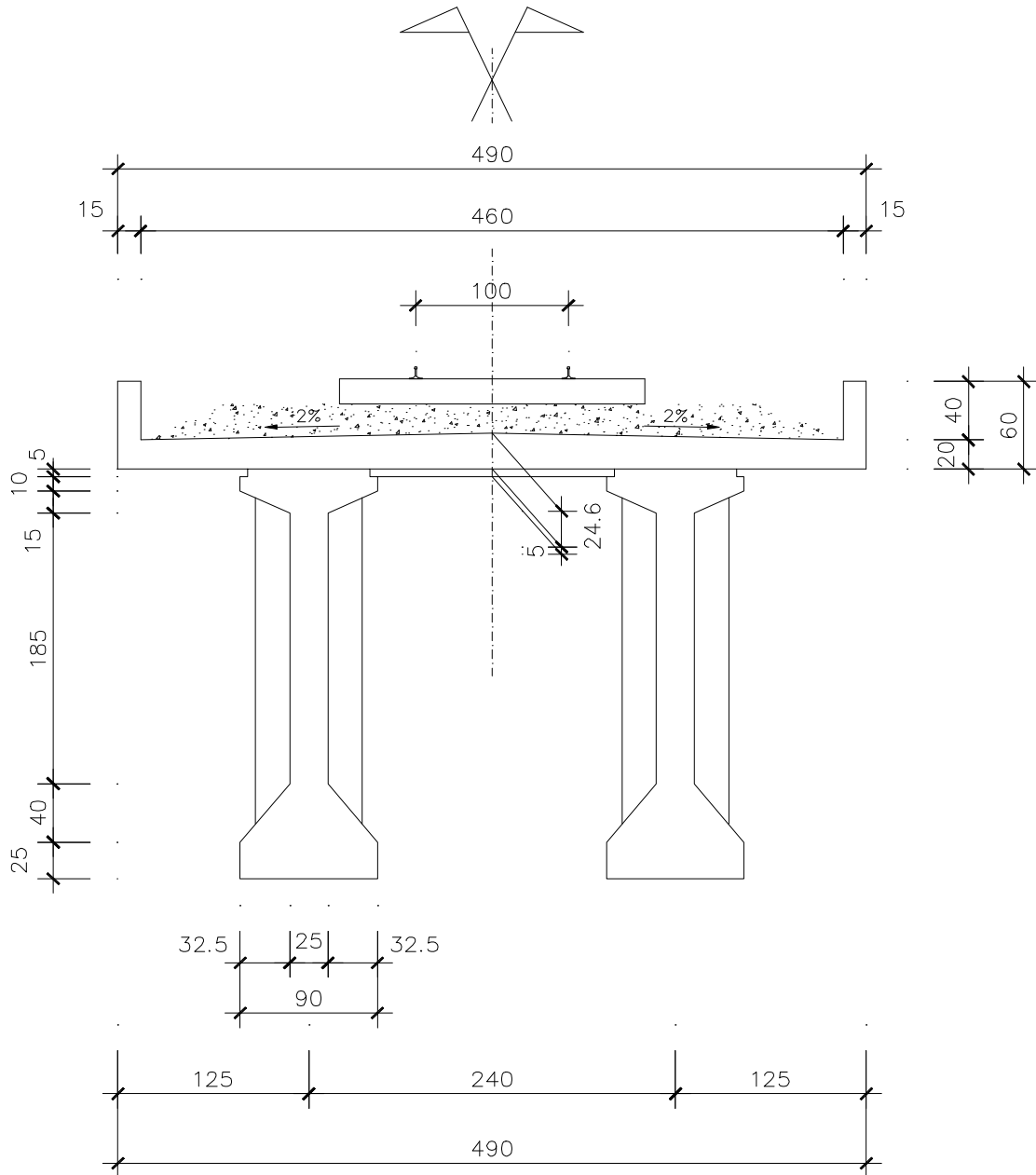


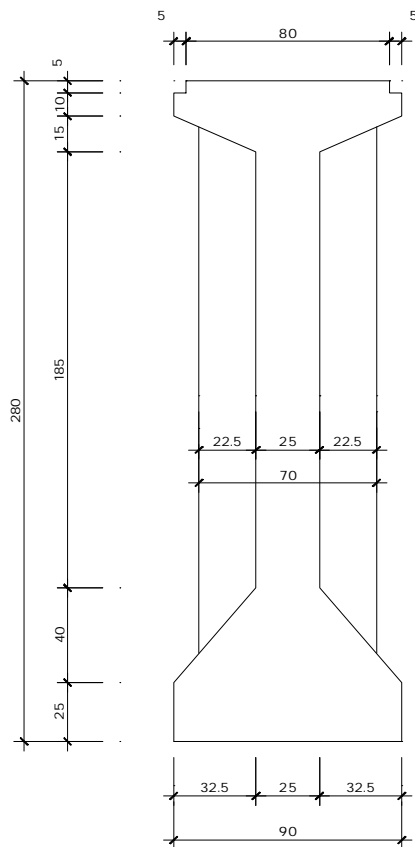
Viaduto Favela



Viga Isolada

$f_{ck} = 30,0 \text{ Mpa}$

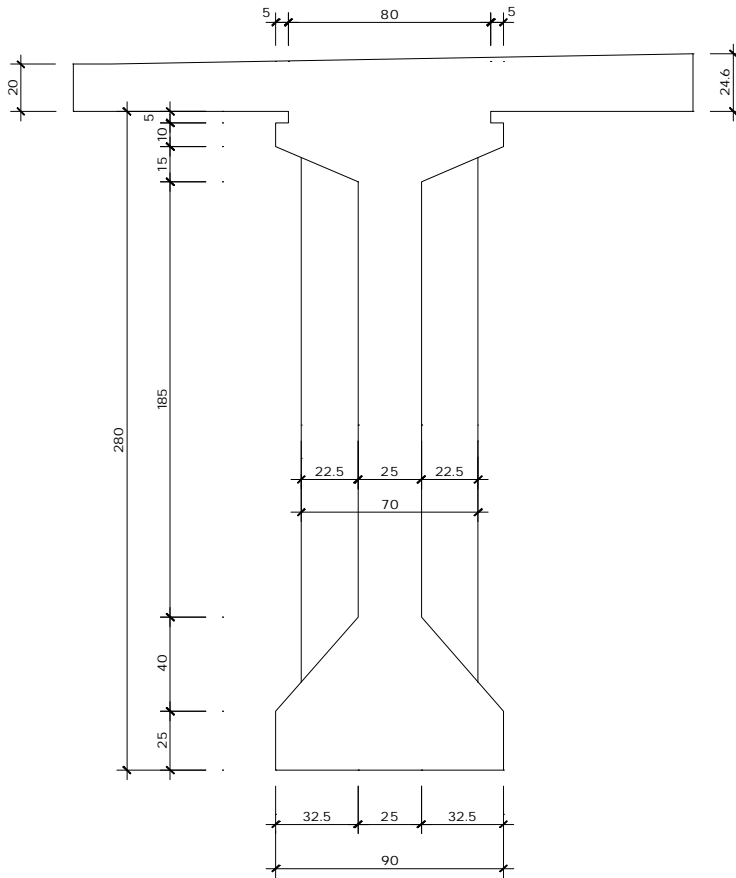
1. Viga Pré-moldada



| aduela | a | b | c | y | |
|------------|--------|----------|------|------|-------|
| 1 | 0,25 | 0,25 | 2,30 | 0,00 | 0,58 |
| 2 | 0,55 | 0,55 | 0,15 | 2,15 | 0,08 |
| 3 | 0,00 | 0,55 | 0,15 | 2,00 | 0,04 |
| 4 | 0,55 | 0,00 | 0,30 | 0,25 | 0,08 |
| 5 | 0,55 | 0,55 | 0,25 | 0,00 | 0,14 |
| | | | | | 0,919 |
| $A_c =$ | 0,919 | m^2 | | | |
| $v_i =$ | -1,064 | m | | | |
| $v_s =$ | 1,236 | m | | | |
| $J =$ | 0,578 | m^4 | | | |
| $w_i =$ | -0,543 | m^3 | | | |
| $w_s =$ | 0,467 | m^3 | | | |
| $M_{sr} =$ | | m^{-2} | | | |

2. Estrutura Pronta

Meia Seção



| aduela | a | b | c | y | |
|------------|--------|----------|------|------|------|
| 1 | 0,25 | 0,25 | 2,55 | 0,00 | 0,64 |
| 2 | 0,55 | 0,55 | 0,15 | 2,15 | 0,08 |
| 3 | 0,00 | 0,55 | 0,15 | 2,00 | 0,04 |
| 4 | 0,55 | 0,00 | 0,30 | 0,25 | 0,08 |
| 5 | 0,55 | 0,55 | 0,25 | 0,00 | 0,14 |
| 6 | 1,95 | 1,95 | 0,25 | 2,30 | 0,49 |
| 7 | 2,00 | 0,00 | 0,06 | 2,55 | 0,06 |
| | | | | | 1,53 |
| $A_c =$ | 1,529 | m^2 | | | |
| $v_i =$ | -1,613 | m | | | |
| $v_s =$ | 0,937 | m | | | |
| $J =$ | 1,275 | m^4 | | | |
| $w_i =$ | -0,791 | m^3 | | | |
| $w_s =$ | 1,361 | m^3 | | | |
| $M_{sr} =$ | | m^{-2} | | | |

Cargas Permanentes -

| | | | | |
|----|---------------------------|--|---------|-------|
| 1. | Inicial | | | t/m |
| | Viga Pré-moldada - | 0,919 x 2,5 | $g_0 =$ | 2,298 |
| 2. | Intermediária | | | |
| | g_0 | | $=$ | 2,298 |
| | Laje - | $(0,25+0,31)/2 \times 4,40 / 2 \times 2,5$ | $=$ | 1,540 |
| | Laje Central Premoldada - | 0,08 x 1,00 x 2,5 | $=$ | 0,200 |
| | Laje lateral - | 0,70x0,25x2,5 | $=$ | 0,438 |
| | | | $g_i =$ | 4,475 |
| 3. | Final | | | |
| | g_i | | $=$ | 4,475 |
| | Muretas - | $(2 \times 0,20 \times 0,35) \times 2,5$ | $=$ | 0,350 |
| | Guarda-corpo - | | $=$ | 0,200 |
| | Laje Lateral Premoldada - | 0,08 x 0,50 x 2,5 | $=$ | 0,100 |
| | Lastro - | 0,52 x 4,00 / 2 x 2,2 | $=$ | 2,288 |
| | | | $g_f =$ | 7,413 |

Carga Acidental -

$$l = 23,80 \text{ m}$$

$$\text{Impacto Vertical - } f = 0,001(1600 - 60 \times l^{0,5} + 2,25 \times l) = 1,361$$

$$P = f \times 36,00 / 2 = 21,77 \text{ t}$$

$$p = f \times 12,00 / 2 = 8,17 \text{ t/m}$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

Ação na Viga :

$$N_{CL} = 7,20 \times 0,65 / 2,60 = 1,80 \text{ t}$$

Ação do vento -

1) Viaduto Carregado -

$$w = 0,100 \times (2,55 + 0,65 + 3,50) = 0,67 \text{ t/m}$$

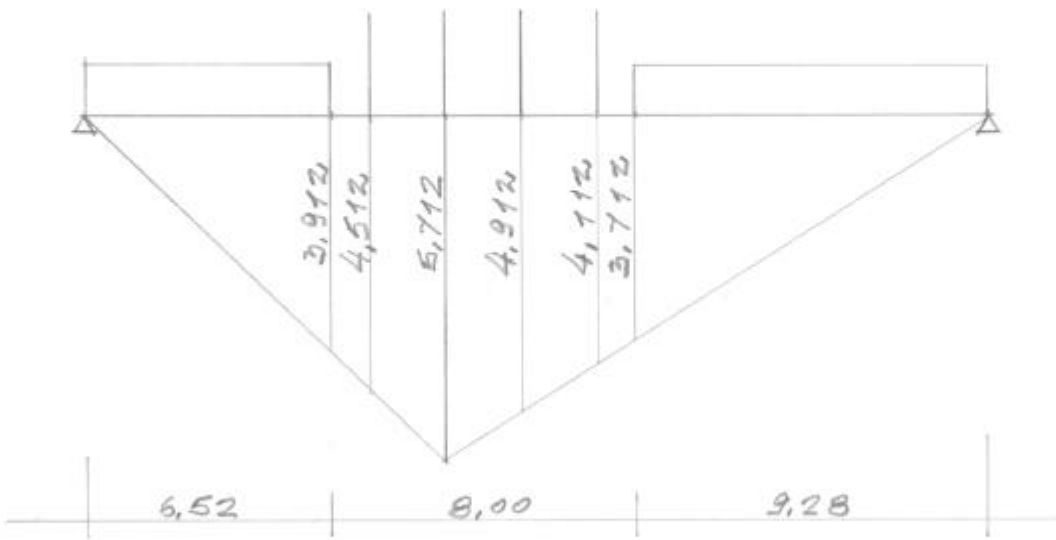
Ação na Viga :

