

Memorai de cálculo OAE

Ponte Capão Grande



Cliente: Prefeitura de Arambaré-RS

Obra: Ponte Capão Grande

Responsável técnico: Wagner da Silva Santos CREA: RS 243.160

Sumário

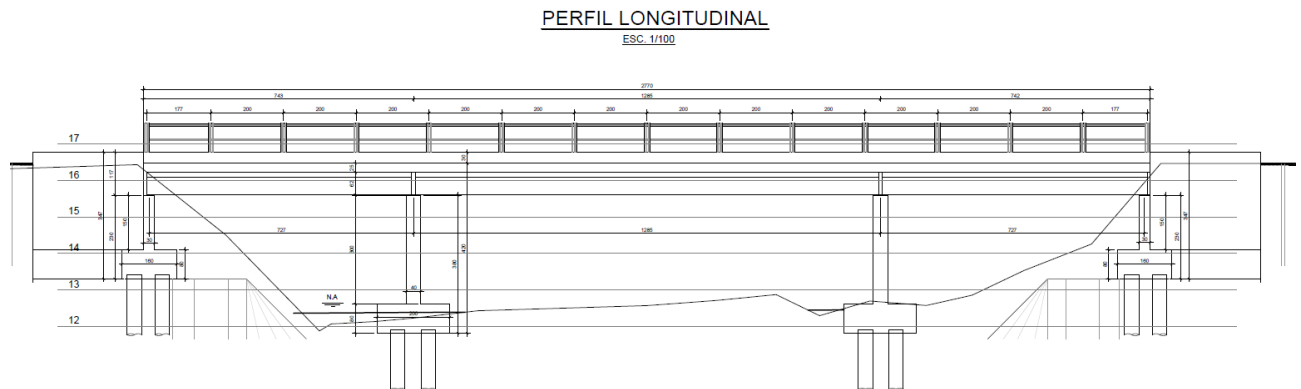
| | |
|--|----|
| Dados iniciais | 2 |
| RESULTADO LONGARINAS..... | 3 |
| Geometria Longarina 01 – 750cm:..... | 3 |
| Seção transversal | 4 |
| Ações consideradas | 5 |
| Combinações..... | 5 |
| Protensão | 6 |
| Esforços solicitantes | 7 |
| Estado limite de formação de fissura (ELS-F) | 8 |
| Estado limite de descompressão (ELS-D) | 9 |
| Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)..... | 9 |
| Geometria Longarina 02 – 1270cm:..... | 11 |
| Seção transversal | 11 |
| Ações consideradas | 13 |
| Combinações..... | 13 |
| Protensão | 14 |
| Esforços solicitantes | 14 |
| Estado limite de formação de fissura (ELS-F) | 16 |
| Estado limite de descompressão (ELS-D) | 16 |
| Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)..... | 17 |
| RESULTADO PILARES PAREDES E FUNDAÇÕES..... | 19 |
| Apoios externos:..... | 19 |
| Apoios centrais: | 19 |

Dados iniciais

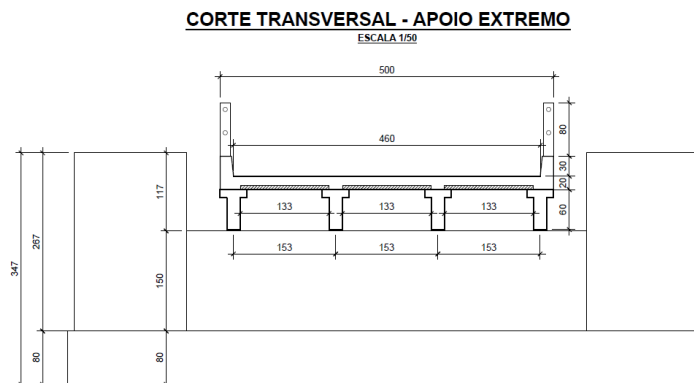
Trata-se de uma Ponte em estrada vicinal com baixo VMT com as seguintes características:
Extensão: 27,70m;
Largura: 5,00m (uma via sem passeio);

O tabuleiro será com longarinas pré-moldadas em concreto protendido, pré-lajes de concreto armado e com solidarização por concretagem em segunda etapa da capa da laje e transversinas de apoio.

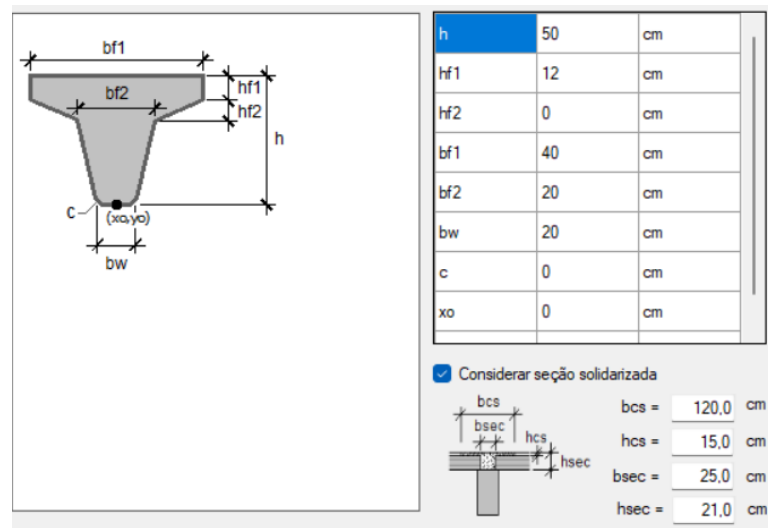
Perfil longitudinal



Perfil transversal



Dimensionamento das longarinas protendidas:

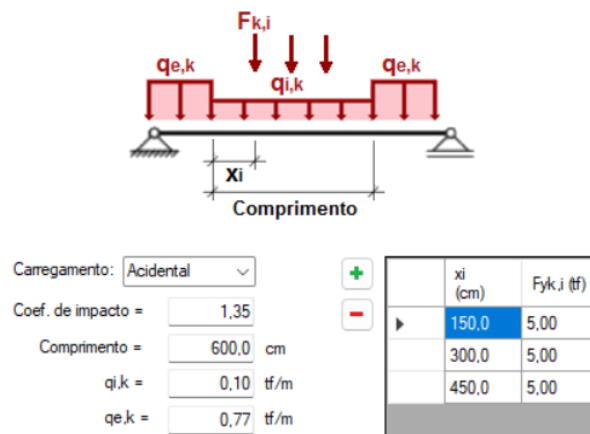


Cargas:

Cargas Permanentes:

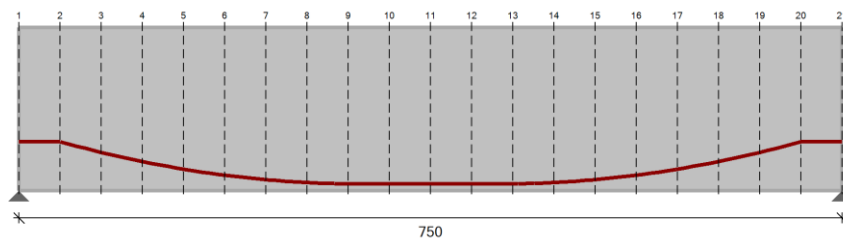


Cargas Móvel – Trem Tipo Estilizado:



RESULTADO LONGARINAS

Geometria Longarina 01 – 750cm:



