


[illegible]

| | | | |
|---|--|--------------------------|--------------------|
|  | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-lv | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 1/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

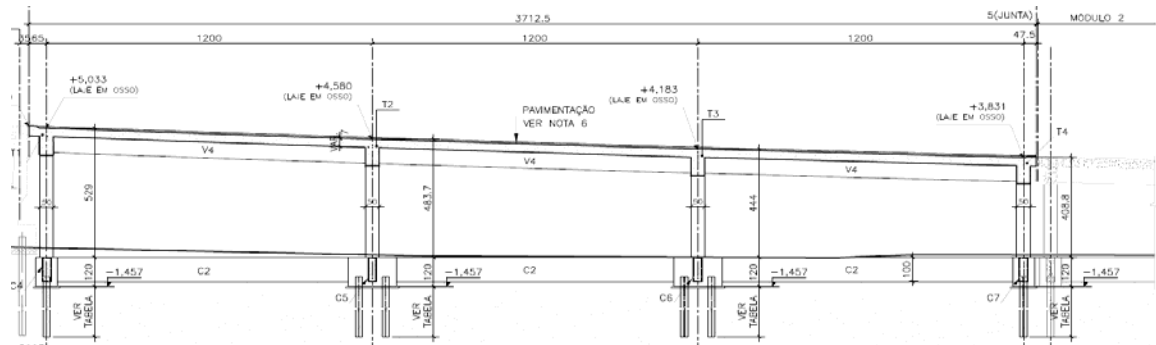
ÍNDICE

| ITEM | DESCRIÇÃO | PÁGINA |
|------|--|--------|
| 1. | Sistema Estrutural | 2 |
| 2. | Características dos materiais | 3 |
| 3. | Cálculo dos carregamentos atuantes | 4 |
| 4. | Combinações | 6 |
| 5. | Verificação das Estacas Metálicas | 7 |
| 6. | Cálculo dos Blocos | 9 |
| 6.1. | Bloco de 4 Estacas | 9 |
| 6.2. | Bloco de 2 Estacas | 12 |
| 7. | Cálculo das Cintas | 15 |
| 8. | Cálculo das Longarinas | 19 |
| 9. | Cálculo das Transversinas | 27 |
| 10. | Cálculo dos Pilares | 31 |
| 11. | Cálculo da Laje | 40 |

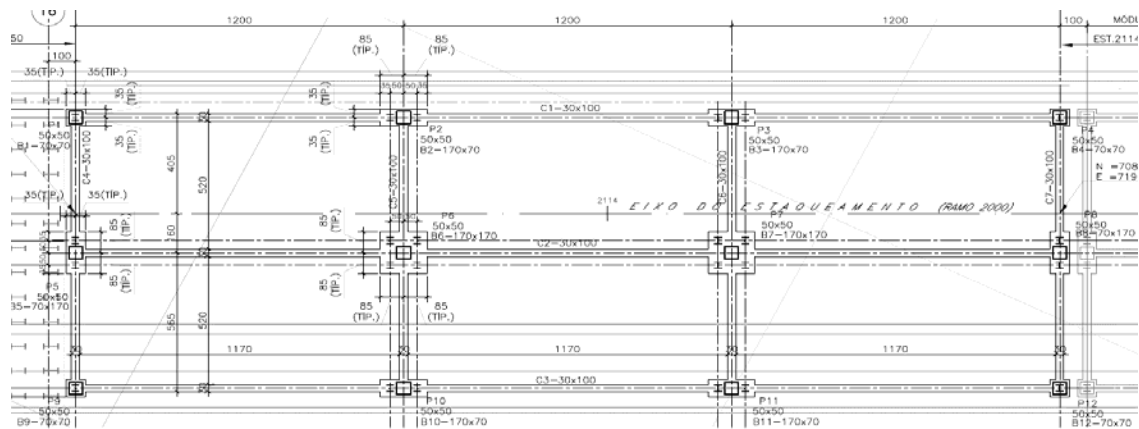
Cálculo da Estrutura de Acesso

1. Sistema Estrutural

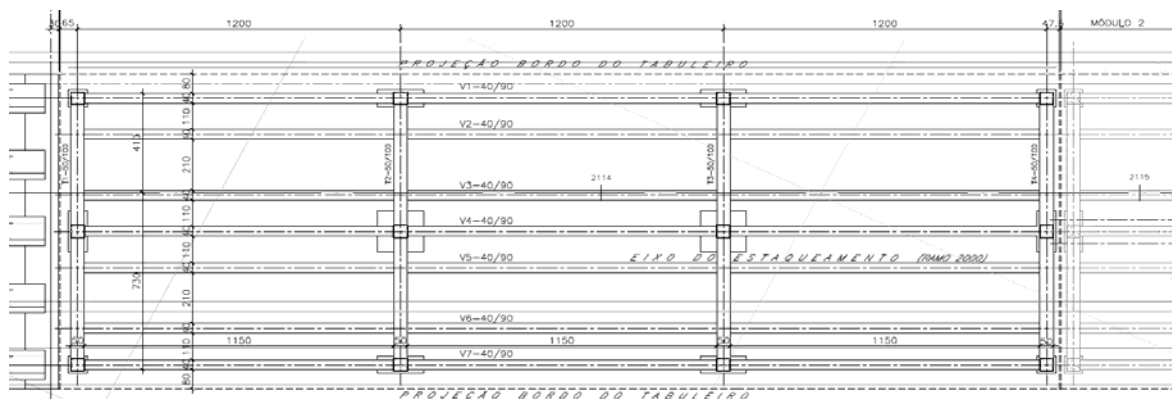
Elevação geral em vista



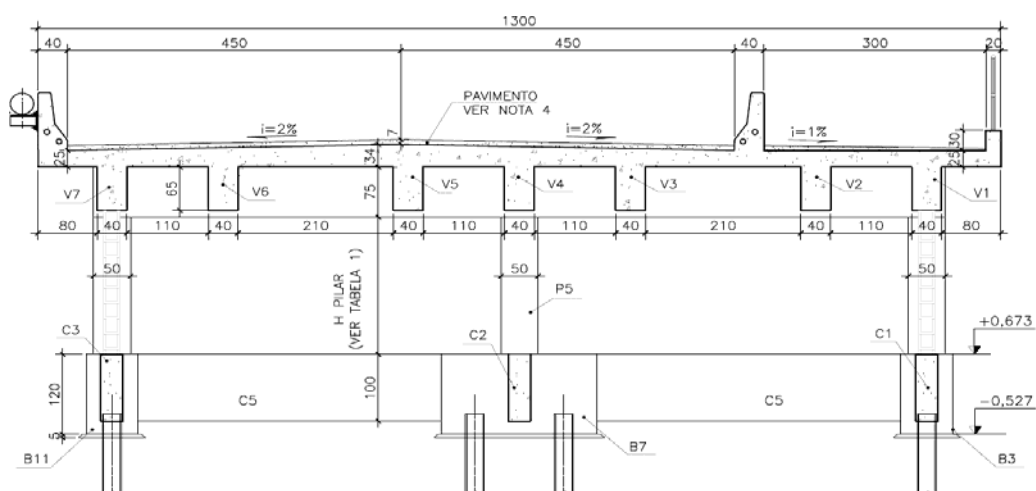
Fundações - Planta



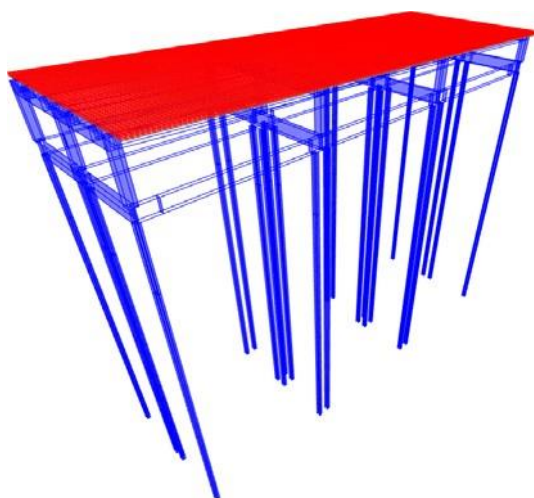
Superestrutura - Planta



Seção Transversal



Para estudo da estrutura foi elaborado um modelo em elementos finitos no programa CSiBridge, onde foram aplicados os carregamentos verticais e horizontais, além de todas as características geométricas e dos materiais dos elementos estruturais. A figura a seguir ilustra o modelo global da estrutura analisada.



2. Características dos materiais

2. 1. Características dos materiais

Concreto Infraestrutura / Superestrutura

$f_{ck} = 40$ MPa
 $\gamma = 25$ kN/m³
 $E_{ci} = 35417,5$ MPa
 $\alpha_i = 0,90$
 $E_{cs} = 31875,76$ MPa
 $\nu = 0,2$
 $\alpha = 1,0E-05$ /°C

Aço Estaqueamento (Perfis):

ASTM 572 Gr. 50

$f_y = 345$ MPa
 $f_u = 450$ MPa
 $\sigma_{trab} = 175$ MPa
 $E_s = 200$ GPa
 $\nu = 0,3$
 $\alpha = 1,2E-06$ /°C
 $\gamma = 78,5$ kN/m³

3. Cálculo dos carregamentos atuantes

Carregamentos Verticais

Peso Próprio

O peso próprio dos elementos é calculado automaticamente pelo software.

Sobrecargas Permanentes

| | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------|
| - Guarda Rodas: | $Q_{GR} = 0,2337 \times 25 / 0,4 =$ | 14,61 | kN/m ² |
| - Guarda Corpo: | $Q_{GC} =$ | 0,50 | kN/m |
| - Mureta do passeio: | $Q_{MUR} = 0,30 \times 25 =$ | 7,50 | kN/m ² |
| - Pavimentação na pista: | $Q_{PAV} = 0,07 \times 24 =$ | 1,68 | kN/m ² |
| - Pavimentação no passeio: | $Q_{PAV} = (0,07+0,03)/2 \times 24 =$ | 1,20 | kN/m ² |
| - Caimento da laje na Pista: | $Q_{CAIM.LAJE} = 0,09/2 \times 25 =$ | 1,13 | kN/m ² |
| - Alvenaria em Blocos de Argamassa: | $Q_{ALV} = 0,30 \times 22 =$ | 6,60 | kN/m ² |

Carga Móvel

TB-450 NBR 7188:2013

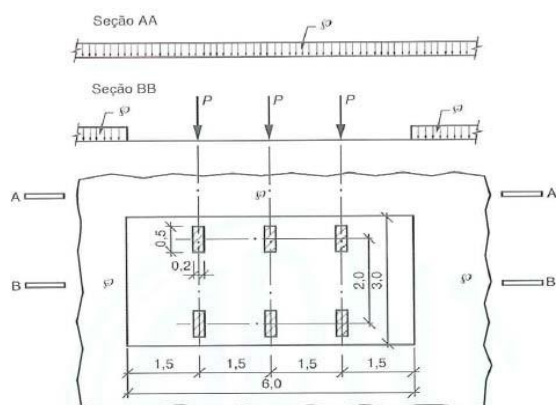


Figura 1 – Disposição das cargas estáticas

$$P = 75 \text{ kN}$$

$$q = 5 \text{ kN/m}^2$$

Coefficiente de Impacto:

$$\phi = CIV \times CNF$$

$$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{Liv + 50} \right)$$

$$CNF = 1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9$$

O Software calcula automaticamente o coeficiente de impacto através de interpolação linear do vão dada uma tabela de entrada para leitura dos dados. A seguir é apresentada a tabela do coeficiente de impacto para diversos vãos, inserida no software.

| L_{iv} (m) | CIV | n | CNF | ϕ |
|--------------|------|---|------|--------|
| 0,0 | 1,35 | 2 | 1,00 | 1,350 |
| 1,0 | 1,35 | 2 | 1,00 | 1,350 |
| 5,0 | 1,35 | 2 | 1,00 | 1,350 |
| 10,0 | 1,35 | 2 | 1,00 | 1,353 |
| 15,0 | 1,33 | 2 | 1,00 | 1,326 |
| 20,0 | 1,30 | 2 | 1,00 | 1,303 |
| 25,0 | 1,28 | 2 | 1,00 | 1,283 |
| 30,0 | 1,27 | 2 | 1,00 | 1,265 |
| 35,0 | 1,25 | 2 | 1,00 | 1,249 |
| 40,0 | 1,24 | 2 | 1,00 | 1,236 |

Carregamentos Horizontais Longitudinais

- Frenagem e Aceleração:

$$\mu_f = 0,25 \cdot \mu \cdot \mu \cdot \mu \cdot \mu$$

$$CNF = 1,00$$

A carga de frenagem e aceleração foi considerada distribuída ao longo da pista no nível do tabuleiro.

- Variação de temperatura, retração e deformação lenta do concreto:

Para simular os efeitos de variação ambiental de temperatura será assumida uma queda de temperatura de:

$$\Delta\theta (^{\circ}\text{C}) = -30$$

$$\alpha = 0,00001$$

Carregamentos Horizontais Transversais

- Vento na Superestrutura:

- Cálculo da Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$


$$V_o \text{ (m/s)} = 42,00 \quad (\text{máxima velocidade média retirada das isopletras da Figura 1 da NBR-6123:1988})$$

$$S_1 = 1,00 \quad (\text{Fator topográfico: terreno plano ou fracamente acidentado})$$

$$S_2 = 0,92 \quad (\text{Tabela 2: Rugosidade Cat. II, Dimensões Classe B, Altura } z < 5\text{m})$$

$$S_3 = 1,00 \quad (\text{Fator estatístico})$$

$$V_k \text{ (m/s)} = 38,64$$

| | | | |
|---|--|--------------------------|--------------------|
|  PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-lv | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 1/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

- Cálculo da Pressão de vento:

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad q = \quad 915,2 \text{ N/m}^2 = \quad 0,92 \quad \text{kN/m}^2$$

- Força Centrífuga:

A força horizontal provenientes da força centrífuga, aplicadas no nível da pista de rolamento é demonstrada a seguir.

$$\begin{aligned} H_{fc} &= 2,4 * P && \text{(em kN, para curva com raio } < 200\text{m)} \\ H_{fc} &= (480/R) * P && \text{(em kN, para curva com raio } 200 < R < 1500\text{m)} \\ H_{fc} &= 0 && \text{(para raios superiores a } 1500\text{m)} \end{aligned}$$

$$R \text{ (m)} = 0,00$$

$$P \text{ (kN)} = 75$$

$$H_{fc} \text{ (kN)} = 0$$

4. Combinações

As ações são combinadas de acordo com a NBR 8681 para os Estados Limites de Serviço e para o Estado Limite Último. A seguir são apresentadas as combinações consideradas no modelo.

Combinações de Serviço

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$$

Com:

| Ação | ψ_1 |
|--------------------------------------|----------|
| cargas permanentes | 1,00 |
| carga móvel e seus efeitos dinâmicos | 1,00 |
| deformações impostas | 1,00 |
| vento | 1,00 |

Combinações Últimas Normais

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right]$$

| Ação | γ_{desfav} | γ_{fav} | ψ_0 |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|----------|
| cargas permanentes | 1,35 | 1,00 | - |
| carga móvel e seus efeitos dinâmicos | 1,50 | 0,00 | 0,70 |
| vento | 1,40 | 0,00 | 0,60 |
| deformações impostas | 1,20 | 0,00 | 0,60 |

5. Verificação das Estacas Metálicas

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rizezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.

TAB. 6.9.1
Valores indicativos do coeficiente k_s de reação lateral do terreno (Fórm. 6.4.1),
referido à largura total da estaca /13, 14/.

| Tipo de solo | N.º de golpes do amostrador padrão (N) | k_s (tf/m³) | |
|-----------------------------------|--|--------------------|---------------|
| | | Solo seco ou úmido | Solo submerso |
| Areia média | 5 – 10 | 250 | 150 |
| Areia compacta | 10 – 25 | 700 | 500 |
| Areia muito compacta | > 25 | 2 000 | 1 250 |
| Areia fofa, carga estática | 5 | | 100 |
| Areia fofa, carga cíclica | < 5 | | 40 |
| Argila muito mole, carga estática | < 2 | | 50 |
| Argila muito mole, carga cíclica | < 2 | | 30 |
| Silt orgânico fofo | < 3 | | 30 |
| Argila mole | 2 – 4 | | 100 |
| Argila média | 4 – 10 | | 250 |

Cálculo do Estaqueamento:

Perfil metálico das Estacas:
W310x107

- Esforços em serviço:

Estaca Com $N_{d,máx}$

| Seção | Estaca | N_d (kN) | $M_{L,d}$ (kN.m) | $M_{T,d}$ (kN.m) | M_d (kN.m) |
|-------|--------|------------|------------------|------------------|--------------|
| Topo | Máximo | 782,20 | 7,55 | 35,20 | 36,00 |
| | Mínimo | 287,20 | 7,55 | 35,20 | 36,00 |

$$\sigma_{máx} \text{ (MPa)} = 118,14$$

$$\sigma^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!