$$N_w = 0,10 \times 3,50 \times (3,50/2 + 0,65) / 2,60 = 0,323 \text{ t/m}$$

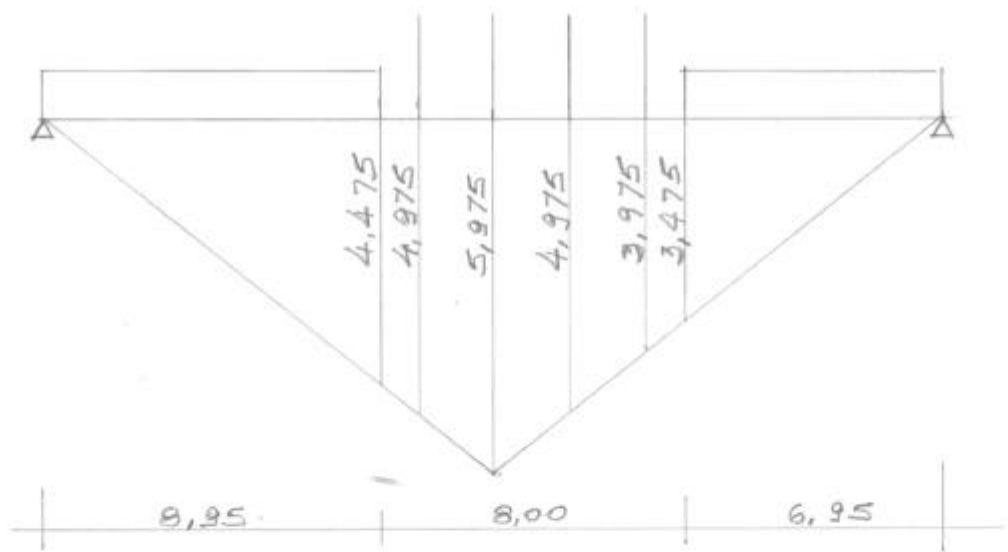
1) Viaduto Descarregado -

$$w = 0,150 \times (2,55 + 0,65) = 0,48 \text{ t/m}$$

54 -

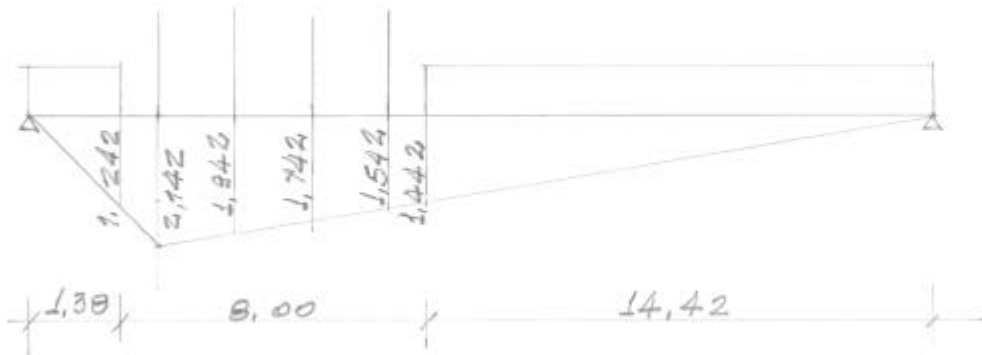


55 -

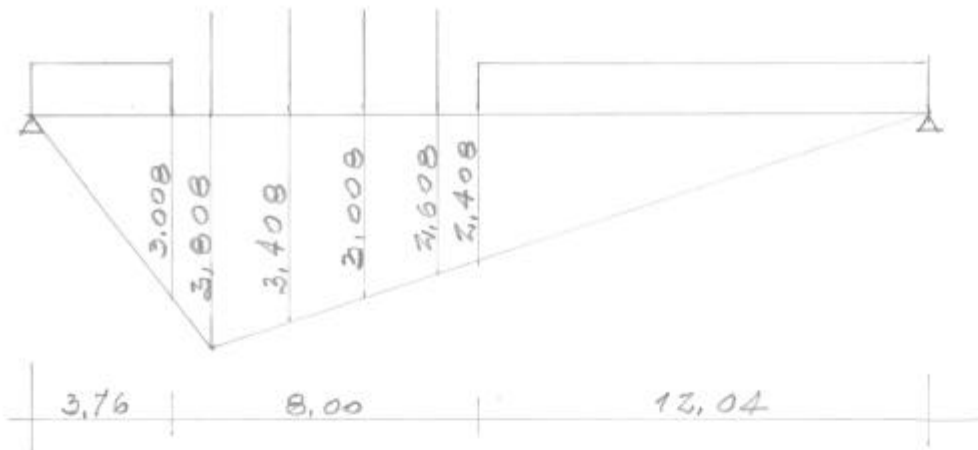


Momentos Fletores - $f = 23,00$

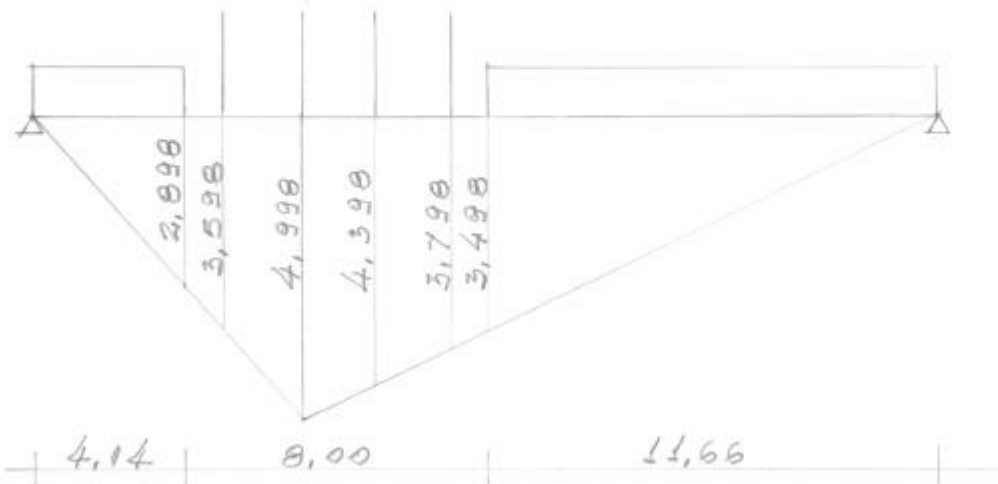
S1 -



S2 -



S3 -



Ordenadas de Influência - Momentos Fletores

| Seção | Área Mg | Área de Infl. | | Ordenada de Infl. | |
|-------|------------|---------------|--------|-------------------|--------|
| | | S máx. | S mín. | Y máx. | Y mín. |
| 0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 1 | 25,490 | 11,254 | 0,000 | 7,368 | 0,000 |
| 2 | 45,315 | 20,151 | 0,000 | 12,832 | 0,000 |
| 3 | 59,476 | 26,392 | 0,000 | 16,792 | 0,000 |
| 4 | 67,973 | 29,977 | 0,000 | 19,248 | 0,000 |
| 5 | 70,805 | 32,101 | 0,000 | 19,900 | 0,000 |

Momentos Fletores -

| Seção | M _{go} | M _{gi} | M _{gf} | M _{CL} | M _w | M _p | |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|
| | | | | | | máx | mín |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 58,56 | 114,07 | 188,96 | 3,86 | 8,24 | 252,31 | 0,00 |
| 2 | 104,11 | 202,79 | 335,92 | 6,85 | 14,64 | 443,93 | 0,00 |
| 3 | 136,65 | 266,16 | 440,90 | 9,00 | 19,22 | 581,11 | 0,00 |
| 4 | 156,17 | 304,18 | 503,88 | 10,28 | 21,96 | 663,86 | 0,00 |
| 5 | 162,67 | 316,85 | 524,88 | 10,76 | 22,88 | 695,40 | 0,00 |

Envoltória de Momentos Fletores -

| Seção | M _{total} | |
|-------|--------------------|--------|
| | máx | mín |
| 0 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 453,36 | 176,87 |
| 2 | 801,35 | 314,43 |
| 3 | 1050,22 | 412,69 |
| 4 | 1199,98 | 471,64 |
| 5 | 1253,91 | 491,25 |

Ordenadas de Influência - Esforços Cortantes

| Seção | Área Vg | Área de Infl. | | Ordenada de Infl. | |
|-------|---------|---------------|--------|-------------------|--------|
| | | S máx. | S mín. | Y máx. | Y mín. |
| 0 | 11,900 | 5,930 | 0,000 | 3,496 | 0,000 |
| 1 | 9,520 | 4,369 | 0,000 | 3,096 | -0,116 |
| 2 | 7,140 | 3,046 | 0,000 | 2,696 | -0,346 |
| 3 | 4,760 | 1,961 | 0,000 | 2,296 | -0,696 |
| 4 | 2,380 | 1,114 | -0,134 | 1,896 | -1,096 |
| 5 | 0,000 | 0,505 | -0,505 | 1,496 | -1,496 |

Esforços Cortantes

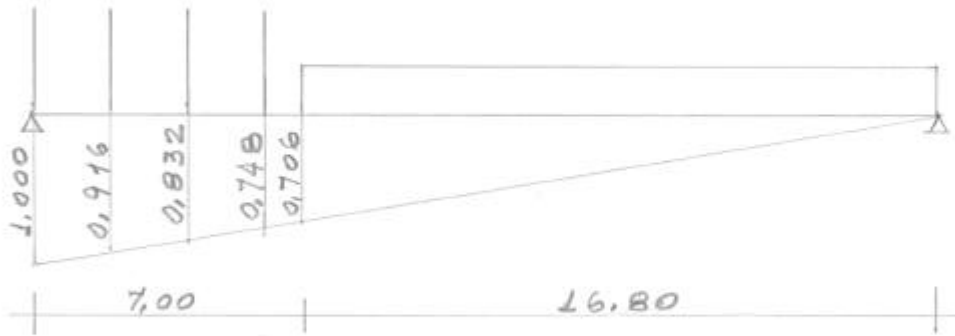
| Seção | V _{go} | V _{gi} | V _{gf} | V _{CL} | | V _w | |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|----------------|-------|
| | | | | máx | mín | máx | mín |
| 0 | 27,34 | 53,25 | 88,21 | 1,80 | 0,00 | 3,84 | 0,00 |
| 1 | 21,87 | 42,60 | 70,57 | 1,62 | -0,18 | 3,11 | -0,04 |
| 2 | 16,40 | 31,95 | 52,93 | 1,44 | -0,36 | 2,46 | -0,15 |
| 3 | 10,94 | 21,30 | 35,29 | 1,26 | -0,54 | 1,88 | -0,35 |
| 4 | 5,47 | 10,65 | 17,64 | 1,08 | -0,72 | 1,38 | -0,62 |
| 5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,90 | -0,90 | 0,96 | -0,96 |

Envoltória de Esforços Cortantes

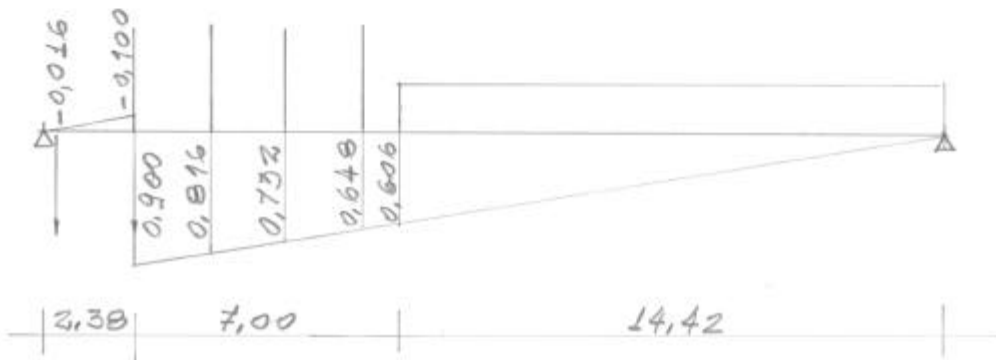
| Seção | V _p | | V _{total} | |
|-------|----------------|--------|--------------------|--------|
| | máx | mín | máx | mín |
| 0 | 124,54 | 0,00 | 218,40 | 88,21 |
| 1 | 103,09 | -2,53 | 178,39 | 67,83 |
| 2 | 83,57 | -7,53 | 140,40 | 44,88 |
| 3 | 66,00 | -15,15 | 104,43 | 19,25 |
| 4 | 50,38 | -24,95 | 70,48 | -8,65 |
| 5 | 36,69 | -36,69 | 38,56 | -38,56 |

