

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - DNIT
Superintendência Regional nos Estados do Pará e Amapá

ADEQUAÇÃO DE PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA
CONSTRUÇÃO DE OBRAS-DE-ARTE ESPECIAIS

Rodovia : BR-163/PA
Trecho : Divisa MT/PA - Fronteira Brasil/Suriname
Subtrecho : Novo Progresso – Rio Aruri (Divisa Itaituba/Trairão)
Segmento : km 350,00 – km 508,80
Código PNV : 163BPA1040 – 163BPA1065
Lote : 02

VOLUME 3 B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS
(1ª PARTE)

MARÇO / 2006



Exército Brasileiro

DNITDepartamento Nacional de
Infra-Estrutura de Transportes

ADEQUAÇÃO DE PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DE OBRAS-DE-ARTE ESPECIAIS

Rodovia : BR-163/PA
Trecho : Divisa MT/PA - Fronteira Brasil/Suriname
Subtrecho : Novo Progresso – Rio Aruri (Divisa Itaituba/Trairão)
Segmento : km 350,00 – km 508,80
Código PNV : 163BPA1040 – 163BPA1065
Lote : 02

VOLUME 3 B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS (1ª PARTE)

MARÇO / 2006

EQUIPE TÉCNICA

EQUIPE TÉCNICA

ARTE PONTES CONSULTORIA E PROJETOS LTDA

Engenheiro Sérgio Marques Ferreira de Almeida

Engenheira Rosane Roque Jacobson

SUMÁRIO

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| 1 APRESENTAÇÃO | 1 |
| 1.1 Condições Gerais..... | 2 |
| 1.2 Volumes Componentes do Relatório | 2 |
| 2 PONTE SOBRE O RIO SANTA JÚLIA | 4 |
| 2.1 Cálculo da Superestrutura | 5 |
| 2.2 Cálculo da Infra-estrutura..... | 92 |
| 3 PONTE SOBRE O RIO NATAL | 93 |
| 3.1 Cálculo da Superestrutura | 94 |
| 3.2 Cálculo da Infra-estrutura..... | 94 |
| 4 PONTE SOBRE O RIO SÃO JORGE I | 212 |
| 4.1 Cálculo da Superestrutura | 213 |
| 4.2 Cálculo da Infra-estrutura..... | 286 |
| 5 PONTE SOBRE O RIO ARRAIAS | 367 |
| 5.1 Cálculo da Superestrutura | 368 |
| 5.2 Cálculo da Infra-estrutura..... | 368 |
| 6 PONTE SOBRE O RIO BONITINHO | 369 |
| 6.1 Cálculo da Superestrutura | 370 |
| 6.2 Cálculo da Infra-estrutura..... | 410 |
| 7 PONTE SOBRE O RIO ONÇA I | 411 |
| 7.1 Cálculo da Superestrutura | 412 |
| 7.2 Cálculo da Infra-estrutura..... | 412 |
| 8 PONTE SOBRE O RIO ONÇA II | 493 |
| 8.1 Cálculo da Superestrutura | 494 |
| 8.2 Cálculo da Infra-estrutura..... | 534 |
| 9 CÁLCULO DAS LAJES | 535 |
| 9.1 Cálculo das Lajes e Pré-lajes..... | 536 |
| 9.2 Cálculo das Lajes de Continuidade..... | 543 |

1 APRESENTAÇÃO

1 APRESENTAÇÃO

1.1 CONDIÇÕES GERAIS

O presente volume refere-se ao Relatório Final da Adequação de Projeto Executivo de Engenharia para Construção de Obras-de-Arte Especiais da Rodovia BR-163/PA, trecho: Divisa MT/PA – Fronteira Brasil/Suriname, subtrecho: Novo Progresso – Rio Aruri (Divisa Itaituba/Trairão), segmento: km 350,00 – km 508,80, lote: 02. A seguir, apresenta-se a relação com nome e localização das obras referentes ao trecho citado.

| NOME | COMPRIMENTO | LOCALIZAÇÃO |
|---|-------------|-------------|
| Ponte sobre o Rio Santa Júlia | 78,00 m | Km 350,00 |
| Ponte sobre o Rio Natal | 78,00 m | Km 359,60 |
| Ponte sobre o Rio São Jorge I | 42,50 m | Km 386,60 |
| Ponte sobre o Rio das Arraias (Alargamento) | 162,50 m | Km 390,30 |
| Ponte sobre o Rio Bonitinho | 36,50 m | Km 395,00 |
| Ponte sobre o Rio Onça I | 42,50 m | Km 398,20 |
| Ponte sobre o Rio Onça II | 30,00 m | Km 402,40 |
| Ponte sobre o Rio São Jorge II | 48,50 m | Km 409,10 |
| Ponte sobre o Rio Machado | 72,50 m | Km 448,50 |
| Ponte sobre o Rio Lauro | 63,50 m | Km 449,57 |
| Ponte sobre o Rio Juscelino | 30,00 m | Km 459,80 |
| Ponte sobre o Rio Estrela I | 30,00 m | Km 462,50 |
| Ponte sobre o Rio Estrela II | 36,50 m | Km 465,90 |
| Ponte sobre o Rio Estrela III | 30,00 m | Km 466,50 |
| Ponte sobre o Rio Café Baiano | 30,00 m | Km 467,00 |
| Ponte sobre o Rio Aruri (Alargamento) | 168,00 m | Km 508,80 |

Dados Contratuais:

Destaque de Crédito DNIT / DEC – N° 30.001.05.01.06.01

1.2 VOLUMES COMPONENTES DO RELATÓRIO

O Relatório Final é composto dos volumes discriminados a seguir:

- Volume 1 - Relatório do Projeto
- Volume 2 – Projeto de Execução
- Volume 3 – Memória Justificativa
- Volume 3A – Estudos Geotécnicos

- Volume 3B – Memória de Cálculo das Estruturas
- Volume 3C – Relatório Final de Avaliação Ambiental - RFAA
- Volume 4 – Orçamento das Obras

O conteúdo de cada volume é descrito a seguir:

Volume 1 - Relatório do Projeto - Este volume contém uma síntese dos serviços a executar, os documentos necessários para a licitação, informações para a elaboração do Plano de Execução das Obras e as especificações pertinentes aos serviços a serem executados. Apresentado em tamanho A4.

Volume 2 – Projeto de Execução - Este volume contém plantas e demais informações de interesse para a execução do projeto. Apresentado em tamanho A3 alongado.

Volume 3 – Memória Justificativa - Este volume reúne todas as metodologias que possibilitaram a definição das soluções a serem adotadas para os diversos itens de serviço. Apresentado em tamanho A4.

Volume 3A – Estudos Geotécnicos - Este volume reúne todas as informações de campo e de laboratório utilizadas no projeto. Apresentado em tamanho A4.

Volume 3B – Memória de Cálculo das Estruturas - Este volume reúne todos os cálculos realizados para a definição das infraestruturas e das superestruturas do projeto. Apresentado em tamanho A4.

Volume 3C – Relatório Final de Avaliação Ambiental – RFAA - Este volume constitui no documento para entendimento do DNIT com o órgão ambiental competente para proceder ao licenciamento do empreendimento. É composto de dados do empreendimento, resumo do projeto das obras e componentes ambientais. Apresentado em tamanho A4.