Estaca Com $N_{d,mín}$

| Seção | Estaca | N_d (kN) | $M_{L,d}$ (kN.m) | $M_{T,d}$ (kN.m) | M_d (kN.m) |
|-------|-----------------|------------|------------------|------------------|--------------|
| Topo | Mais carregada | 762,10 | 18,30 | 27,90 | 33,37 |
| | Menos carregada | 258,25 | 18,30 | 27,90 | 33,37 |

$$\sigma_{máx} \text{ (MPa)} = 135,66$$

$$\sigma^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

| | | | |
|---|--|--------------------------|--------------------|
|  PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-IV | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 1/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

Estaca Com $M_{L,d,máx}$

| Seção | Estaca | N_d (kN) | $M_{L,d}$ (kN.m) | $M_{T,d}$ (kN.m) | M_d (kN.m) |
|-------|-----------------|------------|------------------|------------------|--------------|
| Topo | Mais carregada | 732,85 | 18,80 | 36,25 | 40,84 |
| | Menos carregada | 263,25 | 18,80 | 36,25 | 40,84 |

$$\sigma_{máx} \text{ (MPa)} = 140,59$$

$$\sigma^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

Estaca Com $M_{T,d,máx}$

| Seção | Estaca | N_d (kN) | $M_{L,d}$ (kN.m) | $M_{T,d}$ (kN.m) | M_d (kN.m) |
|-------|-----------------|------------|------------------|------------------|--------------|
| Topo | Mais carregada | 732,85 | 18,80 | 36,25 | 40,84 |
| | Menos carregada | 263,25 | 18,80 | 36,25 | 40,84 |

$$\sigma_{máx} \text{ (MPa)} = 140,59$$

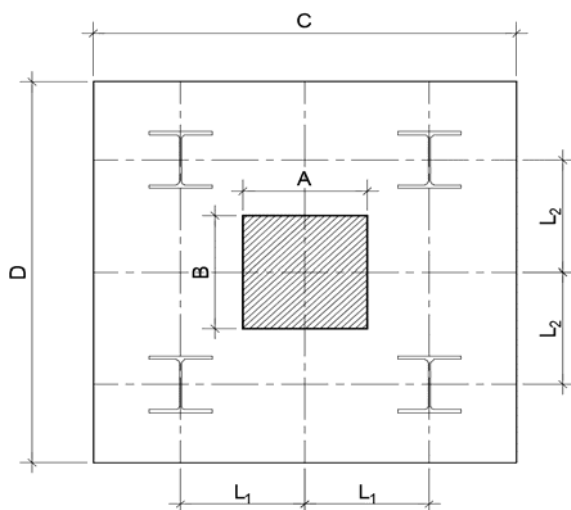
$$\sigma^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

6. Cálculo dos Blocos

6. 1. Bloco de 4 Estacas

- Geometria:



$$A = 0,50 \text{ m}$$

$$B = 0,50 \text{ m}$$

$$C = 1,70 \text{ m}$$

$$D = 1,70 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,50 \text{ m}$$

$$L_2 = 0,50 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$\sigma_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} \sigma_{cd}$$

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} \sigma_{cd}$$

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd} = 28,57 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,84$$

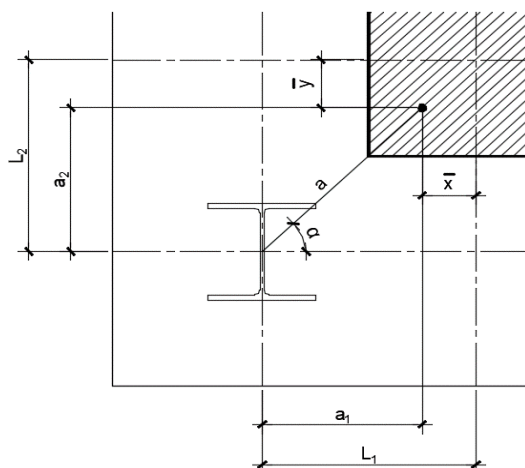
$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{\sigma_{ck}}{250}$$

$$f_{cd1} = 20,40 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 17,28 \text{ MPa}$$

- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$x_1 = 0,125 \text{ m}$$

$$x_2 = 0,125 \text{ m}$$

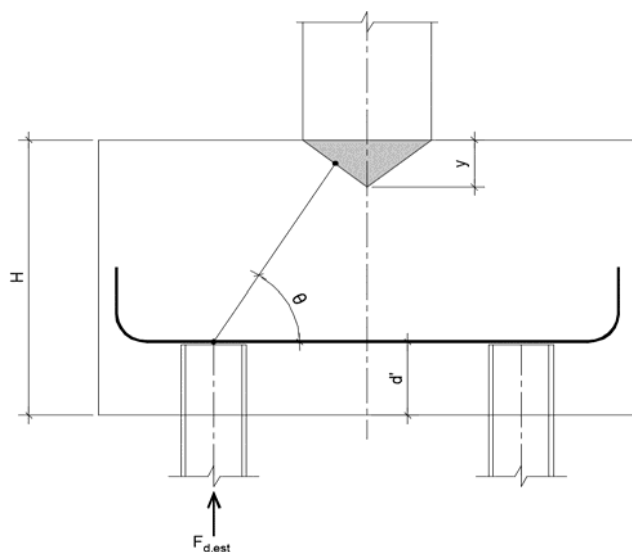
$$a_1 = 0,38 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,38 \text{ m}$$

$$a = 0,53 \text{ m}$$

$$\alpha = 45,00^\circ$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,20 \text{ m}$$

$$d' = 0,30 \text{ m}$$

$$d = 0,90 \text{ m}$$

$$y = 0,05 \text{ m}$$

$$z = 0,88 \text{ m}$$

$$\theta = 58,78^\circ$$

$$F_{d,est} = 850,00 \text{ kN}$$

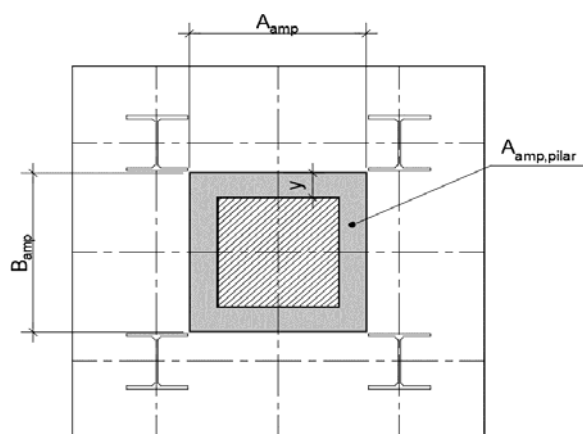
$$F_{d,pilar} = 3400,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

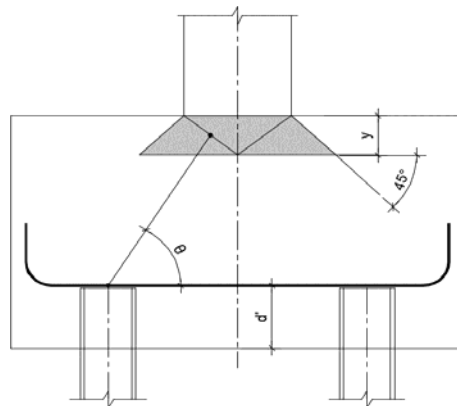
Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{\sigma_{d,piSar}}{\sigma_{ANp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq \sigma_{cd1} \quad f_{cd1} = 20,40 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

$$A_{amp,pilar} = 0,360 \text{ m}^2 \quad \sigma_{cd,pilar} = 12,91 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$l_{td1} = l_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 515,18 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$l_{td1,Long} = l_{td1} \times \cos \alpha$$

$$l_{td1,trans} = l_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 364,29 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 8,38 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 364,29 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 8,38 \text{ cm}^2$$

Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 6,70 \text{ cm}^2$$

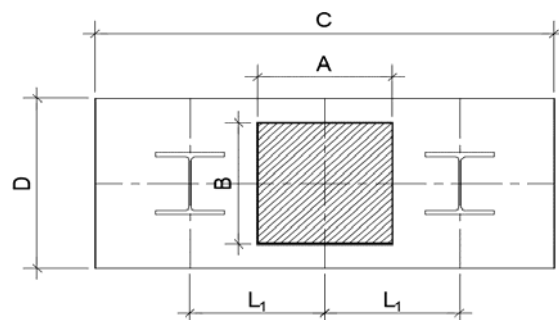
$$80\% A_{s,tir,trans} = 6,70 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 1,68 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 1,68 \text{ cm}^2$$

6. 2. Bloco de 2 Estacas

- Geometria:



$$A = 0,50 \text{ m}$$

$$B = 0,50 \text{ m}$$

$$C = 1,70 \text{ m}$$

$$D = 0,70 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,50 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$\sigma_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} \sigma_{cd}$$

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} \sigma_{cd}$$

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd} = 28,57 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{\sigma_{ck}}{250}$$

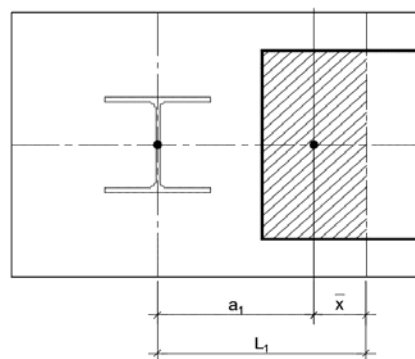
$$\alpha_{v2} = 0,84$$

$$f_{cd1} = 20,40 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 17,28 \text{ MPa}$$

- Verificação da biela de compressão:

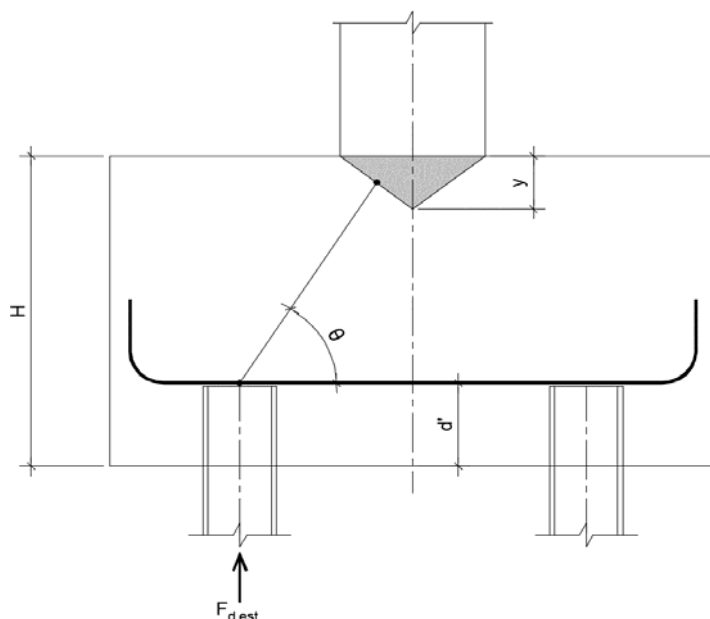
Projeção horizontal da biela:



$$a_1 = 0,125 \text{ m}$$

$$a_1 = 0,38 \text{ m}$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,20 \text{ m}$$

$$d' = 0,30 \text{ m}$$

$$d = 0,90 \text{ m}$$

$$y = 0,30 \text{ m}$$

$$z = 0,75 \text{ m}$$

$$\theta = 63,43^\circ$$

$$F_{d,est} = 1100,00 \text{ kN}$$

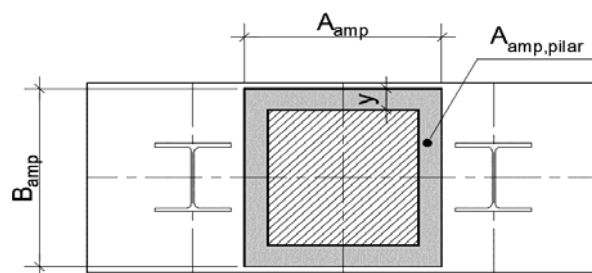
$$F_{d,pilar} = 4400,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

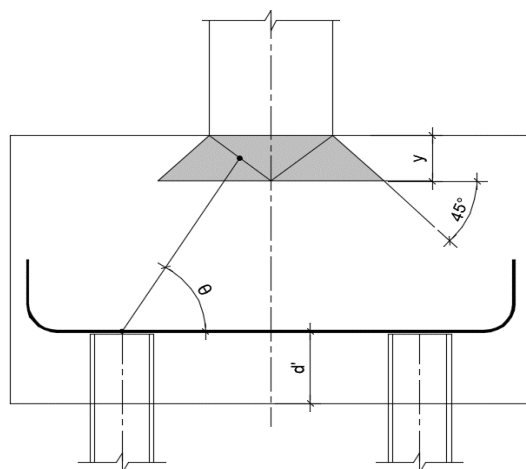
Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{Anp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 20,40 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

$$A_{\text{amp,pilar}} = 0,490 \text{ m}^2 \quad \sigma_{\text{cd,pilar}} = 11,22 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$l_{td1} = l_{d,ect} \times \cot \theta$$


$$F_{td1} = 550,00 \text{ kN}$$

$$A_{s,tir,long} = 12,65 \text{ cm}^2$$

Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 10,12 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 2,53 \text{ cm}^2$$

| | | | |
|---|--|--------------------------|--------------------|
|  PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-lv | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 1/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

7. Cálculo das Cintas

- Dimensionamento das vigas:

Os momentos nas seções de cálculo serão obtidos através da ferramenta Section Cut do CSIBridge.
A seguir são apresentados os esforços de dimensionamento.

| Seção | M _{d,MÁX} (kN.m) | M _{d,MIN} (kN.m) | V _{d,MÁX} (kN) | V _{d,MIN} (kN) |
|-------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| S0 | 223,65 | -117,20 | -64,35 | -162,60 |
| S1 | 374,35 | 87,90 | 18,00 | -51,50 |
| S2 | -194,20 | -572,90 | 257,20 | 143,50 |

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40$$

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500$$

$$f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 4,561$$

- Seção transversal:

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 0,30$$

$$b_w \text{ (m)} = 0,30$$

$$b_f \text{ (m)} = 0,30$$

$$y_{sup} \text{ (m)} = 0,50$$

$$h_f \text{ (m)} = 0,00$$

$$y_{inf} \text{ (m)} = 0,50$$

$$h \text{ (m)} = 1,00$$

$$I \text{ (m}^4\text{)} = 0,03$$

$$d'_{inf} \text{ (m)} = 0,09$$

$$W_{sup} \text{ (m}^3\text{)} = 0,0500$$

$$d'_{sup} \text{ (m)} = 0,09$$

$$W_{inf} \text{ (m}^3\text{)} = 0,0500$$

$$d_{inf} \text{ (m)} = 0,91$$

$$d_{sup} \text{ (m)} = 0,91$$

- Amadura mínima:

$$\sigma_{d,min} = 0,8 \cdot \sigma_0 \cdot \sigma_{ctk,cup}$$

$$\sigma_{c,min} = 0,15\% \cdot \sigma_c$$

$$A_{s,min} = 4,50 \text{ cm}^2$$

Arm. Superior $W_0 \text{ (m}^3\text{)} = 0,050$


$$M_{d,min} = 182,46$$

$$A_{s,min} = 4,68 \text{ cm}^2$$

Arm. Inferior $W_0 \text{ (m}^3\text{)} = 0,050$

$$M_{d,min} = 182,46$$

$$A_{s,min} = 4,68 \text{ cm}^2$$

| | | | |
|---|--|--------------------------|--------------------|
|  PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-lv | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 1/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

- Armadura Inferior:

| Seção | M _d (kN.m) | k _{md} | x/d | A _s (cm²) |
|-------|--------------------------|-----------------|-------|-------------------------|
| S0 | 223,65 | 0,0315 | 0,047 | 5,76 |
| S1 | 374,35 | 0,0527 | 0,080 | 9,77 |
| S2 | 0,00 | 0,0000 | 0,000 | 0,00 |

- Armadura Superior:

| Seção | M _d (kN.m) | k _{md} | x/d | A _s (cm²) |
|-------|--------------------------|-----------------|-------|-------------------------|
| S0 | -117,20 | 0,0165 | 0,025 | 4,68 |
| S1 | 0,00 | 0,0000 | 0,000 | 0,00 |
| S2 | -572,90 | 0,0807 | 0,125 | 15,24 |

- Cálculo da Fadiga:

$$\gamma_f \cdot \Delta \sigma_s \leq \Delta_{fsd,fad}$$

$$\gamma_f = 1$$

$$\psi_1 = 1$$

$$M_{m\acute{a}x} = M_g + \psi_1 \cdot M_{p\ m\acute{a}x}$$

$$M_{m\acute{i}n} = M_g + \psi_1 \cdot M_{p\ m\acute{i}n}$$

$$f.f. = \Delta \sigma_s / \Delta \sigma_{fsd,fad}$$

$$\sigma_{ficc} = \frac{M_{m\acute{a}x} - M_{m\acute{i}n}}{I_{ficc}}$$

$$\sigma_{ficc}' = \frac{M_{m\acute{a}x} - M_{m\acute{i}n}}{I_{ficc}}$$

$$I_{ficc} = \frac{I_{g\ m\acute{a}x} \cdot h^3}{12} + I_{g\ m\acute{a}x} \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} \right)^2 + \frac{I_{g\ m\acute{a}x} \cdot (h - h_{ficc})^3}{3} + I_{g\ m\acute{a}x} \cdot (h - h_{ficc})^2 + I_{g\ m\acute{a}x} \cdot (h - h_{ficc})^2$$

