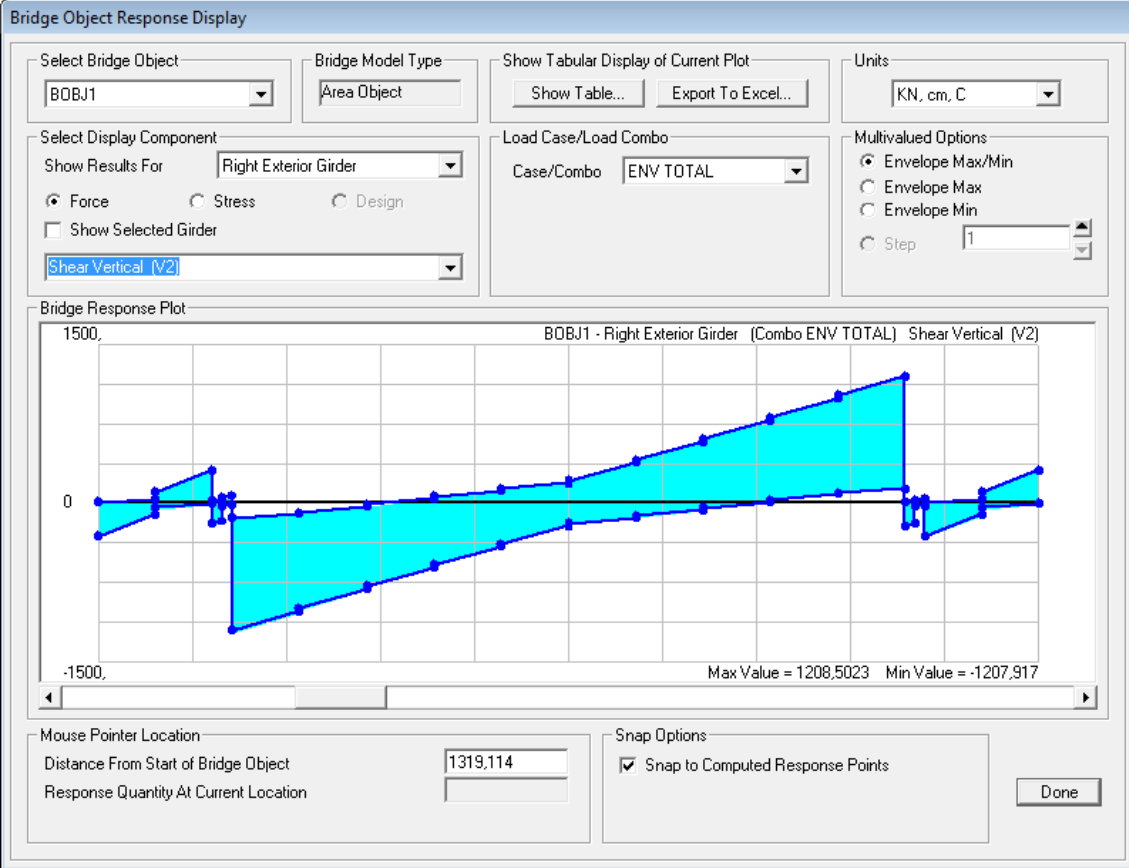
$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{cRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,73$$

$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{cRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,73$$

7.2. VERIFICAÇÃO DO PERFIL – COMBINAÇÃO ULTIMA

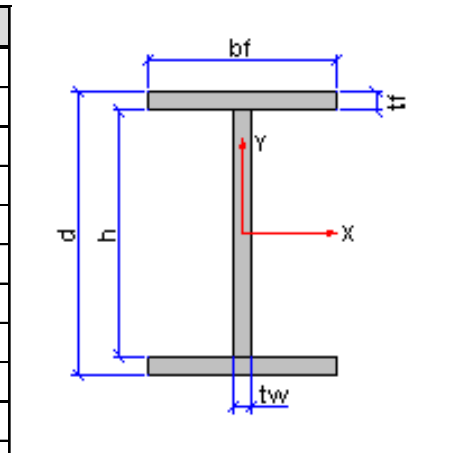
7.2.1. GRÁFICOS DOS ESFORÇOS





7.2.2. VERIFICAÇÃO À FLEXÃO DO CONJUNTO PERFIL/TABULEIRO – MEIO DO VÃO

| PROPRIEDADES DA VIGA | | |
|-------------------------|-------------|--------------------|
| PERFIL | PS 2000x511 | |
| d | 1500 | mm |
| tw | 12,5 | mm |
| bf sup | 400 | mm |
| bf inf | 600 | mm |
| tf sup | 12,5 | mm |
| tf inf | 31,5 | mm |
| h | 1456 | mm |
| Area (cm ²) | 421 | cm ² |
| Zx | 21684,63786 | cm ³ |
| yg | 512,8105701 | mm |
| Iperfil | 1380525,635 | cm ⁴ |
| Aço | A588 | |
| fy | 350 | MPa |
| fu | 485 | MPa |
| Es | 20500 | KN/cm ² |
| PROPRIEDADES DA LAJE | | |
| Concreto | 35 | MPa |
| B | 230 | cm |
| e | 20 | cm |
| Ec | 2816,05 | KN/cm ² |
| α_e | 7,28 | |
| btr | 31,59 | cm |
| hf | 0 | cm |
| A'c | 631,90 | cm ² |



| Verificação dos Enrijecedores | | | | ADOTADO | | |
|-------------------------------|----------|-----|-----------|----------|---------|-----|
| a | 4000 | mm | Larg. Mín | 127,0833 | 165 mm | OK! |
| a/h | 2,747253 | OK! | Esp. Mín | 11 | 12,5 mm | OK! |
| FLA,enr | 246,00 | | Larg. Mín | 88,53333 | 165 mm | OK! |
| | | | larg/espe | 13,2 | OK! | |

| PARA INTERAÇÃO COMPLETA E REGIME ELÁSTICO | | | | | | | |
|---|----------|--------------------|----|--|-----------------|----------|--------------------|
| Posição da LNP | | | | | | | |
| Ytr | 116,5287 | | | | | | |
| LN está: | na viga | | | | | | |
| PARA LN NA VIGA | | | | | | | |
| Itr | 3221365 | cm ⁴ | | | Md1ªfase | 226741 | KNcm |
| Wtr inf | 27644,38 | cm ³ | | | Md2ªfase | 584080 | KNcm |
| Wtr sup | 60244,78 | cm ³ | | | Wef | 27644,38 | cm ³ |
| Md | 810821 | KNcm | | | COMB | 29,55088 | KN/cm ² |
| σ _d | 29,33041 | KN/cm ² | OK | | f _{yd} | 31,81818 | KN/cm ² |
| σ _{cd} | 1,848812 | KN/cm ² | OK | | | | |
| f _{yd} | 31,81818 | KN/cm ² | | | | | |
| f _{cd} | 2,125 | KN/cm ² | | | | | |

7.2.3. VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO

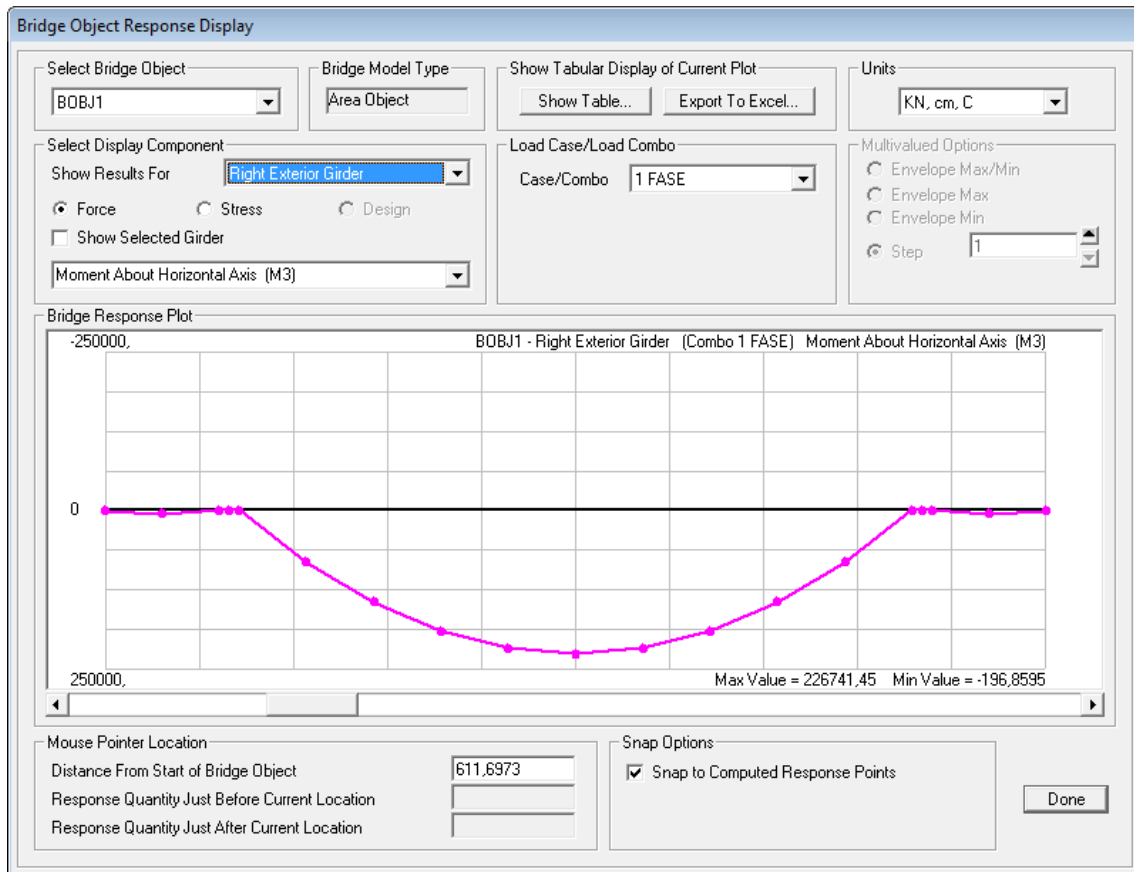
| Verificação ao Cisalhamento com Enrijecedor | | |
|---|-------------|-----------------|
| Vd | 1208 | KN |
| a/h | 2,747252747 | |
| Kv | 5,66248 | |
| Aw | 187,5 | cm ² |
| Ve(nominal) | 1360,322344 | KN |
| Vr(escomento) | 3150 | kN |
| Vpl | 3937,5 | KN |
| Vrd | 1236,986451 | KN |
| Vrd > Vd | OK! | |