Concreto:

$$f_{ck} = 0,25 \text{ tf/cm}^2$$

$$f_{ctm} = 0,03 \text{ tf/cm}^2$$

$$E_c = 25 \text{ GPa}$$

$$f_{cj} = 0,2 \text{ tf/cm}^2$$

$$f_{ctm,j} = 0,02 \text{ tf/cm}^2$$

$$E_{cj} = 22 \text{ GPa}$$

$$\gamma_c = 1,40$$

Armadura ativa:

$$f_{ptk} = 1900,00$$

$$f_{pyk} = 1710,00$$

$$E_p = 200 \text{ GPa}$$

$$\gamma_p = 1,15$$

Armadura passiva:

$$f_{yk} = 500,00$$

$$E_s = 210 \text{ GPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

Seção transversal

Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (ATO de protensão)

| Seção | x (m) | h (m) | y _i (m) | y _s (m) | A _c (m ²) | I _c (m ⁴) | W _i (m ³) | W _s (m ³) |
|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 2 | 0,375 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 3 | 0,75 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 4 | 1,125 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 5 | 1,5 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 6 | 1,875 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 7 | 2,25 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 8 | 2,625 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 9 | 3 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 10 | 3,375 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 11 | 3,75 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 12 | 4,125 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 13 | 4,5 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 14 | 4,875 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 15 | 5,25 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 16 | 5,625 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 17 | 6 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 18 | 6,375 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 19 | 6,75 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 20 | 7,125 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 21 | 7,5 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |

x - abscissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (FASE FINAL)

| Seção | x (m) | h (m) | y _i (m) | y _s (m) | A _c (m ²) | I _c (m ⁴) | W _i (m ³) | W _s (m ³) |
|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 2 | 0,375 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 3 | 0,75 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 4 | 1,125 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 5 | 1,5 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 6 | 1,875 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 7 | 2,25 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |

| | | | | | | | | |
|----|-------|---|-----|-----|------|---------|---------|---------|
| 8 | 2,625 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 9 | 3 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 10 | 3,375 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 11 | 3,75 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 12 | 4,125 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 13 | 4,5 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 14 | 4,875 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 15 | 5,25 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 16 | 5,625 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 17 | 6 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 18 | 6,375 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 19 | 6,75 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 20 | 7,125 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |
| 21 | 7,5 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,02083 | 0,04167 | 0,04167 |

x - abscissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Ações consideradas

A tabela 1 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem com os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

Tabela 2: Casos de carregamentos considerados

| Caso | γ _f | γ _f (fav.) | ψ ₀ | ψ ₁ | ψ ₂ |
|---------------------------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Peso próprio (G0) | 1,4 | 1 | - | - | - |
| Hiperestático de protensão (HP) | 1,1 | 0,9 | - | - | - |
| Permanente (G1) | 1,4 | 1 | - | - | - |
| Acidental (Q) | 1,4 | - | 0,7 | 0,6 | 0,4 |

γ_f - coeficiente de ponderação para as ações

ψ₀ - fator de redução de combinação para ELU

ψ₁ - fator de redução de combinação frequente para ELS

ψ₂ - fator de redução de combinação quase permanente para ELS

Combinações

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

Combinações últimas das ações (ELU)

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left(F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde:

$F_{G,k}$ é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$ é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

Combinações de serviço das ações

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM): $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ): $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA): $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

Protensão

Tabela 3: Força e momento de protensão nos instantes T_0 e T_∞

| Seção | x (m) | P _i (tf) | P _o (tf) | MP _o (tf.m) | P _∞ (tf) | MP _∞ (tf.m) |
|-------|-------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 7,70 | 5,78 | -1,16 | 5,23 | -1,05 |
| 2 | 37,5 | 7,70 | 5,78 | -1,16 | 5,26 | -1,05 |
| 3 | 75 | 7,70 | 6,03 | -1,60 | 5,49 | -1,46 |
| 4 | 112,5 | 7,70 | 6,08 | -1,96 | 5,55 | -1,79 |
| 5 | 150 | 7,70 | 6,12 | -2,25 | 5,62 | -2,07 |
| 6 | 187,5 | 7,70 | 6,16 | -2,50 | 5,69 | -2,31 |
| 7 | 225 | 7,70 | 6,20 | -2,69 | 5,75 | -2,49 |
| 8 | 262,5 | 7,70 | 6,25 | -2,82 | 5,80 | -2,62 |
| 9 | 300 | 7,70 | 6,29 | -2,89 | 5,85 | -2,69 |
| 10 | 337,5 | 7,70 | 6,31 | -2,90 | 5,88 | -2,70 |
| 11 | 375 | 7,70 | 6,31 | -2,90 | 5,88 | -2,71 |
| 12 | 412,5 | 7,70 | 6,32 | -2,91 | 5,88 | -2,71 |
| 13 | 450 | 7,70 | 6,34 | -2,91 | 5,89 | -2,71 |
| 14 | 487,5 | 7,70 | 6,38 | -2,88 | 5,91 | -2,66 |
| 15 | 525 | 7,70 | 6,42 | -2,78 | 5,92 | -2,56 |
| 16 | 562,5 | 7,70 | 6,46 | -2,62 | 5,92 | -2,40 |
| 17 | 600 | 7,70 | 6,50 | -2,40 | 5,92 | -2,18 |
| 18 | 637,5 | 7,70 | 6,54 | -2,11 | 5,92 | -1,91 |
| 19 | 675 | 7,70 | 6,58 | -1,75 | 5,92 | -1,58 |
| 20 | 712,5 | 7,70 | 6,62 | -1,33 | 5,93 | -1,19 |
| 21 | 750 | 7,70 | 6,59 | -1,32 | 5,88 | -1,18 |

x - abscissa da seção

P_i - força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração

P_0 - força de protensão após as perdas imediatas ($t=0$)

MP_0 - momento isostático após as perdas imediatas ($t=0$)

P_∞ - força de protensão após todas as perdas ao longo do tempo ($t=\infty$)

MP_∞ - momento isostático de protensão após todas as perdas ao longo do tempo ($t=\infty$)

Esforços solicitantes

Tabela 4: Momento fletor combinações ELS e ELU (tf.m)

| Seção | x (m) | $M_{CQP,max}$ | $M_{CQP,min}$ | $M_{CF,max}$ | $M_{CF,min}$ | $M_{CR,max}$ | $M_{CR,min}$ | $M_{Sd,max}$ | $M_{Sd,min}$ |
|-------|-------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,375 | 5,06 | 2,19 | 6,50 | 2,19 | 9,36 | 2,19 | 13,11 | 2,19 |
| 3 | 0,75 | 9,53 | 4,16 | 12,21 | 4,16 | 17,58 | 4,16 | 24,61 | 4,16 |
| 4 | 1,125 | 13,40 | 5,89 | 17,15 | 5,89 | 24,65 | 5,89 | 34,51 | 5,89 |
| 5 | 1,5 | 16,67 | 7,39 | 21,30 | 7,39 | 30,58 | 7,39 | 42,81 | 7,39 |
| 6 | 1,875 | 19,34 | 8,66 | 24,68 | 8,66 | 35,36 | 8,66 | 49,50 | 8,66 |
| 7 | 2,25 | 21,42 | 9,70 | 27,28 | 9,70 | 39,00 | 9,70 | 54,59 | 9,70 |
| 8 | 2,625 | 23,18 | 10,51 | 29,51 | 10,51 | 42,18 | 10,51 | 59,05 | 10,51 |
| 9 | 3 | 24,60 | 11,09 | 31,35 | 11,09 | 44,86 | 11,09 | 62,80 | 11,09 |
| 10 | 3,375 | 25,49 | 11,44 | 32,52 | 11,44 | 46,57 | 11,44 | 65,20 | 11,44 |
| 11 | 3,75 | 25,79 | 11,55 | 32,91 | 11,55 | 47,15 | 11,55 | 66,01 | 11,55 |
| 12 | 4,125 | 25,49 | 11,44 | 32,52 | 11,44 | 46,57 | 11,44 | 65,20 | 11,44 |
| 13 | 4,5 | 24,60 | 11,09 | 31,35 | 11,09 | 44,86 | 11,09 | 62,80 | 11,09 |
| 14 | 4,875 | 23,18 | 10,51 | 29,51 | 10,51 | 42,18 | 10,51 | 59,05 | 10,51 |
| 15 | 5,25 | 21,42 | 9,70 | 27,28 | 9,70 | 39,00 | 9,70 | 54,59 | 9,70 |
| 16 | 5,625 | 19,34 | 8,66 | 24,68 | 8,66 | 35,36 | 8,66 | 49,50 | 8,66 |
| 17 | 6 | 16,67 | 7,39 | 21,30 | 7,39 | 30,58 | 7,39 | 42,81 | 7,39 |
| 18 | 6,375 | 13,40 | 5,89 | 17,15 | 5,89 | 24,65 | 5,89 | 34,51 | 5,89 |
| 19 | 6,75 | 9,53 | 4,16 | 12,21 | 4,16 | 17,58 | 4,16 | 24,61 | 4,16 |
| 20 | 7,125 | 5,06 | 2,19 | 6,50 | 2,19 | 9,36 | 2,19 | 13,11 | 2,19 |
| 21 | 7,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