Resumo dos Esforços para Combinação Freqüente:

| Seção | M _{d,MÁX} (kN.m) | M _{d,MIN} (kN.m) | V _{d,MÁX} (kN) | V _{d,MIN} (kN) |
|-------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| S0 | 76,60 | -43,00 | -89,40 | -111,32 |
| S1 | 236,55 | 162,85 | -7,10 | -29,00 |
| S2 | -72,50 | -148,70 | 138,90 | 117,00 |

- Armadura Inferior:

$$\Delta_{fsd,fad} \text{ (MPa)} = 175$$

| | | M _{d,serv} (kN.m) | A _s ^{sup} (cm²) | A _s ^{inf} (cm²) | x (cm) | J _{fiss} (cm⁴) | σ _s (MPa) |
|----|-----|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------|----------------------|
| S0 | Máx | 76,60 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | 48,69 |
| | Mín | -43,00 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | -4,99 |
| S1 | Máx | 236,55 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | 150,37 |
| | Mín | 162,85 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | 103,52 |
| S2 | Máx | -72,50 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | -8,42 |
| | Mín | -148,70 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | -17,26 |

| | $\Delta\sigma_s$ (MPa) | f.f. | A_s (cm ²) | $A_s \times f.f.$ (cm ²) |
|----|------------------------|------|--------------------------|--------------------------------------|
| S0 | 53,69 | 1,00 | 5,76 | 5,76 |
| S1 | 46,85 | 1,00 | 9,77 | 9,77 |
| S2 | 8,85 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |

Armadura Detalhada:
6 ϕ 20 (18,85 cm²)

- Armadura Superior:

$$\Delta_{fsd,fad} \text{ (MPa)} = 175$$

| | | $M_{d,serv}$ (kN.m) | A_s^{sup} (cm ²) | A_s^{inf} (cm ²) | x (cm) | J_{fiss} (cm ⁴) | σ_s (MPa) |
|----|-----|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|-------------------------------|------------------|
| S0 | Máx | 76,60 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | -8,89 |
| | Mín | -43,00 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | 27,33 |
| S1 | Máx | 236,55 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | -27,46 |
| | Mín | 162,85 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | -18,90 |
| S2 | Máx | -72,50 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | 46,09 |
| | Mín | -148,70 | 18,85 | 18,85 | 21,66 | 7,19E+05 | 94,53 |

| | $\Delta\sigma_s$ (MPa) | f.f. | A_s (cm ²) | $A_s \times f.f.$ (cm ²) |
|----|------------------------|------|--------------------------|--------------------------------------|
| S0 | 36,23 | 1,00 | 4,68 | 4,68 |
| S1 | 8,56 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S2 | 48,44 | 1,00 | 15,24 | 15,24 |

Armadura Detalhada:
6 ϕ 20 (18,85 cm²)

- Verificação da Fissuração:

$$w_k = \frac{\sigma_i}{12,5\sigma_1} \cdot \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{ci}} \cdot \frac{3\sigma_{ci}}{\sigma_{ctN}} \quad \text{CAA: IV} \quad \text{(Classe de agressividade ambiental)}$$

$$w_{k,lim} \leq 0,2 \quad \text{mm}$$

$$\eta_1 = 2,25$$

$$f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51$$

$$E_{si} \text{ (GPa)} = 210$$

- Armadura Inferior:

| | | σ_s (MPa) | ϕ_i (mm) | w_k (mm) | Verific |
|----|-----|------------------|---------------|------------|---------|
| S0 | Máx | 48,69 | 20,00 | 0,01 | Ok! |
| | Mín | -4,99 | 20,00 | - | - |
| S1 | Máx | 150,37 | 20,00 | 0,07 | Ok! |
| | Mín | 103,52 | 20,00 | 0,03 | Ok! |
| S3 | Máx | -8,42 | 20,00 | - | - |
| | Mín | -17,26 | 20,00 | - | - |

- Armadura Superior:

| | | σ_s (MPa) | ϕ_i (mm) | w_k (mm) | Verific. |
|----|-----|------------------|---------------|------------|----------|
| S0 | Máx | -8,89 | 20,00 | - | - |
| | Mín | 27,33 | 20,00 | 0,00 | Ok! |
| S1 | Máx | -27,46 | 20,00 | - | - |
| | Mín | -18,90 | 20,00 | - | - |
| S3 | Máx | 46,09 | 20,00 | 0,01 | Ok! |
| | Mín | 94,53 | 20,00 | 0,03 | Ok! |

- Dimensionamento ao cisalhamento:

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 28,6$$

$$f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,509$$

$$\alpha_{v2} = 0,84$$

$$f_{ywk} \text{ (MPa)} = 500,00$$

$$f_{ctk,inf} \text{ (MPa)} = 2,456$$

$$f_{ywd} \text{ (MPa)} = 434,78$$

$$f_{ctd} \text{ (MPa)} = 1,754$$

| | V_{sd} (kN) | b_w (m) | d (m) | V_{rd2} (kN) | Verif. do concreto | V_c (kN) | V_{swd} (kN) |
|----|---------------|-----------|---------|----------------|--------------------|------------|----------------|
| S0 | 162,60 | 0,30 | 0,91 | 1769,04 | Ok! | 287,37 | 0,00 |
| S1 | 51,50 | 0,30 | 0,91 | 1769,04 | Ok! | 287,37 | 0,00 |
| S2 | 257,20 | 0,30 | 0,91 | 1769,04 | Ok! | 287,37 | 0,00 |


| | A_{sw}/s (cm ² /m) | ρ_{sw} (cm ² /m ²) | $\rho_{sw,min}$ (cm ² /m ²) | $\rho_{sw,calc}$ (cm ² /m ²) |
|----|------------------------------------|---|---|--|
| S0 | 0,00 | 0,00 | 14,04 | 14,04 |
| S1 | 0,00 | 0,00 | 14,04 | 14,04 |
| S2 | 0,00 | 0,00 | 14,04 | 14,04 |

- Verificação da fadiga da armadura transversal:

$$\Delta f_{sd,fad} \text{ (MPa)} = 85 \quad \sigma_c^{NAS} = \frac{\sigma_c^{NAS} - 0,5 \cdot \sigma_t}{0,90 \cdot \sigma_t \cdot (\sigma_{cw}/\sigma_t)} \quad \sigma_c^{Nin} = \frac{\sigma_c^{Nin} - 0,5 \cdot \sigma_t}{0,90 \cdot \sigma_t \cdot (\sigma_{cw}/\sigma_t)}$$

| | | $V_{d,serv}$ kN | $0,5 \times V_c$ kN | $A_{sw,calc}$ (cm ² /m) | σ_w (MPa) | $\Delta\sigma_w$ (MPa) | f.f. |
|----|-----|--------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------|------|
| S0 | Máx | -89,40 | 143,69 | 4,21 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Mín | -111,32 | 143,69 | 4,21 | 0,00 | | |
| S1 | Máx | -7,10 | 143,69 | 4,21 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Mín | -29,00 | 143,69 | 4,21 | 0,00 | | |
| S2 | Máx | 138,90 | 143,69 | 4,21 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Mín | 117,00 | 143,69 | 4,21 | 0,00 | | |

| | $A_{sw}/s \times f_f$ (cm ² /m) | ϕ (mm) | $A_s^{1 \text{ perna}}$ (cm ²) | n_{pernas} | s (cm) |
|----|---|-------------|---|--------------|----------|
| S0 | 4,21 | 8,0 | 0,503 | 2 | 23,9 |
| S1 | 4,21 | 8,0 | 0,503 | 2 | 23,9 |
| S2 | 4,21 | 8,0 | 0,503 | 2 | 23,9 |

| | | | |
|---|--|--------------------------|--------------------|
|  PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-lv | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 1/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

8. Cálculo das Longarinas

- Dimensionamento das vigas:

Os momentos nas seções de cálculo serão obtidos através da ferramenta Section Cut do CSIBridge.

A seguir são apresentados os esforços de dimensionamento.

| Seção | M _{d,MÁX} (kN.m) | M _{d,MIN} (kN.m) | V _{d,MÁX} (kN) | V _{d,MIN} (kN) |
|-------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| S0 | 76,62 | -410,08 | 576,11 | 112,42 |
| S1 | 356,17 | -6,12 | 455,93 | 77,15 |
| S2 | 735,80 | 109,50 | 347,52 | 23,11 |
| S3 | 943,70 | 152,84 | 263,15 | -30,27 |
| S4 | 1087,60 | 165,21 | 179,70 | -94,91 |
| S5 | 1046,29 | 112,85 | 63,77 | -224,02 |
| S6 | 963,05 | 65,60 | 16,15 | -291,63 |
| S7 | 700,11 | -49,82 | -38,74 | -381,62 |
| S8 | 330,23 | -227,13 | -93,53 | -483,58 |
| S9 | -33,35 | -554,91 | -156,75 | -602,52 |
| S10 | -276,66 | -1055,84 | -136,61 | -620,44 |

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40$$

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500$$

$$f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 4,561$$

- Seção transversal:

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 0,36$$

$$b_w \text{ (m)} = 0,40$$

$$b_f \text{ (m)} = 1,67$$

$$y_{sup} \text{ (m)} = 0,45$$

$$h_f \text{ (m)} = 0,25$$

$$y_{inf} \text{ (m)} = 0,45$$

$$h \text{ (m)} = 0,90$$

$$I \text{ (m}^4\text{)} = 0,02$$

$$d'_{inf} \text{ (m)} = 0,09$$

$$W_{sup} \text{ (m}^3\text{)} = 0,0540$$

$$d'_{sup} \text{ (m)} = 0,09$$

$$W_{inf} \text{ (m}^3\text{)} = 0,0540$$

$$d_{inf} \text{ (m)} = 0,81$$

$$d_{sup} \text{ (m)} = 0,81$$

- Amadura mínima:

$$\sigma_{d,min} = 0,8 \cdot \sigma_0 \cdot \sigma_{ctk,cup}$$

$$\sigma_{c,min} = 0,15\% \cdot \sigma_c$$

$$A_{s,min} = 5,40 \text{ cm}^2$$

$$\text{Arm. Superior} \quad W_0 \text{ (m}^3\text{)} = 0,054$$

$$M_{d,min} = 197,06$$

$$A_{s,min} = 5,68 \text{ cm}^2$$

$$\text{Arm. Inferior} \quad W_0 \text{ (m}^3\text{)} = 0,054$$

$$M_{d,min} = 197,06$$

$$A_{s,min} = 5,62 \text{ cm}^2$$

- Armadura Inferior:

| | M _d (kN.m) | k _{md} | k _z | z | F _t (kN) | F _t ^{decal.} (kN) | F _t ^{tot} (kN) | A _s (cm²) |
|-----|--------------------------|-----------------|----------------|-------|---------------------|--|------------------------------------|-------------------------|
| S0 | 76,62 | 0,0024 | 0,9986 | 0,809 | 94,73 | 576,11 | 670,84 | 15,43 |
| S1 | 356,17 | 0,0114 | 0,9933 | 0,805 | 442,70 | 227,97 | 670,66 | 15,43 |
| S2 | 735,80 | 0,0235 | 0,9860 | 0,799 | 921,31 | 173,76 | 1095,07 | 25,19 |
| S3 | 943,70 | 0,0301 | 0,9819 | 0,795 | 1186,49 | 131,58 | 1318,06 | 30,32 |
| S4 | 1087,60 | 0,0347 | 0,9791 | 0,793 | 1371,34 | 89,85 | 1371,34 | 31,54 |
| S5 | 1046,29 | 0,0334 | 0,9799 | 0,794 | 1318,16 | 112,01 | 1318,16 | 30,32 |
| S6 | 963,05 | 0,0308 | 0,9816 | 0,795 | 1211,28 | 145,82 | 1357,10 | 31,21 |
| S7 | 700,11 | 0,0224 | 0,9867 | 0,799 | 876,01 | 190,81 | 1066,82 | 24,54 |
| S8 | 330,23 | 0,0105 | 0,9938 | 0,805 | 410,25 | 241,79 | 652,05 | 15,00 |
| S9 | 0,00 | 0,0000 | 1,0000 | 0,810 | 0,00 | 301,26 | 301,26 | 0,00 |
| S10 | 0,00 | 0,0000 | 1,0000 | 0,810 | 0,00 | 310,22 | 310,22 | 0,00 |

- Armadura Superior:

| | M _d (kN.m) | k _{md} | k _z | z | F _t (kN) | F _t ^{decal.} (kN) | F _t ^{tot} (kN) | A _s (cm²) |
|-----|--------------------------|-----------------|----------------|-------|---------------------|--|------------------------------------|-------------------------|
| S0 | -410,08 | 0,0547 | 0,9667 | 0,783 | 523,70 | 576,11 | 1099,81 | 25,30 |
| S1 | -6,12 | 0,0008 | 0,9995 | 0,810 | 7,56 | 227,97 | 235,52 | 5,68 |
| S2 | 0,00 | 0,0000 | 1,0000 | 0,810 | 0,00 | 173,76 | 173,76 | 0,00 |
| S3 | 0,00 | 0,0000 | 1,0000 | 0,810 | 0,00 | 131,58 | 131,58 | 0,00 |
| S4 | 0,00 | 0,0000 | 1,0000 | 0,810 | 0,00 | 89,85 | 89,85 | 0,00 |
| S5 | 0,00 | 0,0000 | 1,0000 | 0,810 | 0,00 | 112,01 | 112,01 | 0,00 |
| S6 | 0,00 | 0,0000 | 1,0000 | 0,810 | 0,00 | 145,82 | 145,82 | 0,00 |
| S7 | -49,82 | 0,0066 | 0,9961 | 0,807 | 61,75 | 190,81 | 252,56 | 5,81 |
| S8 | -227,13 | 0,0303 | 0,9819 | 0,795 | 285,60 | 241,79 | 527,39 | 12,13 |
| S9 | -554,91 | 0,0740 | 0,9544 | 0,773 | 717,82 | 301,26 | 1019,08 | 23,44 |
| S10 | -1055,84 | 0,1408 | 0,9089 | 0,736 | 1434,21 | 310,22 | 1434,21 | 32,99 |

- Cálculo da Fadiga:

$$\gamma_f * \Delta \sigma_s \leq \Delta \sigma_{f, fad}$$

$$\gamma_f = 1$$

$$\psi_1 = 1$$

$$M_{\max} = M_g + \psi_1 * M_{p, \max}$$

$$\sigma_{ficc} = \sigma_c * \frac{\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c}$$

$$f.f. = \Delta \sigma_s / \Delta \sigma_{f, fad}$$

$$M_{\min} = M_g + \psi_1 * M_{p, \min}$$

$$\therefore \sigma_{ficc}' = \sigma_c * \frac{\sigma_c - \sigma_t'}{\sigma_c}$$

$$\sigma_{ficc} = \frac{\sigma_c * h^3}{12} + \sigma_c * h * \left[\left(\frac{\sigma_c}{2} \right)^2 + \frac{\sigma_c * (\sigma_c - h)^3}{3} + \sigma_c * (\sigma_c - \sigma_t)^2 + \sigma_c' * (\sigma_c - \sigma_t)^2 \right]$$

Resumo dos Esforços para Combinação Freqüente:

| Seção | M _{d,MÁX} (kN.m) | M _{d,MIN} (kN.m) | V _{d,MÁX} (kN) | V _{d,MIN} (kN) |
|-------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| S0 | -50,89 | -168,61 | 274,13 | 143,91 |
| S1 | 170,33 | 30,35 | 211,99 | 101,57 |
| S2 | 357,11 | 155,40 | 154,67 | 57,26 |
| S3 | 456,56 | 217,85 | 110,57 | 19,61 |
| S4 | 520,65 | 242,27 | 64,41 | -24,81 |
| S5 | 492,04 | 208,23 | -3,91 | -96,30 |
| S6 | 444,32 | 169,08 | -33,96 | -130,71 |
| S7 | 304,38 | 71,30 | -76,40 | -180,96 |
| S8 | 106,18 | -78,80 | -121,66 | -237,61 |
| S9 | -137,30 | -292,65 | -172,13 | -303,56 |
| S10 | -331,27 | -542,25 | -165,52 | -303,72 |