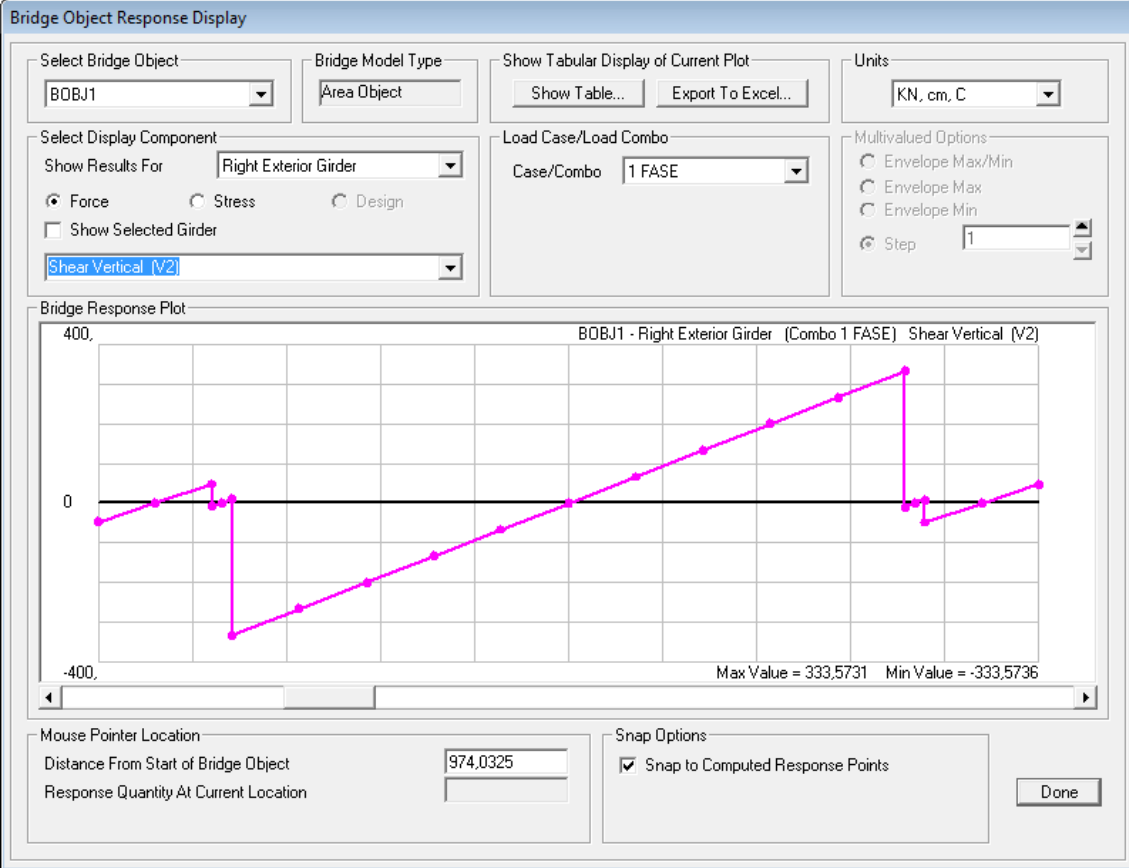
| Verificação Esbeltez | |
|----------------------|-------|
| $\lambda(h/tw)$ | 120 |
| λ_p | 63,35 |
| λ_r | 78,90 |

8. VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS – PERFIL W530x66

8.1. VERIFICAÇÃO DO PERFIL – FASE DE CONSTRUÇÃO

8.1.1. GRÁFICOS DOS ESFORÇOS





8.1.2. RESULTADOS

ST_Stabile :: mCalc_Perfis

Arquivo Editar Ajuda

Perfil **I (Lam.) da Açominas**

Dimensões

b_w 525 mm
 b_f 165 mm
 t_f 11,4 mm
 t_w 8,9 mm

Solicitações de Cálculo (kN e m)

$N_{o,sd}$ $V_{x,sd}$ $M_{x,sd}$ 55 Cb 1
 $N_{t,sd}$ $V_{y,sd}$ 48 $M_{y,sd}$ Cmx 1
 Cmy 1

Comprimentos da Barra (m)

$K_x L_x$ 5 $K_z L_z$ 5 λ_x 24,44 Travej. L/ Aço A588 Selecionar
 $K_y L_y$ 5 L_b 5 λ_y 156,25 3 f_y 345 MPa f_u 485 MPa

Resistências de Cálculo

$N_{o,Rd}$ 539,48 Sd/Rd = 0 $V_{x,Rd}$ 707,94 Sd/Rd = 0
 $N_{t,Rd}$ 2622 Sd/Rd = 0 $V_{y,Rd}$ 879,28 Sd/Rd = 0,055
 $M_{x,Rd}$ 196,02 Sd/Rd = 0,281 $M_{y,Rd}$ 51,79 Sd/Rd = 0

$\frac{N_{t,sd}}{2 \cdot N_{t,Rd}} + \left(\frac{M_{x,sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} \right) = 0,281$ $\frac{N_{c,sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left(\frac{M_{x,sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} \right) = 0,281$

ix, ly, ...

W 530 66

Perfis Favoritos:

| W | bw | peso |
|-------|----|------|
| W 530 | 66 | |
| W 530 | 72 | |
| W 530 | 74 | |
| W 530 | 82 | |
| W 530 | 85 | |
| W 530 | 88 | |

Adiciona Remove Seleciona Calcular Relatório Configuração Sair

Perfil I da Açominas

Perfil: W 530 66
 Aço: A588 $f_y = 345$ MPa $f_u = 485$ MPa

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 5$ m $K_t L_t = 5$ m
 $K_y L_y = 5$ m $L_b = 5$ m

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida
 $A_n = 0,01$ m² Área líquida da seção transversal
 $A_e = C_T \cdot A_n = 0,01$ m² Área líquida efetiva da seção transversal

$$N_{tRd1} = \frac{A_e \cdot f_y}{1,10} = 2622,00 \text{ kN} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{1,35} = 3003,41 \text{ kN} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$N_{tRd} = 2622,00$ kN Força normal resistente de cálculo à tração

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

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 27611,99 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 676,66 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 1602,22 \text{ kN}$$

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

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 1602,22 \text{ kN}$$

$N_e = 676,66 \text{ kN}$
 $Q = 0,84$ Fator de redução associado à instabilidade local
 $N_{pl} = A \cdot f_y = 2884,20 \text{ kN}$
 $\lambda_o = \sqrt{\frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e}} = 1,89$
 $\lambda_o > 1,5$ então $\chi = \frac{0,877}{(\lambda_o)^2} = 0,25$
 $N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,10} = 539,48 \text{ kN}$
 $\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

$\sigma_r = 103500,00 \text{ kN/m}^2$ Tensão residual
 $W = 0,00 \text{ m}^3$ Módulo resistente elástico
 $Z = 0,00 \text{ m}^3$ Módulo resistente plástico
 $M_{pl} = Z \cdot f_y = 526,90 \text{ kN.m}$ Momento fletor de plastificação da seção

3.1. FLT - Flambagem Lateral com Torção

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = 156,25 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