Volume 4 – Orçamento das Obras - Este volume apresenta o resumo dos preços, o demonstrativo do orçamento e as composições de preços unitários, elaboradas com base na metodologia vigente no Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte – DNIT. Apresentado em tamanho A4.

2 PONTE SOBRE O RIO SANTA JÚLIA

2 PONTE SOBRE O RIO SANTA JÚLIA

2.1 CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA

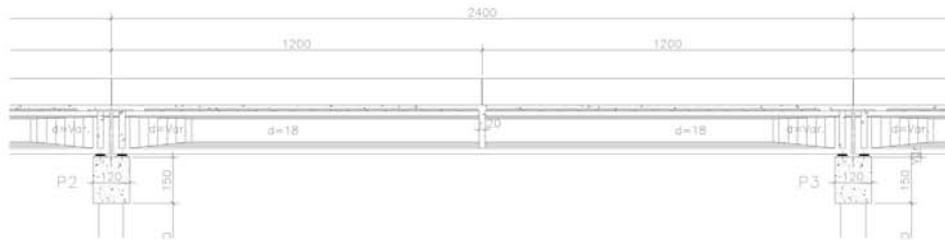
Vão de 24,00 m.

Vãos de 24,00 m com balanços de 3,00 m.

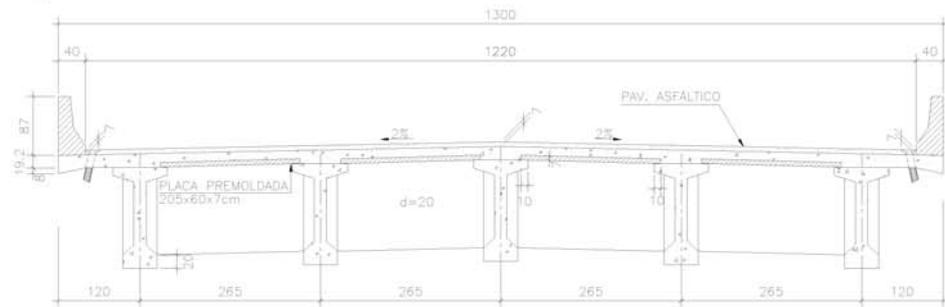
OBRA: Ponte sobre o Rio Santa Júlia

1 – Cálculo da superestrutura – Vão de 24,0 m

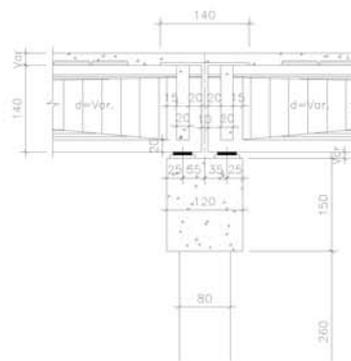
Perfil Longitudinal



Seção Transversal

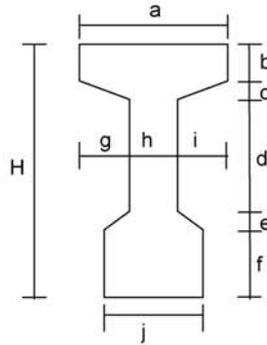


Detalhe das vigas nos apoios



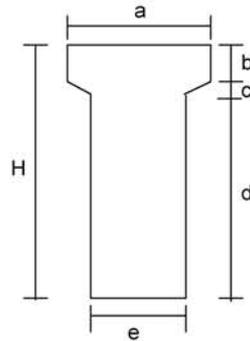
2 - Características das seções transversais

Seção Corrente



- a (m) = 0.800
- b (m) = 0.120
- c (m) = 0.100
- d (m) = 0.830
- e (m) = 0.150
- f (m) = 0.200
- g (m) = 0.310
- h (m) = 0.180
- i (m) = 0.310
- j (m) = 0.500
- H (m) = 1.400

Seção no Apoio



- a (m) = 0.800
- b (m) = 0.120
- c (m) = 0.048
- d (m) = 1.232
- e (m) = 0.500
- H (m) = 1.400

3 - Cálculo das cargas permanentes

3.1 - Características geométricas das vigas

| | Viga Isolada | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.445 | 0.743 |
| J (m ⁴) | 0.109 | 0.130 |
| Vs (m) | - | - |
| Vs' (m) | 0.666 | 0.664 |
| Vi (m) | 0.734 | 0.736 |
| Ws (m ³) | - | - |
| Ws' (m ³) | 0.163 | 0.197 |
| Wi (m ³) | 0.148 | 0.177 |

Viga de Bordo

$h_{laje} (m) = 0.20$

$bf (m) = 2.53$

Viga Central

$bf (m) = 2.65$

bf é a largura efetiva da mesa de contribuição

| | Viga Conjunto | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.950 | 1.248 |
| J (m ⁴) | 0.249 | 0.307 |
| Vs (m) | 0.459 | 0.555 |
| Vs' (m) | 0.259 | 0.355 |
| Vi (m) | 1.141 | 1.045 |
| Ws (m ³) | 0.543 | 0.554 |
| Ws' (m ³) | 0.961 | 0.865 |
| Wi (m ³) | 0.218 | 0.294 |

| | Viga Conjunto | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.975 | 1.273 |
| J (m ⁴) | 0.252 | 0.313 |
| Vs (m) | 0.450 | 0.546 |
| Vs' (m) | 0.250 | 0.346 |
| Vi (m) | 1.150 | 1.054 |
| Ws (m ³) | 0.561 | 0.578 |
| Ws' (m ³) | 1.008 | 0.905 |
| Wi (m ³) | 0.214 | 0.295 |

3.2 - Peso próprio da viga (g₁)

Carga distribuída

$g_1 = S_{corrente} * 2,50$

$g_1 (tf/m) = 1.113$

Carga Concentrada

Alargamento da Viga

$L_1 (m) = 2.000$

$P_1 = (S_{apoio} - S_{corrente}) * (L_1 / 2) * 2,50$

$P_1 (tf) = 0.75$

Alargamento no Apoio

$L_2 (m) = 0.250$

$P_2 = (S_{apoio} - S_{corrente}) * L_2 * 2,5$

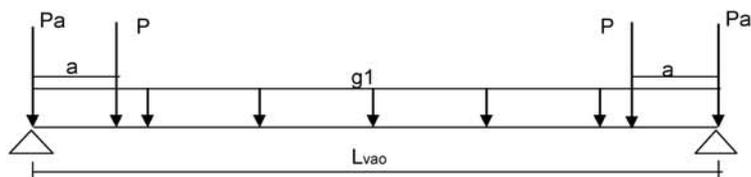
$P_2 (tf) = 0.19$

Seção fora do vão de cálculo

$L_3 (m) = 0.300$

$P_3 = g_1 * L_3$

$P_3 (tf) = 0.33$

Resumo g1


$$P_a = P_2 + P_3$$

$$L_{vao} \text{ (m)} = 23.30$$

$$g_1 \text{ (tf/m)} = 1.113$$

$$a \text{ (m)} = 0.917$$

$$P \text{ (tf)} = 0.75$$

$$P_a \text{ (tf)} = 0.52$$

Esforços Seccionais
Reações

$$R_1 \text{ (tf)} = 14.23$$

$$R_2 \text{ (tf)} = 14.23$$

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|-------|--------|----------|
| 0 | 13.7 | 0.0 |
| 1 | 10.4 | 27.9 |
| 2 | 7.8 | 49.0 |
| 3 | 5.2 | 64.1 |
| 4 | 2.6 | 73.2 |
| 5 | 0.0 | 76.2 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = - M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|-------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0 | - | 0 | 0 |
| 1 | - | 171 | -188 |
| 2 | - | 301 | -331 |
| 3 | - | 393 | -433 |
| 4 | - | 449 | -494 |
| 5 | - | 467 | -515 |