x - abscissa da seção

$M_{CQP,max}$ - Momento fletor máximo para combinação quase permanente

$M_{CQP,min}$ - Momento fletor mínimo para combinação quase permanente

$M_{CF,max}$ - Momento fletor máximo para combinação frequente

$M_{CF,min}$ - Momento fletor mínimo para combinação frequente

$M_{CR,max}$ - Momento fletor máximo para combinação rara

$M_{CR,min}$ - Momento fletor mínimo para combinação rara

$M_{Sd,max}$ - Momento fletor máximo para combinação ELU

$M_{Sd,min}$ - Momento fletor mínimo para combinação ELU

Tabela 5: Esforço cortante combinações ELS e ELU (tf)

| Seção | x (m) | $V_{CQP,max}$ | $V_{CQP,min}$ | $V_{CF,max}$ | $V_{CF,min}$ | $V_{CR,max}$ | $V_{CR,min}$ | $V_{Sd,max}$ | $V_{Sd,min}$ |
|-------|-------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 0 | 14,34 | 6,18 | 18,42 | 6,18 | 26,58 | 6,18 | 37,21 | 6,18 |
| 2 | 0,375 | 13,15 | 5,42 | 16,95 | 5,35 | 24,54 | 5,21 | 34,36 | 5,07 |
| 3 | 0,75 | 11,97 | 4,66 | 15,49 | 4,51 | 22,52 | 4,22 | 31,53 | 3,94 |
| 4 | 1,125 | 10,80 | 3,88 | 14,04 | 3,66 | 20,52 | 3,22 | 28,73 | 2,77 |
| 5 | 1,5 | 9,64 | 3,08 | 12,61 | 2,76 | 18,55 | 2,13 | 25,97 | 1,50 |
| 6 | 1,875 | 8,49 | 2,17 | 11,19 | 1,72 | 16,59 | 0,80 | 23,23 | -0,12 |
| 7 | 2,25 | 7,35 | 1,24 | 9,78 | 0,62 | 14,66 | -0,61 | 20,52 | -1,84 |
| 8 | 2,625 | 6,21 | 0,30 | 8,39 | -0,48 | 12,74 | -2,04 | 17,84 | -3,60 |
| 9 | 3 | 5,08 | -0,69 | 7,00 | -1,65 | 10,85 | -3,57 | 15,19 | -5,50 |
| 10 | 3,375 | 3,96 | -1,75 | 5,63 | -2,93 | 8,98 | -5,30 | 12,57 | -7,66 |

| | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 11 | 3,75 | 2,85 | -2,85 | 4,28 | -4,28 | 7,13 | -7,13 | 10,04 | -10,04 |
| 12 | 4,125 | 1,75 | -3,96 | 2,93 | -5,63 | 5,30 | -8,98 | 7,66 | -12,57 |
| 13 | 4,5 | 0,69 | -5,08 | 1,65 | -7,00 | 3,57 | -10,85 | 5,50 | -15,19 |
| 14 | 4,875 | -0,30 | -6,21 | 0,48 | -8,39 | 2,04 | -12,74 | 3,60 | -17,84 |
| 15 | 5,25 | -1,24 | -7,35 | -0,62 | -9,78 | 0,61 | -14,66 | 1,84 | -20,52 |
| 16 | 5,625 | -2,17 | -8,49 | -1,72 | -11,19 | -0,80 | -16,59 | 0,12 | -23,23 |
| 17 | 6 | -3,08 | -9,64 | -2,76 | -12,61 | -2,13 | -18,55 | -1,50 | -25,97 |
| 18 | 6,375 | -3,88 | -10,80 | -3,66 | -14,04 | -3,22 | -20,52 | -2,77 | -28,73 |
| 19 | 6,75 | -4,66 | -11,97 | -4,51 | -15,49 | -4,22 | -22,52 | -3,94 | -31,53 |
| 20 | 7,125 | -5,42 | -13,15 | -5,35 | -16,95 | -5,21 | -24,54 | -5,07 | -34,36 |
| 21 | 7,5 | -6,18 | -14,34 | -6,18 | -18,42 | -6,18 | -26,58 | -6,18 | -37,21 |

x - abscissa da seção

$V_{CQP,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação quase permanente

$V_{CQP,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação quase permanente

$V_{CF,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação frequente

$V_{CF,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação frequente

$V_{CR,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação rara

$V_{CR,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação rara

$V_{Sd,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação ELU

$V_{Sd,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação ELU

Estado limite de formação de fissura (ELS-F)

Tabela 6: Verificação ELS-F ($\sigma_c \leq 0,03 \text{ tf/cm}^2$)

| Seção | x (m) | $\sigma_{c,min}$ (tf/cm ²) | $\sigma_{c,max}$ (tf/cm ²) |
|-------|-------|---|---|
| 1 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,375 | -0,02 | 0,01 |
| 3 | 0,75 | -0,03 | 0,02 |
| 4 | 1,125 | -0,04 | 0,03 |
| 5 | 1,5 | -0,05 | 0,04 |
| 6 | 1,875 | -0,06 | 0,05 |
| 7 | 2,25 | -0,06 | 0,06 |
| 8 | 2,625 | -0,07 | 0,06 |
| 9 | 3 | -0,07 | 0,07 |
| 10 | 3,375 | -0,07 | 0,07 |
| 11 | 3,75 | -0,07 | 0,07 |
| 12 | 4,125 | -0,07 | 0,07 |
| 13 | 4,5 | -0,07 | 0,07 |
| 14 | 4,875 | -0,07 | 0,06 |
| 15 | 5,25 | -0,06 | 0,06 |
| 16 | 5,625 | -0,06 | 0,05 |
| 17 | 6 | -0,05 | 0,04 |
| 18 | 6,375 | -0,04 | 0,03 |
| 19 | 6,75 | -0,03 | 0,02 |
| 20 | 7,125 | -0,02 | 0,01 |
| 21 | 7,5 | -0,01 | 0,00 |

x - abscissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de descompressão (ELS-D)

Tabela 7: Verificação ELS-D ($\sigma_c \leq 0$)

| Seção | x (m) | $\sigma_{c,min}$ (tf/cm ²) | $\sigma_{c,max}$ (tf/cm ²) |
|-------|-------|---|---|
| 1 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,375 | -0,01 | 0,01 |
| 3 | 0,75 | -0,02 | 0,02 |
| 4 | 1,125 | -0,03 | 0,03 |
| 5 | 1,5 | -0,04 | 0,03 |
| 6 | 1,875 | -0,04 | 0,04 |
| 7 | 2,25 | -0,05 | 0,04 |
| 8 | 2,625 | -0,05 | 0,05 |
| 9 | 3 | -0,05 | 0,05 |
| 10 | 3,375 | -0,06 | 0,05 |
| 11 | 3,75 | -0,06 | 0,05 |
| 12 | 4,125 | -0,06 | 0,05 |
| 13 | 4,5 | -0,05 | 0,05 |
| 14 | 4,875 | -0,05 | 0,05 |
| 15 | 5,25 | -0,05 | 0,04 |
| 16 | 5,625 | -0,04 | 0,04 |
| 17 | 6 | -0,04 | 0,03 |
| 18 | 6,375 | -0,03 | 0,03 |
| 19 | 6,75 | -0,02 | 0,02 |
| 20 | 7,125 | -0,01 | 0,01 |
| 21 | 7,5 | -0,01 | 0,00 |