- Armadura Inferior:

| | | M _{d,serv} (kN.m) | A _s ^{sup} (cm²) | A _s ^{inf} (cm²) | x (cm) | J _{fiss} (cm⁴) | σ _s (MPa) |
|-----|-----|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------|----------------------|
| S0 | Máx | -50,89 | 31,42 | 15,71 | 22,98 | 8,79E+05 | -5,33 |
| | Mín | -168,61 | 31,42 | 15,71 | 22,98 | 8,79E+05 | -17,67 |
| S1 | Máx | 170,33 | 6,28 | 15,71 | 13,49 | 6,74E+05 | 112,44 |
| | Mín | 30,35 | 6,28 | 15,71 | 13,49 | 6,74E+05 | 20,04 |
| S2 | Máx | 357,11 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | 136,58 |
| | Mín | 155,40 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | 59,43 |
| S3 | Máx | 456,56 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | 174,62 |
| | Mín | 217,85 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | 83,32 |
| S4 | Máx | 520,65 | 2,45 | 37,70 | 15,95 | 1,31E+06 | 170,46 |
| | Mín | 242,27 | 2,45 | 37,70 | 15,95 | 1,31E+06 | 79,32 |
| S5 | Máx | 492,04 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | 188,19 |
| | Mín | 208,23 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | 79,64 |
| S6 | Máx | 444,32 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | 169,94 |
| | Mín | 169,08 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | 64,67 |
| S7 | Máx | 304,38 | 6,28 | 25,13 | 14,56 | 9,52E+05 | 139,93 |
| | Mín | 71,30 | 6,28 | 25,13 | 14,56 | 9,52E+05 | 32,78 |
| S8 | Máx | 106,18 | 12,57 | 15,71 | 13,45 | 6,75E+05 | 70,06 |
| | Mín | -78,80 | 12,57 | 15,71 | 15,43 | 4,09E+05 | -8,16 |
| S9 | Máx | -137,30 | 25,13 | 9,42 | 21,34 | 7,28E+05 | -15,33 |
| | Mín | -292,65 | 25,13 | 9,42 | 21,34 | 7,28E+05 | -32,67 |
| S10 | Máx | -331,27 | 34,56 | 9,42 | 24,42 | 9,38E+05 | -35,88 |
| | Mín | -542,25 | 34,56 | 9,42 | 24,42 | 9,38E+05 | -58,73 |

| | $\Delta\sigma_s$ (MPa) | $\Delta f_{sd,fad}$ (MPa) | f.f. | A_s (cm ²) | $A_s \times f.f.$ (cm ²) |
|-----|------------------------|---------------------------|------|--------------------------|--------------------------------------|
| S0 | 12,34 | 185,00 | 1,00 | 15,43 | 15,43 |
| S1 | 92,41 | 185,00 | 1,00 | 15,43 | 15,43 |
| S2 | 77,15 | 185,00 | 1,00 | 25,19 | 25,19 |
| S3 | 91,30 | 185,00 | 1,00 | 30,32 | 30,32 |
| S4 | 91,14 | 185,00 | 1,00 | 31,54 | 31,54 |
| S5 | 108,55 | 185,00 | 1,00 | 30,32 | 30,32 |
| S6 | 105,27 | 185,00 | 1,00 | 31,21 | 31,21 |
| S7 | 107,15 | 185,00 | 1,00 | 24,54 | 24,54 |
| S8 | 78,22 | 185,00 | 1,00 | 15,00 | 15,00 |
| S9 | 17,34 | 185,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S10 | 22,85 | 185,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |

Armadura Detalhada:

5 $\emptyset 20$ (15,71 cm²)

5 $\emptyset 20$ (15,71 cm²)

10 $\emptyset 20$ (31,42 cm²)

10 $\emptyset 20$ (31,42 cm²)

12 $\emptyset 20$ (37,7 cm²)

10 $\emptyset 20$ (31,42 cm²)

10 $\emptyset 20$ (31,42 cm²)

8 $\emptyset 20$ (25,13 cm²)

5 $\emptyset 20$ (15,71 cm²)

3 $\emptyset 20$ (9,42 cm²)

3 $\emptyset 20$ (9,42 cm²)

- Armadura Superior:

| | | $M_{d,serv}$ (kN.m) | A_s^{sup} (cm ²) | A_s^{inf} (cm ²) | x (cm) | J_{fiss} (cm ⁴) | σ_s (MPa) |
|-----|-----|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|-------------------------------|------------------|
| S0 | Máx | -50,89 | 31,42 | 15,71 | 22,98 | 8,79E+05 | 22,14 |
| | Mín | -168,61 | 31,42 | 15,71 | 22,98 | 8,79E+05 | 73,34 |
| S1 | Máx | 170,33 | 6,28 | 15,71 | 13,49 | 6,74E+05 | -7,49 |
| | Mín | 30,35 | 6,28 | 15,71 | 13,49 | 6,74E+05 | -1,33 |
| S2 | Máx | 357,11 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | -13,05 |
| | Mín | 155,40 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | -5,68 |
| S3 | Máx | 456,56 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | -16,69 |
| | Mín | 217,85 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | -7,96 |
| S4 | Máx | 520,65 | 2,45 | 37,70 | 15,95 | 1,31E+06 | -18,21 |
| | Mín | 242,27 | 2,45 | 37,70 | 15,95 | 1,31E+06 | -8,47 |
| S5 | Máx | 492,04 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | -17,99 |
| | Mín | 208,23 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | -7,61 |
| S6 | Máx | 444,32 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | -16,24 |
| | Mín | 169,08 | 2,45 | 31,42 | 15,28 | 1,13E+06 | -6,18 |
| S7 | Máx | 304,38 | 6,28 | 25,13 | 14,56 | 9,52E+05 | -11,70 |
| | Mín | 71,30 | 6,28 | 25,13 | 14,56 | 9,52E+05 | -2,74 |
| S8 | Máx | 106,18 | 12,57 | 15,71 | 13,45 | 6,75E+05 | -4,61 |
| | Mín | -78,80 | 12,57 | 15,71 | 15,43 | 4,09E+05 | 83,18 |
| S9 | Máx | -137,30 | 25,13 | 9,42 | 21,34 | 7,28E+05 | 74,09 |
| | Mín | -292,65 | 25,13 | 9,42 | 21,34 | 7,28E+05 | 157,91 |
| S10 | Máx | -331,27 | 34,56 | 9,42 | 24,42 | 9,38E+05 | 131,68 |
| | Mín | -542,25 | 34,56 | 9,42 | 24,42 | 9,38E+05 | 215,55 |

| | $\Delta\sigma_s$ (MPa) | $\Delta f_{sd,fad}$ (MPa) | f.f. | A_s (cm ²) | $A_s \times f.f.$ (cm ²) |
|-----|------------------------|---------------------------|------|--------------------------|--------------------------------------|
| S0 | 51,21 | 185,00 | 1,00 | 25,30 | 25,30 |
| S1 | 6,15 | 185,00 | 1,00 | 5,68 | 5,68 |
| S2 | 7,37 | 190,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S3 | 8,73 | 190,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S4 | 9,74 | 190,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S5 | 10,37 | 190,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S6 | 10,06 | 190,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S7 | 8,96 | 185,00 | 1,00 | 5,81 | 5,81 |
| S8 | 87,80 | 185,00 | 1,00 | 12,13 | 12,13 |
| S9 | 83,83 | 185,00 | 1,00 | 23,44 | 23,44 |
| S10 | 83,87 | 185,00 | 1,00 | 32,99 | 32,99 |

Armadura Detalhada:

10 $\phi 20$ (31,42 cm²)

2 $\phi 20$ (6,28 cm²)

2 $\phi 12,5$ (2,45 cm²)

2 $\phi 12,5$ (2,45 cm²)

2 $\phi 12,5$ (2,45 cm²)

2 $\phi 12,5$ (2,45 cm²)

2 $\phi 12,5$ (2,45 cm²)

2 $\phi 20$ (6,28 cm²)

4 $\phi 20$ (12,57 cm²)

8 $\phi 20$ (25,13 cm²)

11 $\phi 20$ (34,56 cm²)

- Verificação da Fissuração:

$$w_k = \frac{\sigma_i}{12,5\sigma_1} \cdot \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{ci}} \cdot \frac{3\sigma_{ci}}{\sigma_{ctN}} \quad \text{CAA: IV} \quad (\text{Classe de agressividade ambiental})$$

$$w_{k,lim} \leq 0,2 \quad \text{mm}$$

$$\eta_1 = 2,25$$

$$f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51$$

$$E_{si} \text{ (GPa)} = 210$$

- Armadura Inferior:

| | | σ_s (MPa) | ϕ_i (mm) | w_k (mm) | Verific. |
|-----|-----|------------------|---------------|------------|----------|
| S0 | Máx | -5,33 | 20,00 | - | - |
| | Mín | -17,67 | 20,00 | - | - |
| S1 | Máx | 112,44 | 20,00 | 0,04 | Ok! |
| | Mín | 20,04 | 20,00 | 0,00 | Ok! |
| S2 | Máx | 136,58 | 20,00 | 0,05 | Ok! |
| | Mín | 59,43 | 20,00 | 0,01 | Ok! |
| S3 | Máx | 174,62 | 20,00 | 0,09 | Ok! |
| | Mín | 83,32 | 20,00 | 0,02 | Ok! |
| S4 | Máx | 170,46 | 20,00 | 0,08 | Ok! |
| | Mín | 79,32 | 20,00 | 0,02 | Ok! |
| S5 | Máx | 188,19 | 20,00 | 0,10 | Ok! |
| | Mín | 79,64 | 20,00 | 0,02 | Ok! |
| S6 | Máx | 169,94 | 20,00 | 0,08 | Ok! |
| | Mín | 64,67 | 20,00 | 0,01 | Ok! |
| S7 | Máx | 139,93 | 20,00 | 0,06 | Ok! |
| | Mín | 32,78 | 20,00 | 0,00 | Ok! |
| S8 | Máx | 70,06 | 20,00 | 0,01 | Ok! |
| | Mín | -8,16 | 20,00 | - | - |
| S9 | Máx | -15,33 | 20,00 | - | - |
| | Mín | -32,67 | 20,00 | - | - |
| S10 | Máx | -35,88 | 20,00 | - | - |
| | Mín | -58,73 | 20,00 | - | - |

- Armadura Superior:

| | | σ_s (MPa) | ϕ_i (mm) | w_k (mm) | Verific. |
|-----|-----|------------------|---------------|------------|----------|
| S0 | Máx | 22,14 | 20,00 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 73,34 | 20,00 | 0,02 | Ok! |
| S1 | Máx | -7,49 | 20,00 | - | - |
| | Mín | -1,33 | 20,00 | - | - |
| S2 | Máx | -13,05 | 12,50 | - | - |
| | Mín | -5,68 | 12,50 | - | - |
| S3 | Máx | -16,69 | 12,50 | - | - |
| | Mín | -7,96 | 12,50 | - | - |
| S4 | Máx | -18,21 | 12,50 | - | - |
| | Mín | -8,47 | 12,50 | - | - |
| S5 | Máx | -17,99 | 12,50 | - | - |
| | Mín | -7,61 | 12,50 | - | - |
| S6 | Máx | -16,24 | 12,50 | - | - |
| | Mín | -6,18 | 12,50 | - | - |
| S7 | Máx | -11,70 | 20,00 | - | - |
| | Mín | -2,74 | 20,00 | - | - |
| S8 | Máx | -4,61 | 20,00 | - | - |
| | Mín | 83,18 | 20,00 | 0,02 | Ok! |
| S9 | Máx | 74,09 | 20,00 | 0,02 | Ok! |
| | Mín | 157,91 | 20,00 | 0,07 | Ok! |
| S10 | Máx | 131,68 | 20,00 | 0,05 | Ok! |
| | Mín | 215,55 | 20,00 | 0,13 | Ok! |

- Dimensionamento ao cisalhamento:

$$\begin{aligned}
 f_{cd} \text{ (MPa)} &= 28,6 & f_{ctm} \text{ (MPa)} &= 3,509 & \alpha_{v2} &= 0,84 \\
 f_{ywk} \text{ (MPa)} &= 500 & f_{ctk,inf} \text{ (MPa)} &= 2,456 \\
 f_{ywd} \text{ (MPa)} &= 434,78 & f_{ctd} \text{ (MPa)} &= 1,754
 \end{aligned}$$

| | V_{sd} (kN) | b_w (m) | d (m) | V_{rd2} (kN) | Verif. do concreto | V_c (kN) | V_{swd} (kN) |
|-----|---------------|-----------|---------|----------------|--------------------|------------|----------------|
| S0 | 576,11 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 235,05 |
| S1 | 455,93 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 114,87 |
| S2 | 347,52 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 6,46 |
| S3 | 263,15 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 0,00 |
| S4 | 179,70 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 0,00 |
| S5 | 224,02 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 0,00 |
| S6 | 291,63 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 0,00 |
| S7 | 381,62 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 40,56 |
| S8 | 483,58 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 142,52 |
| S9 | 602,52 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 261,46 |
| S10 | 620,44 | 0,40 | 0,81 | 2099,52 | Ok! | 341,06 | 279,38 |


| | A_{sw}/s (cm ² /m) | ρ_{sw} (cm ² /m ²) | $\rho_{sw,min}$ (cm ² /m ²) | $\rho_{sw,calc}$ (cm ² /m ²) |
|-----|------------------------------------|---|---|--|
| S0 | 7,42 | 18,54 | 14,04 | 18,54 |
| S1 | 3,62 | 9,06 | 14,04 | 14,04 |
| S2 | 0,20 | 0,51 | 14,04 | 14,04 |
| S3 | 0,00 | 0,00 | 14,04 | 14,04 |
| S4 | 0,00 | 0,00 | 14,04 | 14,04 |
| S5 | 0,00 | 0,00 | 14,04 | 14,04 |
| S6 | 0,00 | 0,00 | 14,04 | 14,04 |
| S7 | 1,28 | 3,20 | 14,04 | 14,04 |
| S8 | 4,50 | 11,24 | 14,04 | 14,04 |
| S9 | 8,25 | 20,62 | 14,04 | 20,62 |
| S10 | 8,81 | 22,04 | 14,04 | 22,04 |

- Verificação da fadiga da armadura transversal:

$$\Delta_{fsd,fad} \text{ (MPa)} = 85 \cdot \frac{\sigma_c^{NAS} - 0,5 \cdot \sigma_c}{0,90 \cdot \sigma_c \cdot (\sigma_{cw}/\sigma_c)} \quad \sigma_c^{Nin} = \frac{\sigma_c^{Nin} - 0,5 \cdot \sigma_c}{0,90 \cdot \sigma_c \cdot (\sigma_{cw}/\sigma_c)}$$

| | | $V_{d,serv}$ kN | $0,5 \times V_c$ kN | $A_{sw,calc}$ (cm ² /m) | σ_w (MPa) | $\Delta\sigma_w$ (MPa) | f.f. |
|-----|-----|--------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------|------|
| S0 | Máx | 274,13 | 170,53 | 7,42 | 191,63 | 191,63 | 2,25 |
| | Mín | 143,91 | 170,53 | 7,42 | 0,00 | | |
| S1 | Máx | 211,99 | 170,53 | 5,61 | 101,31 | 101,31 | 1,19 |
| | Mín | 101,57 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | | |
| S2 | Máx | 154,67 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Mín | 57,26 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | | |
| S3 | Máx | 110,57 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Mín | 19,61 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | | |
| S4 | Máx | 64,41 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Mín | -24,81 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | | |
| S5 | Máx | -3,91 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Mín | -96,30 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | | |
| S6 | Máx | -33,96 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Mín | -130,71 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | | |
| S7 | Máx | -76,40 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | 1,47 | 1,00 |
| | Mín | -180,96 | 170,53 | 5,61 | 1,47 | | |
| S8 | Máx | -121,66 | 170,53 | 5,61 | 0,00 | 9,46 | 1,00 |
| | Mín | -237,61 | 170,53 | 5,61 | 9,46 | | |
| S9 | Máx | -172,13 | 170,53 | 8,25 | 0,15 | 12,61 | 1,00 |
| | Mín | -303,56 | 170,53 | 8,25 | 12,77 | | |
| S10 | Máx | -165,52 | 170,53 | 8,81 | 0,00 | 11,96 | 1,00 |
| | Mín | -303,72 | 170,53 | 8,81 | 11,96 | | |

| Seção | $A_{sw}/s \times f.f.$ (cm ² /m) | $A_{sw}^{med} \times f.f.$ (cm ² /m) | n_{pernas} | ϕ (mm) | $A_s^{1\text{ perna}}$ (cm ²) | s (cm) |
|-------|--|--|--------------|-------------|--|--------|
| S0 | 16,72 | | | | | |
| | | 11,71 | 2 | 10,0 | 0,785 | 13,4 |
| S1 | 6,69 | | | | | |
| | | 6,15 | 2 | 10,0 | 0,785 | 25,5 |
| S2 | 5,61 | | | | | |
| | | 5,61 | 2 | 10,0 | 0,785 | 28,0 |
| S3 | 5,61 | | | | | |
| | | 5,61 | 2 | 10,0 | 0,785 | 28,0 |
| S4 | 5,61 | | | | | |
| | | 5,61 | 2 | 10,0 | 0,785 | 28,0 |
| S5 | 5,61 | | | | | |
| | | 5,61 | 2 | 10,0 | 0,785 | 28,0 |
| S6 | 5,61 | | | | | |
| | | 5,61 | 2 | 10,0 | 0,785 | 28,0 |
| S7 | 5,61 | | | | | |
| | | 5,61 | 2 | 10,0 | 0,785 | 28,0 |
| S8 | 5,61 | | | | | |
| | | 6,93 | 2 | 10,0 | 0,785 | 22,7 |
| S9 | 8,25 | | | | | |
| | | 8,53 | 2 | 10,0 | 0,785 | 18,4 |
| S10 | 8,81 | | | | | |

| | | | |
|---|--|--------------------------|------------------------|
|  PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-lv | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 27/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