ESFUEROS CORTANTES - $l = 23,80$

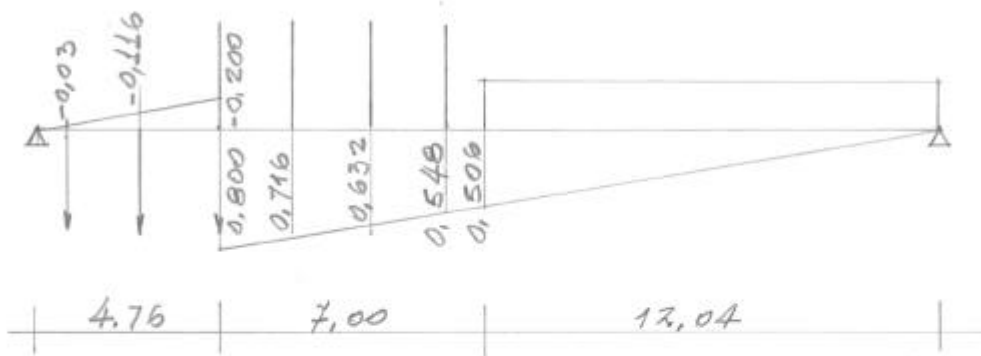
S0 -



S1 -



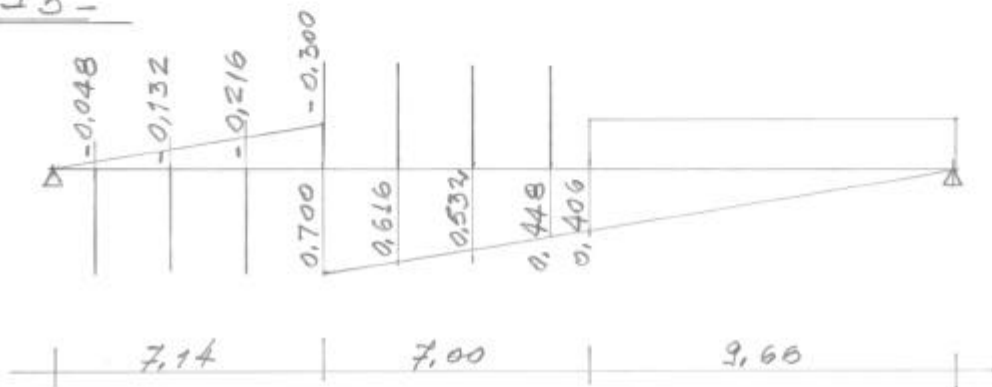
S2 -



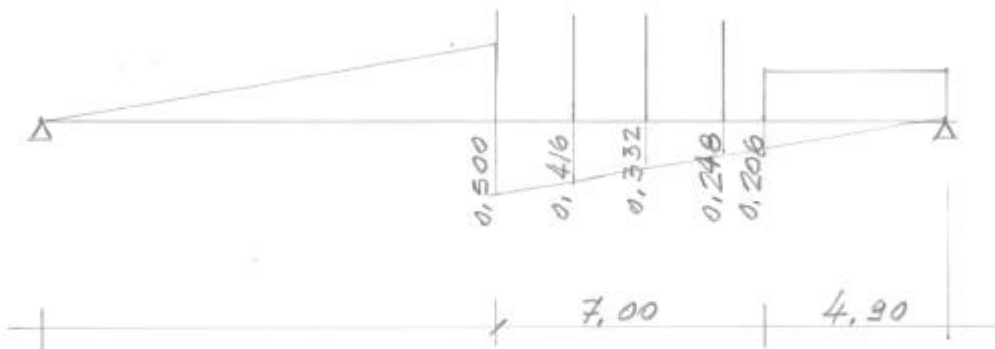
54 -



53 -



55 -



Pré-dimensionamento à Flexão

Seção 5

$$M_{go} = 162,67 \text{ tm}$$

$$\text{para } S_s = 0$$

$$0 = \frac{162,67}{0,467} + F \cdot \left(\frac{1}{0,919} - \frac{0,86}{0,467} \right) = 348,3 - 0,76 \times F$$

$$F = 457,2 \text{ t} \quad 3 \text{ cabos } 12 \phi 1/2''$$

$$S_s = \frac{162,67}{0,467} + 3 \cdot 156 \left(\frac{1}{0,919} + \frac{-0,86}{0,467} \right) = -8,3 \text{ t/m}^{\angle}$$

$$S_i = \frac{162,67}{-0,543} + 3 \cdot 156 \left(\frac{1}{0,919} + \frac{-0,86}{-0,543} \right) = 954,3 \text{ t/m}^{\angle}$$

$$M_{gi} = 316,85 \text{ tm}$$

$$S_s = \frac{316,85}{0,467} + 3 \cdot 156 \left(\frac{1}{0,919} + \frac{-0,86}{0,467} \right) = 321,9 \text{ t/m}^{\angle}$$

$$S_i = \frac{316,85}{-0,543} + 3 \cdot 156 \left(\frac{1}{0,919} + \frac{-0,86}{-0,543} \right) = 670,4 \text{ t/m}^{\angle}$$

- Cargas Máximas - $M_f = 1253,9 \text{ tm}$

$$S_i = \frac{1253,91}{-0,791} = -1585,2 \text{ t/m}^{\angle}$$

$$-1585,2 = F \cdot \left(\frac{1}{1,529} + \frac{-1,41}{-0,791} \right) = 2,44 \times F$$

$$F = 649,6 \text{ t} \quad 5 \text{ cabos } 12 \phi 1/2''$$

$$S_s = \frac{1253,91}{1,361} + 5 \cdot 130 \left(\frac{1}{1,529} + \frac{-1,41}{1,361} \right) = 771,5 \text{ t/m}^{\angle}$$

$$S_i = \frac{1253,91}{-0,791} + 5 \cdot 130 \left(\frac{1}{1,529} + \frac{-1,41}{-0,791} \right) = 1,0 \text{ t/m}^{\angle}$$

Laje em balanço do tabuleiro do encontro -

| | | | |
|-----|--------------------|---|----------|
| 1.1 | Carga Permanente - | | tm/m |
| | mureta | $0,15 \times 0,40 \times 2,5 \times 0,775$ | = -0,116 |
| | laje - | $0,20 \times 0,85 \times 2,5 \times 0,85 / 2$ | = -0,181 |
| | | $0,10 \times 0,85 / 2 \times 2,5 \times 0,85 / 3$ | = -0,030 |
| | pavimento - | $0,40 \times 0,70 \times 2,2 \times 0,70 / 2$ | = -0,216 |
| | | Xg_1 | = -0,543 |

1.2 Carga Acidental -

impacto vertical: $l = 0,85$ m
 $f = 1,547$

veículo -

$$Xp_1 = (1,547 \times 27,00 / 2,00 / 4,60) \times 0,70^2 / 2 = -1,112$$

1.3 Dimensionamento -

$f_{ck} = 35$ Mpa
aço CA-50

$$X = -1,655 \text{ tm/m}$$
$$As = 3,6 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \phi 10 \text{ c} / 10 \text{ cm}$$

Materiais

| | | | | | |
|----|----------------------------------|-----|---------------------|---------------------|----------------------------|
| 1. | Aço de Protensão | 12 | φ | 12,7 | - CP 190-RB |
| | área mínima | 12 | x | 98,7 | = 1184,40 mm ² |
| | carga de ruptura mínima | 12 | x | 18,73 | = 224,76 t |
| | carga mínima a 1% de alongamento | 12 | x | 16,86 | = 202,32 t |
| | f_{ptk} | = | 190,00 | kgf/mm ² | |
| | $0,77 f_{ptk}$ | = | 146,30 | kgf/mm ² | |
| | $f_{ptk} (1\%)$ | = | 170,82 | kgf/mm ² | |
| | $0,86 \cdot f_{ptk} (1\%)$ | = | 146,91 | kgf/mm ² | |
| | f_{pi} | = | 146,30 | kgf/mm ² | |
| | módulo de elasticidade: | | $E_p =$ | 19600 | kgf/mm ² |
| 2. | Concreto | | | | |
| | $f_{ck} =$ | 400 | kgf/cm ² | = | 40 Mpa |
| | módulo de elasticidade | | | $E_c =$ | 378000 kgf/cm ² |

Perdas de Protensão

Perdas Instantâneas de tensão

| | | | | | |
|----|---|----|---|------|------------------------|
| 1. | Perdas por atrito | | | | |
| | coeficiente de atrito em curva | | | = | 0,20 |
| | coeficiente de atrito em reta | | | = | 0,002 |
| 2. | Perdas por cravação do cone | 12 | φ | 12,7 | |
| | reco do cone, considerado | | | = | 6 mm |
| 3. | Perdas por deformação instantânea do concreto - | | | | |
| | n° de cabos | | | = | 5 |
| | tensão média de protensão | | | = | 70 kgf/cm ² |

Perda instantânea de tensão

$$\Delta f_p = a_p \cdot (s_{cp} + s_{cg}) \cdot \frac{n-1}{2 \cdot n} = \frac{1960000}{378000} \cdot 70 \cdot \frac{4}{10} = 145 \text{ kgf/cm}^2$$

1,45 kgf/mm²

Perdas diferidas de tensão

1 - Perdas por relaxação do aço

Relaxação do aço, $t = 0$, 3,0% a $0,75 F_r$

2 - Perdas por fluência do Concreto

$$\phi_{cc}(t, t_0) = e_{cca} + e_{ccf} + e_{ccd} = \frac{s_c \cdot \phi(t, t_0)}{E_{c28}}$$

t = idade fictícia do concreto no instante considerado em dias = ∞

t₀ = idade fictícia do concreto ao ser feito o carregamento

Considerando-se aplicação da protensão aos 7 dias de idade do concreto:

$$t = a \cdot t_{ef} = 2 \times 7 = 14 \text{ dias}$$

$$\phi_a = 0,35$$

$$\phi_{f00} = 2,72$$

$$b_f (t = \infty) = 0,97$$

$$b_f (t_0 = 14) = 0,17$$

$$\phi_{d00} = 0,4$$

$$b_d = 1, \text{ como } t = \infty$$

tensão média de protensão = 70 kgf/cm²

$$\phi(t, t_0) = \phi_a + \phi_{f00} \times [b_f(t) - b_f(t_0)] + \phi_{d00} \cdot b_d$$

$$\phi(t, t_0) = 2,93$$

$$\epsilon_{cc}(t, t_0) = \frac{S_c \cdot \phi(t, t_0)}{E_{c28}} = \frac{70}{378000} \times 2,93 = 5,43E-04$$

$$\Delta_{fp} = \epsilon_{cc}(t, t_0) \cdot E_p = 5,43E-04 \times 19600 = 10,64 \text{ kgf/mm}^2$$

3 - Perdas por retração do concreto

$$\epsilon_{cs}(t, t_0) = \epsilon_{cs00} \times [b_s(t) - b_s(t_0)]$$

$$\epsilon_{cs00} = \epsilon_{1s} \cdot \epsilon_{2s}$$

$$\epsilon_{1s} = 3,20E-04 \text{ (tabela 2 NBR-7197)}$$

$$\epsilon_{2s} = 0,80$$

$$b_s (t = \infty) = 1,00$$

$$b_s (t_0 = 14) = 0,06$$

$$\epsilon_{cs}(t, t_0) = 2,42E-04$$

$$\Delta_{fp} = \epsilon_{cs}(t, t_0) \cdot E_p = 2,42E-04 \times 19600 = 4,74 \text{ kgf/mm}^2$$