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

$$\beta_1 = 0,05$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \cdot \sqrt{I_y \cdot I_t}}{r_y \cdot I_t \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} = 123,60 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente}$$

ao início do escoamento

$M_r = (f_y - \sigma_r) \cdot W = 321,73 \text{ kN.m}$ Momento fletor correspondente ao início do escoamento
 $C_b = 1,00$ Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

$$M_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left(1 + 0,039 \cdot \frac{I_t \cdot L_b^2}{C_w} \right)} \leq M_{pl} = 215,62 \text{ kN.m}$$

flambagem elástica Momento fletor de

$$\lambda > \lambda_r \text{ então } M_{Rk} = M_{cr} \leq M_{pl}$$

$$M_{Rk}^{FLT} = 215,62 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLT}$$

3.2. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$\lambda = \frac{b}{t} = 7,24 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

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

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

$$M_{cr} = \frac{0,69 \cdot E}{\lambda^2} \cdot W_c = 1755,21 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem elástica}$$

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

$$M_{Rk}^{FLM} = 526,90 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

3.3. FLA - Flambagem Local da Alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 56,43 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

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

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

$$M_r = W \cdot f_y = 459,62 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento}$$

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

$$M_{Rk}^{FLA} = 526,90 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLA}$$

$$M_{Rk} = 215,62 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico}$$

$$M_{xRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 196,02 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,28 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

$$\sigma_r = 103500,00 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Tensão residual}$$

$$W = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo resistente elástico}$$

$$Z = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo resistente plástico}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y = 56,97 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor de plastificação da seção}$$

4.1. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$\lambda = \frac{b}{t} = 7,24 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

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

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

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

$$M_{Rk}^{FLM} = 56,97 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

$$M_{Rk} = 56,97 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico}$$

$$M_{yRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 51,79 \text{ kN.m} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

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

5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 7,24 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

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

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

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

$$A_w = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva de cisalhamento}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 778,73 \text{ kN} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação}$$

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

$$V_{xRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 707,94 \text{ kN} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

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

6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 56,43 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

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

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

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

$$A_w = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva de cisalhamento}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 967,21 \text{ kN} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação}$$

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

$$V_{yRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 879,28 \text{ kN} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,05 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

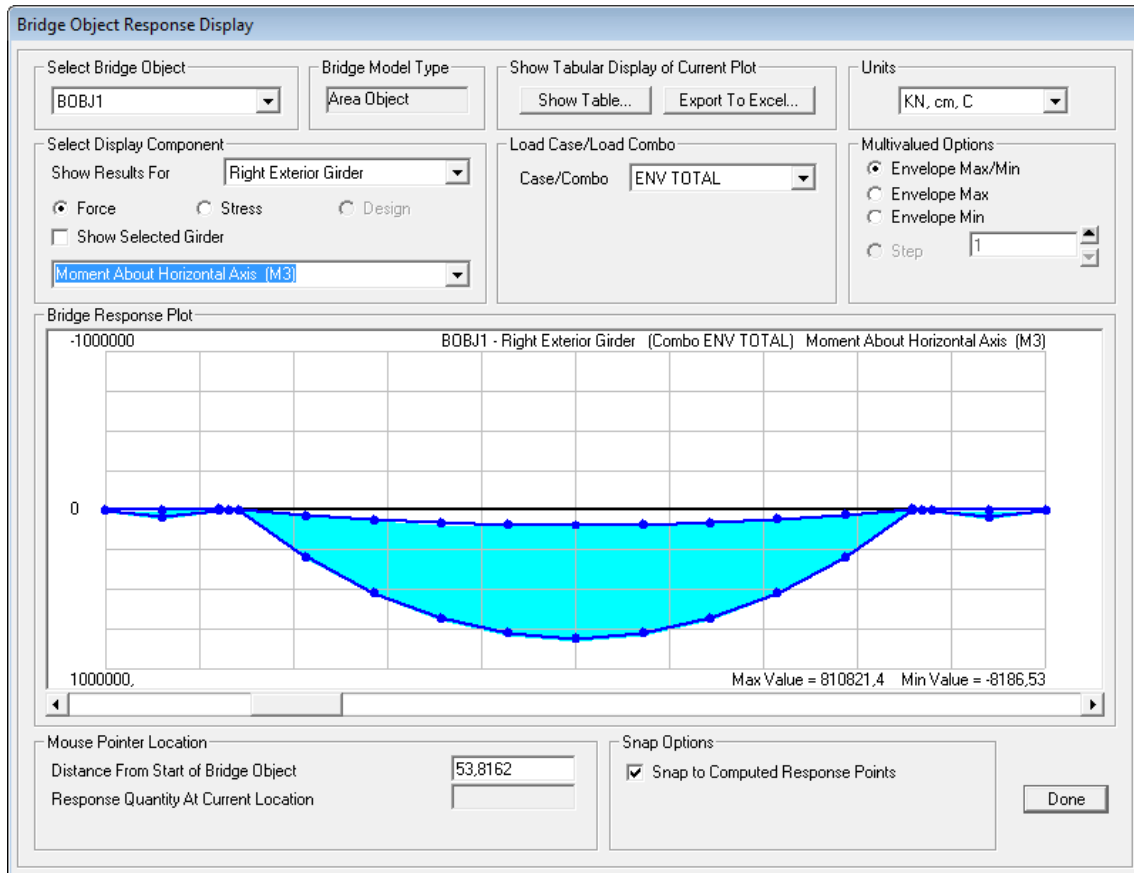
7. Equações de Interação

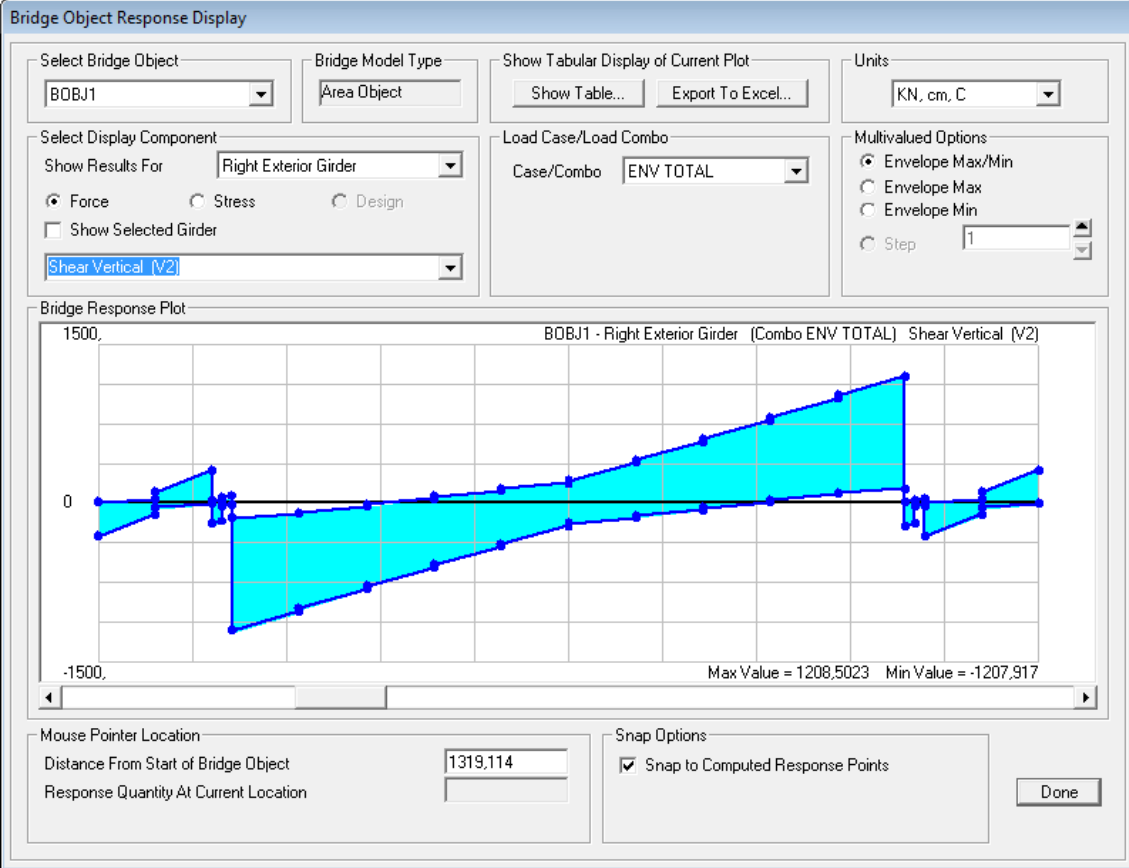
$$\frac{N_{tSd}}{2 \cdot N_{tRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,28$$

$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{cRd}} + \left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,28$$