9. Cálculo das Transversinas

- Dimensionamento das vigas:

Os momentos nas seções de cálculo serão obtidos através da ferramenta Section Cut do CSI Bridge.
A seguir são apresentados os esforços de dimensionamento.

| Seção | M _{d,MÁX} (kN.m) | M _{d,MIN} (kN.m) | V _{d,MÁX} (kN) | V _{d,MIN} (kN) |
|-------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| S0 | 41,50 | -263,15 | 1208,90 | 225,80 |
| S1 | 1078,20 | 145,16 | 524,50 | -110,15 |
| S2 | -486,00 | -1604,30 | 1527,63 | 473,80 |

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40$$

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500$$

$$f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 4,561$$

- Seção transversal:

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 0,5$$

$$b_w \text{ (m)} = 0,50$$

$$b_f \text{ (m)} = 1,16$$

$$y_{sup} \text{ (m)} = 0,5$$

$$h_f \text{ (m)} = 0,25$$

$$y_{inf} \text{ (m)} = 0,5$$

$$h \text{ (m)} = 1,00$$

$$I \text{ (m}^4\text{)} = 0,04$$

$$d'_{inf} \text{ (m)} = 0,09$$

$$W_{sup} \text{ (m}^3\text{)} = 0,0833$$

$$d'_{sup} \text{ (m)} = 0,09$$

$$W_{inf} \text{ (m}^3\text{)} = 0,0833$$

$$d_{inf} \text{ (m)} = 0,91$$

$$d_{sup} \text{ (m)} = 0,91$$

- Amadura mínima:

$$\sigma_{d,min} = 0,8 \cdot \sigma_0 \cdot \sigma_{ctk,cup}$$

$$\sigma_{c,min} = 0,15\% \cdot \sigma_c$$

$$A_{s,min} = 7,50 \text{ cm}^2$$

$$\text{Arm. Superior} \quad W_0 \text{ (m}^3\text{)} = 0,083$$


$$M_{d,min} = 304,10$$

$$A_{s,min} = 7,81 \text{ cm}^2$$

$$\text{Arm. Inferior} \quad W_0 \text{ (m}^3\text{)} = 0,083$$

$$M_{d,min} = 304,10$$

$$A_{s,min} = 7,74 \text{ cm}^2$$

| | | | |
|---|--|--------------------------|------------------------|
|  PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-lv | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 28/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

- Armadura Inferior:

| Seção | M _d (kN.m) | k _{md} | x/d | A _s (cm²) |
|-------|--------------------------|-----------------|-------|-------------------------|
| S0 | 41,50 | 0,0015 | 0,002 | 7,74 |
| S1 | 1078,20 | 0,0393 | 0,059 | 27,91 |
| S2 | 0,00 | 0,0000 | 0,000 | 0,00 |

- Armadura Superior:

| Seção | M _d (kN.m) | k _{md} | x/d | A _s (cm²) |
|-------|--------------------------|-----------------|-------|-------------------------|
| S0 | -263,15 | 0,0222 | 0,033 | 7,81 |
| S1 | 0,00 | 0,0000 | 0,000 | 0,00 |
| S2 | -1604,30 | 0,1356 | 0,219 | 44,43 |

- Cálculo da Fadiga:

$$\gamma_f \cdot \Delta \sigma_s \leq \Delta_{fsd,fad}$$

$$\gamma_f = 1$$

$$\psi_1 = 1$$

$$M_{m\acute{a}x} = M_g + \psi_1 \cdot M_{p\acute{m}n}^{m\acute{a}x}$$

$$\sigma_{ficc} = \frac{M_{m\acute{a}x} \cdot \sigma_s}{J_{ficc}}$$

$$f.f. = \Delta \sigma_s / \Delta \sigma_{fsd,fad}$$

$$M_{m\acute{m}n} = M_g + \psi_1 \cdot M_p$$

$$\therefore \sigma_{ficc}' = \frac{M_{m\acute{m}n} \cdot \sigma_s}{J_{ficc}}$$

$$\sigma_{ficc} = \frac{\sigma_s \cdot h^3}{12} + \sigma_s \cdot h \cdot \left(\frac{\sigma_s}{2} \right)^2 + \frac{\sigma_s \cdot (\sigma_s - h)^3}{3} + \sigma_s \cdot [\sigma_s \cdot (\sigma_s - \sigma_s)^2 + \sigma_s' \cdot (\sigma_s - \sigma_s)^2]$$

Resumo dos Esforços para Combinação Freqüente:

| Seção | M _{d,MÁX} (kN.m) | M _{d,MIN} (kN.m) | V _{d,MÁX} (kN) | V _{d,MIN} (kN) |
|-------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| S0 | -18,92 | -96,01 | 573,11 | 278,50 |
| S1 | 525,78 | 257,28 | 205,25 | 1,47 |
| S2 | -632,23 | -924,70 | 813,82 | 823,93 |

- Armadura Inferior:

$$\Delta_{fsd,fad} \text{ (MPa)} = 175$$

| | | M _{d,serv} (kN.m) | A _s ^{sup} (cm²) | A _s ^{inf} (cm²) | x (cm) | J _{fiss} (cm⁴) | σ _s (MPa) |
|----|-----|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------|----------------------|
| S0 | Máx | -18,92 | 48,25 | 31,42 | 26,13 | 1,70E+06 | -1,26 |
| | Mín | -96,01 | 48,25 | 31,42 | 26,13 | 1,70E+06 | -6,39 |
| S1 | Máx | 525,78 | 48,25 | 31,42 | 16,38 | 1,35E+06 | 190,94 |
| | Mín | 257,28 | 48,25 | 31,42 | 16,38 | 1,35E+06 | 93,43 |
| S2 | Máx | -632,23 | 48,25 | 31,42 | 26,13 | 1,70E+06 | -42,08 |
| | Mín | -924,70 | 48,25 | 31,42 | 26,13 | 1,70E+06 | -61,55 |

| | $\Delta\sigma_s$ (MPa) | f.f. | A_s (cm ²) | $A_s \times f.f.$ (cm ²) |
|----|------------------------|------|--------------------------|--------------------------------------|
| S0 | 5,13 | 1,00 | 7,74 | 7,74 |
| S1 | 97,51 | 1,00 | 27,91 | 27,91 |
| S2 | 19,47 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |

Armadura Detalhada:
10 ϕ 20 (31,42 cm²)

- Armadura Superior:

$\Delta f_{sd,fad}$ (MPa)= 175

| | | $M_{d,serv}$ (kN.m) | A_s^{sup} (cm ²) | A_s^{inf} (cm ²) | x (cm) | J_{fiss} (cm ⁴) | σ_s (MPa) |
|----|-----|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|-------------------------------|------------------|
| S0 | Máx | -18,92 | 48,25 | 31,42 | 26,13 | 1,70E+06 | 4,77 |
| | Mín | -96,01 | 48,25 | 31,42 | 26,13 | 1,70E+06 | 24,19 |
| S1 | Máx | 525,78 | 48,25 | 31,42 | 16,38 | 1,35E+06 | -18,87 |
| | Mín | 257,28 | 48,25 | 31,42 | 16,38 | 1,35E+06 | -9,24 |
| S2 | Máx | -632,23 | 48,25 | 31,42 | 26,13 | 1,70E+06 | 159,31 |
| | Mín | -924,70 | 48,25 | 31,42 | 26,13 | 1,70E+06 | 233,01 |

| | $\Delta\sigma_s$ (MPa) | f.f. | A_s (cm ²) | $A_s \times f.f.$ (cm ²) |
|----|------------------------|------|--------------------------|--------------------------------------|
| S0 | 19,43 | 1,00 | 7,81 | 7,81 |
| S1 | 9,64 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S2 | 73,70 | 1,00 | 44,43 | 44,43 |

Armadura Detalhada:
24 ϕ 16 (48,25 cm²)

- Verificação da Fissuração:

$$\sigma_k = \frac{\sigma_i}{12,5\sigma_1} \cdot \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{ci}} \cdot \frac{3\sigma_{ci}}{\sigma_{ctN}} \quad \text{CAA: IV} \quad \text{(Classe de agressividade ambiental)}$$

$$w_{k,lim} \leq 0,2 \quad \text{mm}$$


$\eta_1 = 2,25$

f_{ctm} (MPa) = 3,51

E_{si} (GPa)= 210

- Armadura Inferior:

| | | σ_s (MPa) | ϕ_i (mm) | w_k (mm) | Verific. |
|----|-----|------------------|---------------|------------|----------|
| S0 | Máx | -1,26 | 20,00 | - | - |
| | Mín | -6,39 | 20,00 | - | - |
| S1 | Máx | 190,94 | 20,00 | 0,11 | Ok! |
| | Mín | 93,43 | 20,00 | 0,03 | Ok! |
| S3 | Máx | -42,08 | 20,00 | - | - |
| | Mín | -61,55 | 20,00 | - | - |

| | | | |
|---|--|--------------------------|------------------------|
|  PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-lv | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 30/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

- Armadura Superior:

| | | σ_s (MPa) | ϕ_i (mm) | w_k (mm) | Verific. |
|----|-----|------------------|---------------|------------|----------|
| S0 | Máx | 4,77 | 16,00 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 24,19 | 16,00 | 0,00 | Ok! |
| S1 | Máx | -18,87 | 16,00 | - | - |
| | Mín | -9,24 | 16,00 | - | - |
| S3 | Máx | 159,31 | 16,00 | 0,06 | Ok! |
| | Mín | 233,01 | 16,00 | 0,13 | Ok! |

- Dimensionamento ao cisalhamento:

$$\begin{aligned}
f_{cd} \text{ (MPa)} &= 28,6 & f_{ctm} \text{ (MPa)} &= 3,509 & \alpha_{v2} &= 0,84 \\
f_{ywk} \text{ (MPa)} &= 500,00 & f_{ctk,inf} \text{ (MPa)} &= 2,456 \\
f_{ywd} \text{ (MPa)} &= 434,78 & f_{ctd} \text{ (MPa)} &= 1,754
\end{aligned}$$

| | V_{sd} (kN) | b_w (m) | d (m) | V_{rd2} (kN) | Verif. do concreto | V_c (kN) | V_{swd} (kN) |
|----|---------------|-----------|---------|----------------|--------------------|------------|----------------|
| S0 | 1208,90 | 0,50 | 0,91 | 2948,40 | Ok! | 478,95 | 729,95 |
| S1 | 524,50 | 0,50 | 0,91 | 2948,40 | Ok! | 478,95 | 45,55 |
| S2 | 1527,63 | 0,50 | 0,91 | 2948,40 | Ok! | 478,95 | 1048,68 |

| | A_{sw}/s (cm ² /m) | ρ_{sw} (cm ² /m ²) | $\rho_{sw,min}$ (cm ² /m ²) | $\rho_{sw,calc}$ (cm ² /m ²) |
|----|------------------------------------|---|---|--|
| S0 | 20,50 | 41,00 | 14,04 | 41,00 |
| S1 | 1,28 | 2,56 | 14,04 | 14,04 |
| S2 | 29,45 | 58,90 | 14,04 | 58,90 |

- Verificação da fadiga da armadura transversal:

$$\Delta_{fsd,fad} \text{ (MPa)} = 85 \quad \sigma_c^{NAS} = \frac{\sigma_c^{NAS} - 0,5 \cdot \sigma_t}{0,90 \cdot \sigma_t \cdot (\sigma_{cw}/\sigma_t)} \quad \sigma_c^{Nin} = \frac{\sigma_c^{Nin} - 0,5 \cdot \sigma_t}{0,90 \cdot \sigma_t \cdot (\sigma_{cw}/\sigma_t)}$$

| | | $V_{d,serv}$ kN | $0,5 \times V_c$ kN | $A_{sw,calc}$ (cm ² /m) | σ_w (MPa) | $\Delta\sigma_w$ (MPa) | f.f. |
|----|-----|--------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------|------|
| S0 | Máx | 573,11 | 239,48 | 20,50 | 198,72 | 175,48 | 2,06 |
| | Mín | 278,50 | 239,48 | 20,50 | 23,24 | | |
| S1 | Máx | 205,25 | 239,48 | 7,02 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | Mín | 1,47 | 239,48 | 7,02 | 0,00 | | |
| S2 | Máx | 813,82 | 239,48 | 29,45 | 238,12 | 4,19 | 1,00 |
| | Mín | 823,93 | 239,48 | 29,45 | 242,32 | | |

| | $A_{sw}/s \times ff$ (cm ² /m) | ϕ (mm) | $A_s^{1 \text{ perna}}$ (cm ²) | n_{pernas} | s (cm) |
|----|--|-------------|---|--------------|----------|
| S0 | 42,32 | 12,5 | 1,227 | 4 | 11,6 |
| S1 | 7,02 | 12,5 | 1,227 | 2 | 35,0 |
| S2 | 29,45 | 12,5 | 1,227 | 4 | 16,7 |

10. Cálculo dos Pilares

- Dimensionamento dos pilares:

Os esforços nos pilares foram analisados e inseridos no programa para análise de pilares submetidos à flexão composta oblíqua "P-Calcul".

As verificações foram divididas em 4 combinações, sendo elas os valores máximos e mínimos dos esforços de dimensionamento, nas seções da base e do topo.

A seguir são apresentados para cada pilar os esforços de dimensionamento, verificações do coeficiente de segurança e diagrama de interação para a combinação mais desfavorável.

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40$$

$$a \text{ (cm)} = 50,0$$

$$b \text{ (cm)} = 50,0$$

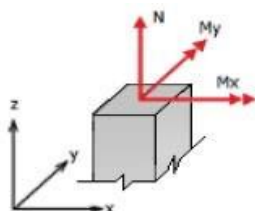


Figura: Convenção de sinais positivos dos esforços, $N < 0$ para compressão

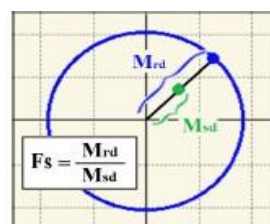


Figura: Esquema para determinação do fator de segurança (F.S.)

- Pilar P1

Armadura: 12 $\varnothing 25$ (58,9 cm²)

$\rho(\%) = 2,36\%$

| Combinação | N_k | M_{kx} | M_{ky} |
|------------|--------|----------|----------|
| 1 | -158.1 | 52.8 | 89.6 |
| 2 | -134 | 89.8 | 397.2 |
| 3 | -919.5 | -98.3 | -282.8 |
| 4 | -887.1 | -95 | -111.7 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N_{sd} | $M_{sd,x}$ | $M_{sd,y}$ | F.S. |
|------------|----------|------------|------------|------|
| 1 | -158.1 | 52.8 | 89.6 | 4.26 |
| 2 | -134 | 89.8 | 397.2 | 1.11 |
| 3 | -919.5 | -98.3 | -282.8 | 1.73 |
| 4 | -887.1 | -95 | -111.7 | 3.33 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

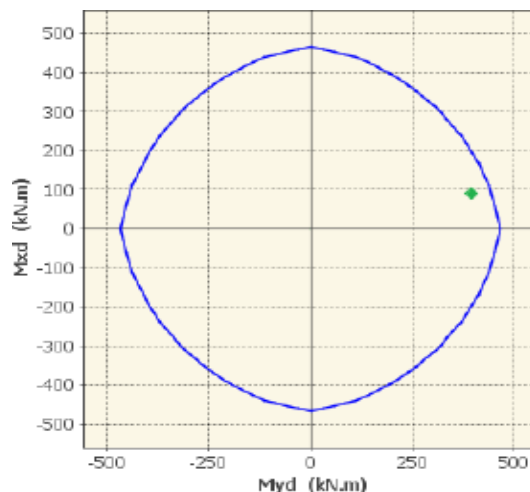


Figura: Diagrama de interação (Comb. 2)

- Pilar P2

Armadura: 12 $\varnothing 20$ (37,7 cm²)

$\rho(\%) = 1,51\%$

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | -446.1 | 54.3 | 253.6 |
| 2 | -424.5 | 109.1 | 127.5 |
| 3 | -1616.8 | -131.6 | -44.5 |
| 4 | -1587.7 | -121.4 | -324.5 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} | F.S. |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|------|
| 1 | -446.1 | 54.3 | 253.6 | 1.41 |
| 2 | -424.5 | 109.1 | 127.5 | 2.12 |
| 3 | -1616.8 | -131.6 | -44.5 | 3.33 |
| 4 | -1587.7 | -121.4 | -324.5 | 1.32 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