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ - Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ - Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)

Tabela 8: Verificação ELU-ATO ($-0,14 \text{ tf/cm}^2 \leq \sigma_c \leq 0,02 \text{ tf/cm}^2$)

| Seção | x (m) | $\sigma_{c,min}$ (tf/cm ²) | $\sigma_{c,max}$ (tf/cm ²) |
|-------|-------|---|---|
| 1 | 0 | -0,01 | 0,00 |
| 2 | 0,375 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 0,75 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 1,125 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 1,5 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 1,875 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 2,25 | -0,01 | 0,00 |
| 8 | 2,625 | -0,01 | 0,00 |
| 9 | 3 | -0,01 | 0,00 |
| 10 | 3,375 | -0,01 | 0,00 |
| 11 | 3,75 | -0,01 | 0,00 |
| 12 | 4,125 | -0,01 | 0,00 |
| 13 | 4,5 | -0,01 | 0,00 |
| 14 | 4,875 | -0,01 | 0,00 |
| 15 | 5,25 | -0,01 | 0,00 |
| 16 | 5,625 | 0,00 | 0,00 |
| 17 | 6 | 0,00 | 0,00 |

| | | | |
|----|-------|-------|------|
| 18 | 6,375 | 0,00 | 0,00 |
| 19 | 6,75 | 0,00 | 0,00 |
| 20 | 7,125 | 0,00 | 0,00 |
| 21 | 7,5 | -0,01 | 0,00 |

x - abscissa da seção

$\sigma_{c,min}$ - Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ - Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

| Seção (cm) | d (cm) | Msd (tf.m) | As,cal (cm²) | As' (cm²) | xln (cm) | 1/r (1/m) | Mrd (tf.m) | As,min (cm²) |
|------------|--------|------------|--------------|-----------|----------|-----------|------------|--------------|
| 0.0 | 95,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 7,84 | 1,56E+001 | 5,71 | 1,885 |
| 37,5 | 95,00 | 13,11 | 1,913 | 0,000 | 9,54 | 1,17E+001 | 13,11 | 1,885 |
| 75,0 | 95,00 | 24,61 | 4,751 | 0,000 | 13,16 | 1,22E+001 | 24,61 | 1,738 |
| 112,5 | 95,00 | 34,51 | 7,272 | 0,000 | 15,74 | 1,26E+001 | 34,51 | 1,611 |
| 150,0 | 95,00 | 42,81 | 9,444 | 0,000 | 18,23 | 1,30E+001 | 42,81 | 1,505 |
| 187,5 | 95,00 | 49,50 | 11,258 | 0,000 | 19,99 | 1,33E+001 | 49,50 | 1,421 |
| 225,0 | 95,00 | 54,59 | 12,650 | 0,000 | 21,66 | 1,36E+001 | 54,59 | 1,358 |
| 262,5 | 95,00 | 59,05 | 13,927 | 0,000 | 23,07 | 1,39E+001 | 59,05 | 1,317 |
| 300,0 | 95,00 | 62,80 | 15,046 | 0,000 | 23,92 | 1,39E+001 | 62,80 | 1,299 |
| 337,5 | 95,00 | 65,20 | 15,779 | 0,000 | 24,64 | 1,41E+001 | 65,20 | 1,297 |
| 375,0 | 95,00 | 66,01 | 16,028 | 0,000 | 25,00 | 1,39E+001 | 66,01 | 1,297 |
| 412,5 | 95,00 | 65,20 | 15,779 | 0,000 | 24,64 | 1,41E+001 | 65,20 | 1,297 |
| 450,0 | 95,00 | 62,80 | 15,046 | 0,000 | 23,92 | 1,39E+001 | 62,80 | 1,298 |
| 487,5 | 95,00 | 59,05 | 13,926 | 0,000 | 23,07 | 1,39E+001 | 59,05 | 1,316 |
| 525,0 | 95,00 | 54,59 | 12,649 | 0,000 | 21,66 | 1,36E+001 | 54,59 | 1,357 |
| 562,5 | 95,00 | 49,50 | 11,256 | 0,000 | 19,99 | 1,33E+001 | 49,50 | 1,419 |
| 600,0 | 95,00 | 42,81 | 9,442 | 0,000 | 18,23 | 1,30E+001 | 42,81 | 1,503 |
| 637,5 | 95,00 | 34,51 | 7,269 | 0,000 | 15,74 | 1,26E+001 | 34,51 | 1,608 |
| 675,0 | 95,00 | 24,61 | 4,747 | 0,000 | 13,16 | 1,22E+001 | 24,61 | 1,734 |
| 712,5 | 95,00 | 13,11 | 1,909 | 0,000 | 9,54 | 1,17E+001 | 13,11 | 1,881 |
| 750,0 | 95,00 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 7,86 | 1,56E+001 | 5,72 | 1,882 |

Onde:

d - altura útil da seção transversal

Msd - momento fletor solicitante de cálculo

As,cal - armadura longitudinal calculada

As,min - armadura longitudinal mínima

| Seção (cm) | bw,min (cm) | bw,med (cm) | d (cm) | Vsd (tf) | Vpd (tf) | Vrd2 (tf) | Vc (tf) | Asw.cal (cm²/m) | Asw.min (cm²/m) | Asw.nec (cm²/m) | k (fadiga) |
|------------|-------------|-------------|--------|----------|----------|-----------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| 0 | 21,8 | 25 | 95 | 37,21 | 0,00 | 89,66 | 16,70 | 5,518 | 2,565 | 13,856 | 2,511 |
| 37,5 | 21,8 | 25 | 95 | 34,36 | 0,00 | 89,66 | 16,70 | 4,750 | 2,565 | 11,832 | 2,491 |
| 75 | 21,8 | 25 | 95 | 31,53 | -0,80 | 89,66 | 16,70 | 3,775 | 2,565 | 8,725 | 2,311 |
| 112,5 | 21,8 | 25 | 95 | 28,73 | -0,68 | 89,66 | 16,70 | 3,054 | 2,565 | 6,896 | 2,258 |
| 150 | 21,8 | 25 | 95 | 25,97 | -0,56 | 89,66 | 16,70 | 2,342 | 2,565 | 5,089 | 2,173 |
| 187,5 | 21,8 | 25 | 95 | 23,23 | -0,44 | 89,66 | 16,70 | 1,638 | 2,565 | 3,304 | 2,017 |
| 225 | 21,8 | 25 | 95 | 20,52 | -0,31 | 89,66 | 16,70 | 0,944 | 2,565 | 2,565 | 1,634 |
| 262,5 | 21,8 | 25 | 95 | 17,84 | -0,18 | 89,66 | 16,70 | 0,258 | 2,565 | 2,565 | 0,000 |
| 300 | 21,8 | 25 | 95 | 15,19 | -0,05 | 89,66 | 16,70 | 0,000 | 2,565 | 2,565 | 0,000 |
| 337,5 | 21,8 | 25 | 95 | 12,57 | 0,00 | 89,66 | 16,70 | 0,000 | 2,565 | 2,565 | 0,000 |
| 375 | 21,8 | 25 | 95 | 10,04 | 0,00 | 89,66 | 16,70 | 0,000 | 2,565 | 2,565 | 0,000 |
| 412,5 | 21,8 | 25 | 95 | -12,57 | 0,00 | 89,66 | 16,70 | 0,000 | 2,565 | 2,565 | 0,000 |
| 450 | 21,8 | 25 | 95 | -15,19 | 0,05 | 89,66 | 16,70 | 0,000 | 2,565 | 2,565 | 0,000 |
| 487,5 | 21,8 | 25 | 95 | -17,84 | 0,19 | 89,66 | 16,70 | 0,257 | 2,565 | 2,565 | 0,000 |
| 525 | 21,8 | 25 | 95 | -20,52 | 0,32 | 89,66 | 16,70 | 0,942 | 2,565 | 2,565 | 1,625 |
| 562,5 | 21,8 | 25 | 95 | -23,23 | 0,46 | 89,66 | 16,70 | 1,634 | 2,565 | 3,280 | 2,008 |
| 600 | 21,8 | 25 | 95 | -25,97 | 0,59 | 89,66 | 16,70 | 2,334 | 2,565 | 5,049 | 2,163 |
| 637,5 | 21,8 | 25 | 95 | -28,73 | 0,73 | 89,66 | 16,70 | 3,042 | 2,565 | 6,835 | 2,247 |
| 675 | 21,8 | 25 | 95 | -31,53 | 0,86 | 89,66 | 16,70 | 3,758 | 2,565 | 8,639 | 2,299 |
| 712,5 | 21,8 | 25 | 95 | -34,36 | 1,00 | 89,66 | 16,70 | 4,482 | 2,565 | 10,460 | 2,334 |
| 750 | 21,8 | 25 | 95 | -37,21 | 0,00 | 89,66 | 16,70 | 5,518 | 2,565 | 13,856 | 2,511 |