8.2. VERIFICAÇÃO DO PERFIL – COMBINAÇÃO ULTIMA

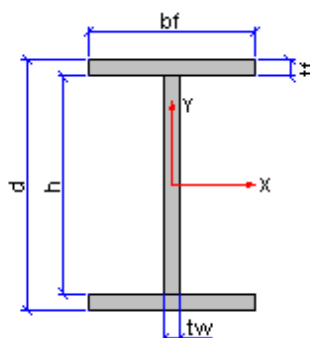
8.2.1. GRÁFICOS DOS ESFORÇOS





8.2.2. VERIFICAÇÃO À FLEXÃO DO CONJUNTO PERFIL/TABULEIRO – MEIO DO VÃO

| PROPRIEDADES DA VIGA | | |
|-------------------------|-------------|--------------------|
| PERFIL | W530 x 66 | |
| d | 525 | mm |
| tw | 8,9 | mm |
| bf sup | 165 | mm |
| bf inf | 165 | mm |
| tf sup | 11,4 | mm |
| tf inf | 11,4 | mm |
| h | 502,2 | mm |
| Area (cm ²) | 82,3158 | cm ² |
| Zx | 1527,237369 | cm ³ |
| yg | 262,5 | mm |
| Iperfil | 34206,79731 | cm ⁴ |
| Aço | A588 | |
| fy | 350 | MPa |
| fu | 485 | MPa |
| Es | 20500 | KN/cm ² |
| PROPRIEDADES DA LAJE | | |
| Concreto | 35 | MPa |
| B | 230 | cm |
| e | 20 | cm |
| Ec | 2816,05 | KN/cm ² |
| α_e | 7,28 | |
| btr | 31,59 | cm |
| hf | 0 | cm |
| A'c | 631,90 | cm ² |



| Verificação Esbeltez | | |
|----------------------|--------|---------------|
| h/tw | 56,43 | Plastificação |
| FLA | 91,00 | |
| FLA,lim | 137,95 | |

| PARA INTERAÇÃO COMPLETA E REGIME PLÁSTICO | | |
|---|-------------|-------|
| Posição da LNP | | |
| Ccd | 9775 | kN |
| Tad | 2619,139091 | kN |
| LN está na laje | | |
| PARA LN NA LAJE | | |
| a | 5,35885236 | cm |
| Mrd | 114117,3931 | kN.cm |
| Md | 43800 | KNcm |
| | | OK |

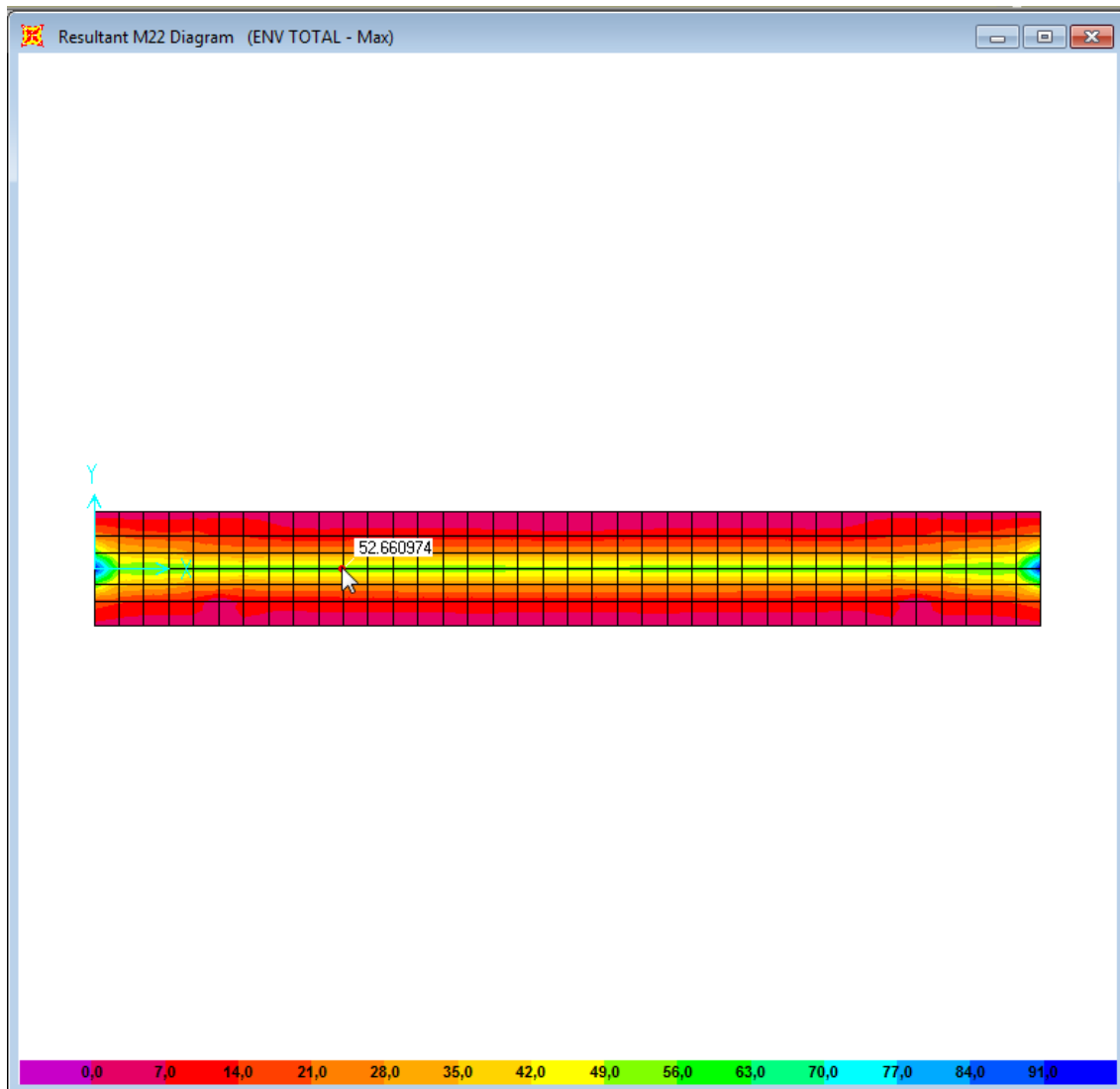
8.2.3. VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO

| Verificação ao Cisalhamento com Enrijecedor | | |
|---|-------------|-----------------|
| Vd | 312 | KN |
| a/h | 7,964954202 | |
| Kv | 5 | |
| Aw | 46,725 | cm ² |
| Ve(nominal) | 1238,731243 | KN |
| Vr(escomento) | 784,98 | kN |
| Vpl | 981,225 | KN |
| Vrd | 892,0227273 | KN |
| Vrd > Vd | OK! | |

| Verificação Esbeltez | |
|----------------------|----------|
| $\lambda(h/tw)$ | 58,98876 |
| λ_p | 59,53 |
| λ_r | 74,14 |

9. TABULEIRO

9.1. ARMAÇÃO POSITIVA PRINCIPAL



$$M_d (+) = 52,66 \text{ kNm}$$

ARMADURA NECESSÁRIA:

| Flexão Normal Simples | | | | | |
|-----------------------|--------|------------|--------|---------------|----|
| Md (kN x cm) | b (cm) | fck (MPa) | h (cm) | d (cm) | d' |
| 5266 | 100 | 30 | 20 | 17 | 3 |
| AS | | AS' | | AS mín | |
| 7,52 | | 0,00 | | 3,46 | |