3.3 - Laje + Transversina (g2)

Viga de Bordo

carga distribuída

$$g2 = h * L * 2,50$$

$h (m) = 0.200$
 $L (m) = 2.525 \quad g2 (tf/m) = 1.263$

carga concentrada

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{apoio} - j * f)] / 2 \} * esp * 2,50$$

$L (m) = 2.65 \quad j (m) = 0.50$
 $h (m) = 1.40 \quad esp (m) = 0.20$
 $f (m) = 0.20$

$$P1 (tf) = 0.77$$

Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{corrent} - j * f)] / 2 \} * esp * 2,50$$

$L (m) = 2.65 \quad j (m) = 0.50$
 $h (m) = 1.40 \quad esp (m) = 0.20$
 $f (m) = 0.20$

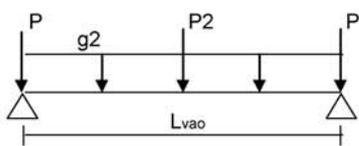
$$P2 (tf) = 0.84$$

Seção fora vão de cálculo

$$P3 = g2 * L1$$

$L1 (m) = 0.300$
 $P3 (tf) = 0.37875$

resumo dos esforços



$P = P1 + P3 \quad P (tf) = 1.15$

$g2 (tf/m) = 1.263$
 $P (tf) = 1.15$
 $P2 (tf) = 0.84$
 $L_{vao} (m) = 23.30$

Viga Central

carga distribuída

$$g2 = h * L * 2,50$$

$h (m) = 0.200$
 $L (m) = 2.650 \quad g2 (tf/m) = 1.325$

cargas concentradas

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{apoio} - j * f)] \} * esp * 2,50$$

$L (m) = 2.65 \quad j (m) = 0.50$
 $h (m) = 1.40 \quad esp (m) = 0.20$
 $f (m) = 0.20$

$$P1 (tf) = 1.53$$

Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{corrent} - j * f)] \} * esp * 2,50$$

$L (m) = 2.65 \quad j (m) = 0.50$
 $h (m) = 1.40 \quad esp (m) = 0.20$
 $f (m) = 0.20$

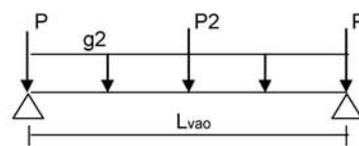
$$P2 (tf) = 1.68$$

Seção fora vão de cálculo

$$P3 = g2 * L1$$

$L1 (m) = 0.300$
 $P3 (tf) = 0.3975$

resumo dos esforços



$P = P1 + P3 \quad P (tf) = 1.93$

$g2 (tf/m) = 1.325$
 $P (tf) = 1.93$
 $P2 (tf) = 1.68$
 $L_{vao} (m) = 23.30$

Esforços Seccionais
Reações

$$R1 \text{ (tf)} = 16.27$$

$$R2 \text{ (tf)} = 16.27$$

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|-------|--------|----------|
| 0 | 15.1 | 0.0 |
| 1 | 12.2 | 31.8 |
| 2 | 9.2 | 56.8 |
| 3 | 6.3 | 74.9 |
| 4 | 3.4 | 86.2 |
| 5 | 0.4 | 90.6 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = -M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|-------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0 | - | 0 | 0 |
| 1 | - | 195 | -215 |
| 2 | - | 348 | -384 |
| 3 | - | 460 | -506 |
| 4 | - | 529 | -582 |
| 5 | - | 556 | -612 |

Esforços Seccionais
Reações

$$R1 \text{ (tf)} = 18.21$$

$$R2 \text{ (tf)} = 18.21$$

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|-------|--------|----------|
| 0 | 16.3 | 0.0 |
| 1 | 13.2 | 34.3 |
| 2 | 10.1 | 61.5 |
| 3 | 7.0 | 81.4 |
| 4 | 3.9 | 94.2 |
| 5 | 0.8 | 99.7 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = -M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|-------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0 | - | 0 | 0 |
| 1 | - | 211 | -232 |
| 2 | - | 377 | -415 |
| 3 | - | 499 | -550 |
| 4 | - | 578 | -636 |
| 5 | - | 612 | -674 |

3.4 - Sobrecarga Permanente (g3)
Viga de Bordo
carga distribuída
Pavimentação asfáltica

$$g_a = L * h * 2,40$$

$$h \text{ (m)} = 0.10$$

$$L \text{ (m)} = 2.13$$

$$g_a \text{ (tf/m)} = 0.510$$

guarda-rodas

$$g_b \text{ (tf/m)} = 0.580$$

$$g_3 = g_a + g_b$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1.090$$

Viga Central
carga distribuída
Pavimentação asfáltica

$$g_3 = L * h * 2,40$$

$$h \text{ (m)} = 0.10$$

$$L \text{ (m)} = 2.65$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0.636$$

carga concentrada

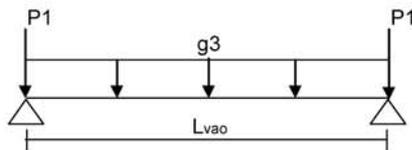
Seção fora vão de cálculo

$$P1 = g3 * L1$$

$$L1 (m) = 0.300$$

$$P1 (tf) = 0.327$$

resumo dos esforços



$$P1 (tf) = 0.33$$

$$g3 (tf/m) = 1.090$$

$$Lvao (m) = 23.30$$

Reações

$$R1 (tf) = 13.03$$

$$R2 (tf) = 13.03$$

esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|-------|--------|----------|
| 0 | 12.7 | 0.0 |
| 1 | 10.2 | 26.6 |
| 2 | 7.6 | 47.3 |
| 3 | 5.1 | 62.1 |
| 4 | 2.5 | 71.0 |
| 5 | 0.0 | 74.0 |

Tensões

$$\sigma_s = M / Ws_{conjunto}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{conjunto}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{conjunto}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|-------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 49 | 28 | -122 |
| 2 | 87 | 49 | -217 |
| 3 | 114 | 65 | -285 |
| 4 | 131 | 74 | -325 |
| 5 | 136 | 77 | -339 |

carga concentrada

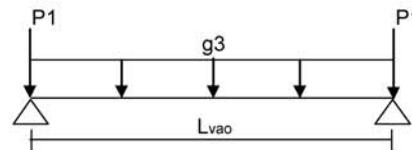
Seção fora vão de cálculo

$$P1 = g3 * L1$$

$$L1 (m) = 0.300$$

$$P1 (tf) = 0.191$$

resumo dos esforços



$$P1 (tf) = 0.19$$

$$g3 (tf/m) = 0.636$$

$$Lvao (m) = 23.30$$

Reações

$$R1 (tf) = 7.60$$

$$R2 (tf) = 7.60$$

esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|-------|--------|----------|
| 0 | 7.4 | 0.0 |
| 1 | 5.9 | 15.5 |
| 2 | 4.4 | 27.6 |
| 3 | 3.0 | 36.3 |
| 4 | 1.5 | 41.4 |
| 5 | 0.0 | 43.2 |