Soma perdas fluência + retração

$$\Delta_{fp} = 10,64 + 4,74 = 15,37 \text{ kgf/mm}^2$$

| fase 1 | | fase 2 | | Tensão (Fp2) | | | fase 3 | | | Tensão (Mg-compl) | | | fase 4 | | | Tensão (DFp2) | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| S _s | S _i | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i |
| 281,9 | 594,5 | 281,9 | 594,5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| -32,3 | 909,5 | 67,2 | 823,9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| -156,5 | 1054,1 | 23,6 | 899,2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| -149,0 | 1064,5 | 92,6 | 856,6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| -109,4 | 1035,1 | 165,3 | 798,8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| -96,7 | 1026,6 | 187,5 | 782,2 | | | | | | | | | | | | | | | |

| fase 1 | | fase 2 | | Tensão (Fp2) | | | fase 3 | | | Tensão (Mg-compl) | | | fase 4 | | | Tensão (DFp2) | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| S _s | S _i | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i |
| 355,0 | 706,3 | 355,0 | 706,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 355,0 | 706,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 355,0 | 706,3 | -78,5 | -82,5 | -119,4 |
| -54,4 | 1082,7 | 64,4 | 980,5 | 288,6 | 265,0 | 47,6 | 288,6 | 329,4 | 1028,1 | 55,0 | 40,3 | -94,7 | 343,6 | 369,7 | 933,5 | -122,0 | -131,3 | -217,3 |
| -208,5 | 1228,1 | 2,8 | 1046,3 | 109,2 | 136,8 | 390,1 | 109,2 | 139,6 | 1436,4 | 97,8 | 71,7 | -168,3 | 207,1 | 211,3 | 1268,1 | -35,1 | -65,5 | -344,9 |
| -203,7 | 1227,3 | 73,7 | 988,8 | -41,5 | 28,9 | 676,6 | -41,5 | 102,5 | 1665,4 | 128,4 | 94,1 | -220,9 | 86,9 | 196,7 | 1444,5 | 16,8 | -25,5 | -414,1 |
| -161,9 | 1191,3 | 155,1 | 918,8 | -99,6 | -12,6 | 787,2 | -99,6 | 142,4 | 1706,0 | 146,7 | 107,6 | -252,5 | 47,2 | 250,0 | 1453,5 | 30,8 | -13,5 | -420,8 |
| -147,9 | 1179,4 | 182,2 | 895,4 | -102,6 | -14,8 | 793,1 | -102,6 | 167,4 | 1688,6 | 152,9 | 112,1 | -263,0 | 50,3 | 279,5 | 1425,6 | 31,2 | -12,7 | -416,6 |

| fase 1 | | fase 2 | | Tensão (Fp2) | | | fase 3 | | | Tensão (Mg-compl) | | | fase 4 | | | Tensão (DFp2) | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| S _s | S _i | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i |
| 355,0 | 706,3 | 355,0 | 706,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 355,0 | 706,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 355,0 | 706,3 | -96,0 | -100,9 | -145,9 |
| -54,4 | 1082,7 | 64,4 | 980,5 | 288,6 | 265,0 | 47,6 | 288,6 | 329,4 | 1028,1 | 55,0 | 40,3 | -94,7 | 343,6 | 369,7 | 933,5 | -149,1 | -160,5 | -265,6 |
| -208,5 | 1228,1 | 2,8 | 1046,3 | 109,2 | 136,8 | 390,1 | 109,2 | 139,6 | 1436,4 | 97,8 | 71,7 | -168,3 | 207,1 | 211,3 | 1268,1 | -42,9 | -80,1 | -421,6 |
| -203,7 | 1227,3 | 73,7 | 988,8 | -41,5 | 28,9 | 676,6 | -41,5 | 102,5 | 1665,4 | 128,4 | 94,1 | -220,9 | 86,9 | 196,7 | 1444,5 | 20,5 | -31,1 | -506,1 |
| -161,9 | 1191,3 | 155,1 | 918,8 | -99,6 | -12,6 | 787,2 | -99,6 | 142,4 | 1706,0 | 146,7 | 107,6 | -252,5 | 47,2 | 250,0 | 1453,5 | 37,7 | -16,5 | -514,4 |
| -147,9 | 1179,4 | 182,2 | 895,4 | -102,6 | -14,8 | 793,1 | -102,6 | 167,4 | 1688,6 | 152,9 | 112,1 | -263,0 | 50,3 | 279,5 | 1425,6 | 38,1 | -15,5 | -509,1 |

| fase 5 | | | Tensão (Macid) | | | fase 6 | | | As | | |
|-----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----|---|---|
| S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | s1 | s | i |

| fase 5 | | | Tensão (Macid) | | | fase 6 | | | As | | |
|-----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|---|---|
| S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | s1 | s | i |
| -78,5 | 272,5 | 586,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -78,5 | 272,5 | 586,9 | | | |
| 221,6 | 238,4 | 716,2 | 194,3 | 142,5 | -334,3 | 415,9 | 380,9 | 381,9 | | | |
| 171,9 | 145,8 | 923,2 | 342,0 | 250,8 | -588,4 | 513,9 | 396,5 | 334,8 | | | |
| 103,7 | 171,2 | 1030,4 | 447,7 | 328,3 | -770,3 | 551,4 | 499,5 | 260,1 | | | |
| 78,0 | 236,6 | 1032,6 | 511,5 | 375,0 | -880,0 | 589,4 | 611,6 | 152,6 | -20,4 | | |
| 81,5 | 266,8 | 1009,0 | 535,7 | 392,8 | -921,7 | 617,1 | 659,6 | 87,4 | -21,0 | | |

| fase 5 | | | Tensão (Macid) | | | fase 6 | | | As | | |
|-----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|------|-----|
| S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | S _{s1} | S _s | S _i | s1 | s | i |
| -96,0 | 254,1 | 560,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -96,0 | 254,1 | 560,4 | | 79,2 | |
| 194,5 | 209,2 | 667,9 | 194,3 | 142,5 | -334,3 | 388,8 | 351,7 | 333,6 | | 0,6 | |
| 164,1 | 131,2 | 846,6 | 342,0 | 250,8 | -588,4 | 506,1 | 382,0 | 258,2 | | 6,7 | |
| 107,4 | 165,6 | 938,4 | 447,7 | 328,3 | -770,3 | 555,1 | 493,9 | 168,1 | -6,4 | | |
| 84,8 | 233,6 | 939,1 | 511,5 | 375,0 | -880,0 | 596,3 | 608,6 | 59,1 | -15,5 | | |
| 88,4 | 264,0 | 916,5 | 535,7 | 392,8 | -921,7 | 624,0 | 656,8 | -5,2 | -15,9 | | 0,0 |

Cálculo das Tensõesem t / m²

| Seção | Ac _o | Ws _o | Wi _o | h _o | Fp | Mp | Mg _o | Mgcompl _o | Ac | Ws | Wi | Fp2 | Mp2 | ΔFp | ΔMp | h | Mg-compl | Macid. |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------|---------|-----------------|----------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|---|----------|--------|
| 1 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 413,55 | -78,48 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | | |
| 2 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 435,65 | -295,03 | 58,56 | 46,49 | | | | | | | | | | |
| 3 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 454,30 | -408,05 | 104,11 | 84,11 | | | | | | | | | | |
| 4 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 462,59 | -441,31 | 136,65 | 112,86 | | | | | | | | | | |
| 5 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 464,91 | -443,52 | 156,17 | 128,29 | | | | | | | | | | |
| 6 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 466,16 | -444,71 | 162,67 | 132,72 | | | | | | | | | | |

fase 1 = viga premoldada (peso próprio inicial + protensão (fpo) t = 0)

fase 2 = fase 1 + laje premoldada + enchimento

fase 3 = fase 2 + protensão segunda fase

fase 4 = fase 3 + carga permanente complementar

fase 5 = fase 4 + perdas de protensão

fase 6 = fase 5 + carga accidental

Cálculo das Tensões**Protensão Superior**

| Seção | Ac _o | Ws _o | Wi _o | h _o | Fp | Mp | Mg _o | Mgcompl _o | Ac | Ws | Wi | Fp2 | Mp2 | ΔFp | ΔMp | h | Mg-compl | Macid. |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------|---------|-----------------|----------------------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|--------|------|----------|--------|
| 1 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 499,82 | -88,20 | 0,00 | 0,00 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 0,00 | 0,00 | -143,04 | 20,44 | 2,55 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 511,82 | -344,08 | 58,56 | 55,51 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 305,84 | 120,55 | -240,09 | 47,68 | 2,55 | 74,89 | 264,40 |
| 3 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 518,15 | -464,80 | 104,11 | 98,68 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 324,88 | -140,50 | -227,81 | 154,97 | 2,55 | 133,13 | 465,43 |
| 4 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 519,83 | -495,92 | 136,65 | 129,51 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 340,12 | -359,25 | -216,49 | 215,54 | 2,55 | 174,74 | 609,32 |
| 5 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 519,83 | -495,92 | 156,17 | 148,01 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 346,13 | -443,60 | -206,73 | 225,94 | 2,55 | 199,70 | 696,10 |
| 6 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 519,83 | -495,92 | 162,67 | 154,18 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 346,56 | -448,10 | -203,95 | 223,99 | 2,55 | 208,03 | 729,03 |

fase 1 = viga premoldada (peso próprio inicial + protensão (fpi) t = 0)

fase 2 = fase 1 + laje premoldada + enchimento

fase 3 = fase 2 + protensão segunda fase

fase 4 = fase 3 + carga permanente complementar

fase 5 = fase 4 + perdas de protensão

fase 6 = fase 5 + carga accidental

Cálculo das Tensões**Protensão Inferior**

| Seção | Ac _o | Ws _o | Wi _o | h _o | Fp | Mp | Mg _o | Mgcompl _o | Ac | Ws | Wi | Fp2 | Mp2 | ΔFp | ΔMp | h | Mg-compl | Macid. |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------|---------|-----------------|----------------------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|--------|------|----------|--------|
| 1 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 499,82 | -88,20 | 0,00 | 0,00 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 0,00 | 0,00 | -174,82 | 24,98 | 2,55 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 511,82 | -344,08 | 58,56 | 55,51 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 305,84 | 120,55 | -293,45 | 58,27 | 2,55 | 74,89 | 264,40 |
| 3 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 518,15 | -464,80 | 104,11 | 98,68 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 324,88 | -140,50 | -278,44 | 189,41 | 2,55 | 133,13 | 465,43 |
| 4 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 519,83 | -495,92 | 136,65 | 129,51 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 340,12 | -359,25 | -264,60 | 263,44 | 2,55 | 174,74 | 609,32 |
| 5 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 519,83 | -495,92 | 156,17 | 148,01 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 346,13 | -443,60 | -252,66 | 276,15 | 2,55 | 199,70 | 696,10 |
| 6 | 0,919 | 0,467 | -0,543 | 2,30 | 519,83 | -495,92 | 162,67 | 154,18 | 1,529 | 1,361 | -0,791 | 346,56 | -448,10 | -249,27 | 273,76 | 2,55 | 208,03 | 729,03 |

fase 1 = viga premoldada (peso próprio inicial + protensão t = 0)

fase 2 = fase 1 + laje premoldada + enchimento

fase 3 = fase 2 + protensão segunda fase

fase 4 = fase 3 + carga permanente complementar

fase 5 = fase 4 + perdas de protensão

fase 6 = fase 5 + carga accidental

| Seção | fase 1 | | fase 2 | | Tensão (Fp2) | | | fase 3 | | | Tensão (Mg-compl) | | | fase 4 | | | Tensão ($\Delta Fp2$) | | |
|-------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------------------------|------------|------------|
| | σ_s | σ_i | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i |
| 1 | 281,9 | 594,5 | 281,9 | 594,5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | -32,3 | 909,5 | 67,2 | 823,9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | -156,5 | 1054,1 | 23,6 | 899,2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | -149,0 | 1064,5 | 92,6 | 856,6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | -109,4 | 1035,1 | 165,3 | 798,8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | -96,7 | 1026,6 | 187,5 | 782,2 | | | | | | | | | | | | | | | |

| Seção | fase 1 | | fase 2 | | Tensão (Fp2) | | | fase 3 | | | Tensão (Mg-compl) | | | fase 4 | | | Tensão ($\Delta Fp2$) | | |
|-------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------------------------|------------|------------|
| | σ_s | σ_i | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i |
| 1 | 355,0 | 706,3 | 355,0 | 706,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 355,0 | 706,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 355,0 | 706,3 | -78,5 | -82,5 | -119,4 |
| 2 | -54,4 | 1082,7 | 64,4 | 980,5 | 288,6 | 265,0 | 47,6 | 288,6 | 329,4 | 1028,1 | 55,0 | 40,3 | -94,7 | 343,6 | 369,7 | 933,5 | -122,0 | -131,3 | -217,3 |
| 3 | -208,5 | 1228,1 | 2,8 | 1046,3 | 109,2 | 136,8 | 390,1 | 109,2 | 139,6 | 1436,4 | 97,8 | 71,7 | -168,3 | 207,1 | 211,3 | 1268,1 | -35,1 | -65,5 | -344,9 |
| 4 | -203,7 | 1227,3 | 73,7 | 988,8 | -41,5 | 28,9 | 676,6 | -41,5 | 102,5 | 1665,4 | 128,4 | 94,1 | -220,9 | 86,9 | 196,7 | 1444,5 | 16,8 | -25,5 | -414,1 |
| 5 | -161,9 | 1191,3 | 155,1 | 918,8 | -99,6 | -12,6 | 787,2 | -99,6 | 142,4 | 1706,0 | 146,7 | 107,6 | -252,5 | 47,2 | 250,0 | 1453,5 | 30,8 | -13,5 | -420,8 |
| 6 | -147,9 | 1179,4 | 182,2 | 895,4 | -102,6 | -14,8 | 793,1 | -102,6 | 167,4 | 1688,6 | 152,9 | 112,1 | -263,0 | 50,3 | 279,5 | 1425,6 | 31,2 | -12,7 | -416,6 |