$$A_s = \emptyset 12,5c/15 = 8,18 \text{ cm}^2$$

9.2. ARMAÇÃO POSITIVA SECUNDÁRIA

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

$$-0,9\text{cm}^2$$

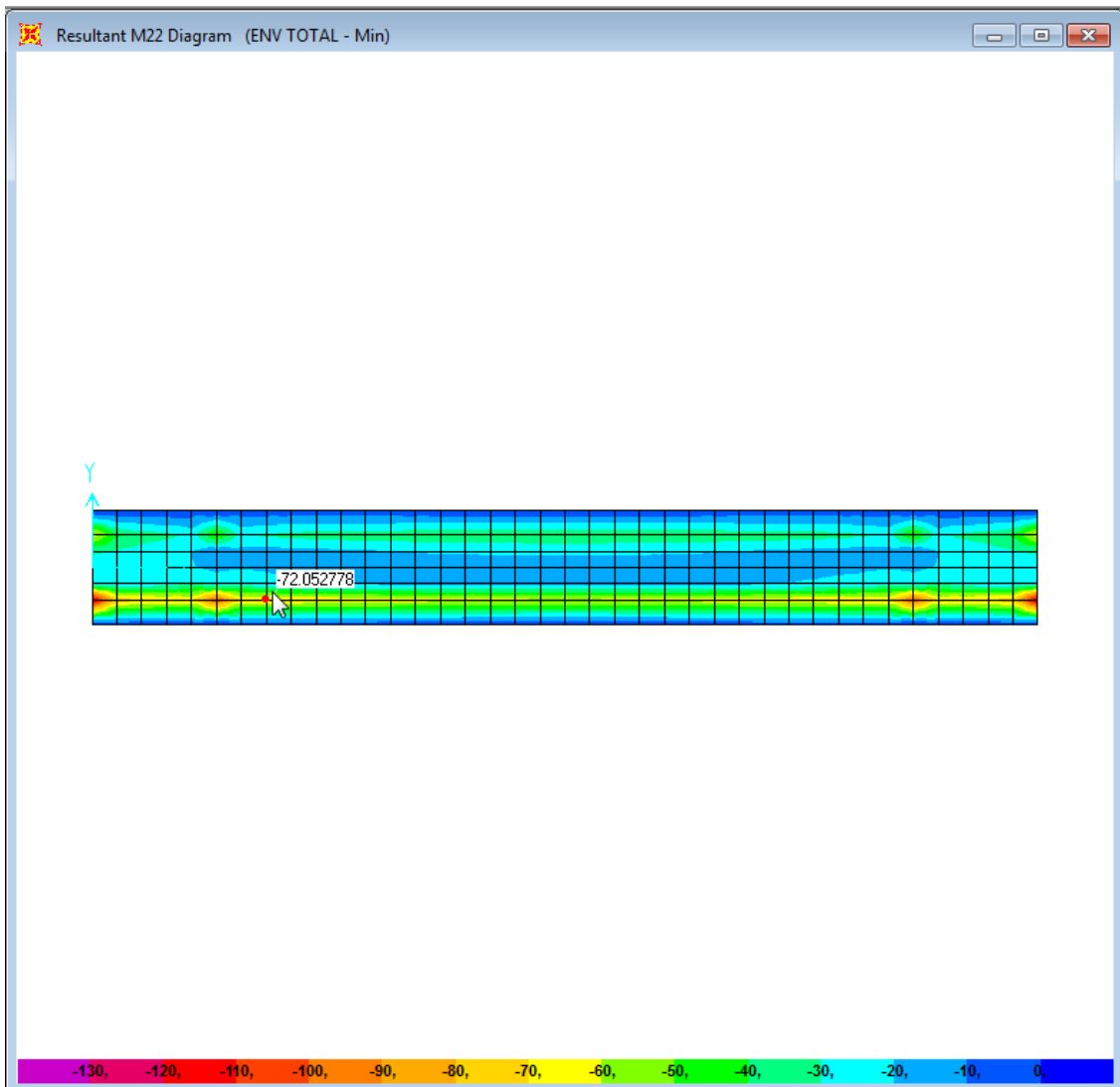
$$-0,2 \times A_{s \text{ principal}} = 1,64\text{cm}^2$$

$$-0,5 \times A_{s \text{ min}} = 1,50\text{cm}^2$$

$$A_{s_{necessário}} = 1,64\text{cm}^2/\text{m}$$

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

9.3. ARMAÇÃO NEGATIVA



$Md(-) = 72,05\text{kNm}$

ARMADURA NECESSÁRIA:

| Flexão Normal Simples | | | | | |
|-----------------------|--------|------------|--------|---------------|----|
| Md (kN x cm) | b (cm) | fck (MPa) | h (cm) | d (cm) | d' |
| 7205 | 100 | 30 | 20 | 17 | 3 |
| AS | | AS' | | AS mín | |
| 10,53 | | 0,00 | | 3,46 | |

$$As = \emptyset 12,5 \text{ c}/10 = 12,27\text{cm}^2/\text{m}$$

9.4. ARMAÇÃO NEGATIVA SECUNDÁRIA

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

$$-0,9\text{cm}^2$$

$$-0,2 \times A_s \text{ principal} = 2,1\text{cm}^2$$

$$-0,5 \times A_s \text{ min} = 1,50\text{cm}^2$$

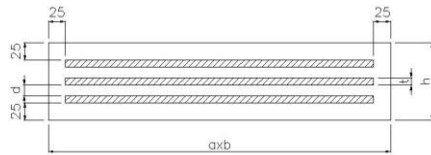
$$A_{s_{necessário}} = 2,1\text{cm}^2/\text{m}$$

$$A_s, \text{ existente} = \emptyset 8 \text{ c}/15 = 3,35\text{cm}^2/\text{m}$$

10.NEOPRENES

CÁLCULO DE VERIFICAÇÃO - APARELHO DE APOIO DE NEOPRENE FRETADO

OBRA: PONTE SANTANA



DADOS DE ENTRADA

| | | | |
|-----------------------------------|-------------|------------|------------|
| Reação - Carga Permanente | 57,00 t | | |
| Reação Máxima - Carga Móvel | 77,00 t | | |
| Reação Mínima - Carga Móvel | 0,00 t | | |
| Carga Horizontal | 2,00 t | | OK |
| Rotação devido à Carga Permanente | 0,005100 rd | | |
| Rotação associada a Nmax | 0,001500 rd | | |
| Aparelho Circular | 0 | sim = 1 | não = 0 |
| Dimensões em planta do Aparelho | | a = 350 mm | b = 450 mm |
| Altura do Aparelho | 54 mm | | |
| Espessura da Chapa de Aço(t) | 1,5 mm | | |
| Espessura da Cam. de Neoprene (d) | 4 mm | | |
| Número de camadas de Neoprene | 4 | | |

1- TENSÕES MÉDIAS DEVIDO ÀS CARGAS NORMAIS APLICADAS

$$\text{SIGmax} = 113,14 \text{ kg / cm}^2 \quad \text{OK} < 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{SIGmin} = 48,86 \text{ kg / cm}^2 \quad \text{OK} > 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{TAUmax} = 5,88 \text{ kg / cm}^2$$

2- TENSÕES DEVIDO À ROTAÇÃO

$$\text{SIGcp} = 2495,70 \text{ kg / cm}^2$$

$$\text{TAUalfa} = 0,00 \text{ kg / cm}^2$$

3- TENSÕES NA CHAPA DE AÇO

$$\text{SIGs} = 301,71 \text{ kg / cm}^2$$

4- CÁLCULO DO DESLOCAMENTO

$$\text{DELTA} = 0,08 \text{ cm}$$

4- TENSÕES FINAIS

$$\text{SIGTmax} = 113,14 \text{ kg / cm}^2$$

$$\text{SIGTmin} = 2544,56 \text{ kg / cm}^2$$

$$\text{TAUT} = 5,88 \text{ kg / cm}^2$$


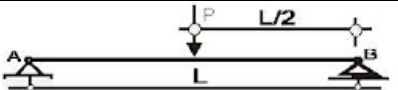
5- VERIFICAÇÕES

| TENSÃO | CONDIÇÃO | ANÁLISE |
|--------------------|-----------------------------|---------|
| Altura do Aparelho | $\leq a/5$ | OK |
| SIGTmin | $> 20 \text{ kg / cm}^2$ | OK |
| SIGs | $< 1400 \text{ kg/cm}^2$ | OK |
| TAUT | $< 5G = 65 \text{ kg/cm}^2$ | OK |
| Desl. Horizontal | $\text{Delta}/h \leq 0,7$ | OK |

11.LAJE DE TRANSIÇÃO

| Dados | |
|------------|-------------------------------|
| L | 2.9 (m) |
| q | 17 (kN/m) |
| P | 60 (kN) |
| fck | 25 (MPa) |
| E | 23800000 (kN/m ²) |
| b | 1 (m) |
| h | 0.35 (m) |
| I | 0.003573 (m ⁴) |
| Cobrimento | 3.5 (cm) |
| a | 0 (m) |

| Tipo Adotado | | | Tipo Adotado | | | Tipo Adotado | | |
|--------------------|----------|------|--------------------|------|------|--------------------|----------|------|
| 1 | | | 2 | | | 1 | | |
| M | 17.87125 | kNxm | M | 43.5 | kNxm | M | 61.37125 | kNxm |
| Ra | 24.65 | kN | Ra | 30 | kN | Ra | 54.65 | kN |
| Rb | 24.65 | kN | Rb | 30 | kN | Rb | 54.65 | kN |
| Flecha | 0.02 | cm | Flecha | 0.04 | cm | Flecha | 0.054262 | cm |
| Flecha adm (L/200) | 1.45 | OK! | Flecha adm (L/200) | 1.45 | OK! | Flecha adm (L/200) | 1.45 | OK! |

| | TIPO DE VIGA E CARGA ATUANTE | Reação (kN) | | Mmax (kNxm) | Flecha max (cm) |
|---|---|-------------|-------|-------------|-----------------|
| | | Ra | Rb | | |
| 1 |  | 24.65 | 24.65 | 17.87125 | 0.02 |
| 2 |  | 30 | 30 | 43.5 | 0.04 |