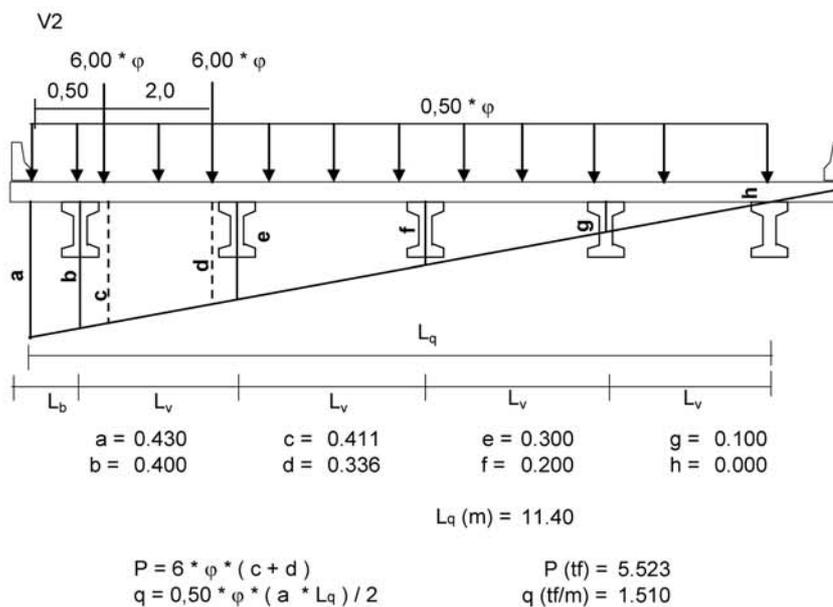
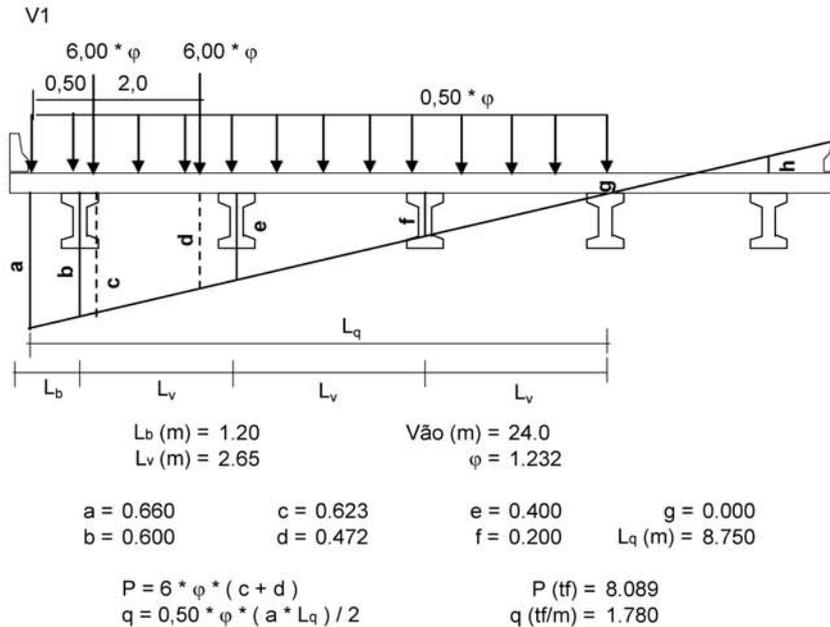
Tensões

$$\sigma_s = M / Ws_{conjunto}$$

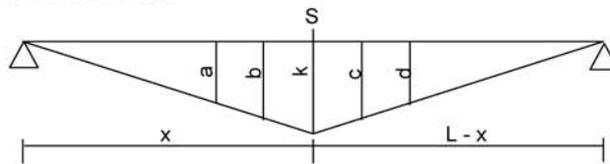
$$\sigma_s' = M / Ws'_{conjunto}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{conjunto}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|-------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 28 | 15 | -73 |
| 2 | 49 | 27 | -129 |
| 3 | 65 | 36 | -169 |
| 4 | 74 | 41 | -194 |
| 5 | 77 | 43 | -202 |

4 - Cálculo dos esforços de carga móvel do vão de 24,0 metros
4.1 - Distribuição transversal do trem-tipo para obtenção do trem-tipo longitudinal


Linha de Influência Momento Fletor



$$k = (L - x) * x / L \quad L (m) = 23.30$$

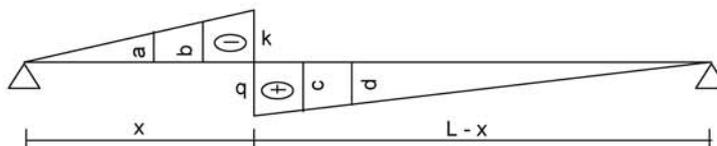
$$a = (x - 3,0) * (L - x) / L \quad c = [(L - x) - 1,5] * x / L$$

$$b = (x - 1,5) * (L - x) / L \quad d = [(L - x) - 3,0] * x / L$$

| Seção | x (m) | k | a | b | c | d |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| S0 | 0.000 | 0.000 | -3.000 | -1.500 | 0.000 | 0.000 |
| S1 | 2.33 | 2.097 | -0.603 | 0.747 | 1.947 | 1.797 |
| S2 | 4.66 | 3.728 | 1.328 | 2.528 | 3.428 | 3.128 |
| S3 | 6.99 | 4.893 | 2.793 | 3.843 | 4.443 | 3.993 |
| S4 | 9.32 | 5.592 | 3.792 | 4.692 | 4.992 | 4.392 |
| S5 | 11.65 | 5.825 | 4.325 | 5.075 | 5.075 | 4.325 |

$$M+ = P * [k + \text{maior}(a + b; b + c; c + d)] + p * (L * k / 2)$$

Linha de Influência de Esforço Cortante



$$k = -x / L$$

$$q = (L - x) / L$$

$$L (m) = 23.3$$

$$a = -(x - 3,0) * k / x$$

$$b = -(x - 1,5) * k / x$$

$$c = (L - x - 1,5) * q / (L - x)$$

$$d = (L - x - 3,0) * q / (L - x)$$

| Seção | x (m) | k | q | a | b | c | d |
|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| S0 | 0.00 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.936 | 0.871 |
| S1 | 2.33 | -0.100 | 0.900 | 0.000 | -0.036 | 0.836 | 0.771 |
| S2 | 4.66 | -0.200 | 0.800 | -0.071 | -0.136 | 0.736 | 0.671 |
| S3 | 6.99 | -0.300 | 0.700 | -0.171 | -0.236 | 0.636 | 0.571 |
| S4 | 9.32 | -0.400 | 0.600 | -0.271 | -0.336 | 0.536 | 0.471 |
| S5 | 11.65 | -0.500 | 0.500 | -0.371 | -0.436 | 0.436 | 0.371 |

$$V+ = P * (q + c + d) + p * q * (L - x) / 2$$

$$V- = P * (k + a + b) + p * k * x / 2$$

Esforços Viga V1

P (tf) = 8.089
 ρ (tf/m) = 1.780

| Seção | Cortante | | Momento | |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | V+ (tf.m) | V- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| S0 | 43.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1 | 37.1 | -1.3 | 90.7 | 0.0 |
| S2 | 31.1 | -4.1 | 160.5 | 0.0 |
| S3 | 25.6 | -7.6 | 209.3 | 0.0 |
| S4 | 20.5 | -11.5 | 239.5 | 0.0 |
| S5 | 15.8 | -15.8 | 250.0 | 0.0 |