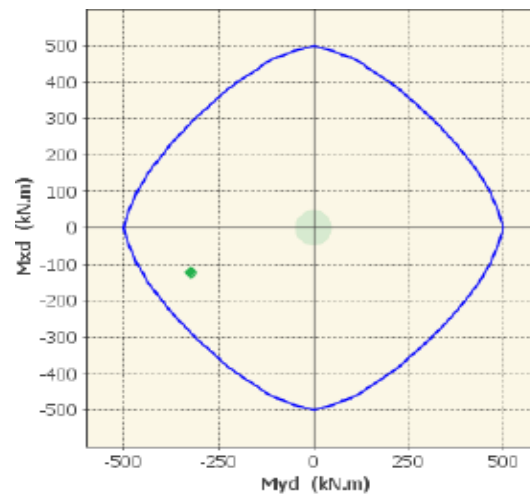


Figura: Diagrama de interação (Comb. 4)

- Pilar P3

Armadura: 12 $\varnothing 20$ (37,7 cm²)

$\rho(\%) = 1,51\%$

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | -450 | 58.7 | 55.7 |
| 2 | -430.9 | 120.6 | 282.4 |
| 3 | -1620.8 | -140.7 | -156.8 |
| 4 | -1595.1 | -134.8 | -142.5 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} | F.S. |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|------|
| 1 | -450 | 58.7 | 55.7 | 4.43 |
| 2 | -430.9 | 120.6 | 282.4 | 1.17 |
| 3 | -1620.8 | -140.7 | -156.8 | 2.06 |
| 4 | -1595.1 | -134.8 | -142.5 | 2.20 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

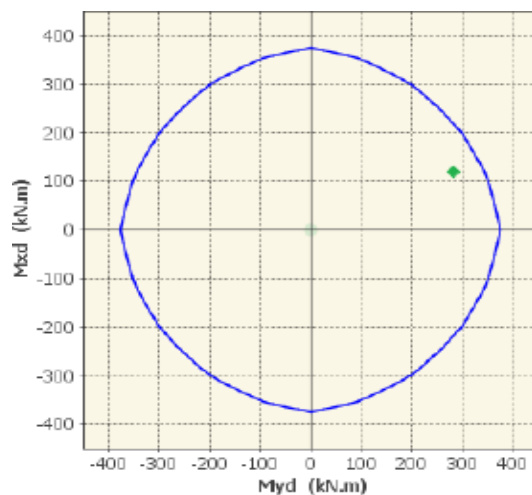


Figura: Diagrama de interação (Comb. 2)

- Pilar P4

Armadura: 12 $\varnothing 25$ (58,9 cm²)

$\rho(\%) = 2,36\%$

| Combinação | N _{ak} | M _{ak,x} | M _{ak,y} |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | -159.5 | 56.9 | 247 |
| 2 | -142.9 | 124.6 | 123.3 |
| 3 | -928.9 | -127.2 | -111.7 |
| 4 | -906.5 | -115 | -440.9 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N _{ed} | M _{ed,x} | M _{ed,y} | F.S. |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|------|
| 1 | -159.5 | 56.9 | 247 | 1.80 |
| 2 | -142.9 | 124.6 | 123.3 | 2.50 |
| 3 | -928.9 | -127.2 | -111.7 | 2.90 |
| 4 | -906.5 | -115 | -440.9 | 1.14 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

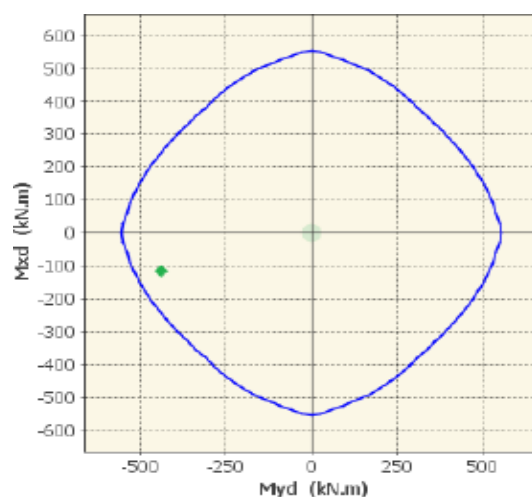


Figura: Diagrama de interação (Comb. 4)

- Pilar P5

Armadura: 12 $\phi 25$ (58,9 cm²)

$\rho(\%) = 2,36\%$

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | -451.6 | 45.4 | 146.9 |
| 2 | -427.6 | 59 | 308.6 |
| 3 | -1476 | -30.1 | -135 |
| 4 | -1443.5 | -69.6 | -143.6 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} | F.S. |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|------|
| 1 | -451.6 | 45.4 | 146.9 | 3.12 |
| 2 | -427.6 | 59 | 308.6 | 1.55 |
| 3 | -1476 | -30.1 | -135 | 4.09 |
| 4 | -1443.5 | -69.6 | -143.6 | 3.31 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

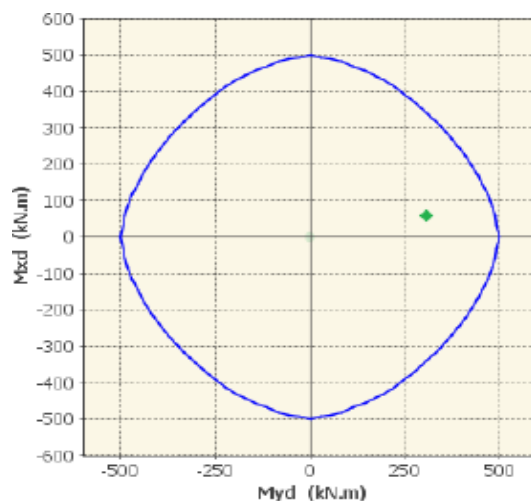


Figura: Diagrama de interação (Comb. 2)

- Pilar P6

Armadura: 12 $\phi 20$ (37,7 cm²)

$\rho(\%) = 1,51\%$

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | -1144.6 | 65 | 219.2 |
| 2 | -1123 | 67.4 | 88.8 |
| 3 | -2979.3 | -34.2 | -36 |
| 4 | -2944.2 | -85.1 | -294.5 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} | F.S. |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|------|
| 1 | -1144.6 | 65 | 219.2 | 1.91 |
| 2 | -1123 | 67.4 | 88.8 | 3.70 |
| 3 | -2979.3 | -34.2 | -36 | 8.96 |
| 4 | -2944.2 | -85.1 | -294.5 | 1.56 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

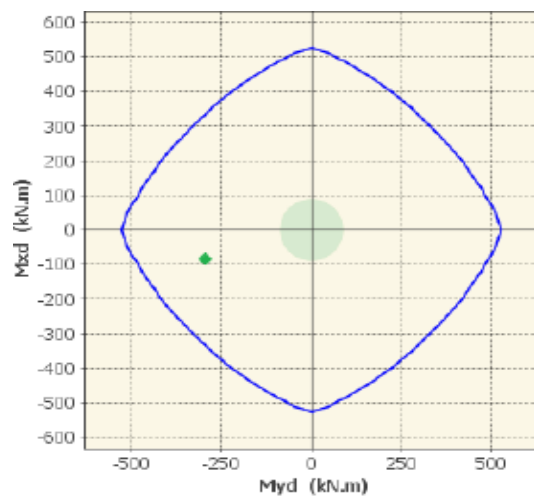


Figura: Diagrama de interação (Comb. 4)

- Pilar P7

Armadura: 12 $\varnothing 20$ (37,7 cm²)

$\rho(\%) = 1,51\%$

| Combinação | N _{Ed} | M _{Edx} | M _{Edy} |
|------------|-----------------|------------------|------------------|
| 1 | -1129.2 | 59.6 | 63.5 |
| 2 | -1110.1 | 71.4 | 220.3 |
| 3 | -2960.1 | -33.9 | -124.3 |
| 4 | -2934.3 | -86.6 | -135 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N _{Ed} | M _{Edx} | M _{Edy} | F.S. |
|------------|-----------------|------------------|------------------|------|
| 1 | -1129.2 | 59.6 | 63.5 | 4.72 |
| 2 | -1110.1 | 71.4 | 220.3 | 1.86 |
| 3 | -2960.1 | -33.9 | -124.3 | 3.75 |
| 4 | -2934.3 | -86.6 | -135 | 2.81 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

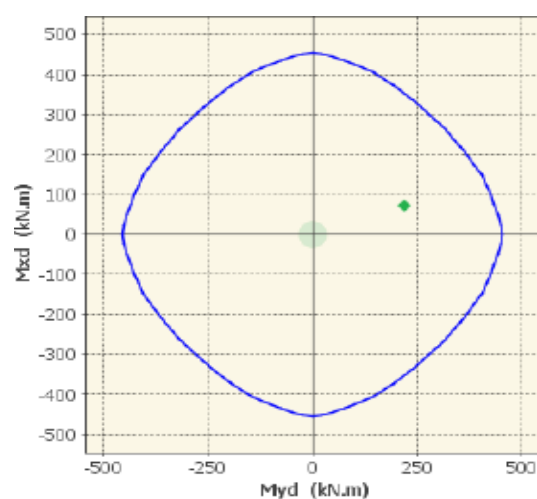


Figura: Diagrama de interação (Comb. 2)

- Pilar P8

Armadura: 12 $\varnothing 25$ (58,9 cm²)

$\rho(\%) = 2,36\%$

| Combinação | N_{ed} | $M_{ed,x}$ | $M_{ed,y}$ |
|------------|----------|------------|------------|
| 1 | -441 | 34.3 | 124.5 |
| 2 | -424.4 | 68.5 | 144.9 |
| 3 | -1471.9 | -27.4 | -143.3 |
| 4 | -1449.5 | -74 | -394.8 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N_{ed} | $M_{ed,x}$ | $M_{ed,y}$ | F.S. |
|------------|----------|------------|------------|------|
| 1 | -441 | 34.3 | 124.5 | 3.73 |
| 2 | -424.4 | 68.5 | 144.9 | 2.93 |
| 3 | -1471.9 | -27.4 | -143.3 | 3.92 |
| 4 | -1449.5 | -74 | -394.8 | 1.42 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

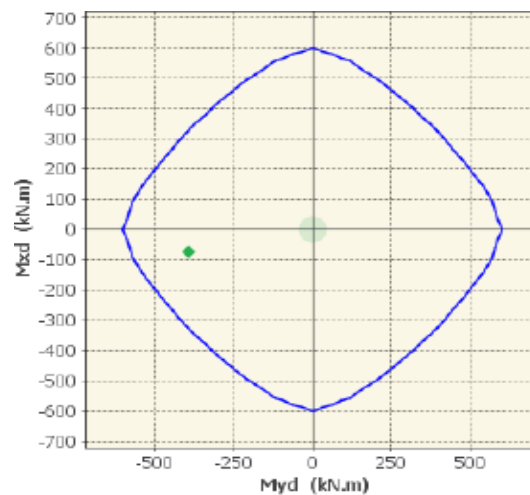


Figura: Diagrama de interação (Comb. 4)

- Pilar P9

Armadura: 12 $\varnothing 25$ (58,9 cm²)

$\rho(\%) = 2,36\%$

| Combinação | N_{ed} | $M_{ed,x}$ | $M_{ed,y}$ |
|------------|----------|------------|------------|
| 1 | -183.4 | 107.3 | 85.3 |
| 2 | -159.3 | 82.5 | 413.4 |
| 3 | -953.3 | -45 | -288.7 |
| 4 | -920.8 | -102.2 | -100 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N_{ed} | $M_{ed,x}$ | $M_{ed,y}$ | F.S. |
|------------|----------|------------|------------|------|
| 1 | -183.4 | 107.3 | 85.3 | 3.22 |
| 2 | -159.3 | 82.5 | 413.4 | 1.08 |
| 3 | -953.3 | -45 | -288.7 | 1.85 |
| 4 | -920.8 | -102.2 | -100 | 3.42 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

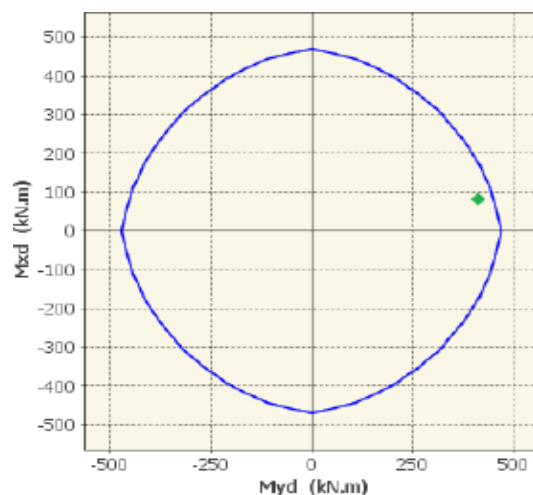


Figura: Diagrama de interação (Comb. 2)

- Pilar P10

Armadura: 12 $\phi 20$ (37,7 cm²)

$\rho(\%) = 1,51\%$

| Combinação | N _d | M _{dx} | M _{dy} |
|------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | -510 | 145.5 | 251.6 |
| 2 | -488.4 | 101.1 | 127.2 |
| 3 | -1702.1 | -42.2 | -46.1 |
| 4 | -1673 | -129.5 | -325 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N _d | M _{dx} | M _{dy} | F.S. |
|------------|----------------|-----------------|-----------------|------|
| 1 | -510 | 145.5 | 251.6 | 1.26 |
| 2 | -488.4 | 101.1 | 127.2 | 2.23 |
| 3 | -1702.1 | -42.2 | -46.1 | 6.97 |
| 4 | -1673 | -129.5 | -325 | 1.31 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

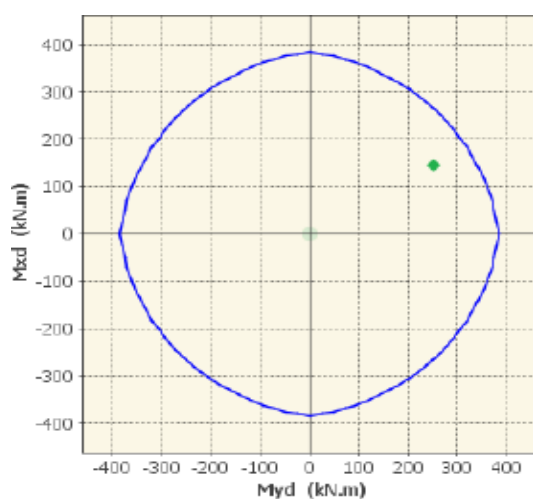


Figura: Diagrama de interação (Comb. 1)

- Pilar P11

Armadura: 12 $\varnothing 20$ (37,7 cm²)

$\rho(\%) = 1,51\%$

| Combinação | N _{ak} | M _{ak,x} | M _{ak,y} |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | -513.6 | 151.8 | 55 |
| 2 | -494.5 | 114.6 | 286 |
| 3 | -1706.5 | -48.7 | -157.7 |
| 4 | -1680.7 | -138.3 | -139.6 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} | F.S. |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|------|
| 1 | -513.6 | 151.8 | 55 | 2.29 |
| 2 | -494.5 | 114.6 | 286 | 1.19 |
| 3 | -1706.5 | -48.7 | -157.7 | 2.84 |
| 4 | -1680.7 | -138.3 | -139.6 | 2.21 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

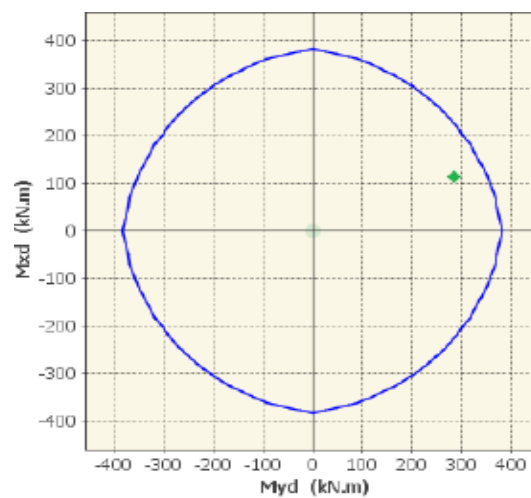


Figura: Diagrama de interação (Comb. 2)

- Pilar P12

Armadura: 12 $\varnothing 25$ (58,9 cm²)

$\rho(\%) = 2,36\%$

| Combinação | N _{ak} | M _{ak,x} | M _{ak,y} |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | -185.5 | 131.1 | 249.5 |
| 2 | -168.9 | 105.5 | 111 |
| 3 | -964.1 | -53.2 | -109.8 |
| 4 | -941.8 | -134.7 | -457.3 |

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [kN, kN.m]

| Combinação | N _{sd} | M _{sd,x} | M _{sd,y} | F.S. |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|------|
| 1 | -185.5 | 131.1 | 249.5 | 1.58 |
| 2 | -168.9 | 105.5 | 111 | 2.88 |
| 3 | -964.1 | -53.2 | -109.8 | 4.18 |
| 4 | -941.8 | -134.7 | -457.3 | 1.10 |

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [kN, kN.m]