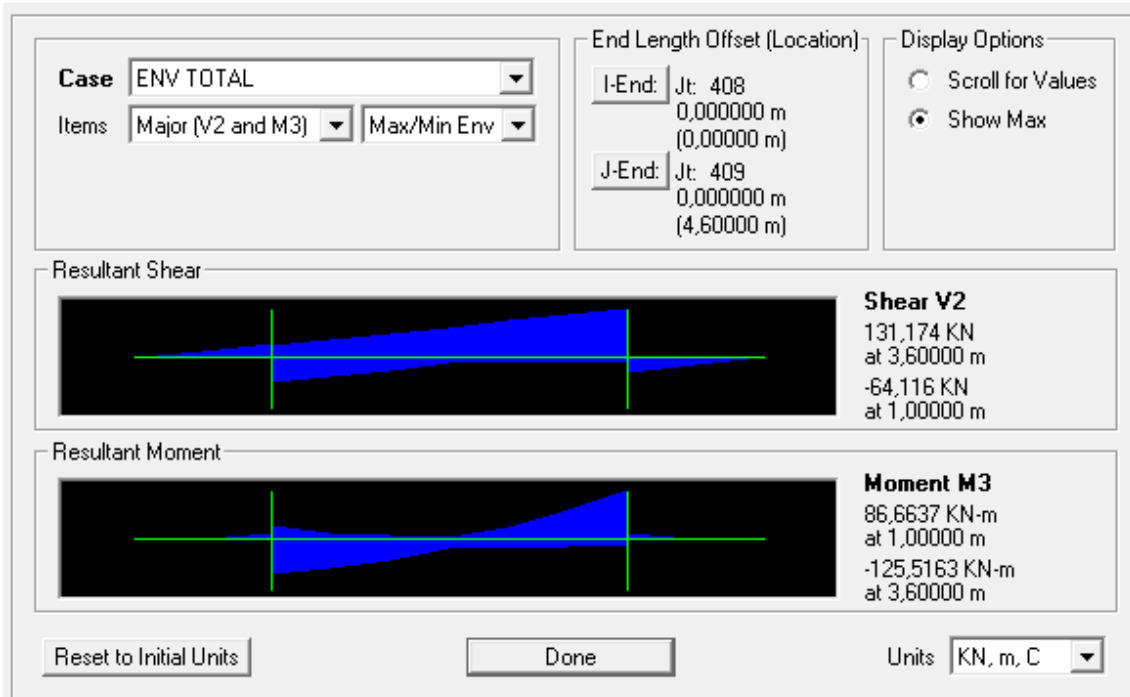
ARMADURA NECESSÁRIA:

| Flexão Normal Simples | | | | | |
|-----------------------|--------|-----------|--------|--------|-----|
| M (kN x cm) | b (cm) | fck (MPa) | h (cm) | d (cm) | d' |
| 6137.125 | 100 | 25 | 35 | 31.5 | 3.5 |
| AS | | AS' | | AS mín | |
| 6.46 | | 0.00 | | 5.25 | |

$$As = \emptyset 12,5c/10 = 12,27 \text{ cm}^2/m$$

12. TRAVESSA

Diagrams for Frame Object 269 (150x80)

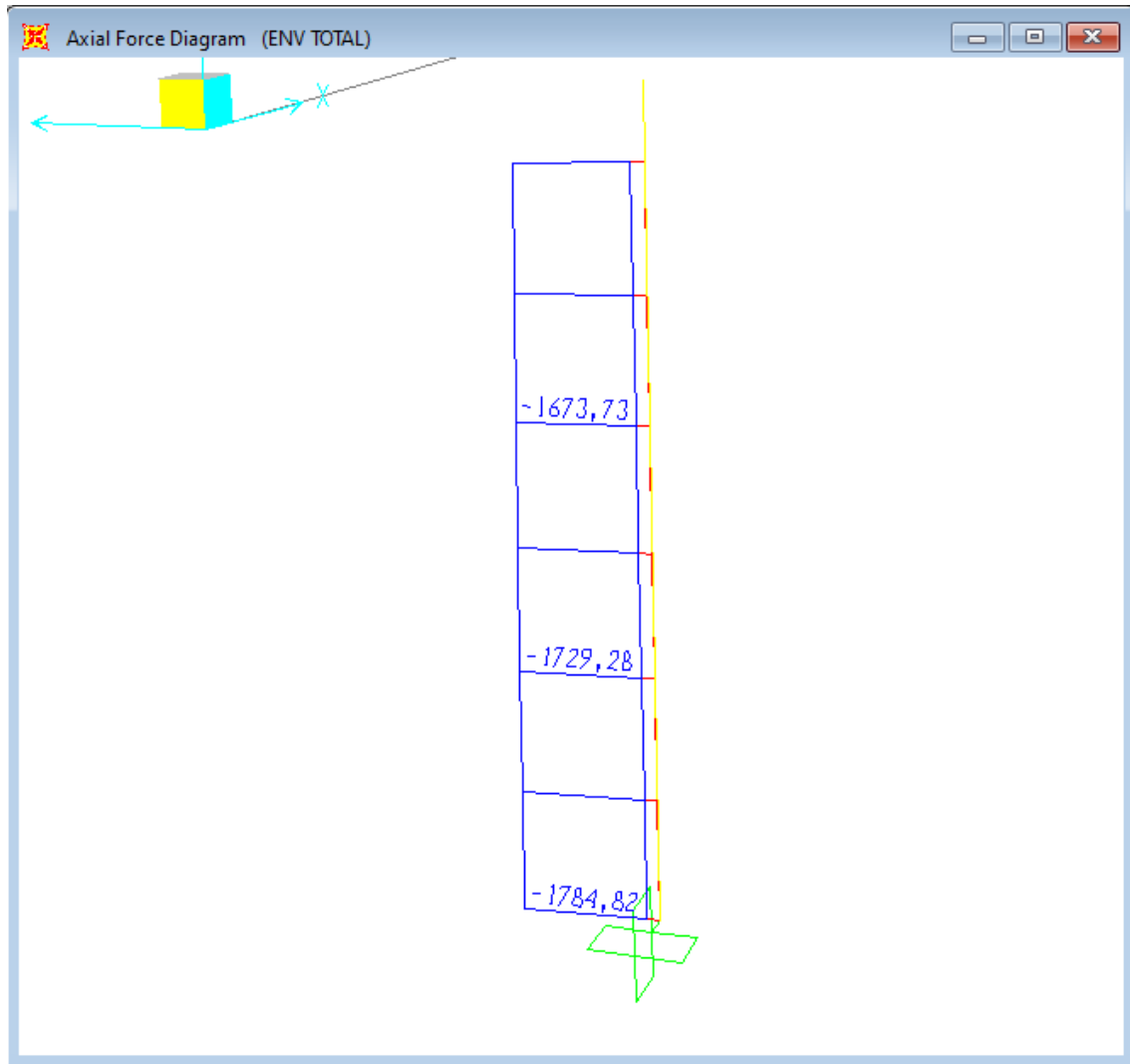


| Flexão Normal Simples | | | | | |
|-----------------------|--------|------------|--------|---------------|----|
| Md (kN x cm) | b (cm) | fck (MPa) | h (cm) | d (cm) | d' |
| 12550 | 150 | 25 | 180 | 175 | 5 |
| AS | | AS' | | AS mín | |
| 1,65 | | 0,00 | | 40,50 | |