| Seção | fase 1 | | fase 2 | | Tensão (Fp2) | | | fase 3 | | | Tensão (Mg-compl) | | | fase 4 | | | Tensão ($\Delta Fp2$) | | |
|-------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------------------------|------------|------------|
| | σ_s | σ_i | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i |
| 1 | 355,0 | 706,3 | 355,0 | 706,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 355,0 | 706,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 355,0 | 706,3 | -96,0 | -100,9 | -145,9 |
| 2 | -54,4 | 1082,7 | 64,4 | 980,5 | 288,6 | 265,0 | 47,6 | 288,6 | 329,4 | 1028,1 | 55,0 | 40,3 | -94,7 | 343,6 | 369,7 | 933,5 | -149,1 | -160,5 | -265,6 |
| 3 | -208,5 | 1228,1 | 2,8 | 1046,3 | 109,2 | 136,8 | 390,1 | 109,2 | 139,6 | 1436,4 | 97,8 | 71,7 | -168,3 | 207,1 | 211,3 | 1268,1 | -42,9 | -80,1 | -421,6 |
| 4 | -203,7 | 1227,3 | 73,7 | 988,8 | -41,5 | 28,9 | 676,6 | -41,5 | 102,5 | 1665,4 | 128,4 | 94,1 | -220,9 | 86,9 | 196,7 | 1444,5 | 20,5 | -31,1 | -506,1 |
| 5 | -161,9 | 1191,3 | 155,1 | 918,8 | -99,6 | -12,6 | 787,2 | -99,6 | 142,4 | 1706,0 | 146,7 | 107,6 | -252,5 | 47,2 | 250,0 | 1453,5 | 37,7 | -16,5 | -514,4 |
| 6 | -147,9 | 1179,4 | 182,2 | 895,4 | -102,6 | -14,8 | 793,1 | -102,6 | 167,4 | 1688,6 | 152,9 | 112,1 | -263,0 | 50,3 | 279,5 | 1425,6 | 38,1 | -15,5 | -509,1 |

| fase 5 | | | Tensão (Macid) | | | fase 6 | | | As | | |
|---------------|------------|------------|------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|----|---|---|
| σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | s1 | s | i |

| fase 5 | | | Tensão (Macid) | | | fase 6 | | | As | | |
|---------------|------------|------------|------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------|---|---|
| σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | s1 | s | i |
| -78,5 | 272,5 | 586,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -78,5 | 272,5 | 586,9 | | | |
| 221,6 | 238,4 | 716,2 | 194,3 | 142,5 | -334,3 | 415,9 | 380,9 | 381,9 | | | |
| 171,9 | 145,8 | 923,2 | 342,0 | 250,8 | -588,4 | 513,9 | 396,5 | 334,8 | | | |
| 103,7 | 171,2 | 1030,4 | 447,7 | 328,3 | -770,3 | 551,4 | 499,5 | 260,1 | | | |
| 78,0 | 236,6 | 1032,6 | 511,5 | 375,0 | -880,0 | 589,4 | 611,6 | 152,6 | -20,4 | | |
| 81,5 | 266,8 | 1009,0 | 535,7 | 392,8 | -921,7 | 617,1 | 659,6 | 87,4 | -21,0 | | |

| fase 5 | | | Tensão (Macid) | | | fase 6 | | | As | | |
|---------------|------------|------------|------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------|------|-----|
| σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | σ_{s1} | σ_s | σ_i | s1 | s | i |
| -96,0 | 254,1 | 560,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -96,0 | 254,1 | 560,4 | | 79,2 | |
| 194,5 | 209,2 | 667,9 | 194,3 | 142,5 | -334,3 | 388,8 | 351,7 | 333,6 | | 0,6 | |
| 164,1 | 131,2 | 846,6 | 342,0 | 250,8 | -588,4 | 506,1 | 382,0 | 258,2 | | 6,7 | |
| 107,4 | 165,6 | 938,4 | 447,7 | 328,3 | -770,3 | 555,1 | 493,9 | 168,1 | -6,4 | | |
| 84,8 | 233,6 | 939,1 | 511,5 | 375,0 | -880,0 | 596,3 | 608,6 | 59,1 | -15,5 | | |
| 88,4 | 264,0 | 916,5 | 535,7 | 392,8 | -921,7 | 624,0 | 656,8 | -5,2 | -15,9 | | 0,0 |

Perda por Atrito, cravação e deformação instantânea:

viga I - vão 24,50 - vão curvo
cabos 12 ϕ 12,7 CP-190/RB (pós tracionado) C1 a C5

- $f_{p\text{-atrito}}$ perdas por atrito
- $\Delta f_{p\text{-crav}}$ perdas por cravação do cone de ancoragem
- $f_{p\text{-dinst}}$ perdas por deformação instantânea do concreto
- $f_p t=0$ tensão de protensão após as perdas acima
- $f_p t= \infty$ tensão de protensão após todas as perdas

| Cabo 1 | | 12 ϕ 12,7 | | | | | | | | t=0 | t= inf. | | | f _{po} (x) t=0 | | | f _p (x) t= inf. | | | |
|--------|----------------|----------------|----------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Seção | x _i | y _i | α | $\Delta\alpha$ | f _{pi} | f _{p-atrito} | $\Delta f_{p\text{-crav}}$ | f _{p-crav} | f _{p-dinst} | f _p | f _p | N _{pi} | V _{pi} | M _{pi} | N _{po} | V _{po} | M _{po} | N _p | V _p | M _p |
| 0 | 0,35 | 0,344 | 6,0 | 0,0 | 146,3 | 146,2 | -17,6 | 128,6 | 126,5 | 126,5 | 105,1 | 172,33 | 18,10 | -124,08 | 148,99 | 15,65 | -107,27 | 123,74 | 13,00 | -89,10 |
| 1 | 2,73 | 0,120 | 3,0 | 3,0 | 146,3 | 144,0 | -13,2 | 130,8 | 128,7 | 128,7 | 107,2 | 173,04 | 9,06 | -163,35 | 152,22 | 7,97 | -143,69 | 126,79 | 6,64 | -119,69 |
| 2 | 5,11 | 0,110 | 0,0 | 6,0 | 146,3 | 141,8 | -8,8 | 133,0 | 130,9 | 130,9 | 109,3 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 155,01 | 0,00 | -147,88 | 129,47 | 0,00 | -123,51 |
| 3 | 7,49 | 0,110 | 0,0 | 6,0 | 146,3 | 141,1 | -7,5 | 133,7 | 131,5 | 131,5 | 110,0 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 155,81 | 0,00 | -148,64 | 130,24 | 0,00 | -124,25 |
| 4 | 9,87 | 0,110 | 0,0 | 6,0 | 146,3 | 140,5 | -6,1 | 134,3 | 132,2 | 132,2 | 110,6 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 156,60 | 0,00 | -149,40 | 131,02 | 0,00 | -124,99 |
| 5 | 12,25 | 0,110 | 0,0 | 6,0 | 146,3 | 139,8 | -4,8 | 135,0 | 132,9 | 132,9 | 111,3 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 157,39 | 0,00 | -150,15 | 131,78 | 0,00 | -125,72 |

| Cabo 2 | | 12 ϕ 12,7 | | | | | | | | t=0 | t= inf. | | | f _{po} (x) t=0 | | | f _p (x) t= inf. | | | |
|--------|----------------|----------------|----------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Seção | x _i | y _i | α | $\Delta\alpha$ | f _{pi} | f _{p-atrito} | $\Delta f_{p\text{-crav}}$ | f _{p-crav} | f _{p-dinst} | f _p | f _p | N _{pi} | V _{pi} | M _{pi} | N _{po} | V _{po} | M _{po} | N _p | V _p | M _p |
| 0 | 0,35 | 0,889 | 17,0 | 0,0 | 146,3 | 146,2 | -25,6 | 120,6 | 118,5 | 118,5 | 97,3 | 165,71 | 50,64 | -29,00 | 134,21 | 41,01 | -23,49 | 110,20 | 33,67 | -19,29 |
| 1 | 2,73 | 0,336 | 10,0 | 7,0 | 146,3 | 142,0 | -17,2 | 124,8 | 122,7 | 122,7 | 101,4 | 170,65 | 30,07 | -124,23 | 143,11 | 25,22 | -104,19 | 118,25 | 20,84 | -86,09 |
| 2 | 5,11 | 0,110 | 0,0 | 17,0 | 146,3 | 136,5 | -6,1 | 130,3 | 128,2 | 128,2 | 106,7 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 151,87 | 0,00 | -144,88 | 126,42 | 0,00 | -120,61 |
| 3 | 7,49 | 0,110 | 0,0 | 17,0 | 146,3 | 135,8 | -4,8 | 131,0 | 128,9 | 128,9 | 107,4 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 152,63 | 0,00 | -145,61 | 127,17 | 0,00 | -121,32 |
| 4 | 9,87 | 0,110 | 0,0 | 17,0 | 146,3 | 135,2 | -3,5 | 131,6 | 129,5 | 129,5 | 108,0 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 153,40 | 0,00 | -146,34 | 127,91 | 0,00 | -122,03 |
| 5 | 12,25 | 0,110 | 0,0 | 17,0 | 146,3 | 134,5 | -2,2 | 132,3 | 130,2 | 130,2 | 108,6 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 154,16 | 0,00 | -147,07 | 128,65 | 0,00 | -122,73 |

| Cabo 3 | | 12 ϕ 12,7 | | | | | | | | t=0 | t= inf. | | | f _{po} (x) t=0 | | | f _p (x) t= inf. | | | |
|--------|----------------|----------------|----------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Seção | x _i | y _i | α | $\Delta\alpha$ | f _{pi} | f _{p-atrito} | $\Delta f_{p\text{-crav}}$ | f _{p-crav} | f _{p-dinst} | f _p | f _p | N _{pi} | V _{pi} | M _{pi} | N _{po} | V _{po} | M _{po} | N _p | V _p | M _p |
| 0 | 0,35 | 1,465 | 21,0 | 0,0 | 146,3 | 146,2 | -26,2 | 120,0 | 117,9 | 117,9 | 96,7 | 161,78 | 62,07 | 64,87 | 130,36 | 50,01 | 52,27 | 106,94 | 41,03 | 42,88 |
| 1 | 2,73 | 0,728 | 14,0 | 7,0 | 146,3 | 142,0 | -17,8 | 124,2 | 122,1 | 122,1 | 100,8 | 168,14 | 41,90 | -56,49 | 140,32 | 49,60 | -47,15 | 115,84 | 28,87 | -38,92 |
| 2 | 5,11 | 0,282 | 8,0 | 13,0 | 146,3 | 138,4 | -10,6 | 127,8 | 125,7 | 125,7 | 104,3 | 171,59 | 24,10 | -134,19 | 147,43 | 29,38 | -115,29 | 122,33 | 17,18 | -95,66 |
| 3 | 7,49 | 0,110 | 0,0 | 21,0 | 146,3 | 133,9 | -1,7 | 132,3 | 130,2 | 130,2 | 108,6 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 154,16 | 0,00 | -147,06 | 128,64 | 0,00 | -122,73 |
| 4 | 9,87 | 0,110 | 0,0 | 21,0 | 146,3 | 133,3 | -0,4 | 132,9 | 130,8 | 130,8 | 109,2 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 154,91 | 0,00 | -147,78 | 129,38 | 0,00 | -123,42 |
| 5 | 12,25 | 0,110 | 0,0 | 21,0 | 146,3 | 132,7 | | 132,7 | 130,5 | 130,5 | 109,0 | 173,28 | 0,00 | -165,31 | 154,61 | 0,00 | -147,49 | 129,08 | 0,00 | -123,14 |

| Cabo 4 | | 12 ϕ 12,7 | | | | | | | | t=0 | t= inf. | | | f _{po} (x) t=0 | | | f _p (x) t= inf. | | | |
|--------|----------------|----------------|----------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Seção | x _i | y _i | α | $\Delta\alpha$ | f _{pi} | f _{p-atrito} | $\Delta f_{p\text{-crav}}$ | f _{p-crav} | f _{p-dinst} | f _p | f _p | N _{pi} | V _{pi} | M _{pi} | N _{po} | V _{po} | M _{po} | N _p | V _p | M _p |
| entr | 0,00 | 2,300 | 30,0 | 0,0 | 146,3 | 146,3 | -33,4 | 112,9 | 110,8 | 110,8 | 89,8 | 150,09 | 86,60 | 103,11 | 113,65 | 65,57 | 78,08 | 92,15 | 53,17 | 63,30 |
| 1 | 1,15 | 1,725 | 26,0 | 4,0 | 146,3 | 143,9 | -28,7 | 115,3 | 113,1 | 113,1 | 92,1 | 155,76 | 75,92 | 17,44 | 120,46 | 58,72 | 13,49 | 98,07 | 47,80 | 10,98 |
| 2 | 3,53 | 0,837 | 16,0 | 14,0 | 146,3 | 138,3 | -17,5 | 120,9 | 118,7 | 118,7 | 97,5 | 166,57 | 47,74 | -129,26 | 135,20 | 38,75 | -104,92 | 111,07 | 31,83 | -86,19 |
| 3 | 5,91 | 0,361 | 7,0 | 23,0 | 146,3 | 133,4 | -7,6 | 125,8 | 123,7 | 123,7 | 102,3 | 171,99 | 21,11 | -215,33 | 145,38 | 17,84 | -182,02 | 120,29 | 14,76 | -150,60 |
| 4 | 8,29 | 0,250 | 0,0 | 30,0 | 146,3 | 129,6 | 0,1 | 129,6 | 127,5 | 127,5 | 106,0 | 173,28 | 0,00 | -236,18 | 151,02 | 0,00 | -205,84 | 125,60 | 0,00 | -171,20 |
| 5 | 10,67 | 0,250 | 0,0 | 30,0 | 146,3 | 129,0 | 0,0 | 129,0 | 126,8 | 126,8 | 105,4 | 173,28 | 0,00 | -236,18 | 150,22 | 0,00 | -204,75 | 124,83 | 0,00 | -170,14 |