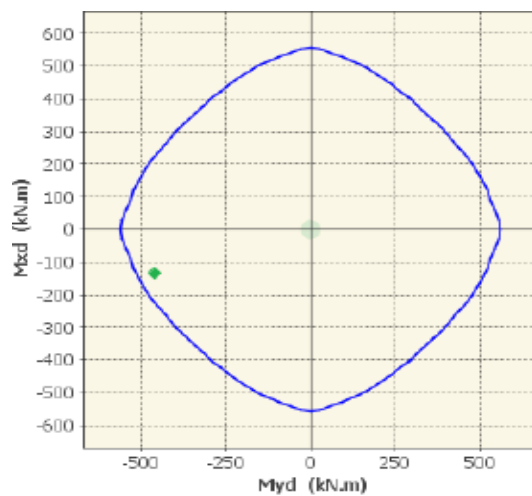


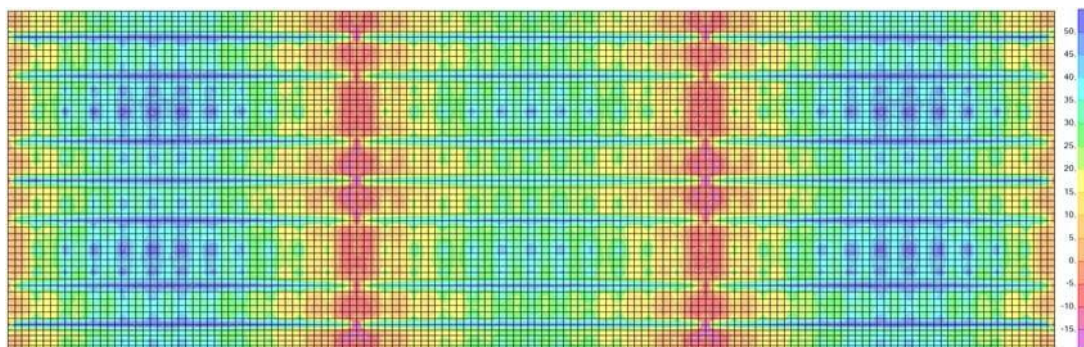
Figura: Diagrama de interação (Comb. 4)

11. Cálculo da Laje

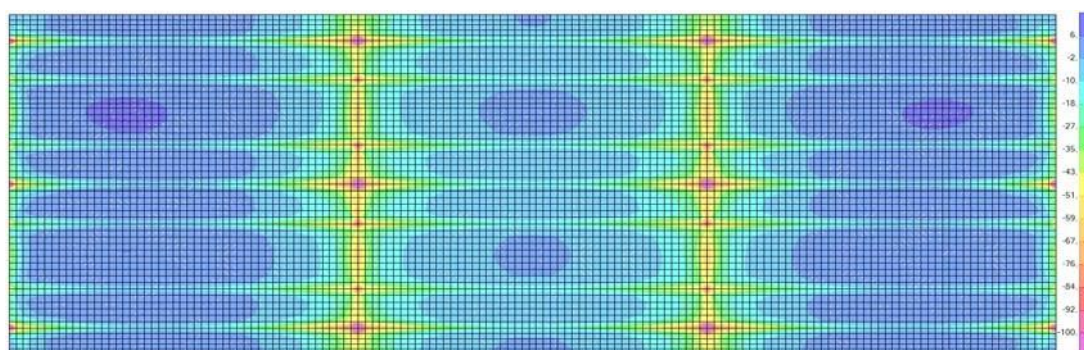
- Resultados da Análise:

- Momento Longitudinal de dimensionamento

- Máximos [kN.m/m]

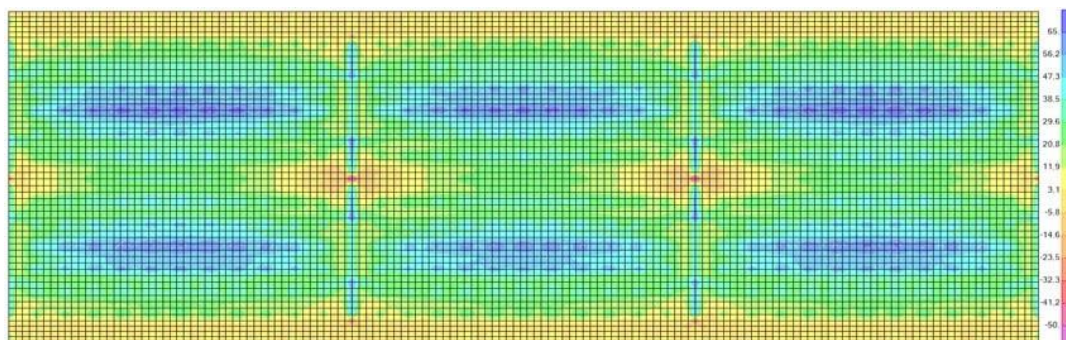


- Mínimos [kN.m/m]

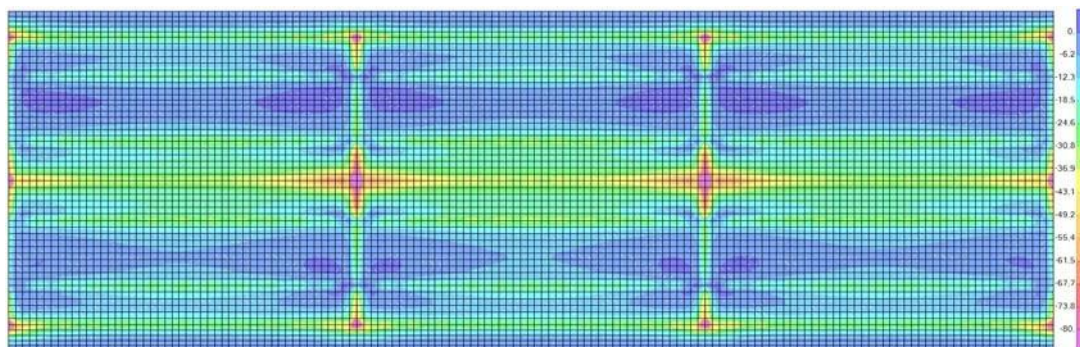


- Momento Transversal de dimensionamento

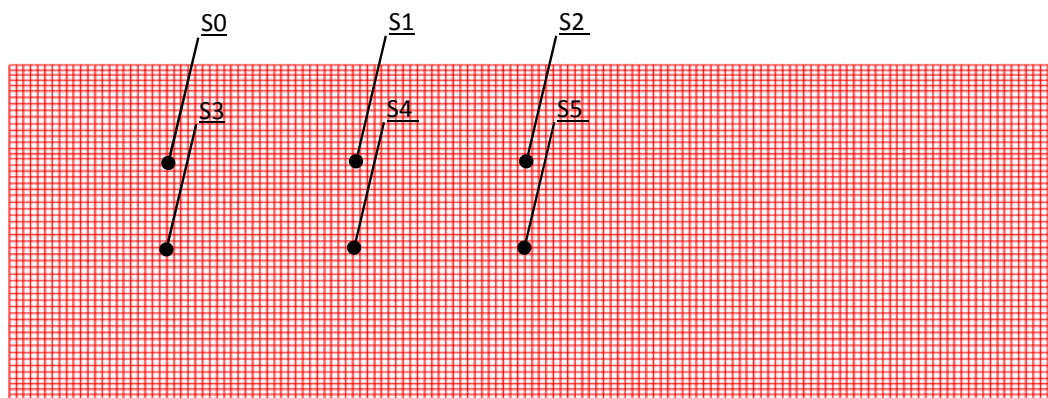
- Máximos [kN.m/m]



- Mínimos [kN.m/m]



- Resumo dos Esforços:



- Dimensionamento e verificação das armaduras da Laje Acabada:

| Seção | Longitudinal | | Transversal | |
|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | $M_{L,máx,d}$ kN.m/m | $M_{L,min,d}$ kN.m/m | $M_{T,máx,d}$ kN.m/m | $M_{T,min,d}$ kN.m/m |
| S0 | 55,00 | 6,50 | 75,00 | -3,00 |
| S1 | -6,00 | -70,00 | 35,00 | -35,00 |
| S2 | 50,00 | -0,35 | 75,00 | -3,00 |
| S3 | 45,00 | -5,00 | 35,00 | -40,00 |
| S4 | -10,00 | -100,00 | -12,00 | -60,00 |
| S5 | 35,00 | -10,00 | 30,00 | -45,00 |

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40$$

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500$$

$$f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 4,561$$

- Seção transversal:

$$b_w \text{ (m)} = 1,00$$


$$d'_{inf} \text{ (m)} = 0,075$$

$$d_{inf} \text{ (m)} = 0,18$$

$$h \text{ (m)} = 0,25$$

$$d'_{sup} \text{ (m)} = 0,075$$

$$d_{sup} \text{ (m)} = 0,18$$

| | | | |
|---|--|--------------------------|------------------------|
|  PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia | Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-205-lv | REV. CLIENTE 1 | FOLHA: 42/50 |
| | Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1005 | REV. PLANAVE A | |

- Amadura mínima:

$$\sigma_{d,Nin} = 0,8 \cdot \sigma_0 \cdot \sigma_{ctk,cup} \quad \sigma_{c,Nin} = 0,15\% \cdot \sigma_c \quad A_{s,min} = 3,75 \text{ cm}^2$$

Arm. Superior $W_0 \text{ (m}^3\text{)} = 0,010$ $M_{d,min} = 38,01$ $A_{s,min} = 5,13 \text{ cm}^2$
Arm. Inferior $W_0 \text{ (m}^3\text{)} = 0,010$ $M_{d,min} = 38,01$ $A_{s,min} = 5,13 \text{ cm}^2$

- Direção Longitudinal

- Armadura Inferior:

| | M_d (kN.m/m) | k_{md} | k_z | k_x | A_s (cm ² /m) |
|----|-------------------|----------|-------|-------|-------------------------------|
| S0 | 55,00 | 0,0629 | 0,962 | 0,096 | 7,52 |
| S1 | 0,00 | 0,0000 | 1,000 | 0,000 | 0,00 |
| S2 | 50,00 | 0,0571 | 0,965 | 0,087 | 6,81 |
| S3 | 45,00 | 0,0514 | 0,969 | 0,078 | 6,10 |
| S4 | 0,00 | 0,0000 | 1,000 | 0,000 | 0,00 |
| S5 | 35,00 | 0,0400 | 0,976 | 0,060 | 5,13 |

- Armadura Superior:

| | M_d (kN.m/m) | k_{md} | k_z | k_x | A_s (cm ² /m) |
|----|-------------------|----------|-------|-------|-------------------------------|
| S0 | 0,00 | 0,0000 | 1,000 | 0,000 | 0,00 |
| S1 | -70,00 | 0,0800 | 0,950 | 0,124 | 9,68 |
| S2 | -0,35 | 0,0004 | 1,000 | 0,001 | 5,13 |
| S3 | -5,00 | 0,0057 | 0,997 | 0,008 | 5,13 |
| S4 | -100,00 | 0,1143 | 0,928 | 0,181 | 14,17 |
| S5 | -10,00 | 0,0114 | 0,993 | 0,017 | 5,13 |

- Cálculo da Fadiga:

$$\gamma_f \cdot \Delta \sigma_s \leq \Delta \sigma_{sd,fad} \quad \gamma_f = 1 \quad \psi_1 = 1$$

$$M_{max} = M_g + \psi_1 \cdot M_{p,max} \quad M_{min} = M_g + \psi_1 \cdot M_{p,min}$$

$$f.f. = \Delta \sigma_s / \Delta \sigma_{sd,fad} \quad \sigma_{ficc} = \frac{\sigma_{max} \cdot h^3}{12} + \sigma_{max} \cdot h^2 \cdot \left(\frac{\sigma_{max}}{2} \right)^2 + \frac{\sigma_{max} \cdot (\sigma_{max} - h^2)^3}{3} + \sigma_{max} \cdot [\sigma_{max} \cdot (\sigma_{max} - h^2)^2 + \sigma_{max}' \cdot (\sigma_{max} - h^2)^2]$$

Resumo dos Esforços para Combinação Freqüente:

| Seção | Longitudinal | | Transversal | |
|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | $M_{L,máx,d}$ kN.m/m | $M_{L,min,d}$ kN.m/m | $M_{T,máx,d}$ kN.m/m | $M_{T,min,d}$ kN.m/m |
| S0 | 35,00 | 8,00 | 45,00 | 3,00 |
| S1 | -10,00 | -40,00 | 23,00 | -14,00 |
| S2 | 25,00 | 2,15 | 40,00 | 2,20 |
| S3 | 30,00 | 3,00 | 16,00 | -20,00 |
| S4 | -15,00 | -50,00 | -25,00 | -45,00 |
| S5 | 20,00 | -6,00 | 15,00 | -23,00 |

- Direção Longitudinal

- Armadura Inferior:

| | | $M_{d,serv}$ (kN.m/m) | A_s^{sup} (cm ² /m) | A_s^{inf} (cm ² /m) | x (cm) | J_{fiss} (cm ⁴) | σ_s (MPa) |
|----|-----|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------------|------------------|
| S0 | Máx | 35,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 243,14 |
| | Mín | 8,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 55,57 |
| S1 | Máx | -10,00 | 10,05 | 8,18 | 4,52 | 1,47E+04 | 13,35 |
| | Mín | -40,00 | 10,05 | 8,18 | 4,52 | 1,47E+04 | 53,40 |
| S2 | Máx | 25,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 173,67 |
| | Mín | 2,15 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 14,94 |
| S3 | Máx | 30,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 208,40 |
| | Mín | 3,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 20,84 |
| S4 | Máx | -15,00 | 20,11 | 8,18 | 5,75 | 2,48E+04 | 6,99 |
| | Mín | -50,00 | 20,11 | 8,18 | 5,75 | 2,48E+04 | 23,30 |
| S5 | Máx | 20,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 138,94 |
| | Mín | -6,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 10,29 |

| | $\Delta\sigma_s$ (MPa) | $\Delta f_{sd,fad}$ (MPa) | f.f. | A_s (cm ² /m) | $A_s \times f.f.$ (cm ² /m) |
|----|------------------------|---------------------------|------|----------------------------|--|
| S0 | 187,56 | 190,00 | 1,00 | 7,52 | 7,52 |
| S1 | 40,05 | 190,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S2 | 158,73 | 190,00 | 1,00 | 6,81 | 6,81 |
| S3 | 187,56 | 190,00 | 1,00 | 6,10 | 6,10 |
| S4 | 16,31 | 190,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S5 | 128,65 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |

Armadura Detalhada:

ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)

- Armadura Superior:

| | | M _{d,serv} (kN.m) | A _s ^{sup} (cm²) | A _s ^{inf} (cm²) | x (cm) | J _{fiss} (cm⁴) | σ _s (MPa) |
|----|-----|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------|----------------------|
| S0 | Máx | 35,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 60,00 |
| | Mín | 8,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 13,71 |
| S1 | Máx | -10,00 | 10,05 | 8,18 | 4,52 | 1,47E+04 | 58,12 |
| | Mín | -40,00 | 10,05 | 8,18 | 4,52 | 1,47E+04 | 232,48 |
| S2 | Máx | 25,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 42,85 |
| | Mín | 2,15 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 3,69 |
| S3 | Máx | 30,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 51,43 |
| | Mín | 3,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 5,14 |
| S4 | Máx | -15,00 | 20,11 | 8,18 | 5,75 | 2,48E+04 | 46,85 |
| | Mín | -50,00 | 20,11 | 8,18 | 5,75 | 2,48E+04 | 156,17 |
| S5 | Máx | 20,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 34,28 |
| | Mín | -6,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 41,68 |

| | Δσ _s (MPa) | Δ f _{sd,fad} (MPa) | f.f. | A _s (cm²/m) | A _s x f.f. (cm²/m) |
|----|-----------------------|--------------------------------|------|------------------------|----------------------------------|
| S0 | 46,28 | 190,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S1 | 174,36 | 190,00 | 1,00 | 9,68 | 9,68 |
| S2 | 39,17 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |
| S3 | 46,28 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |
| S4 | 109,32 | 190,00 | 1,00 | 14,17 | 14,17 |
| S5 | 7,40 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |

Armadura Detalhada:

ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)

ø16 c.20 (10,05cm²/m)

ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)

ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)

ø16 c.10 (20,11cm²/m)

ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)

- Verificação da Fissuração:

$$\sigma_k = \frac{\sigma_i}{12,5\sigma_1} \cdot \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{ci}} \cdot \frac{3\sigma_{ci}}{\sigma_{ctN}}$$

CAA: IV

(Classe de agressividade ambiental)

$$w_{k,lim} \leq 0,2 \text{ mm}$$

$$\eta_1 = 2,25$$

$$f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51$$

$$E_{si} \text{ (GPa)} = 210$$

- Armadura Inferior:

| | | σ_s (MPa) | ϕ_i (mm) | w_k (mm) | Verific. |
|----|-----|------------------|---------------|------------|----------|
| S0 | Máx | 243,14 | 12,50 | 0,11 | Ok! |
| | Mín | 55,57 | 12,50 | 0,01 | Ok! |
| S1 | Máx | 13,35 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 53,40 | 12,50 | 0,01 | Ok! |
| S2 | Máx | 173,67 | 12,50 | 0,05 | Ok! |
| | Mín | 14,94 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S3 | Máx | 208,40 | 12,50 | 0,08 | Ok! |
| | Mín | 20,84 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S4 | Máx | 6,99 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 23,30 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S5 | Máx | 138,94 | 12,50 | 0,03 | Ok! |
| | Mín | 10,29 | 12,50 | 0,00 | Ok! |