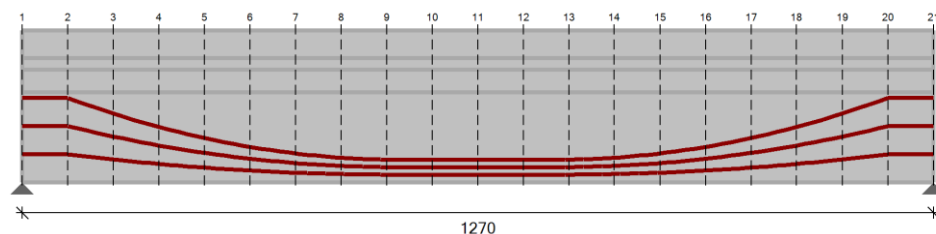
Onde:

bw,min - menor largura da seção transversal. No caso de elementos estruturais protendidos a largura resistente a considerar deve ser $(bw - 1/2Z\phi)$.

bw,med - largura média da seção transversal

d - altura útil da seção transversal

Geometria Longarina 02 – 1270cm:



Concreto:

$$f_{ck} = 0,4 \text{ tf/cm}^2$$

$$f_{ctm} = 0,04 \text{ tf/cm}^2$$

$$E_c = 31 \text{ GPa}$$

$$f_{cj} = 0,26 \text{ tf/cm}^2$$

$$f_{ctm,j} = 0,03 \text{ tf/cm}^2$$

$$E_{cj} = 25 \text{ GPa}$$

$$\gamma_c = 1,40$$

Armadura ativa:

$$f_{ptk} = 1900,00$$

$$f_{pyk} = 1710,00$$

$$E_p = 200 \text{ GPa}$$

$$\gamma_p = 1,15$$

Armadura passiva:

$$f_{yk} = 500,00$$

$$E_s = 210 \text{ GPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

Seção transversal

Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (ATO de protensão)

| Seção | x (m) | h (m) | y _i (m) | y _s (m) | A _c (m²) | I _c (m⁴) | W _i (m³) | W _s (m³) |
|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 0 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|-----|------|------|-------|---------|---------|---------|
| 2 | 0,635 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 3 | 1,27 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 4 | 1,905 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 5 | 2,54 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 6 | 3,175 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 7 | 3,81 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 8 | 4,445 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 9 | 5,08 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 10 | 5,715 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 11 | 6,35 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 12 | 6,985 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 13 | 7,62 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 14 | 8,255 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 15 | 8,89 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 16 | 9,525 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 17 | 10,16 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 18 | 10,795 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 19 | 11,43 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 20 | 12,065 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |
| 21 | 12,7 | 0,6 | 0,34 | 0,26 | 0,144 | 0,00478 | 0,01406 | 0,01839 |

x - abscissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Tabela 9: Propriedades geométricas seção transversal (FASE FINAL)

| Seção | x (m) | h (m) | y_i (m) | y_s (m) | A_c (m ²) | I_c (m ⁴) | W_i (m ³) | W_s (m ³) |
|-------|--------|-------|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 0 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 2 | 0,635 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 3 | 1,27 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 4 | 1,905 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 5 | 2,54 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 6 | 3,175 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 7 | 3,81 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 8 | 4,445 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 9 | 5,08 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 10 | 5,715 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 11 | 6,35 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 12 | 6,985 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 13 | 7,62 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 14 | 8,255 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 15 | 8,89 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 16 | 9,525 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 17 | 10,16 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 18 | 10,795 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 19 | 11,43 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 20 | 12,065 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |
| 21 | 12,7 | 0,81 | 0,54939 | 0,26061 | 0,31384 | 0,01688 | 0,03072 | 0,06476 |

x - abscissa da seção
 h - altura da seção transversal
 y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior
 y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior
 A_c - área da seção transversal
 I_c - momento de inércia seção transversal
 W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior
 W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Ações consideradas

A tabela 1 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem com os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

Tabela 10: Casos de carregamentos considerados

| Caso | γ_f | γ_f (fav.) | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|---------------------------------|------------|-------------------|----------|----------|----------|
| Peso próprio (G0) | 1,4 | 1 | - | - | - |
| Hiperestático de protensão (HP) | 1,1 | 0,9 | - | - | - |
| Permanente (G1) | 1,4 | 1 | - | - | - |
| Acidental (Q) | 1,4 | - | 0,7 | 0,6 | 0,4 |

γ_f - coeficiente de ponderação para as ações
 ψ_0 - fator de redução de combinação para ELU
 ψ_1 - fator de redução de combinação frequente para ELS
 ψ_2 - fator de redução de combinação quase permanente para ELS

Combinações

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

Combinações últimas das ações (ELU)

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left(F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde:

$F_{G,k}$ é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$ é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

Combinações de serviço das ações

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM): $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ): $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA): $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

Protensão

Tabela 11: Força e momento de protensão nos instantes T_0 e T_∞

| Seção | x (m) | P _i (tf) | P _o (tf) | MP _o (tf.m) | P _∞ (tf) | MP _∞ (tf.m) |
|-------|--------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 126,00 | 113,78 | -4,65 | 92,29 | -3,77 |
| 2 | 63,5 | 126,00 | 113,84 | -4,65 | 93,24 | -3,81 |
| 3 | 127 | 126,00 | 114,13 | -10,96 | 92,61 | -8,90 |
| 4 | 190,5 | 126,00 | 113,87 | -16,34 | 91,73 | -13,16 |
| 5 | 254 | 126,00 | 113,55 | -20,76 | 90,97 | -16,63 |
| 6 | 317,5 | 126,00 | 113,25 | -24,25 | 90,41 | -19,36 |
| 7 | 381 | 126,00 | 113,03 | -26,83 | 90,06 | -21,38 |
| 8 | 444,5 | 126,00 | 112,91 | -28,51 | 89,96 | -22,71 |
| 9 | 508 | 126,00 | 112,92 | -29,31 | 90,10 | -23,38 |
| 10 | 571,5 | 126,00 | 113,00 | -29,39 | 90,37 | -23,51 |
| 11 | 635 | 126,00 | 113,04 | -29,40 | 90,48 | -23,54 |
| 12 | 698,5 | 126,00 | 113,08 | -29,41 | 90,42 | -23,52 |
| 13 | 762 | 126,00 | 113,13 | -29,36 | 90,23 | -23,42 |
| 14 | 825,5 | 126,00 | 113,35 | -28,62 | 90,25 | -22,78 |
| 15 | 889 | 126,00 | 113,70 | -26,98 | 90,51 | -21,48 |
| 16 | 952,5 | 126,00 | 114,16 | -24,44 | 91,02 | -19,48 |
| 17 | 1016 | 126,00 | 114,69 | -20,96 | 91,75 | -16,77 |
| 18 | 1079,5 | 126,00 | 115,25 | -16,52 | 92,69 | -13,29 |
| 19 | 1143 | 126,00 | 115,75 | -11,09 | 93,77 | -8,99 |
| 20 | 1206,5 | 126,00 | 116,12 | -4,67 | 94,91 | -3,82 |
| 21 | 1270 | 126,00 | 116,71 | -4,66 | 94,44 | -3,77 |

x - abscissa da seção

P_i – força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração

P_o – força de protensão após as perdas imediatas (t=0)