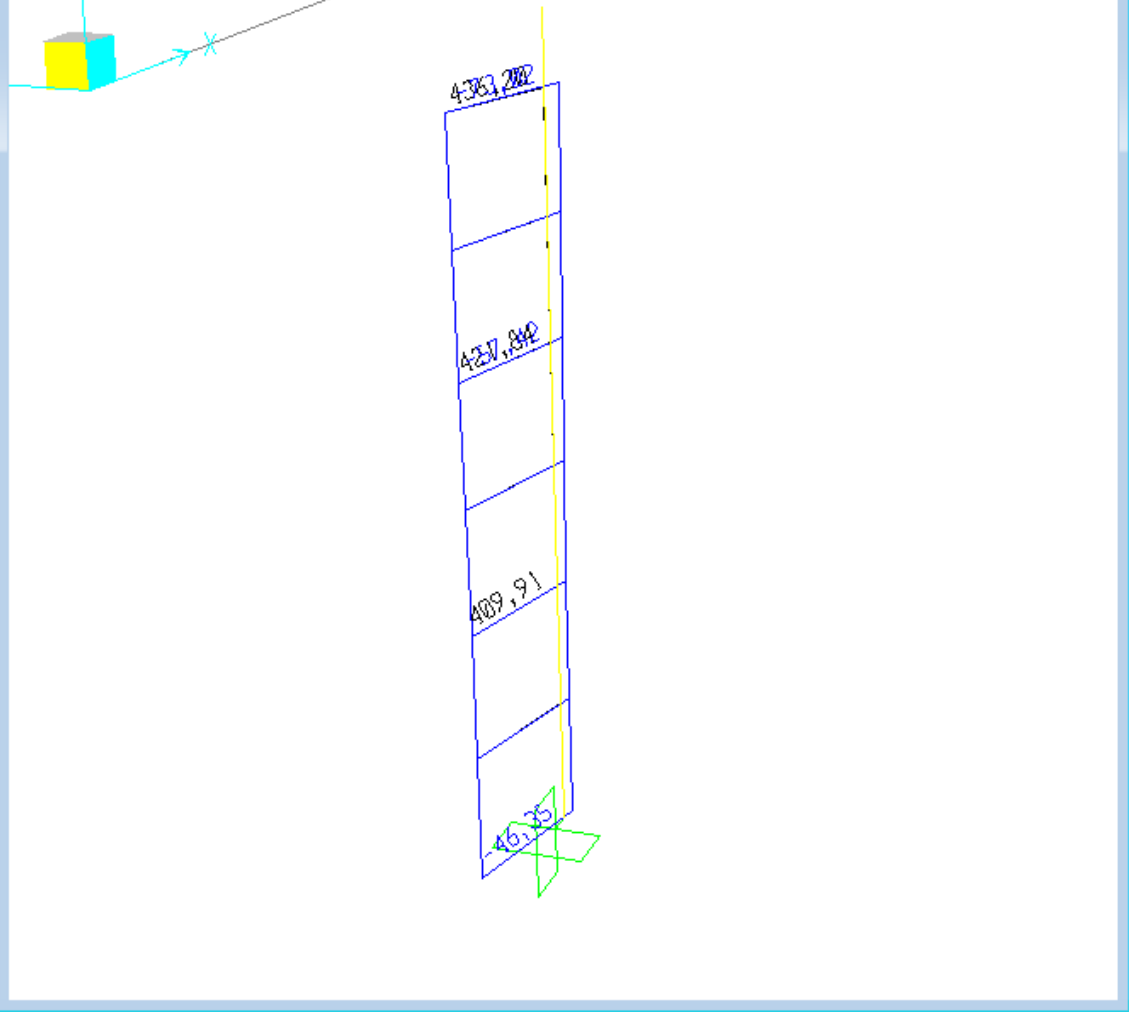
As,adot = 15φ20mm

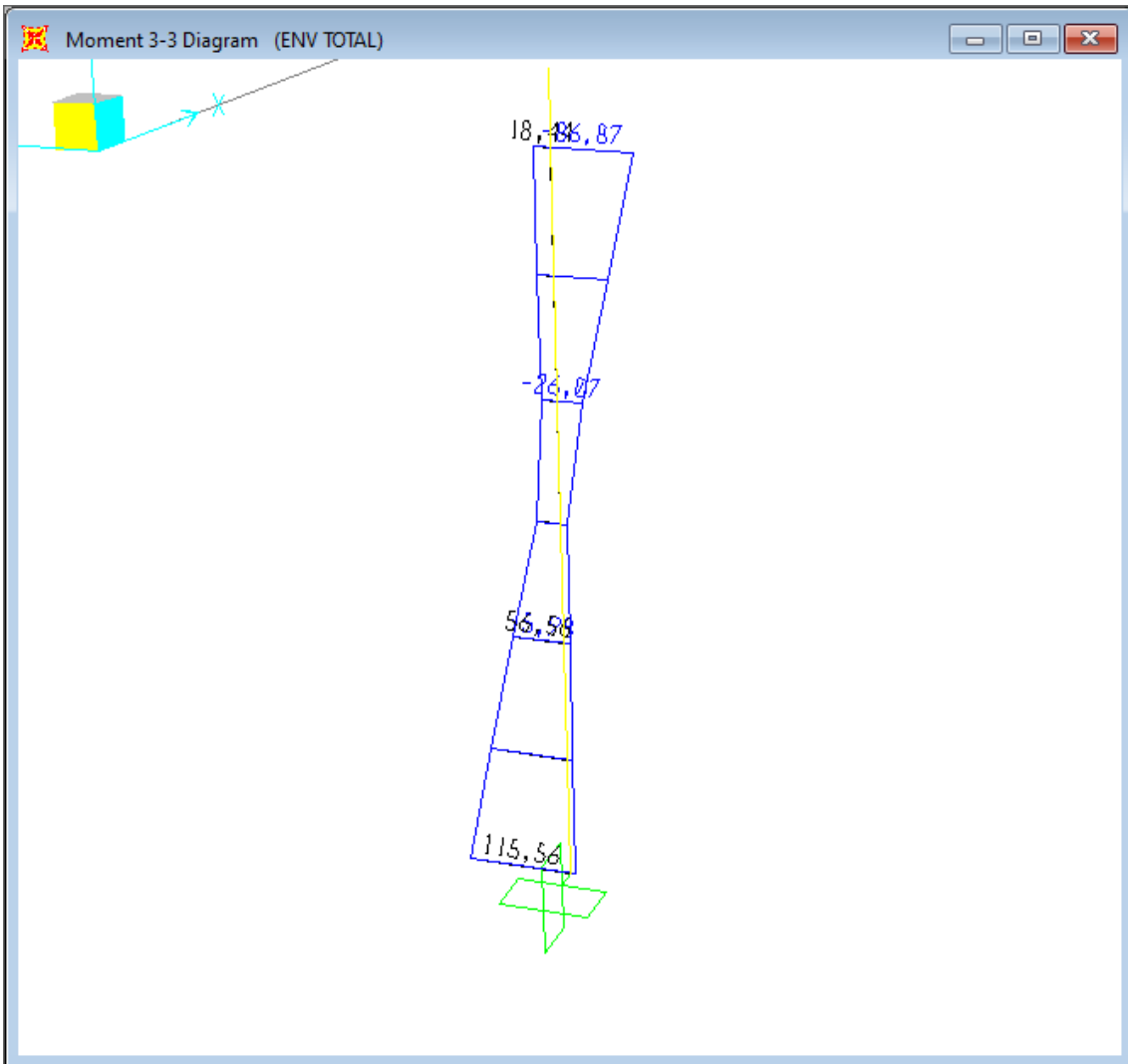
| Planilha para Dimensionamento de Seções de Viga ao Cisalhamento | | | |
|---|--|-----------------------|---------------------|
| Descrição Geral: | | | |
| Dados | | | |
| Força Cortante Reduzida (V) | 130,0 | kN | |
| Força de Compressão (Nc) | 0,0 | kN | |
| Força de Protensão (Np) | 0,0 | kN | |
| $N_s = N_c \cdot \gamma_f + N_p \cdot \gamma_{fp}$ | 0,0 | kN | |
| M_0 | 0,0 | kNm | |
| $M_{sd,max}$ | 0,0 | kNm | |
| Base da Seção de Concreto (b_w ou b_f) | 1,500 | m | |
| Altura da Seção de Concreto (h) | 1,800 | m | |
| Cobrimento (d') | 0,050 | m | |
| Área de armação longitudinal (A_s) | 20,00 | cm ² | |
| Área de concreto (A_c) | 2,700 | m ² | |
| Seção transversal totalmente tracionada? | NÃO | | |
| Resistência nominal do concreto (f_{ck}) | 25,00 | MPa | |
| Resistência de cálculo (f_{ywd})- Item 19.4.2 | 435 | MPa | |
| Coefficiente de minoração da resistência (γ_c) | 1,4 | | |
| Coefficiente de majoração de carga (γ_f) | 1,0 | | |
| Coefficiente de majoração da força de protensão (γ_{fp}) | 0,9 | | |
| Modelo I (NBR 6118/2014: 19.4.1) | | | |
| Fases | | | |
| f_{ctd} | $(0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}) / \gamma_c$ | 1,28 | MPa |
| k | Valor absoluto de: 1,6 - d | 1,00 | m |
| ρ | $A_s / (b_w \cdot d)$ | 0,0008 | |
| σ_{cp} | $N_s / (b_w \cdot h)$ | 0,00 | MPa |
| V_d | $V \cdot \gamma_f$ | 130,00 | kN |
| α_{v2} | $1 - f_{ck} / 250$ | 0,900 | |
| V_{Rd2} | $0,27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$ | 11390,63 | kN |
| A seção resiste a compressão da biela $V_d < VRd2$ | | | |
| V_{c0} | $0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$ | 2019,91 | kN |
| $M_0/M_{sd,max}$ | Se $N_p \neq 0$ - Consultar item 17.4.2.2 da NBR 6118/2003 | 0,00 | |
| V_c | $V_{c0}(1+M_0/M_{sd,max})$ ou 0 (para seção totalmente tracionada) | 2019,91 | kN |
| V_{sw} | $V_d - V_c$ | -1889,91 | kN |
| A_{s90} | $V_{sw} / 0,9 \cdot d \cdot f_{ywk}$ | 0,00 | cm ² / m |
| $A_{s90,min}$ | $0,2 \cdot b_w \cdot f_{ctm} / f_{ywk}$ | 15,39 | cm ² / m |
| Armadura adotada: | | ϕ 8 c / 15 x 4 | |

13.PILARES



Moment 2-2 Diagram (ENV TOTAL)