Tensões normais

$$\sigma_s = M / Ws_{corrente}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{corrente}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{corrente}$$

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
|-------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 0 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.5428 | 0.961 | 0.2182 | 167 | 94 | -416 |
| 2 | 0.5428 | 0.961 | 0.2182 | 296 | 167 | -736 |
| 3 | 0.5428 | 0.961 | 0.2182 | 386 | 218 | -959 |
| 4 | 0.5428 | 0.961 | 0.2182 | 441 | 249 | -1098 |
| 5 | 0.5428 | 0.961 | 0.2182 | 461 | 260 | -1146 |

Esforços Viga V2

P (tf) = 5.523
 ρ (tf/m) = 1.510

| Seção | Cortante | | Momento | |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | V+ (tf.m) | V- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| S0 | 33.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1 | 28.1 | -0.9 | 69.2 | 0.0 |
| S2 | 23.5 | -3.0 | 122.4 | 0.0 |
| S3 | 19.2 | -5.5 | 159.7 | 0.0 |
| S4 | 15.2 | -8.4 | 182.8 | 0.0 |
| S5 | 11.6 | -11.6 | 190.7 | 0.0 |

Tensões normais

$$\sigma_s = M / Ws_{corrente}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{corrente}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{corrente}$$

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
|-------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 0 | 0.578 | 0.905 | 0.295 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.561 | 1.008 | 0.214 | 123 | 69 | -323 |
| 2 | 0.561 | 1.008 | 0.214 | 218 | 121 | -572 |
| 3 | 0.561 | 1.008 | 0.214 | 285 | 158 | -746 |
| 4 | 0.561 | 1.008 | 0.214 | 326 | 181 | -854 |
| 5 | 0.561 | 1.008 | 0.214 | 340 | 189 | -891 |

Esforços de Protensão

Os esforços de protensão foram obtidos com o uso do programa "VEPRO" cuja listagem encontra-se anexa. Os resumos dos esforços em cada etapa de protensão estão resumidos a seguir.

Primeira etapa de protensão

| Tempo T = 0 | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 192.9 | -40.0 | -60.6 |
| 2 | 273.0 | -22.4 | -146.8 |
| 3 | 283.1 | 0.0 | -166.0 |
| 4 | 283.9 | 0.0 | -166.6 |
| 5 | 284.8 | 0.0 | -167.2 |

| Tempo T = ∞ | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 163.6 | -33.9 | -51.4 |
| 2 | 224.3 | -18.4 | -120.6 |
| 3 | 235.7 | 0.0 | -138.3 |
| 4 | 239.6 | 0.0 | -140.6 |
| 5 | 241.4 | 0.0 | -141.7 |

$$\sigma_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma'_s = N / S + M / W'_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Tempo T = 0 | | | | | | | |
|-------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Seção | S (m ²) | W _s (m ³) | W' _s (m ³) | W _i (m ³) | σ _s (tf/m ²) | σ' _s (tf/m ²) | σ _i (tf/m ²) |
| 0 | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 0 | 0 |
| 1 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 62 | 843 |
| 2 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -287 | 1605 |
| 3 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -382 | 1758 |
| 4 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -384 | 1764 |
| 5 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -386 | 1770 |

| Tempo T = ∞ | | | | | | | |
|-------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Seção | S (m ²) | W _s (m ³) | W' _s (m ³) | W _i (m ³) | σ _s (tf/m ²) | σ' _s (tf/m ²) | σ _i (tf/m ²) |
| 0 | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 0 | 0 |
| 1 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 52 | 715 |
| 2 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -236 | 1319 |
| 3 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -319 | 1464 |
| 4 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -324 | 1488 |
| 5 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -327 | 1500 |

Segunda etapa de protensão

| Tempo T = 0 | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 183.2 | -48.3 | -107.8 |
| 4 | 204.5 | -5.4 | -188.2 |
| 5 | 207.6 | 0.0 | -194.6 |

| Tempo T = ∞ | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 146.9 | -38.7 | -86.5 |
| 4 | 157.4 | -4.2 | -144.8 |
| 5 | 160.6 | 0.0 | -150.5 |

$$\sigma_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma'_s = N / S + M / W'_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | Tempo T = 0 | | |
|-------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| 0 | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -6 | 81 | 687 |
| 4 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -132 | 19 | 1078 |
| 5 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -140 | 16 | 1110 |

| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | Tempo T = ∞ | | |
|-------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| 0 | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -5 | 65 | 551 |
| 4 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -101 | 15 | 829 |
| 5 | 0.9504 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -108 | 12 | 859 |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

Viga de 24,0m - Viga de Bordo - 1 Protensao

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

23.30 .00 .00

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 5.92 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| 1 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 2 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 3 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 4 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 5 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 6 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 7 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 8 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 9 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C1

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.68 /FINAL= 2.33 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 4.00 /FINAL= .40 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

SECAO COTAS DECL. TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO

| | | | ANTES DA CRAV. | APOS CRAV. |
|---|-----|--------|----------------|------------|
| 1 | .64 | -21.00 | 13945. | 10917. |
| 2 | .11 | -4.50 | 12901. | 11961. |
| 3 | .09 | .00 | 12576. | 12285. |
| 4 | .09 | .00 | 12503. | 12358. |
| 5 | .09 | .00 | 12431. | 12431. |
| 6 | .09 | .00 | 12359. | 12359. |
| 7 | .09 | .00 | 12287. | 12287. |
| 8 | .09 | 1.95 | 12112. | 12112. |
| 9 | .20 | 3.93 | 11938. | 11938. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)

CABOS NUM. C2

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.61 /FINAL= 2.33 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 12.15 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 2 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| 2 | .40 | -12.85 | 13426. | 11377. |
| 3 | .21 | .00 | 12621. | 12183. |
| 4 | .21 | .00 | 12547. | 12257. |
| 5 | .21 | .00 | 12474. | 12329. |
| 6 | .21 | .00 | 12402. | 12402. |
| 7 | .21 | .00 | 12330. | 12330. |
| 8 | .21 | .00 | 12258. | 12258. |
| 9 | .46 | 11.00 | 11616. | 11616. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 3 (1 CABOS)

CABOS NUM. C3

ANCORAGENS MORTA-VIVA (CODIGO 1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.33 /FINAL= 2.61 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= 12.15 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 1 E 8