MP_o – momento isostático após as perdas imediatas (t=0)

P_∞ – força de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

MP_∞ – momento isostático de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

Esforços solicitantes

Tabela 12: Momento fletor combinações ELS e ELU (tf.m)

| Seção | x (m) | M _{CQP,max} | M _{CQP,min} | M _{CF,max} | M _{CF,min} | M _{CR,max} | M _{CR,min} | M _{Sd,max} | M _{Sd,min} |
|-------|-------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,635 | 9,52 | 5,18 | 11,68 | 5,18 | 16,02 | 5,18 | 22,43 | 5,18 |
| 3 | 1,27 | 17,98 | 9,81 | 22,07 | 9,81 | 30,24 | 9,81 | 42,33 | 9,81 |
| 4 | 1,905 | 25,40 | 13,90 | 31,15 | 13,90 | 42,65 | 13,90 | 59,70 | 13,90 |
| 5 | 2,54 | 31,77 | 17,45 | 38,93 | 17,45 | 53,25 | 17,45 | 74,55 | 17,45 |
| 6 | 3,175 | 37,09 | 20,45 | 45,41 | 20,45 | 62,05 | 20,45 | 86,87 | 20,45 |
| 7 | 3,81 | 41,36 | 22,90 | 50,59 | 22,90 | 69,05 | 22,90 | 96,67 | 22,90 |
| 8 | 4,445 | 44,79 | 24,81 | 54,78 | 24,81 | 74,75 | 24,81 | 104,66 | 24,81 |

| | | | | | | | | | |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 9 | 5,08 | 47,35 | 26,17 | 57,95 | 26,17 | 79,13 | 26,17 | 110,78 | 26,17 |
| 10 | 5,715 | 48,93 | 26,99 | 59,90 | 26,99 | 81,83 | 26,99 | 114,57 | 26,99 |
| 11 | 6,35 | 49,45 | 27,26 | 60,55 | 27,26 | 82,74 | 27,26 | 115,83 | 27,26 |
| 12 | 6,985 | 48,93 | 26,99 | 59,90 | 26,99 | 81,83 | 26,99 | 114,57 | 26,99 |
| 13 | 7,62 | 47,35 | 26,17 | 57,95 | 26,17 | 79,13 | 26,17 | 110,78 | 26,17 |
| 14 | 8,255 | 44,79 | 24,81 | 54,78 | 24,81 | 74,75 | 24,81 | 104,66 | 24,81 |
| 15 | 8,89 | 41,36 | 22,90 | 50,59 | 22,90 | 69,05 | 22,90 | 96,67 | 22,90 |
| 16 | 9,525 | 37,09 | 20,45 | 45,41 | 20,45 | 62,05 | 20,45 | 86,87 | 20,45 |
| 17 | 10,16 | 31,77 | 17,45 | 38,93 | 17,45 | 53,25 | 17,45 | 74,55 | 17,45 |
| 18 | 10,795 | 25,40 | 13,90 | 31,15 | 13,90 | 42,65 | 13,90 | 59,70 | 13,90 |
| 19 | 11,43 | 17,98 | 9,81 | 22,07 | 9,81 | 30,24 | 9,81 | 42,33 | 9,81 |
| 20 | 12,065 | 9,52 | 5,18 | 11,68 | 5,18 | 16,02 | 5,18 | 22,43 | 5,18 |
| 21 | 12,7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

x - abscissa da seção

$M_{CQP,max}$ – Momento fletor máximo para combinação quase permanente

$M_{CQP,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação quase permanente

$M_{CF,max}$ – Momento fletor máximo para combinação frequente

$M_{CF,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação frequente

$M_{CR,max}$ – Momento fletor máximo para combinação rara

$M_{CR,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação rara

$M_{Sd,max}$ – Momento fletor máximo para combinação ELU

$M_{Sd,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação ELU

Tabela 13: Esforço cortante combinações ELS e ELU (tf)

| Seção | x (m) | $V_{CQP,max}$ | $V_{CQP,min}$ | $V_{CF,max}$ | $V_{CF,min}$ | $V_{CR,max}$ | $V_{CR,min}$ | $V_{Sd,max}$ | $V_{Sd,min}$ |
|-------|--------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 0 | 15,86 | 8,61 | 19,48 | 8,61 | 26,73 | 8,61 | 37,42 | 8,61 |
| 2 | 0,635 | 14,51 | 7,64 | 17,88 | 7,59 | 24,64 | 7,49 | 34,50 | 7,38 |
| 3 | 1,27 | 13,16 | 6,67 | 16,30 | 6,56 | 22,58 | 6,34 | 31,61 | 6,12 |
| 4 | 1,905 | 11,83 | 5,62 | 14,74 | 5,41 | 20,54 | 5,00 | 28,76 | 4,58 |
| 5 | 2,54 | 10,51 | 4,52 | 13,18 | 4,20 | 18,53 | 3,56 | 25,94 | 2,92 |
| 6 | 3,175 | 9,20 | 3,38 | 11,64 | 2,91 | 16,54 | 1,99 | 23,15 | 1,06 |
| 7 | 3,81 | 7,90 | 2,18 | 10,12 | 1,54 | 14,57 | 0,27 | 20,40 | -1,00 |
| 8 | 4,445 | 6,60 | 0,95 | 8,61 | 0,13 | 12,63 | -1,50 | 17,68 | -3,13 |
| 9 | 5,08 | 5,32 | -0,28 | 7,12 | -1,29 | 10,71 | -3,29 | 15,00 | -5,30 |
| 10 | 5,715 | 4,05 | -1,53 | 5,64 | -2,72 | 8,82 | -5,11 | 12,35 | -7,50 |
| 11 | 6,35 | 2,78 | -2,78 | 4,17 | -4,17 | 6,95 | -6,95 | 9,83 | -9,83 |
| 12 | 6,985 | 1,53 | -4,05 | 2,72 | -5,64 | 5,11 | -8,82 | 7,50 | -12,35 |
| 13 | 7,62 | 0,28 | -5,32 | 1,29 | -7,12 | 3,29 | -10,71 | 5,30 | -15,00 |
| 14 | 8,255 | -0,95 | -6,60 | -0,13 | -8,61 | 1,50 | -12,63 | 3,13 | -17,68 |
| 15 | 8,89 | -2,18 | -7,90 | -1,54 | -10,12 | -0,27 | -14,57 | 1,00 | -20,40 |
| 16 | 9,525 | -3,38 | -9,20 | -2,91 | -11,64 | -1,99 | -16,54 | -1,06 | -23,15 |
| 17 | 10,16 | -4,52 | -10,51 | -4,20 | -13,18 | -3,56 | -18,53 | -2,92 | -25,94 |
| 18 | 10,795 | -5,62 | -11,83 | -5,41 | -14,74 | -5,00 | -20,54 | -4,58 | -28,76 |
| 19 | 11,43 | -6,67 | -13,16 | -6,56 | -16,30 | -6,34 | -22,58 | -6,12 | -31,61 |
| 20 | 12,065 | -7,64 | -14,51 | -7,59 | -17,88 | -7,49 | -24,64 | -7,38 | -34,50 |
| 21 | 12,7 | -8,61 | -15,86 | -8,61 | -19,48 | -8,61 | -26,73 | -8,61 | -37,42 |

x - abscissa da seção

$V_{CQP,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação quase permanente