- Armadura Superior:

| | | σ_s (MPa) | ϕ_i (mm) | w_k (mm) | Verific. |
|----|-----|------------------|---------------|------------|----------|
| S0 | Máx | 60,00 | 12,50 | 0,01 | Ok! |
| | Mín | 13,71 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S1 | Máx | 58,12 | 16,00 | 0,01 | Ok! |
| | Mín | 232,48 | 16,00 | 0,13 | Ok! |
| S2 | Máx | 42,85 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 3,69 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S3 | Máx | 51,43 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 5,14 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S4 | Máx | 46,85 | 16,00 | 0,01 | Ok! |
| | Mín | 156,17 | 16,00 | 0,06 | Ok! |
| S5 | Máx | 34,28 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 41,68 | 12,50 | 0,00 | Ok! |

- Direção Transversal

- Armadura Inferior:

| | M_d (kN.m/m) | k_{md} | k_z | k_x | A_s (cm ² /m) |
|----|-------------------|----------|-------|-------|-------------------------------|
| S0 | 75,00 | 0,0857 | 0,947 | 0,133 | 10,41 |
| S1 | 35,00 | 0,0400 | 0,976 | 0,060 | 5,13 |
| S2 | 75,00 | 0,0857 | 0,947 | 0,133 | 10,41 |
| S3 | 35,00 | 0,0400 | 0,976 | 0,060 | 5,13 |
| S4 | 0,00 | 0,0000 | 1,000 | 0,000 | 0,00 |
| S5 | 30,00 | 0,0343 | 0,979 | 0,051 | 5,13 |

- Armadura Superior:

| | M _d (kN.m/m) | k _{md} | k _z | k _x | A _s (cm²/m) |
|----|----------------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------------|
| S0 | -3,00 | 0,0034 | 0,998 | 0,005 | 5,13 |
| S1 | -35,00 | 0,0400 | 0,976 | 0,060 | 5,13 |
| S2 | -3,00 | 0,0034 | 0,998 | 0,005 | 5,13 |
| S3 | -40,00 | 0,0457 | 0,972 | 0,069 | 5,41 |
| S4 | -60,00 | 0,0686 | 0,958 | 0,105 | 8,23 |
| S5 | -45,00 | 0,0514 | 0,969 | 0,078 | 6,10 |

- Cálculo da Fadiga:

$$\gamma_f \cdot \Delta \sigma_s \leq \Delta f_{sd,fad}$$

$$\gamma_f = 1$$

$$\psi_1 = 1$$

$$M_{\max} = M_g + \psi_1 \cdot M_{p_{\max}}$$

$$f.f. = \Delta \sigma_s / \Delta f_{sd,fad}$$

$$M_{\min} = M_g + \psi_1 \cdot M_{p_{\min}}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{J_{ficc}} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{h}{2} \right)$$

$$\therefore \sigma_{\max}' = \frac{M_{\min}}{J_{ficc}} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{h}{2} \right)$$

$$J_{ficc} = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{h}{2} \right)^2 + \frac{b \cdot (h - h)^3}{3} + b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{h}{2} \right)^2 + b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{h}{2} \right)^2]$$

- Armadura Inferior:

| | | M _{d,serv} (kN.m/m) | A _s ^{sup} (cm²/m) | A _s ^{inf} (cm²/m) | x (cm) | J _{fiss} (cm⁴) | σ _s (MPa) |
|----|-----|---------------------------------|--|--|--------|-------------------------|----------------------|
| S0 | Máx | 45,00 | 8,18 | 12,27 | 4,83 | 1,71E+04 | 219,37 |
| | Mín | 3,00 | 8,18 | 12,27 | 4,83 | 1,71E+04 | 14,62 |
| S1 | Máx | 23,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 159,78 |
| | Mín | -14,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 24,00 |
| S2 | Máx | 40,00 | 8,18 | 12,27 | 4,83 | 1,71E+04 | 195,00 |
| | Mín | 2,20 | 8,18 | 12,27 | 4,83 | 1,71E+04 | 10,72 |
| S3 | Máx | 16,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 111,15 |
| | Mín | -20,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 34,28 |
| S4 | Máx | -25,00 | 12,27 | 8,18 | 4,83 | 1,71E+04 | 25,66 |
| | Mín | -45,00 | 12,27 | 8,18 | 4,83 | 1,71E+04 | 46,19 |
| S5 | Máx | 15,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 104,20 |
| | Mín | -23,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 39,43 |

| | Δσ _s (MPa) | Δ f _{sd,fad} (MPa) | f.f. | A _s (cm²/m) | A _s x f.f. (cm²/m) |
|----|-----------------------|-----------------------------|------|------------------------|-------------------------------|
| S0 | 204,75 | 190,00 | 1,08 | 10,41 | 11,22 |
| S1 | 135,78 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |
| S2 | 184,27 | 190,00 | 1,00 | 10,41 | 10,41 |
| S3 | 76,87 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |
| S4 | 20,53 | 190,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| S5 | 64,78 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |

Armadura Detalhada:

ø12,5 c.10 (12,27cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.10 (12,27cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)

- Armadura Superior:

| | | M _{d,serv} (kN.m) | A _s ^{sup} (cm²) | A _s ^{inf} (cm²) | x (cm) | J _{fiss} (cm⁴) | σ _s (MPa) |
|----|-----|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------|----------------------|
| S0 | Máx | 45,00 | 8,18 | 12,27 | 4,83 | 1,71E+04 | 46,19 |
| | Mín | 3,00 | 8,18 | 12,27 | 4,83 | 1,71E+04 | 3,08 |
| S1 | Máx | 23,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 39,43 |
| | Mín | -14,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 97,26 |
| S2 | Máx | 40,00 | 8,18 | 12,27 | 4,83 | 1,71E+04 | 41,06 |
| | Mín | 2,20 | 8,18 | 12,27 | 4,83 | 1,71E+04 | 2,26 |
| S3 | Máx | 16,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 27,43 |
| | Mín | -20,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 138,94 |
| S4 | Máx | -25,00 | 12,27 | 8,18 | 4,83 | 1,71E+04 | 121,87 |
| | Mín | -45,00 | 12,27 | 8,18 | 4,83 | 1,71E+04 | 219,37 |
| S5 | Máx | 15,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 25,71 |
| | Mín | -23,00 | 8,18 | 8,18 | 4,22 | 1,26E+04 | 159,78 |

| | Δσ _s (MPa) | Δ f _{sd,fad} (MPa) | f.f. | A _s (cm²/m) | A _s x f.f. (cm²/m) |
|----|-----------------------|--------------------------------|------|------------------------|----------------------------------|
| S0 | 43,11 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |
| S1 | 57,83 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |
| S2 | 38,80 | 190,00 | 1,00 | 5,13 | 5,13 |
| S3 | 111,51 | 190,00 | 1,00 | 5,41 | 5,41 |
| S4 | 97,50 | 190,00 | 1,00 | 8,23 | 8,23 |
| S5 | 134,06 | 190,00 | 1,00 | 6,10 | 6,10 |

Armadura Detalhada:

ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)
ø12,5 c.10 (12,27cm²/m)
ø12,5 c.15 (8,18cm²/m)

- Verificação da Fissuração:

$$\sigma_k = \frac{\sigma_i}{12,5\sigma_1} \cdot \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{ci}} \cdot \frac{3\sigma_{ci}}{\sigma_{ctN}}$$

CAA: IV

(Classe de agressividade ambiental)

w_{k,lim} ≤ 0,2 mm

η₁ = 2,25

f_{ctm} (MPa) = 3,51

E_{si} (GPa) = 210

- Armadura Inferior:

| | | σ _s (MPa) | ø _i (mm) | w _k (mm) | Verific. |
|----|-----|----------------------|---------------------|---------------------|----------|
| S0 | Máx | 219,37 | 12,50 | 0,09 | Ok! |
| | Mín | 14,62 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S1 | Máx | 159,78 | 12,50 | 0,05 | Ok! |
| | Mín | 24,00 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S2 | Máx | 195,00 | 12,50 | 0,07 | Ok! |
| | Mín | 10,72 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S3 | Máx | 111,15 | 12,50 | 0,02 | Ok! |
| | Mín | 34,28 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S4 | Máx | 25,66 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 46,19 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S5 | Máx | 104,20 | 12,50 | 0,02 | Ok! |
| | Mín | 39,43 | 12,50 | 0,00 | Ok! |

- Armadura Superior:

| | | σ_s (MPa) | ϕ_i (mm) | w_k (mm) | Verific. |
|----|-----|------------------|---------------|------------|----------|
| S0 | Máx | 46,19 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 3,08 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S1 | Máx | 39,43 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 97,26 | 12,50 | 0,02 | Ok! |
| S2 | Máx | 41,06 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 2,26 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| S3 | Máx | 27,43 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 138,94 | 12,50 | 0,03 | Ok! |
| S4 | Máx | 121,87 | 12,50 | 0,03 | Ok! |
| | Mín | 219,37 | 12,50 | 0,09 | Ok! |
| S5 | Máx | 25,71 | 12,50 | 0,00 | Ok! |
| | Mín | 159,78 | 12,50 | 0,05 | Ok! |

- Verificação do Cisalhamento da Laje Acabada

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,sup} = 4,56 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1,75 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 28,6 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,inf} = 2,46 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = 0,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Sd} \leq \sigma_{Rd1} \quad \sigma_{Rd1} = \left[\sigma_{Rd} \cdot \eta \cdot (1,2 + 40 \sigma_{cp}) + 0,15 \sigma_{cp} \right] \cdot w$$

- Direção Longitudinal

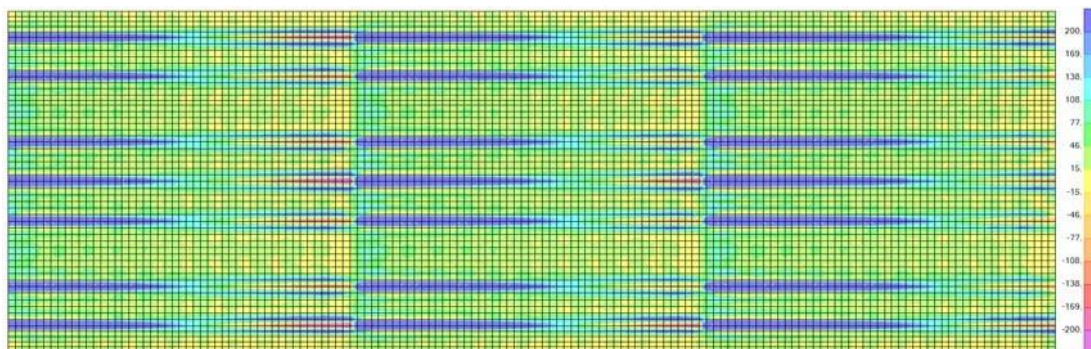
| | d (m) | k | ρ_1 | V_{Rd1} (kN/m) |
|----|-------|-------|----------|------------------|
| S0 | 0,18 | 1,425 | 0,005 | 151,71 |
| S1 | 0,18 | 1,425 | 0,006 | 156,38 |
| S2 | 0,18 | 1,425 | 0,005 | 151,71 |
| S3 | 0,18 | 1,425 | 0,005 | 151,71 |
| S4 | 0,18 | 1,425 | 0,011 | 181,52 |
| S5 | 0,18 | 1,425 | 0,005 | 151,71 |

- Direção Transversal

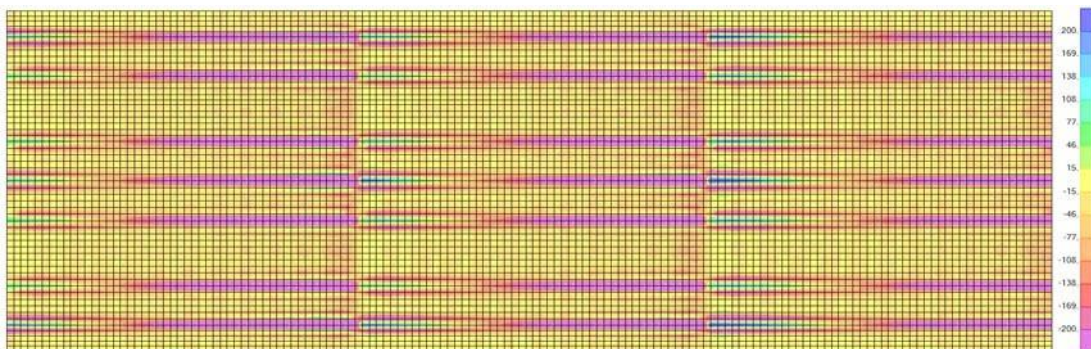
| | d (m) | k | ρ_1 | V_{Rd1} (kN/m) |
|----|-------|-------|----------|------------------|
| S0 | 0,18 | 1,425 | 0,005 | 151,71 |
| S1 | 0,18 | 1,425 | 0,005 | 151,71 |
| S2 | 0,18 | 1,425 | 0,005 | 151,71 |
| S3 | 0,18 | 1,425 | 0,005 | 151,71 |
| S4 | 0,18 | 1,425 | 0,007 | 161,93 |
| S5 | 0,18 | 1,425 | 0,005 | 151,71 |

- Esforço Cortante Longitudinal de Projeto

- Máximos [kN/m]

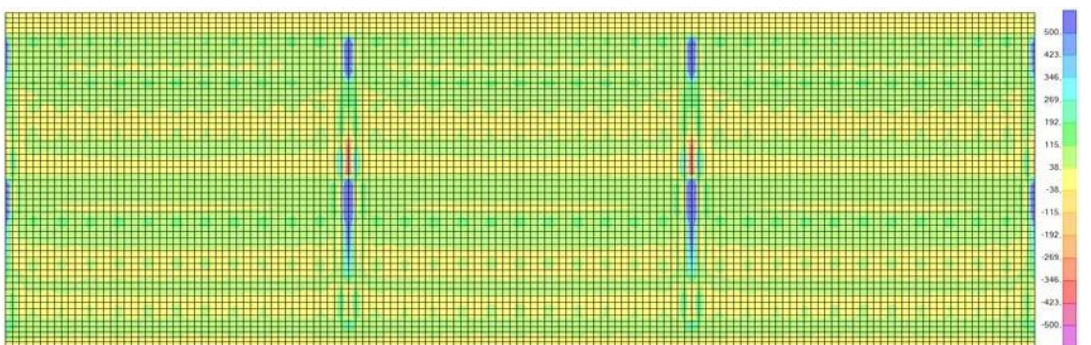


- Mínimos [kN/m]

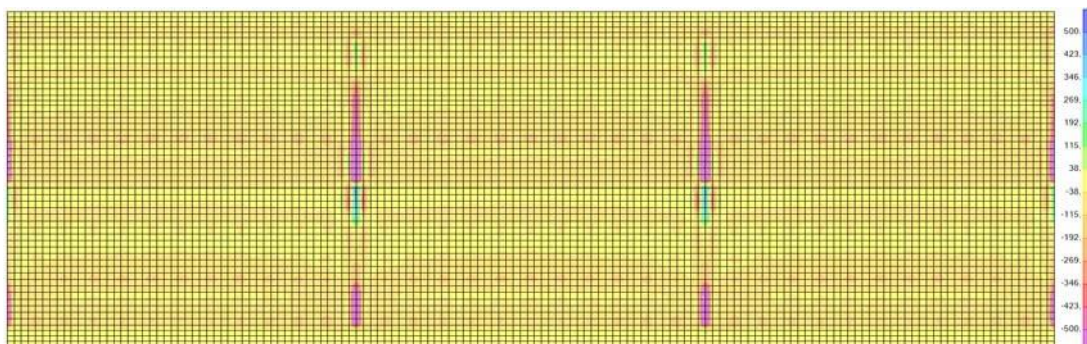


- Esforço Cortante Transversal de Projeto

- Máximos [kN/m]



- Mínimos [kN/m]



- Resumo dos esforços cortantes máximos de projeto a uma distância "d" da face do apoio e verificação da capacidade resistente:

- Direção Longitudinal

| | $ V_d $ (kN/m) | V_{Rd1} (kN/m) | Verific. |
|----|-------------------|---------------------|----------|
| S0 | 65,00 | 151,71 | Ok! |
| S1 | 95,00 | 156,38 | Ok! |
| S2 | 65,00 | 151,71 | Ok! |
| S3 | 100,00 | 151,71 | Ok! |
| S4 | 160,00 | 181,52 | Ok! |
| S5 | 100,00 | 151,71 | Ok! |

- Direção Transversal

| | $ V_d $ (kN/m) | V_{Rd1} (kN/m) | Verific. |
|----|-------------------|---------------------|----------|
| S0 | 150,00 | 151,71 | Ok! |
| S1 | 100,00 | 151,71 | Ok! |
| S2 | 145,00 | 151,71 | Ok! |
| S3 | 70,00 | 151,71 | Ok! |
| S4 | 100,00 | 161,93 | Ok! |
| S5 | 70,00 | 151,71 | Ok! |