| Cabo 5 | | 12 ϕ 12,7 | | | | | | | | t=0 | t= inf. | | | f _{po} (x) t=0 | | | f _p (x) t= inf. | | | |
|--------|----------------|----------------|----------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Seção | x _i | y _i | α | $\Delta\alpha$ | f _{pi} | f _{p-atrito} | $\Delta f_{p\text{-crav}}$ | f _{p-crav} | f _{p-dinst} | f _p | f _p | N _{pi} | V _{pi} | M _{pi} | N _{po} | V _{po} | M _{po} | N _p | V _p | M _p |
| entr | 0,00 | 2,300 | 30,0 | 0,0 | 146,3 | 146,3 | -33,6 | 112,7 | 110,6 | 110,6 | 89,6 | 150,09 | 86,60 | -242,09 | 113,44 | 65,46 | -182,98 | 91,95 | 53,05 | -148,31 |
| 2 | 1,50 | 1,542 | 24,0 | 6,0 | 146,3 | 142,8 | -26,7 | 116,2 | 114,0 | 114,0 | 93,0 | 158,31 | 70,44 | -11,24 | 113,44 | 65,46 | 77,93 | 91,95 | 53,05 | 63,17 |
| 3 | 3,88 | 0,757 | 14,0 | 16,0 | 146,3 | 137,3 | -15,5 | 121,7 | 119,6 | 119,6 | 98,4 | 168,14 | 41,90 | -143,92 | 123,41 | 54,91 | -8,76 | 100,62 | 44,78 | -7,14 |
| 4 | 6,26 | 0,413 | 4,0 | 26,0 | 146,3 | 131,9 | -4,9 | 127,1 | 125,0 | 125,0 | 103,6 | 172,86 | 12,08 | -207,43 | 137,46 | 34,25 | -117,66 | 113,07 | 28,18 | -96,79 |
| 5 | 8,64 | 0,390 | 0,0 | 30,0 | 146,3 | 129,5 | | 129,5 | 127,4 | 127,4 | 105,9 | 173,28 | 0,00 | -211,92 | 147,63 | 10,32 | -177,16 | 122,37 | 8,55 | -146,84 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 150,85 | 0,00 | -184,48 | 125,43 | 0,00 | -153,41 |

| Cabo 6 | | 0 ϕ 12,7 | | | | | | | | | t=0 | t= inf. | f _{pi} t=0 | | | f _{po} (x) t=0 | | | f _p (x) t= inf. | | |
|--------|----------------|----------------|----------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------|----------------------------|------|------|
| Seção | x _i | y _i | α | $\Delta\alpha$ | f _{pi} | f _{p-atrito} | Δf_{pcrav} | f _{p-crav} | f _{p-dinst} | f _p | f _p | Np _i | Vp _i | Mp _i | Np _o | Vp _o | Mp _o | Np | Vp | Mp | |
| entr | | | | 0,0 | 146,3 | 146,3 | -22,6 | 123,7 | 121,6 | 121,6 | 100,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | | | | 0,0 | 146,3 | 146,3 | -22,6 | 123,7 | 121,6 | 121,6 | 100,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | | | | 0,0 | 146,3 | 146,3 | -22,6 | 123,7 | 121,6 | 121,6 | 100,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | | | | 0,0 | 146,3 | 146,3 | -22,6 | 123,7 | 121,6 | 121,6 | 100,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | | | | 0,0 | 146,3 | 146,3 | -22,6 | 123,7 | 121,6 | 121,6 | 100,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Cordoalhas de 1 a 3 - protensão t= 0

| Seção | Np _o | Mp _o | Vp _o |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 413,55 | -78,48 | 106,67 |
| 2 | 435,65 | -295,03 | 82,79 |
| 3 | 454,30 | -408,05 | 29,38 |
| 4 | 462,59 | -441,31 | 0,00 |
| 5 | 464,91 | -443,52 | 0,00 |
| 6 | 466,16 | -444,71 | 0,00 |

Cordoalhas de 1 a 3 - protensão t= 0

| Seção | Np _i | Mp _i | Vp _i |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 499,82 | -88,20 | -130,81 |
| 2 | 511,82 | -344,08 | -81,04 |
| 3 | 518,15 | -464,80 | -24,10 |
| 4 | 519,83 | -495,92 | 0,00 |
| 5 | 519,83 | -495,92 | 0,00 |
| 6 | 519,83 | -495,92 | 0,00 |

Cordoalhas de 4 a 6 - protensão t= 0

| Seção | Np _i | Mp _i | Vp _i |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 305,84 | 120,55 | -162,52 |
| 3 | 324,88 | -140,50 | -118,18 |
| 4 | 340,12 | -359,25 | -63,01 |
| 5 | 346,13 | -443,60 | -12,08 |
| 6 | 346,56 | -448,10 | 0,00 |

Cordoalhas de 1 a 6 - protensão t= inf.

| Seção | Np | Mp | Vp |
|-------|--------|---------|---------|
| 1 | 340,89 | -65,50 | -87,70 |
| 2 | 550,90 | -170,55 | -157,21 |
| 3 | 589,91 | -433,11 | -93,79 |
| 4 | 619,41 | -615,68 | -42,94 |
| 5 | 636,27 | -688,48 | -8,55 |
| 6 | 639,78 | -695,14 | 0,00 |

Cordoalhas de 1 a 6 - perdas prot t= inf.

| Seção | ΔNp | ΔMp | ΔVp |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | -158,93 | 22,71 | 43,10 |
| 2 | -266,77 | 52,97 | 86,36 |
| 3 | -253,12 | 172,19 | 48,50 |
| 4 | -240,54 | 239,49 | 20,07 |
| 5 | -229,70 | 251,05 | 3,53 |
| 6 | -226,61 | 248,87 | 0,00 |

Cordoalhas de 1 a 6 - perdas - prot (sup.)

| Seção | ΔNp | ΔMp | ΔVp |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | -143,04 | 20,44 | 38,79 |
| 1 | -240,09 | 47,68 | 77,72 |
| 2 | -227,81 | 154,97 | 43,65 |
| 3 | -216,49 | 215,54 | 18,06 |
| 4 | -206,73 | 225,94 | 3,18 |
| 5 | -203,95 | 223,99 | 0,00 |

Cordoalhas de 1 a 6 - perdas - prot (inf.)

| Seção | ΔNp | ΔMp | ΔVp |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | -174,82 | 24,98 | 47,41 |
| 1 | -293,45 | 58,27 | 94,99 |
| 2 | -278,44 | 189,41 | 53,35 |
| 3 | -264,60 | 263,44 | 22,07 |
| 4 | -252,66 | 276,15 | 3,88 |
| 5 | -249,27 | 273,76 | 0,00 |

Esforços Cortantes

Estado limite último

$$Vd = 1,35 \times Vg + 1,5 \times Vq$$

$$Vd = 1,00 \times Vg + 1,5 \times Vq$$

| Seção | Vg | Vp | | Vprot | | Vrd | | fadiga |
|-------|-------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| | | máx | mín | sup | inf | máx | mín | |
| 0 | 88,21 | 130,19 | 0,00 | -92,01 | -83,39 | 230,98 | -3,80 | 1,064 |
| 1 | 70,57 | 107,82 | -2,74 | -165,84 | -148,57 | 108,43 | -99,39 | 1,107 |
| 2 | 52,93 | 87,47 | -8,05 | -98,64 | -88,94 | 113,73 | -57,78 | 1,215 |
| 3 | 35,29 | 69,15 | -16,04 | -44,94 | -40,93 | 110,43 | -33,72 | 1,457 |
| 4 | 17,64 | 52,84 | -26,29 | -8,91 | -8,20 | 94,88 | -30,70 | 1,786 |
| 5 | 0,00 | 38,56 | -38,56 | 0,00 | 0,00 | 57,83 | -57,83 | 1,786 |

Dimensionamento aos Cortantes

$$f_{ctk} = 0,06 \times f_{ck} + 7 = 28,0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_{wd} = Vd / (bw \times d)$$

$$t_{wd} <= 0,25 f_{ctd} = 0,25 \times 350 / 1,5 = 58,3 \text{ kg/cm}^2 <= 45,0 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_o = 1,15 \times t_{wd}$$

$$t_c = 0,24 \times f_{ck}^{0,5} = 4,5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_d = t_o - t_c$$

$$r_{mín} = 0,14\% \times bw \quad \text{cm}^2/\text{m}$$

| Seção | Vrd | t _{wd} | t _d | As | As x fad | φ | esp. |
|-------|--------|-----------------|----------------|------|----------|------|------|
| 0 | 230,98 | 36,2 | 37,2 | 21,4 | 22,7 | 12,5 | 11,0 |
| 1 | 108,43 | 17,0 | 15,1 | 8,7 | 9,6 | 12,5 | 26,1 |
| 2 | 113,73 | 17,8 | 16,0 | 9,2 | 11,2 | 12,5 | 22,3 |
| 3 | 110,43 | 17,3 | 15,4 | 8,9 | 12,9 | 12,5 | 19,4 |
| 4 | 94,88 | 14,9 | 12,6 | 7,3 | 13,0 | 12,5 | 19,3 |
| 5 | 57,83 | 9,1 | 5,9 | 3,4 | 6,1 | 12,5 | 41,0 |

Dimensionamento dos Conectores

$$t_{ld} = Vd \cdot ms / (bl \times J)$$

$$t_{ld} <= 0,20 f_{ctd} = 0,20 \times 350 / 1,5 = 46,6 \text{ kg/cm}^2$$

| Seção | Vd | J | ms | b | t _d | As | φ | esp. |
|-------|--------|-------|-------|------|----------------|------|------|------|
| 0 | 314,37 | 1,275 | 0,446 | 0,80 | 13,7 | 25,3 | 12,5 | 9,9 |
| 1 | 257,00 | 1,275 | 0,446 | 0,80 | 11,2 | 20,7 | 12,5 | 12,1 |
| 2 | 202,66 | 1,275 | 0,446 | 0,80 | 8,9 | 16,3 | 12,5 | 15,3 |
| 3 | 151,36 | 1,275 | 0,446 | 0,80 | 6,6 | 12,2 | 12,5 | 20,5 |
| 4 | 103,08 | 1,275 | 0,446 | 0,80 | 4,5 | 8,3 | 12,5 | 30,1 |
| 5 | 57,83 | 1,275 | 0,446 | 0,80 | 2,5 | 4,7 | 12,5 | 53,7 |

Dimensionamento ao Cortante sem efeito da protensão

| Seção | Vrd | bw | t _{wd} | t _d | As | As x fad | φ | esp. |
|-------|--------|----|-----------------|----------------|------|----------|------|------|
| 0 | 314,37 | 70 | 17,6 | 15,8 | 25,4 | 27,0 | 12,5 | 9,3 |
| 1 | 257,00 | 25 | 40,3 | 41,9 | 24,1 | 26,6 | 12,5 | 9,4 |
| 2 | 202,66 | 25 | 31,8 | 32,1 | 18,4 | 22,4 | 12,5 | 11,2 |
| 3 | 151,36 | 25 | 23,7 | 22,8 | 13,1 | 19,1 | 12,5 | 13,1 |
| 4 | 103,08 | 25 | 16,2 | 14,1 | 8,1 | 14,5 | 12,5 | 17,3 |
| 5 | 57,83 | 25 | 9,1 | 5,9 | 3,4 | 6,1 | 12,5 | 41,0 |

Meso e Infraestrutura cargas máximas

fck = 30,0 Mpa

Reações da Superestrutura**Cargas Permanentes**

| Apoio | V1 ton | V2 ton | V1 + V2 ton |
|-------|-----------|-----------|----------------|
| E1 | 90,80 | 90,80 | 181,60 |
| E2 | 90,80 | 90,80 | 181,60 |

Cargas Acidentais

| Apoio | V1 ton | V2 ton | Mt tm | | V1 + V2 ton | Mt total tm |
|-------|-----------|-----------|-------|-------|----------------|----------------|
| | | | CL | W | | |
| E1 | 124,54 | 124,54 | 23,04 | 28,89 | 249,08 | 51,93 |
| E2 | 124,54 | 124,54 | 23,04 | 28,89 | 249,08 | 51,93 |

Aparelhos de Apoio de Neoprene Fretado -

Apoio de E1, P1, P2, P3, P4, E2

$$A_n = (90800 + 124540 + (23040 + 28890) / 2,60) / 1000 = 2353 \text{ cm}^2$$

$$42 \times 70$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 80,0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{mín}} = 30,9 \text{ kg/cm}^2$$

Rigidez dos Pilares -

| Apoio | kp t/cm | espessura neoprene | kn t/cm | kc t/cm |
|-------|------------|-----------------------|------------|------------|
| E1 | t inf. | 6,0 | 9,80 | 9,80 |
| E2 | t inf. | 6,0 | 9,80 | 9,80 |