$V_{CQP,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação quase permanente

$V_{CF,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação frequente

$V_{CF,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação frequente

$V_{CR,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação rara

$V_{CR,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação rara

$V_{Sd,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação ELU

$V_{Sd,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação ELU

Estado limite de formação de fissura (ELS-F)

Tabela 14: Verificação ELS-F ($\sigma_c \leq 0,03 \text{ tf/cm}^2$)

| Seção | x (m) | $\sigma_{c,\min}$ (tf/cm ²) | $\sigma_{c,\max}$ (tf/cm ²) |
|-------|--------|--|--|
| 1 | 0 | -0,09 | -0,04 |
| 2 | 0,635 | -0,07 | -0,05 |
| 3 | 1,27 | -0,08 | -0,03 |
| 4 | 1,905 | -0,10 | -0,02 |
| 5 | 2,54 | -0,11 | 0,00 |
| 6 | 3,175 | -0,11 | 0,01 |
| 7 | 3,81 | -0,11 | 0,01 |
| 8 | 4,445 | -0,12 | 0,02 |
| 9 | 5,08 | -0,11 | 0,02 |
| 10 | 5,715 | -0,11 | 0,02 |
| 11 | 6,35 | -0,11 | 0,02 |
| 12 | 6,985 | -0,11 | 0,02 |
| 13 | 7,62 | -0,11 | 0,02 |
| 14 | 8,255 | -0,12 | 0,02 |
| 15 | 8,89 | -0,12 | 0,01 |
| 16 | 9,525 | -0,11 | 0,01 |
| 17 | 10,16 | -0,11 | 0,00 |
| 18 | 10,795 | -0,10 | -0,02 |
| 19 | 11,43 | -0,09 | -0,03 |
| 20 | 12,065 | -0,07 | -0,05 |
| 21 | 12,7 | -0,09 | -0,05 |

x - abscissa da seção

$\sigma_{c,\min}$ - Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,\max}$ - Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de descompressão (ELS-D)

Tabela 15: Verificação ELS-D ($\sigma_c \leq 0$)

| Seção | x (m) | $\sigma_{c,\min}$ (tf/cm ²) | $\sigma_{c,\max}$ (tf/cm ²) |
|-------|-------|--|--|
| 1 | 0 | -0,09 | -0,04 |
| 2 | 0,635 | -0,07 | -0,05 |
| 3 | 1,27 | -0,08 | -0,03 |
| 4 | 1,905 | -0,10 | -0,02 |
| 5 | 2,54 | -0,11 | 0,00 |
| 6 | 3,175 | -0,11 | 0,01 |
| 7 | 3,81 | -0,11 | 0,01 |
| 8 | 4,445 | -0,12 | 0,02 |
| 9 | 5,08 | -0,11 | 0,02 |
| 10 | 5,715 | -0,11 | 0,02 |
| 11 | 6,35 | -0,11 | 0,02 |
| 12 | 6,985 | -0,11 | 0,02 |
| 13 | 7,62 | -0,11 | 0,02 |
| 14 | 8,255 | -0,12 | 0,02 |
| 15 | 8,89 | -0,12 | 0,01 |
| 16 | 9,525 | -0,11 | 0,01 |

| | | | |
|----|--------|-------|-------|
| 17 | 10,16 | -0,11 | 0,00 |
| 18 | 10,795 | -0,10 | -0,02 |
| 19 | 11,43 | -0,09 | -0,03 |
| 20 | 12,065 | -0,07 | -0,05 |
| 21 | 12,7 | -0,09 | -0,05 |

x - abscissa da seção

$\sigma_{c,min}$ - Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ - Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)

Tabela 16: Verificação ELU-ATO ($-0,18 \text{ tf/cm}^2 \leq \sigma_c \leq 0,04 \text{ tf/cm}^2$)

| Seção | x (m) | $\sigma_{c,min}$ (tf/cm ²) | $\sigma_{c,max}$ (tf/cm ²) |
|-------|--------|---|---|
| 1 | 0 | -0,12 | -0,06 |
| 2 | 0,635 | -0,11 | -0,07 |
| 3 | 1,27 | -0,15 | -0,04 |
| 4 | 1,905 | -0,19 | -0,01 |
| 5 | 2,54 | -0,21 | 0,01 |
| 6 | 3,175 | -0,23 | 0,03 |
| 7 | 3,81 | -0,25 | 0,04 |
| 8 | 4,445 | -0,26 | 0,04 |
| 9 | 5,08 | -0,26 | 0,05 |
| 10 | 5,715 | -0,26 | 0,05 |
| 11 | 6,35 | -0,26 | 0,05 |
| 12 | 6,985 | -0,26 | 0,05 |
| 13 | 7,62 | -0,26 | 0,05 |
| 14 | 8,255 | -0,26 | 0,05 |
| 15 | 8,89 | -0,25 | 0,04 |
| 16 | 9,525 | -0,24 | 0,03 |
| 17 | 10,16 | -0,22 | 0,01 |
| 18 | 10,795 | -0,19 | -0,01 |
| 19 | 11,43 | -0,15 | -0,04 |
| 20 | 12,065 | -0,11 | -0,07 |
| 21 | 12,7 | -0,13 | -0,06 |

x - abscissa da seção

$\sigma_{c,min}$ - Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ - Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

| Seção (cm) | d (cm) | Msd (tf.m) | As,cal (cm²) | As' (cm²) | xln (cm) | 1/r (1/m) | Mrd (tf.m) | As,min (cm²) |
|------------|--------|------------|--------------|-----------|----------|-----------|------------|--------------|
| 0.0 | 76.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 9.54 | 1.73E+001 | 47.45 | 3.945 |
| 63.5 | 76.00 | 22.43 | 0.000 | 0.000 | 9.59 | 1.73E+001 | 47.84 | 3.945 |
| 127.0 | 76.00 | 42.33 | 0.000 | 0.000 | 9.33 | 1.66E+001 | 53.05 | 3.945 |
| 190.5 | 76.00 | 59.70 | 0.811 | 0.000 | 8.94 | 1.49E+001 | 59.70 | 3.945 |
| 254.0 | 76.00 | 74.55 | 4.500 | 0.000 | 9.71 | 1.51E+001 | 74.55 | 3.945 |
| 317.5 | 76.00 | 86.87 | 7.610 | 0.000 | 10.41 | 1.52E+001 | 86.87 | 3.945 |
| 381.0 | 76.00 | 96.67 | 10.183 | 0.000 | 10.84 | 1.53E+001 | 96.67 | 3.945 |
| 444.5 | 76.00 | 104.66 | 12.390 | 0.000 | 11.15 | 1.53E+001 | 104.66 | 3.945 |
| 508.0 | 76.00 | 110.78 | 14.187 | 0.000 | 11.43 | 1.53E+001 | 110.78 | 3.945 |
| 571.5 | 76.00 | 114.57 | 15.385 | 0.000 | 11.65 | 1.53E+001 | 114.57 | 3.945 |
| 635.0 | 76.00 | 115.83 | 15.787 | 0.000 | 11.73 | 1.54E+001 | 115.83 | 3.945 |
| 698.5 | 76.00 | 114.57 | 15.376 | 0.000 | 11.65 | 1.53E+001 | 114.57 | 3.945 |
| 762.0 | 76.00 | 110.78 | 14.160 | 0.000 | 11.43 | 1.53E+001 | 110.78 | 3.945 |
| 825.5 | 76.00 | 104.66 | 12.334 | 0.000 | 11.15 | 1.53E+001 | 104.66 | 3.945 |
| 889.0 | 76.00 | 96.67 | 10.097 | 0.000 | 10.84 | 1.53E+001 | 96.67 | 3.945 |
| 952.5 | 76.00 | 86.87 | 7.496 | 0.000 | 10.41 | 1.52E+001 | 86.87 | 3.945 |
| 1016.0 | 76.00 | 74.55 | 4.361 | 0.000 | 9.71 | 1.51E+001 | 74.55 | 3.945 |
| 1079.5 | 76.00 | 59.70 | 0.650 | 0.000 | 8.95 | 1.49E+001 | 59.70 | 3.945 |
| 1143.0 | 76.00 | 42.33 | 0.000 | 0.000 | 9.38 | 1.66E+001 | 53.60 | 3.945 |
| 1206.5 | 76.00 | 22.43 | 0.000 | 0.000 | 9.66 | 1.74E+001 | 48.54 | 3.945 |
| 1270.0 | 76.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 9.64 | 1.74E+001 | 48.34 | 3.945 |