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| 1 | .46 | -11.00 | 11616. | 11616. |
| 2 | .21 | .00 | 12258. | 12258. |
| 3 | .21 | .00 | 12330. | 12330. |
| 4 | .21 | .00 | 12402. | 12258. |
| 5 | .21 | .00 | 12474. | 12185. |
| 6 | .21 | .00 | 12547. | 12113. |
| 7 | .21 | .00 | 12621. | 12039. |
| 8 | .40 | 12.85 | 13426. | 11233. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 4 (1 CABOS)

CABOS NUM. C4

ANCORAGENS MORTA-VIVA (CODIGO 1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.33 /FINAL= 1.68 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .40 /FINAL= 4.00 /
O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|-------|---|---|
| 1 | .20 | -3.93 | 11938. | 11938. |
| 2 | .09 | -1.95 | 12112. | 12112. |
| 3 | .09 | .00 | 12287. | 12287. |
| 4 | .09 | .00 | 12359. | 12359. |
| 5 | .09 | .00 | 12431. | 12431. |
| 6 | .09 | .00 | 12503. | 12503. |
| 7 | .09 | .00 | 12576. | 12576. |
| 8 | .11 | 4.50 | 12901. | 12252. |
| 9 | .64 | 21.00 | 13945. | 11208. |

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSAO SUCESSIVA = 316.8 KG/CM2

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSAO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1 | -.31 | 2.91 | 11185.3 |
| 2 | -.54 | 3.97 | 11613.7 |
| 3 | -.59 | 4.00 | 11954.4 |
| 4 | -.59 | 4.00 | 11990.9 |
| 5 | -.59 | 4.00 | 12027.2 |
| 6 | -.59 | 4.00 | 12027.2 |
| 7 | -.59 | 4.00 | 11991.2 |
| 8 | -.54 | 3.97 | 11651.4 |
| 9 | -.31 | 2.91 | 11278.7 |

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 192.9 | -40.0 | -60.6 | 61.7 | 842.9 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 273.0 | -22.4 | -146.8 | -287.3 | 1605.8 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 283.1 | .0 | -166.0 | -382.5 | 1758.0 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 283.9 | .0 | -166.6 | -384.0 | 1763.8 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 284.8 | .0 | -167.2 | -385.5 | 1769.4 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 284.8 | .0 | -167.2 | -385.5 | 1769.4 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 284.0 | .0 | -166.7 | -384.6 | 1764.5 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | 273.9 | 22.3 | -147.6 | -290.2 | 1613.1 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | 194.5 | 40.6 | -60.8 | 64.3 | 847.6 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| 1 | 171.0 | -189.0 | 195.0 | -215.0 |
| 2 | 300.0 | -331.0 | 343.0 | -378.0 |
| 3 | 393.0 | -433.0 | 460.0 | -506.0 |
| 4 | 449.0 | -495.0 | 529.0 | -582.0 |
| 5 | 467.0 | -515.0 | 556.0 | -612.0 |

| | | | | |
|---|-------|--------|-------|--------|
| 6 | 449.0 | -495.0 | 529.0 | -582.0 |
| 7 | 393.0 | -433.0 | 460.0 | -506.0 |
| 8 | 300.0 | -331.0 | 343.0 | -378.0 |
| 9 | 171.0 | -189.0 | 195.0 | -215.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=0

NOTAS :
 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
 3)F1=1*PROT.+G1
 F2=F1+G2

| SECAO | | F1 | F2 |
|-------|---|--------|-------|
| 1 | S | 232.7 | 427.7 |
| 1 | I | 653.9 | 438.9 |
| 2 | S | 12.7 | 355.7 |
| 2 | I | 1274.8 | 896.8 |
| 3 | S | 10.5 | 470.5 |
| 3 | I | 1325.0 | 819.0 |
| 4 | S | 65.0 | 594.0 |
| 4 | I | 1268.8 | 686.8 |
| 5 | S | 81.5 | 637.5 |
| 5 | I | 1254.4 | 642.4 |
| 6 | S | 63.5 | 592.5 |
| 6 | I | 1274.4 | 692.4 |
| 7 | S | 8.4 | 468.4 |
| 7 | I | 1331.5 | 825.5 |
| 8 | S | 9.8 | 352.8 |
| 8 | I | 1282.1 | 904.1 |
| 9 | S | 235.3 | 430.3 |
| 9 | I | 658.6 | 443.6 |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
| 1 | 477.8 | 593.2 | 630.0 | 1701.0 | 9484.3 |
| 2 | 433.0 | 1012.0 | 630.0 | 2074.9 | 9538.7 |
| 3 | 424.6 | 945.8 | 630.0 | 2000.4 | 9954.0 |
| 4 | 424.6 | 818.8 | 630.0 | 1873.4 | 10117.6 |
| 5 | 424.6 | 776.5 | 630.0 | 1831.1 | 10196.2 |
| 6 | 424.6 | 824.7 | 630.0 | 1879.3 | 10148.0 |
| 7 | 424.5 | 952.4 | 630.0 | 2007.0 | 9984.2 |
| 8 | 432.8 | 1019.4 | 630.0 | 2082.1 | 9569.3 |
| 9 | 477.9 | 598.9 | 630.0 | 1706.8 | 9571.8 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 163.5 | -33.9 | -51.4 | 52.3 | 714.7 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 224.3 | -18.4 | -120.6 | -236.0 | 1318.9 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 235.7 | .0 | -138.3 | -318.5 | 1463.9 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 239.6 | .0 | -140.6 | -324.0 | 1488.2 | .0 | .0 | .0 |

| | | | | | | | | |
|---|-------|------|--------|--------|--------|----|----|----|
| 5 | 241.4 | .0 | -141.7 | -326.8 | 1500.0 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 240.3 | .0 | -141.0 | -325.2 | 1493.0 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 236.4 | .0 | -138.8 | -320.3 | 1469.2 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | 225.0 | 18.3 | -121.3 | -238.3 | 1324.8 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | 165.1 | 34.5 | -51.6 | 54.6 | 719.3 | .0 | .0 | .0 |

REAÇÕES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTÁTICO DA PROTENSAO

| | APOIO | REAÇÃO (T) |
|---|-------|------------|
| 1 | 1 | .00 |

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| 1 | 171.0 | -189.0 | 195.0 | -215.0 |
| 2 | 300.0 | -331.0 | 343.0 | -378.0 |
| 3 | 393.0 | -433.0 | 460.0 | -506.0 |
| 4 | 449.0 | -495.0 | 529.0 | -582.0 |
| 5 | 467.0 | -515.0 | 556.0 | -612.0 |
| 6 | 449.0 | -495.0 | 529.0 | -582.0 |
| 7 | 393.0 | -433.0 | 460.0 | -506.0 |
| 8 | 300.0 | -331.0 | 343.0 | -378.0 |
| 9 | 171.0 | -189.0 | 195.0 | -215.0 |