Esforços Horizontais Longitudinais -

Centro Elástico da Meso estrutura

$$9,80 \cdot (50,00+x) + 13,52 \cdot (25,00+x) + 13,52 \cdot x = 13,52 \cdot (25,00-x) + 13,52 \cdot (50,00-x) + 9,80 \cdot (75,00-x)$$

$$-921 = -73,68 \cdot x \quad x = 12,50 \text{ m}$$

à direita do pilar P2

1, Retração e Temperatura

| Pilar | x | Δ | Fh |
|-------|-------|----------|-------|
| E1 | 62,50 | 2,81 | 27,56 |
| E2 | 62,50 | 2,81 | 27,56 |

$$\Sigma k_p = 73,67 \text{ t/cm}$$

2, Frenagem ou Aceleração

Aceleração Fhv = $0,20 \times 36,00 \times 4 = 28,80 \text{ t}$

Frenagem: Fhc = $0,15 \times 12,00 \times 5 \times 25,00 = 225,00 \text{ t}$

| Pilar | Fh |
|-------|-------|
| E1 | 29,93 |
| E2 | 29,93 |

Somatório dos Esforços Longitudinais

| Pilar | Fh |
|-------|-------|
| E1 | 57,49 |
| E2 | 57,49 |

Distorção dos Neoprenes -

Encontros E1 = E2 -

Permanente -

$$d_n = 0,51 < 0,7$$

Total -

$$d_n = 0,98 < 1,2$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

Ação do vento -

1) Viaduto Carregado -

$$w = 0,100 \times (2,55 + 0,65 + 3,50) = 0,67 \text{ t/m}$$

1) Viaduto Descarregado -

$$w = 0,150 \times (2,55 + 0,65) = 0,48 \text{ t/m}$$

| Pilar | linfl. | W (t) | CL (t) | W + CL |
|-------|--------|-------|--------|--------|
| E1 | 12,50 | 8,38 | 7,20 | 15,58 |
| E2 | 12,50 | 8,38 | 7,20 | 15,58 |

Composição de Cargas para dimensionamento dos Pilares -

Cargas Máximas -

1)

| Apoio | Ng ton | Np ton | N g+p ton | Mt tm | W + CL ton | FI ton |
|-------|-----------|-----------|--------------|----------|---------------|-----------|
| E1 | 181,60 | 249,08 | 430,68 | 51,93 | 15,58 | 57,49 |
| E2 | 181,60 | 249,08 | 430,68 | 51,93 | 15,58 | 57,49 |

Meso e Infraestrutura cargas mínimas

$$f_{ck} = 30,0 \text{ Mpa}$$

Reações da Superestrutura

Cargas Permanentes

| Apoio | V1 ton | V2 ton | V1 + V2 ton |
|-------|-----------|-----------|----------------|
| E1 | 90,80 | 90,80 | 181,60 |
| E2 | 90,80 | 90,80 | 181,60 |

Cargas Acidentais

| Apoio | V1 ton | V2 ton | Mt tm | | V1 + V2 ton | Mt total tm |
|-------|-----------|-----------|-------|-------|----------------|----------------|
| | | | CL | W | | |
| E1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 28,89 | 0,00 | 28,89 |
| E2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 28,89 | 0,00 | 28,89 |

Aparelhos de Apoio de Neoprene Fretado -

Apoio de E1, P1, P2, P3, P4, E2

$$A_n = \frac{(90800 + 124540 + (23040 + 28890) / 2,60) / 1000}{42 \times 70} = 1019 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 34,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{mín}} = 30,9 \text{ kg/cm}^2$$

Rigidez dos Pilares -

| Apoio | kp t/cm | espessura neoprene | kn t/cm | kc t/cm |
|-------|------------|-----------------------|------------|------------|
| E1 | ?? | 6,0 | 9,80 | 9,80 |
| E2 | ? | 6,0 | 9,80 | 9,80 |

Esforços Horizontais Longitudinais -

Centro Elástico da Meso estrutura

$$9,80 \cdot (50,00 + x) + 13,52 \cdot (25,00 + x) + 13,52 \cdot x = 13,52 \cdot (25,00 - x) + 13,52 \cdot (50,00 - x) + 9,80 \cdot (75,00 - x)$$

$$-921 = -73,68 \cdot x$$

$$x = 12,50 \text{ m}$$

à direita do pilar P2

1, Retração e Temperatura

| Pilar | x | Δ | Fh |
|-------|-------|----------|-------|
| E1 | 62,50 | 2,81 | 27,56 |
| E2 | 62,50 | 2,81 | 27,56 |

$$\Sigma kp = 73,67 \text{ t/cm}$$

2, Frenagem ou Aceleração

Aceleração: $F_{hv} = 0,20 \times 36,00 \times 4 = 28,80 \text{ t}$

Frenagem: $F_{hc}^* = 0,15 \times 12,00 \times 3 \times 25,00 = 135,00 \text{ t p/três vão carr.}$

$135,00 \text{ t p/três vão carr.}$

$F_{hc}^{**} = 0,15 \times 12,00 \times 4 \times 25,00 = 180,00 \text{ t p/quatro vãos carr.}$

$180,00 \text{ t p/quatro vãos carr.}$

| Pilar | Fh |
|-------|----------|
| E1 | 23,95 ** |
| E2 | 23,95 ** |

Somatório dos Esforços Longitudinais

| Pilar | Fh |
|-------|-------|
| E1 | 51,51 |
| E2 | 51,51 |

Distorção dos Neoprenes -

Encontros E1 = E2 -

Permanente -

$$dn = 0,41 < 0,7$$

Total -

$$dn = 0,88 < 1,2$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

Ação do vento -

1) Viaduto Carregado -

$$w = 0,100 \times (2,55 + 0,65 + 3,50) = 0,67 \text{ t/m}$$

1) Viaduto Descarregado -

$$w = 0,150 \times (2,55 + 0,65) = 0,48 \text{ t/m}$$

| Pilar | linfl. | W (t) | CL (t) | W + CL |
|-------|--------|-------|--------|--------|
| E1 | 12,50 | 6,00 | 0,00 | 6,00 |
| E2 | 12,50 | 6,00 | 0,00 | 6,00 |

Composição de Cargas para dimensionamento dos Pilares -

Cargas Mínimas -

1)

| Apoio | Ng ton | Np ton | N g+p ton | Mt tm | W + CL ton | FI ton |
|-------|-----------|-----------|--------------|----------|---------------|-----------|
| E1 | 181,60 | 0,00 | 181,60 | 6,46 | 6,00 | 51,51 |
| E2 | 181,60 | 0,00 | 181,60 | 6,46 | 6,00 | 51,51 |

Encontros

$$f_{ck} = 30,0 \text{ Mpa}$$

1. Cargas Permanentes -

1.1. distribuídas -

laje em balanço -

$$((0,20 + 0,277)/2 \times 1,10) \times 2 \times 2,5 = 1,312$$

laje de fundo -

$$0,60 \times 3,60 \times 2,50 = 5,400$$

paredes -

$$0,40 \times 14,40 \times 2 \times 2,5 = 28,800$$

mureta -

$$0,20 \times 0,35 \times 4 \times 2,5 = 0,525$$

enchimento de brita -

$$2,80 \times 14,40 \times 2,2 = 88,704$$

lastro -

$$(0,52 \times 4,00) \times 2,2 = 4,576$$

$$gf = 129,317$$

1.2. concentradas -

t

alas -

$$(0,60 + 1,90)/2 \times 2,00 \times 0,30 \times 2 \times 2,5 = 3,750$$

mureta sobre as alas -

$$0,20 \times 0,35 \times 2 \times 2,00 \times 2,5 = 0,700$$

travessa de sustentação da ala -

$$1,10 \times 1,90 \times 0,30 \times 2 \times 2,50 = 3,135$$

$$7,585$$

painel de entrada -

$$0,40 \times 2,80 \times 14,40 \times (2,5 - 2,2) = 4,838$$

painel intermediário -

$$0,40 \times 2,80 \times 13,80 \times (2,5 - 2,2) = 4,637$$

painel de apoio frontal - sob a viga do viaduto

$$(0,40 \times 2,80 \times 14,40 + 0,80 \times 3,60 \times 12,40) \times 2,5 = 129,60$$

2. Carga Acidental -

$$l = 20,00 \text{ m}$$

$$\text{Impacto Vertical - } f = 0,001(1600 - 60 \times l^{0,5} + 2,25 \times l) = 1,377$$

$$P = f \times 36,00 = 49,56 \text{ t}$$

$$\text{ou } q = P / 2,00 = 24,78 \text{ t/m em } 8,00 \text{ m}$$

$$p = f \times 12,00 = 16,52 \text{ t/m}$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

Ação do vento -

1) Viaduto Carregado -

$$w = 0,100 \times (2,55 + 0,65 + 3,50) = 0,67 \text{ t/m}$$

1) Viaduto Descarregado -

$$w = 0,150 \times (2,55 + 0,65) = 0,48 \text{ t/m}$$

4.1. **Ordenadas de Influência - Momentos Fletores**

| Seção | Área Mg | Área de Infl. | | Ordenada de Infl. | |
|-------|------------|---------------|--------|-------------------|--------|
| | | S máx. | S mín. | Y máx. | Y mín. |
| 0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 1 | 18,000 | 18,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 32,000 | 32,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | 42,000 | 42,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | 48,000 | 48,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 50,000 | 50,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Momentos Fletores -

| Seção | M _{gf} | M _p | | M _{total} | |
|-------|-----------------|----------------|------|--------------------|---------|
| | | máx | mín | máx | mín |
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 2327,70 | 446,04 | 0,00 | 2773,74 | 2327,70 |
| 3 | 4138,14 | 792,96 | 0,00 | 4931,10 | 4138,14 |
| 4 | 5431,30 | 1040,76 | 0,00 | 6472,07 | 5431,30 |
| 5 | 6207,20 | 1189,44 | 0,00 | 7396,65 | 6207,20 |
| 6 | 6465,84 | 1239,00 | 0,00 | 7704,84 | 6465,84 |

Dimensionamento

4.3. **Momentos Positivos**

h = 1000 cm

viga parede

| Seção | fad. | máx Md | bw | As | As x fad. |
|-------|-------|----------|----|-------|-----------|
| 1 | 1,000 | 0,00 | 80 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 1,000 | 3811,46 | 80 | 120,0 | 120,0 |
| 3 | 1,000 | 6775,93 | 80 | 160,4 | 160,4 |
| 4 | 1,000 | 8893,41 | 80 | 212,4 | 212,4 |
| 5 | 1,000 | 10163,89 | 80 | 244,0 | 244,0 |
| 6 | 1,000 | 10587,39 | 80 | 254,6 | 254,6 |

4.5. **Ordenadas de Influência - Esforços Cortantes**

| Seção | Área Vg | Área de Infl. | | Ordenada de Infl. | |
|-------|------------|---------------|--------|-------------------|--------|
| | | S máx. | S mín. | Y máx. | Y mín. |
| 1 | 10,000 | 10,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 8,000 | 8,100 | -0,100 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | 6,000 | 6,400 | -0,400 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | 4,000 | 4,900 | -0,900 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 2,000 | 3,600 | -1,600 | 0,000 | 0,000 |
| 6 | 0,000 | 2,500 | -2,500 | 0,000 | 0,000 |

4.6. **Esforços Cortantes**

Estado limite último

$$V_d = 1,35 \times V_g + 1,5 \times V_q$$

$$V_d = 1,00 \times V_g + 1,5 \times V_q$$

| Seção | V _{gf} | V _p | | V _{g+p} | | fadiga |
|-------|-----------------|----------------|--------|------------------|---------|--------|
| | | máx | mín | máx | mín | |
| 1 | 1293,17 | 247,80 | 0,00 | 1540,97 | 1293,17 | 1,000 |
| 2 | 1034,53 | 200,72 | -2,48 | 1235,25 | 1032,06 | 1,000 |
| 3 | 775,90 | 158,59 | -9,91 | 934,49 | 765,99 | 1,000 |
| 4 | 517,27 | 121,42 | -22,30 | 638,69 | 494,96 | 1,000 |
| 5 | 258,63 | 89,21 | -39,65 | 347,84 | 218,99 | 1,000 |
| 6 | 0,00 | 61,95 | -61,95 | 61,95 | -61,95 | 1,786 |

Esforços Cortantes

| Seção | V _d | |
|-------|----------------|---------|
| | máx | mín |
| 1 | 2117,48 | 1293,17 |
| 2 | 1697,70 | 1030,82 |
| 3 | 1285,35 | 761,03 |
| 4 | 880,44 | 483,81 |
| 5 | 392,45 | 289,68 |
| 6 | 92,93 | -92,93 |