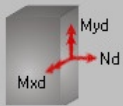


| Esforços atuantes | | | Esforços de cálculo | | |
|----------------------------|-------|-------|---------------------|----------|-------|
| N | 1785 | kN | γ_f | 1 | |
| Mx | 41000 | kN.cm | γ_n | 1 | |
| My | 11600 | kN.cm | Nd | 1785 | kN |
| Dados geométricos | | | Mx,d | 41000 | kN.cm |
| x | 85 | cm | My,d | 11600 | kN.cm |
| y | 85 | cm | Momentos mínimos | | |
| le,x | 800 | cm | Mdx,min | 7229,25 | kN.cm |
| le,y | 800 | cm | Mdy,min | 7229,25 | kN.cm |
| Propriedades dos materiais | | | Índice de Esbeltez | | |
| fck | 25 | MPa | λ_x | 32,56471 | |
| fy | 500 | MPa | λ_y | 32,56471 | |
| | | | e2,x | 0,00 | cm |
| | | | e2,y | 0 | cm |

| Esforços Finais | | |
|-----------------|-------|-------|
| Nd | 1785 | kN |
| Mx,d | 41000 | kN.cm |
| My,d | 11600 | kN.cm |

Oblíqua 1.0 [Arquivo] [Configurações] [Sobre]

Solicitações



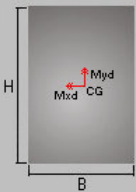
Nd (kN): -1785
Mxd (kN.m): 116
Myd (kN.m): 410

Materiais
Concreto: C-25
Aço: CA-50 A

Armadura
Número de barras na linha: 3
Diâmetro das barras (mm): 20
X_i (cm): 80 X_f (cm): 80
Y_i (cm): 25 Y_f (cm): 60
 Horizontal Vertical Qualquer

Taxa de Armadura: 0,70 %

Seção Transversal



B (cm): 85
H (cm): 85

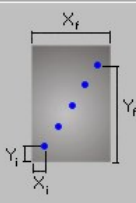
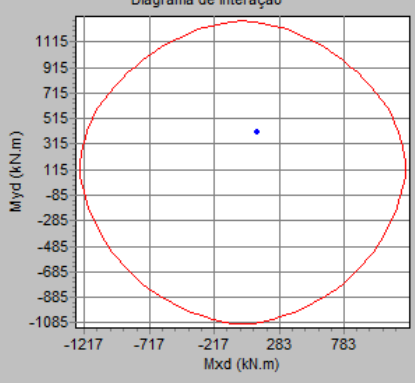
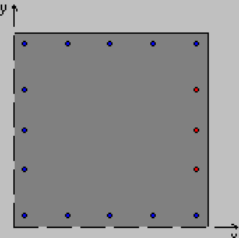


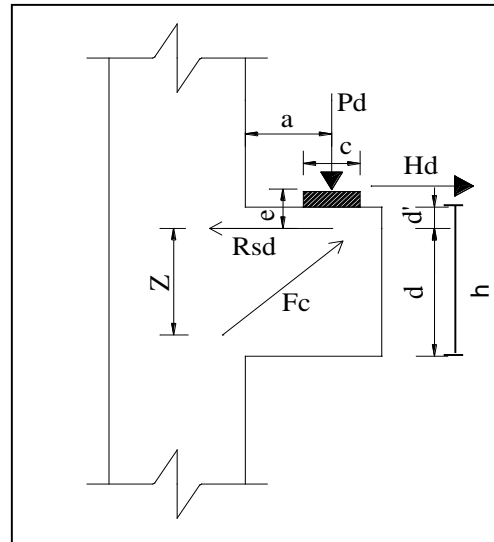
Diagrama de Interação

Gerar gráfico

14.ENCONTRO

| Consolos | | |
|---|----------------------------------|----------------------------------|
| Dados de entrada | | |
| Pd (kgf/m) | Hd (kgf/m) | h (cm) |
| 64.400 | 12.880 | 50 |
| a (cm) | b (cm) | c (cm) |
| 45 | 100 | 20 |
| d (cm) | d' (cm) | e (cm) |
| 45,00 | 5,0 | 6,5 |
| | | |
| f_{yd} (kgf/cm ²) | fck (MPa) | d _{calc.} (cm) |
| 4.348 | 20 | 45 |
| | | |
| Resultados: | | |
| $\sigma_{d,m\acute{a}x}$ (kgf/cm ²) | < | f_{cdr} (kgf/cm ²) |
| 56,75 | | 78,86 |
| R_{sd} (kgf/m) | $A_{s,tir}$ (cm ² /m) | Fc (kgf) |
| 103.988 | 23,92 | 112.655 |
| A_{sh} (cm ² /m) | 11,96 | |
| Biela de concreto - OK | | |
| | | |



15. TUBULÕES

15.1. SONDAGEM

| PERFYL | | PERFYL Muriae - MG: Rua Dr. Antônio da Silveira Brum Júnior, 10 perfyl@recepcao@perfyl.com.br | | PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA / ROTATIVA Normas NBR: 6484/80 13441 7250 6502 | | | | | | |
|---|--------------------------------|---|---------|---|---|---|--------------|--------------|-----|---------|
| Cliente : | PREFEITURA MUNICIPAL DE MURIAE | | | NA Inicial | Data | NA Final | Data | | | |
| Obra : | Ponte Santana | | | 2,62 | 15/09/2018 | 2,62 | 16/09/2018 | | | |
| Local : | Muriae - MG | | | Prof. do revestimento (m) | | 2,00 | | | | |
| Data Início : | 15/09/2018 | | | Prof. total da sondagem (m) | | 12,70 | | | | |
| Diâmetro do Revestimento : | | | | 3.0 pol | | Sondagem N° | | | | |
| Diâmetro do Amostrador SPT : | | | | 2.0 pol | | Furo N° : SMI-01 | | | | |
| Peso : 65,00 Kg. | | Altura de Queda : 75,0 cm | | Cota (m) | | 100,000 | | | | |
| Diam. do furo (φ) | Rev. est. | Prof. das camadas e NA | N (SPT) | Perfil | DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DO MATERIAL | Alteração | Consolidação | Fraturamento | RQD | N (SPT) |
| BWL 1R | 1R | 1,00 | 9 | | 0,00-2,00: Silte argiloso marrom e cinza médio a rijo A6 P6 C6 RQD 0 N/A N/A | | | | | |
| BWL 2R | 2R | 2,00 | 12 | | 3,70-5,20: Gnaíse fraturado A2/A3 P1/P2 C1 RQD 10 F4 R=46% | | | | | |
| BWL 3R | 3R | 3,00 | 60 | | 5,20-6,70: Gnaíse fraturado A2/A3 P1/P2 C1/C2 RQD 10 F4 R=53% | | | | | |
| BWL 4R | 4R | 4,00 | | | 6,70-8,20: Gnaíse fraturado A2/A3 P2/P3 C1/C2 RQD 55 F3/F4 R=83% | | | | | |
| BWL 5R | 5R | 5,00 | | | 8,20-9,70: Gnaíse muito fraturado A2/A3 P2/P3 C1/C2 RQD 0 F5 R=28% | | | | | |
| BWL 6R | 6R | 6,00 | | | 9,70-11,20: Gnaíse fraturado A1/A2 P2/P3 C1/C2 RQD 70 F2 R=63% | | | | | |
| BWL 7R | 7R | 7,00 | | | 11,20-12,70: Gnaíse medianamente fraturado A1/A2 P2/P3 C1/C2 RQD 43 F3 R=89% | | | | | |
| BWL 8R | 8R | 8,00 | | | | | | | | |
| BWL 9R | 9R | 9,00 | | | | | | | | |
| BWL 10R | 10R | 10,00 | | | | | | | | |
| BWL 11R | 11R | 11,00 | | | | | | | | |
| BWL 12R | 12R | 12,00 | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | OBSERVAÇÕES: | | | | |
| TC - trado comê TH - trado helicoidal | | | | | | (1) prof. das camadas em relação à boca do furo de sondagem | | | | |
| CA - circulação água NO - Não Observado | | | | | | (2) R.Q.D: não se aplica a solos | | | | |
| R - amostra recuperada L - amostra recuperada por lavagem | | | | | | Folha 1/2 | | | | |
| Desenho | | | | | | 01/02/18 Responsável | | | | |
| Coordenadas: | | | | | | | | | | |

SPM 01

15.2. VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO

- TUBULÕES PERTENCENTES AO P1

SONDAGEM UTILIZADA: SM-01

SPT DE APOIO: 50

TENSÃO RESISTENTE MÁXIMA: 10Kgf/cm²

TENSÃO ATUANTE:

$$\sigma = \frac{P}{A_{BASE}} = \frac{322700}{\pi \times 240^2 / 4} = 7,1 \text{kgf} / \text{cm}^2 \Rightarrow OK!$$

- TUBULÕES PERTENCENTES AO P2

SONDAGEM UTILIZADA: SM-02

SPT DE APOIO: 50

TENSÃO RESISTENTE MÁXIMA: 10Kgf/cm²

TENSÃO ATUANTE:

$$\sigma = \frac{P}{A_{BASE}} = \frac{322700}{\pi \times 240^2 / 4} = 7,1 \text{kgf} / \text{cm}^2 \Rightarrow OK!$$