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=INFINITO

- NOTAS :
- 1) TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
 - 2) COMPRESSAO = + / TRACAO = -
 - 3) $F1 = 1 \cdot PROT. + G1$
 $F2 = F1 + G2$
 $F3 = F2 + G3$
 $F4 = F3 + I. QMAX$
 $F5 = F3 + I. QMIN$

| SECAO | | F1 | F2 |
|-------|---|--------|-------|
| 1 | S | 223.3 | 418.3 |
| 1 | I | 525.7 | 310.7 |
| 2 | S | 64.0 | 407.0 |
| 2 | I | 987.9 | 609.9 |
| 3 | S | 74.5 | 534.5 |
| 3 | I | 1030.9 | 524.9 |
| 4 | S | 125.0 | 654.0 |
| 4 | I | 993.2 | 411.2 |
| 5 | S | 140.2 | 696.2 |
| 5 | I | 985.0 | 373.0 |
| 6 | S | 123.8 | 652.8 |
| 6 | I | 998.0 | 416.0 |
| 7 | S | 72.7 | 532.7 |
| 7 | I | 1036.2 | 530.2 |
| 8 | S | 61.7 | 404.7 |
| 8 | I | 993.8 | 615.8 |
| 9 | S | 225.6 | 420.6 |
| 9 | I | 530.3 | 315.3 |

ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 140. | 0. | 140. |
| 2 | 130. | 0. | 130. |
| 3 | 0. | 130. | 130. |
| 4 | 0. | 140. | 140. |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

Viga de 24,0m - Viga de Bordo - 2 Protensao

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

23.30 .00 .00

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 5.92 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| 1 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 2 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 3 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 4 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 5 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 6 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 7 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 8 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 9 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C5

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 3.54 /FINAL= 3.54 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 14.50 /FINAL= 14.50 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

SECAO COTAS DECL. TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO

| | | | ANTES DA CRAV. | APOS CRAV. |
|---|-----|--------|----------------|------------|
| 3 | .21 | -10.50 | 13258. | 11670. |
| 4 | .09 | .00 | 12591. | 12337. |
| 5 | .09 | .00 | 12518. | 12411. |
| 6 | .09 | .00 | 12591. | 12337. |
| 7 | .21 | 10.50 | 13258. | 11670. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCAVEL DO CABO

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)

CABOS NUM. C6

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.14 /FINAL= 2.14 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 12.00 /FINAL= 12.00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| 3 | .51 | -13.00 | 13451. | 11118. |
| 4 | .21 | .00 | 12635. | 11934. |
| 5 | .21 | .00 | 12562. | 12007. |
| 6 | .21 | .00 | 12635. | 11934. |
| 7 | .51 | 13.00 | 13451. | 11118. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCAVEL DO CABO

GRUPO DE CABOS NUM. 3 (1 CABOS)

CABOS NUM. C7

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .74 /FINAL= .74 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 20.00 /FINAL= 20.00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| 3 | 1.05 | -22.00 | 13035. | 9596. |
| 4 | .39 | -5.00 | 12033. | 10598. |
| 5 | .33 | .00 | 11705. | 10926. |
| 6 | .39 | 5.00 | 12033. | 10598. |
| 7 | 1.05 | 22.00 | 13035. | 9596. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCAVEL DO CABO

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSAO SUCESSIVA = 92.4 KG/CM2

1

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSAO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1 | .00 | .00 | -92.4 |
| 2 | .00 | .00 | -92.4 |
| 3 | -.59 | 2.88 | 10724.7 |
| 4 | -.92 | 3.00 | 11532.0 |
| 5 | -.94 | 3.00 | 11688.9 |
| 6 | -.92 | 3.00 | 11532.0 |
| 7 | -.59 | 2.88 | 10724.7 |
| 8 | .00 | .00 | -92.4 |
| 9 | .00 | .00 | -92.4 |

ESFORÇOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 183.2 | -48.3 | -107.8 | 80.6 | 687.3 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 204.5 | -5.4 | -188.2 | 19.5 | 1078.7 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 207.6 | .0 | -194.6 | 16.1 | 1111.0 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 204.5 | 5.4 | -188.2 | 19.5 | 1078.7 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 183.2 | 48.3 | -107.8 | 80.6 | 687.3 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

1

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

1

| SECAO | F2 1ªPROT. | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|------------|-------|------------------|--------|------------------|---------|------------------|------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| 1 | 427.7 | 438.9 | 28.0 | -122.0 | 94.0 | -416.0 | .0 | .0 |
| 2 | 355.7 | 896.8 | 49.0 | -217.0 | 167.0 | -736.0 | .0 | .0 |
| 3 | 470.5 | 819.0 | 65.0 | -285.0 | 218.0 | -959.0 | .0 | .0 |
| 4 | 594.0 | 686.8 | 74.0 | -325.0 | 249.0 | -1098.0 | .0 | .0 |
| 5 | 637.5 | 642.4 | 77.0 | -339.0 | 260.0 | -1146.0 | .0 | .0 |
| 6 | 592.5 | 692.4 | 74.0 | -325.0 | 249.0 | -1098.0 | .0 | .0 |
| 7 | 468.4 | 825.5 | 65.0 | -285.0 | 218.0 | -959.0 | .0 | .0 |
| 8 | 352.8 | 904.1 | 49.0 | -217.0 | 167.0 | -736.0 | .0 | .0 |
| 9 | 430.3 | 443.6 | 28.0 | -122.0 | 94.0 | -416.0 | .0 | .0 |

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=0

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3)F3=F2+2ªPROT.
F4=F3+G3
F5=F4+I.QMAX
F6=F4+I.QMIN

| SECAO | | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| 1 | S | 427.7 | 455.7 | 549.7 | 455.7 |
| 1 | I | 438.9 | 316.9 | -99.1 | 316.9 |
| 2 | S | 355.7 | 404.7 | 571.7 | 404.7 |
| 2 | I | 896.8 | 679.8 | -56.2 | 679.8 |
| 3 | S | 551.1 | 616.1 | 834.1 | 616.1 |

| | | | | | |
|---|---|--------|--------|-------|--------|
| 3 | I | 1506.3 | 1221.3 | 262.3 | 1221.3 |
| 4 | S | 613.5 | 687.5 | 936.5 | 687.5 |
| 4 | I | 1765.5 | 1440.5 | 342.5 | 1440.5 |
| 5 | S | 653.6 | 730.6 | 990.6 | 730.6 |
| 5 | I | 1753.4 | 1414.4 | 268.4 | 1414.4 |
| 6 | S | 612.0 | 686.0 | 935.0 | 686.0 |
| 6 | I | 1771.1 | 1446.1 | 348.1 | 1446.1 |
| 7 | S | 549.0 | 614.0 | 832.0 | 614.0 |
| 7 | I | 1512.8 | 1227.8 | 268.8 | 1227.8 |
| 8 | S | 352.8 | 401.8 | 568.8 | 401.8 |
| 8 | I | 904.1 | 687.1 | -48.9 | 687.1 |
| 9 | S | 430.3 | 458.3 | 552.3 | 458.3 |
| 9 | I | 443.6 | 321.6 | -94.4 | 321.6 |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM²)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
| 1 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1248.9 |
| 2 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1248.9 |
| 3 | 488.3 | 1005.4 | 630.0 | 2123.7 | 8600.9 |
| 4 | 458.6 | 1570.8 | 630.0 | 2659.4 | 8872.6 |
| 5 | 456.8 | 1561.6 | 630.0 | 2648.4 | 9040.5 |
| 6 | 458.6 | 1576.7 | 630.0 | 2665.3 | 8866.7 |
| 7 | 488.3 | 1010.1 | 630.0 | 2128.4 | 8596.3 |
| 8 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1248.9 |
| 9 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1248.9 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M ²) | TENSAO ISOST INF. (T/M ²) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M ²) | TENSAO HIPER INF (T/M ²) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 146.9 | -38.7 | -86.5 | 64.7 | 551.2 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 157.4 | -4.2 | -144.8 | 15.0 | 829.9 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 160.6 | .0 | -150.5 | 12.4 | 859.3 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 157.3 | 4.2 | -144.7 | 15.0 | 829.4 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 146.8 | 38.7 | -86.4 | 64.6 | 550.9 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M²)