Dimensionamento aos Cortantes

$$f_{ctk} = 0,06 \times f_{ck} + 7 \text{ kgf/cm}^2 = 22,0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_{wd} = V_d / (b_w \times d)$$

$$t_{wd} <= 0,25 f_{ctk} = 0,25 \times 250 / 1,5 = 41,7 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_o = 1,15 \times t_{wd}$$

$$t_c = 0,33 \times f_{ck}^{0,5} = 5,2 \text{ kgf/cm}^2$$

$$t_d = t_o - t_c$$

$$r_{mín} = 0,14\% \times b_w = 0,14 \times b_w \quad A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

$$b_w = 40 \quad 5,6$$

| Seção | b _w | V _d | t _{wd} | t _o | A _s | A _s x f _{ad} |
|-------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|
| | (cm) | (t) | (kg/cm ²) | (kg/cm ²) | (cm ² /m) | (cm ² /m) |
| 1 | 40 | 1058,74 | 37,1 | 37,5 | 34,5 | 34,5 |
| 2 | 40 | 848,85 | 29,8 | 29,0 | 26,7 | 26,7 |
| 3 | 40 | 642,68 | 22,6 | 20,7 | 19,1 | 19,1 |
| 4 | 40 | 440,22 | 15,4 | 12,5 | 11,5 | 11,5 |
| 5 | 40 | 196,22 | 6,9 | 0,0 | 5,6 | 5,6 |
| 6 | 40 | 46,46 | 1,6 | 0,0 | 5,6 | 10,0 |

| Seção | φ | esp. |
|-------|--------|------|
| | (mm) | (cm) |
| 1 | 2 x 16 | 12 |
| 2 | 2 x 16 | 15 |
| 3 | 2 x 16 | 21 |
| 4 | 2 x 16 | 35 |
| 5 | 2 x 16 | 71 |
| 6 | 2 x 16 | 40 |

Laje de Fundo -

| | | | | |
|------------------------|--------------|---------------------|-----------------|------------------|
| espessura = | 60 | cm | | |
| dimensões em planta | | | | |
| lx = | 490 | cm | | |
| ly = | 320 | cm | | |
| | | | | t/m ² |
| peso próprio = | 0,60 x 2,5 | = | 1,50 | |
| enchimento com brita = | 14,40 x 2,2 | = | 31,68 | |
| carga acidental = | 18,00 / 3,20 | = | 5,63 | |
| Mx = | 13172 | kgm / m | | |
| As = | 9,0 | cm ² / m | φ 12,5 c/ 10 cm | |
| My = | 30883 | kgm / m | | |
| As = | 19,6 | cm ² / m | φ 16 c/ 10 cm | |

Laje em balanço do tabuleiro do encontro -

| | | | |
|-----|--------------------|----------------------------------|----------|
| 1.1 | Carga Permanente - | | tm/m |
| | guarda-corpo | 0,200 x 1,25 | = -0,250 |
| | mureta externa | 0,20 x 0,35 x 2,5 x 1,20 | = -0,210 |
| | mureta interna | 0,20 x 0,35 x 2,5 x 0,50 | = -0,088 |
| | laje | 0,20 x 1,30 x 2,5 x 1,30 / 2 | = -0,423 |
| | | 0,10 x 1,30 / 2 x 2,5 x 1,30 / 3 | = -0,070 |
| | laje passeio | 0,10 x 0,50 x 2,5 x 0,85 | = -0,106 |
| | pavimento | 0,65 x 0,40 x 2,2 x 0,40 / 2 | = -0,114 |
| | | Xg ₁ | = -1,261 |

1.2 Carga Acidental -

| | | | | |
|-------------------|-----|---|---|--------|
| impacto vertical: | l = | 1,30 | m | |
| | f = | 1,535 | | |
| veículo - | | | | |
| Xp ₁ | = | (1,535 x 36,00 / 2,00 / 4,00) x 0,40 ² / 2 | = | -0,553 |

1.3 Dimensionamento -

fck = 35 Mpa
aço CA-50

| | | | |
|----|---|--------|-----------------------------------|
| X | = | -1,814 | tm/m |
| As | = | 4,5 | cm ² / m φ 10 c/ 10 cm |

Paredes -

$$\begin{array}{l} \text{espessura} = 40 \text{ cm} \\ a \quad l_x = 450 \text{ cm} \\ b \quad l_y = 1440 \text{ cm} \end{array}$$

Empuxo da brita interna -

$$e_a = 0,6 \times 14,40 = 8,64 \text{ t/m}^2$$

Empuxo devido a sobrecarga do trem -

$$q = 36,00 / 2,00 / 3,40 = 5,29 \text{ t/m}^2$$

$$e_v = 0,6 \times (5,29 / 1,8) = 1,76 \text{ t/m}^2$$

$$b / a = 14,40 / 4,90 = 2,94$$

Momentos devido ao e_a

$$M_x = 8,64 \times 4,90^2 \times 0,0708 = 14,69 \text{ tm / m}$$

$$M_y = 8,64 \times 14,40^2 \times 0,0035 = 6,27 \text{ tm / m}$$

Momentos devido ao e_v

$$M_x = 1,76 \times 4,90 \times 14,40 \times 0,080 = 9,93 \text{ tm / m}$$

$$M_y = 1,76 \times 4,90 \times 14,40 \times 0,033 = 4,10 \text{ tm / m}$$

Somatório

$$M_x = 24,622 \text{ tm / m} \quad A_s = 24,8 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$M_y = 10,369 \text{ tm / m} \quad A_s = 10,0 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Sapatas dos Encontros E1 e E2 -

Esforços atuantes no encontro provenientes do viaduto -

Esforços longitudinais -

$$F_h = 57,49 \text{ t}$$

Esforços Horizontais Transversais -

Ação do vento -

$$W = 8,38 \text{ t}$$

Esforços Verticais -

$$N_g = 181,60 \text{ t}$$

$$N_p = 249,08 \text{ t}$$

Choque Lateral -

$$CL = 20\% \times 36,00 = 7,20 \text{ t}$$

aplicado na altura do topo dos trilho

Reações nas sapatas junto ao viaduto, devido ao encontro -

$$N_g = 129,060 + 129,317 \times 20,00 / 2 + 3 \times 4,637 / 2 = 1429,19 \text{ t}$$

$$N_p = 16,52 \times 1,000 \times 20,00 / 2 = 165,20 \text{ t}$$

Reações nas sapatas extremas, devido ao encontro -

$$N_g = 4,838 + 7,585 + 129,317 \times 20,00 / 2 + 3 \times 4,637 / 2 = 1312,55 \text{ t}$$

$$N_p = 49,56 \times (1,000 + 0,900 + 0,800 + 0,700) + 16,52 \times 0,650 \times 13,00 / 2 = 238,30 \text{ t}$$

Esforços Horizontais longitudinais atuantes no encontro -

Frenagem -

$$F_h = 0,15 \times 12,00 \times 20,00 = 36,00 \text{ t}$$

Empuxo de terra -

$$E = 0,60 \times (1,90 \times 1,90 \times 1,60 + 15,00 \times 15,00 \times 3,60) / 2 = 244,73 \text{ t}$$

aplicados a 5,06 m da base do encontro

Esforços Horizontais transversais atuantes no encontro -

Ação do vento -

Viaduto Carregado -

$$W = 0,67 \times 20,00 = 13,40 \text{ t}$$

Composição dos esforços atuantes nas Sapatas -

Esforços na sapata extrema -

| | | | | | | | | |
|-----------------------|--|--------|------|------|---|--------|---------|--------|
| Trav. s/ sapatas | = | 5,40 | 1,80 | 4,00 | m | | | |
| dimensão base | = | 6,20 | m | | | | | |
| | | 9,80 | m | | | | | |
| altura da base | = | 1,50 | m | | | | | |
| | | 0,70 | m | | | | | |
| peso da travessa | = | 97,20 | t | | | As | Ai | Vsap |
| peso da base | = | 233,04 | t | | | 12,760 | 60,76 | 93,214 |
| Ng = | 1429,19 | | | | | = | 1429,19 | t |
| Np = | 165,20 | | | | | = | 165,20 | t |
| máx N _{Fh} = | (57,49x13,40 + 36,00x15,00 + 244,73x5,06)/20,00 | | | | | = | 127,43 | t |
| mín N _{Fh} = | (-57,49x13,40 - 36,00x15,00 + 244,73x5,06)/20,00 | | | | | = | -3,60 | t |
| Fh = | 57,49 / 2 + 36,00 / 2 + 244,73 / 2 | | | | | = | 169,11 | t |
| Ft = | 7,20 + 13,40 / 2 | | | | | = | 13,90 | t |

Esforços na sapata extrema - tensões na base -

Cargas Máximas -

| | | | | |
|---------|--------------------------|---|---------|-----|
| Ng = | 1429,19 + 97,20 + 233,04 | = | 1759,43 | t |
| Np = | 165,20 + 249,08 | = | 414,29 | t |
| M l = | 169,11 x 6,20 | = | 1048,48 | t.m |
| M t = | 13,90 x (15,65 + 6,20) | = | 303,715 | t.m |
| e l = | 0,08 | | | |
| e t = | 0,01 | | | |
| μ = | 1,54 | | | |
| máx σ = | 55,1 t / m ² | | | |

Cargas Mínimas -

$$\begin{aligned} N_g &= 1429,19 + 97,20 + 233,04 &= & 1759,43 \text{ t} \\ N_p &= -3,60 &= & -3,60 \text{ t} \\ M_l &= (57,49/2 + 244,73/2) \times 6,20 &= & 936,88 \text{ t.m} \\ M_t &= 13,40/2 \times (15,65 + 6,20) &= & 146,40 \text{ t.m} \\ e_l &= 0,09 \\ e_l &= 0,01 \\ \mu &= 1,60 \\ \text{máx } \sigma &= 46,2 \text{ t / m}^2 \end{aligned}$$

Dimensionamento -

vamos dimensionar para a $\text{máx } \sigma_{\text{solo}} = 46,2 \text{ t/m}^2$

$$\begin{aligned} X_{A-A} &= 1530,33 \text{ tm} \\ F_{td} &= 1304,26 \text{ t} \\ A_s &= 300,0 \text{ cm}^2 && 100 \phi 20 \\ \\ X_{B-B} &= 725,05 \text{ tm} \\ F_{td} &= 617,94 \text{ t} \\ A_s &= 142,1 \text{ cm}^2 && 32 \phi 20 \end{aligned}$$

Composição dos esforços atuantes nas Sapatas -

Esforços na sapata junto ao viaduto -

| | | | | | | | | |
|------------------|---|--------|------|------|---|--------|-------|--------|
| Trav. s/ sapatas | = | 5,40 | 1,80 | 4,00 | m | | | |
| dimensão base | = | 6,20 | m | | | | | |
| | | 9,80 | m | | | | | |
| altura da base | = | 1,50 | m | | | | | |
| | | 0,70 | m | | | | | |
| peso da travessa | = | 97,20 | t | | | As | Ai | Vsap |
| peso da base | = | 233,04 | t | | | 12,760 | 60,76 | 93,214 |

$$N_g = 1312,55 + 97,20 + 233,04 = 1642,79 \text{ t}$$

$$N_p = 238,30 = 238,30 \text{ t}$$

$$\text{máx } N_{Fh} = (57,49 \times 13,40 + 36,00 \times 15,00) / 20,00 = 65,52 \text{ t}$$

$$\text{mín } N_{Fh} = -(57,49 \times 13,40 + 36,00 \times 15,00 - 244,73 \times 5,06) / 20,00 = -127,43 \text{ t}$$

$$F_h = 57,49 / 2 + 36,00 / 2 + 244,73 / 2 = 169,11 \text{ t}$$

$$F_t = 7,20 + 13,40 / 2 = 13,90 \text{ t}$$

Esforços na sapata junto ao viaduto - tensões na base -

Cargas Máximas -

$$N_g = 1642,79 + 97,20 + 233,04 = 1973,03 \text{ t}$$

$$N_p = 238,30 + 65,52 = 303,82 \text{ t}$$

$$M_l = 169,11 \times 6,20 = 1048,48 \text{ t.m}$$

$$M_t = 13,90 \times (15,65 + 6,20) = 303,715 \text{ t.m}$$

$$e_l = 0,07$$

$$e_l = 0,01$$

$$\mu = 1,48$$

$$\text{máx } \sigma = 55,5 \text{ t / m}^2$$

Cargas Mínimas -

$$N_g = 1642,79 + 97,20 + 233,04 = 1973,03 \text{ t}$$

$$N_p = -127,43 = -127,43 \text{ t}$$

$$M_l = (57,49/2 + 244,73/2) \times 6,20 = 936,88 \text{ t.m}$$

$$M t = 13,40/2 \times (15,65 + 6,20) = 146,40 \text{ t.m}$$

$$e l = 0,08$$

$$e l = 0,01$$

$$\mu = 1,54$$

$$\text{máx } \sigma = 46,8 \text{ t / m}^2$$

Dimensionamento -

vamos dimensionar para a

$$\text{máx } \sigma_{\text{solo}} = 46,8 \text{ t/m}^2$$

$$X_{A-A} = 1550,20 \text{ tm}$$

$$Ftd = 1321,20 \text{ t}$$

$$As = 303,9 \text{ cm}^2 \quad 100 \phi 20$$

$$X_{B-B} = 734,47 \text{ tm}$$

$$Ftd = 625,97 \text{ t}$$

$$As = 144,0 \text{ cm}^2 \quad 42 \phi 20$$