Onde:

d - altura útil da seção transversal

Msd - momento fletor solicitante de cálculo

As,cal - armadura longitudinal calculada

As,min - armadura longitudinal mínima

| Seção (cm) | bw,min (cm) | bw,med (cm) | d (cm) | Vsd (tf) | Vpd (tf) | Vd2 (tf) | Vc (tf) | Asw,cal (cm²/m) | Asw,min (cm²/m) | Asw,nec (cm²/m) | k (fadiga) |
|------------|-------------|-------------|--------|----------|----------|----------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| 0 | 20 | 24 | 76 | 37.42 | 0.00 | 98.50 | 20.03 | 5.848 | 3.368 | 16.284 | 2.784 |
| 63.5 | 20 | 24 | 76 | 34.50 | 0.00 | 98.50 | 20.03 | 4.866 | 3.368 | 13.538 | 2.782 |
| 127 | 20 | 24 | 76 | 31.61 | -6.77 | 98.50 | 20.03 | 1.620 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 190.5 | 20 | 24 | 76 | 28.76 | -5.65 | 98.50 | 20.03 | 1.035 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 254 | 20 | 24 | 76 | 25.94 | -4.56 | 98.50 | 20.03 | 0.453 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 317.5 | 20 | 24 | 76 | 23.15 | -3.50 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 381 | 20 | 24 | 76 | 20.40 | -2.45 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 444.5 | 20 | 24 | 76 | 17.68 | -1.42 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 508 | 20 | 24 | 76 | 15.00 | -0.39 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 571.5 | 20 | 24 | 76 | 12.35 | 0.00 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 635 | 20 | 24 | 76 | 9.83 | 0.00 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 698.5 | 20 | 24 | 76 | -12.35 | 0.00 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 762 | 20 | 24 | 76 | -15.00 | 0.39 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 825.5 | 20 | 24 | 76 | -17.68 | 1.42 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 889 | 20 | 24 | 76 | -20.40 | 2.46 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 952.5 | 20 | 24 | 76 | -23.15 | 3.52 | 98.50 | 20.03 | 0.000 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 1016 | 20 | 24 | 76 | -25.94 | 4.60 | 98.50 | 20.03 | 0.441 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 1079.5 | 20 | 24 | 76 | -28.76 | 5.71 | 98.50 | 20.03 | 1.017 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 1143 | 20 | 24 | 76 | -31.61 | 6.84 | 98.50 | 20.03 | 1.594 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 1206.5 | 20 | 24 | 76 | -34.50 | 8.01 | 98.50 | 20.03 | 2.172 | 3.368 | 3.368 | 0.000 |
| 1270 | 20 | 24 | 76 | -37.42 | 0.00 | 98.50 | 20.03 | 5.848 | 3.368 | 16.284 | 2.784 |

Onde:

bw,min - menor largura da seção transversal. No caso de elementos estruturais protendidos a largura resistente a considerar deve ser $(bw - 1/22\phi)$.

bw,med - largura média da seção transversal

d - altura útil da seção transversal

RESULTADO PILARES PAREDES E FUNDAÇÕES

Apoios externos:

Para 4 vigas carga total de 136,29t;

$F_h = 0,20 \times 45.000 = 9.000 \text{ kg}$

$M = 350 \times 900 = 3.150.000 \text{ kgcm}$

Armadura dos pilares paredes

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|--------------------|------|--------|--------|------|-------|-----------------|--------|
| FLEXO COMPRESSÃO PROMON | | | | | | | | | |
| fck | 200 | | | | | | | | |
| h | 30 | cm | | | | | | | |
| d= | 26 | cm | | | | | | | |
| b= | 700 | cm | | | | | | | |
| h/d | 1,15 | cm | | | | | | | |
| N (kg) | 136.290 | kg | | | | | | | |
| M (kgcm) | 3.150.000 | kgcm | | | | | | | |
| Md= | 4.410.000,00 | | | | | | | | |
| Nd= | 190.806 | kg | | | DC03.1 | | | | |
| scd= | 121 | kg/cm ² | | | PG 149 | | | | |
| v= | 0,09 | | ro1= | 0,22 | % | As1= | 40,04 | cm ² | 16/c20 |
| u= | 0,08 | | ro2= | 0,2 | % | As2= | 36,4 | cm ² | 16/c20 |
| | | | | As min | | | | | |

Verificação da carga nas estacas apoios extremos.

Reação do tabuleiro: 136,29t;

Peso pilar parede + bloco: 62,88t;

Total: 199,17t

Carga por estaca: $199,17 / 12 = 16,59\text{t} < 30\text{t}$ (carga admissível)

Apoios centrais:

Para 4 vigas carga total de 272,58t;

$F_h = 0,20 \times 45.000 = 9.000 \text{ kg}$

$M = 350 \times 900 = 3.150.000 \text{ kgcm}$

Armadura dos pilares paredes

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|--------|------|--------|--------|------|------|-----|--------|
| FLEXO COMPRESSÃO PROMON | | | | | | | | | |
| fck | 200 | | | | | | | | |
| h | 40 | cm | | | | | | | |
| d= | 36 | cm | | | | | | | |
| b= | 700 | cm | | | | | | | |
| h/d | 1,11 | cm | | | | | | | |
| N (kg) | 272.580 | kg | | | | | | | |
| M (kgcm) | 3.150.000 | kgcm | | | | | | | |
| Md= | 4.410.000,00 | | | | | | | | |
| Nd= | 381.612 | kg | | | DC03.1 | | | | |
| scd= | 121 | kg/cm2 | | | PG 149 | | | | |
| v= | 0,12 | | ro1= | 0,2 | % | As1= | 50,4 | cm2 | 16/c20 |
| u= | 0,04 | | ro2= | 0,2 | % | As2= | 50,4 | cm2 | 16/c20 |
| | | | | As min | | | | | |

Verificação da carga nas estacas apoios centrais.

Reação do tabuleiro: 227,58t;
 Peso pilar parede + bloco: 42,81t;
 Total: 270,39t
 Carga por estaca: $270,39 / 11 = 24,58t < 30t$ (carga admissível)

Camaquã, 27 de maior de 2026

WAGNER DA SILVA
SANTOS:29528606
881

Assinado de forma digital por
 WAGNER DA SILVA
 SANTOS:29528606881
 Dados: 2026.05.27 15:19:39
 -03'00'

Wagner da Silva Santos
 Engenheiro Civil CREA: RS 243.160
 Responsável Técnico