| SECAO | F2 1ª PROT. | | CARGA PERMAN. G3 | | C. MOVEL MAXIMA + | | C. MOVEL MAXIMA - | |
|-------|-------------|-------|------------------|--------|-------------------|---------|-------------------|------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| 1 | 418.3 | 310.7 | 28.0 | -122.0 | 94.0 | -416.0 | .0 | .0 |
| 2 | 407.0 | 609.9 | 49.0 | -217.0 | 167.0 | -736.0 | .0 | .0 |
| 3 | 534.5 | 524.9 | 65.0 | -285.0 | 218.0 | -959.0 | .0 | .0 |
| 4 | 654.0 | 411.2 | 74.0 | -325.0 | 249.0 | -1098.0 | .0 | .0 |
| 5 | 696.2 | 373.0 | 77.0 | -339.0 | 260.0 | -1146.0 | .0 | .0 |
| 6 | 652.8 | 416.0 | 74.0 | -325.0 | 249.0 | -1098.0 | .0 | .0 |
| 7 | 532.7 | 530.2 | 65.0 | -285.0 | 218.0 | -959.0 | .0 | .0 |
| 8 | 404.7 | 615.8 | 49.0 | -217.0 | 167.0 | -736.0 | .0 | .0 |
| 9 | 420.6 | 315.3 | 28.0 | -122.0 | 94.0 | -416.0 | .0 | .0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=INFINITO

NOTAS :

- 1) TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2) COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3) F3=F2+2ª PROT.
 F4=F3+G3
 F5=F4+I.QMAX
 F6=F4+I.QMIN

| SECAO | | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------|---|--------|-------|--------|-------|
| 1 | S | 418.3 | 446.3 | 540.3 | 446.3 |
| 1 | I | 310.7 | 188.7 | -227.3 | 188.7 |
| 2 | S | 407.0 | 456.0 | 623.0 | 456.0 |
| 2 | I | 609.9 | 392.9 | -343.1 | 392.9 |
| 3 | S | 599.2 | 664.2 | 882.2 | 664.2 |
| 3 | I | 1076.1 | 791.1 | -167.9 | 791.1 |
| 4 | S | 669.0 | 743.0 | 992.0 | 743.0 |
| 4 | I | 1241.1 | 916.1 | -181.9 | 916.1 |
| 5 | S | 708.6 | 785.6 | 1045.6 | 785.6 |
| 5 | I | 1232.3 | 893.3 | -252.7 | 893.3 |
| 6 | S | 667.8 | 741.8 | 990.8 | 741.8 |
| 6 | I | 1245.4 | 920.4 | -177.6 | 920.4 |
| 7 | S | 597.3 | 662.3 | 880.3 | 662.3 |
| 7 | I | 1081.1 | 796.1 | -162.9 | 796.1 |
| 8 | S | 404.7 | 453.7 | 620.7 | 453.7 |
| 8 | I | 615.8 | 398.8 | -337.2 | 398.8 |
| 9 | S | 420.6 | 448.6 | 542.6 | 448.6 |
| 9 | I | 315.3 | 193.3 | -222.7 | 193.3 |

1

ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 49. | 49. | 99. |
| 2 | 40. | 40. | 80. |
| 3 | 28. | 28. | 57. |

Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga de bordo

Fases de verificação das tensões

F1 = G1 + 1ª Protensão
F2 = F1 + G2

F3 = F2 + 2ª Protensão
F4 = F3 + G3

F5 = F4 + CM_{mínima}
F6 = F4 + CM_{máxima}

Tempo T = 0

| Seção | | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|----------------|----------------------------------|------|---------|--------|------|--------|---------|--------|
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ_i (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 171 | 62 | 233 | 195 | 428 | 0 | 428 |
| | σ_i (tf/m ²) | -188 | 843 | 655 | -215 | 440 | 0 | 440 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 301 | -287 | 13 | 348 | 362 | 0 | 362 |
| | σ_i (tf/m ²) | -331 | 1605 | 1274 | -384 | 891 | 0 | 891 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -6 | -6 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 393 | -382 | 11 | 460 | 471 | 81 | 551 |
| | σ_i (tf/m ²) | -433 | 1758 | 1325 | -506 | 819 | 687 | 1505 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -132 | -132 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 449 | -384 | 65 | 529 | 593 | 19 | 613 |
| | σ_i (tf/m ²) | -494 | 1764 | 1269 | -582 | 687 | 1078 | 1765 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -140 | -140 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 467 | -386 | 82 | 556 | 637 | 16 | 653 |
| | σ_i (tf/m ²) | -515 | 1770 | 1255 | -612 | 643 | 1110 | 1753 |

| Seção | | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 |
|----------------|----------------------------------|------|--------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ_i (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 49 | 49 | 0 | 167 | 49 | 216 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 28 | 456 | 0 | 94 | 456 | 550 |
| | σ_i (tf/m ²) | -122 | 318 | 0 | -416 | 318 | -98 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 87 | 87 | 0 | 296 | 87 | 383 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 49 | 411 | 0 | 167 | 411 | 578 |
| | σ_i (tf/m ²) | -217 | 674 | 0 | -736 | 674 | -62 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 114 | 109 | 0 | 386 | 109 | 494 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 65 | 616 | 0 | 218 | 616 | 834 |
| | σ_i (tf/m ²) | -285 | 1221 | 0 | -959 | 1221 | 262 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 131 | -1 | 0 | 441 | -1 | 441 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 74 | 687 | 0 | 249 | 687 | 936 |
| | σ_i (tf/m ²) | -325 | 1439 | 0 | -1098 | 1439 | 342 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 136 | -4 | 0 | 461 | -4 | 457 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 77 | 730 | 0 | 260 | 730 | 990 |
| | σ_i (tf/m ²) | -339 | 1414 | 0 | -1146 | 1414 | 269 |

Tempo T = 00

Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$

F9 = F7 + CM_{máxima}

F8 = F7 + CM_{mínima}

$\Delta\sigma = \sigma_{t=00} - \sigma_{t=0}$

1ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|-------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| 1 | - | 52 | 715 | - | 62 | 843 | - | -9 | -128 |
| 2 | - | -236 | 1319 | - | -287 | 1605 | - | 51 | -286 |
| 3 | - | -319 | 1464 | - | -382 | 1758 | - | 63 | -294 |
| 4 | - | -324 | 1488 | - | -384 | 1764 | - | 60 | -275 |
| 5 | - | -327 | 1500 | - | -386 | 1770 | - | 59 | -270 |

2ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|-------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | -5 | 65 | 551 | -6 | 81 | 687 | 1 | -16 | -136 |
| 4 | -101 | 15 | 829 | -132 | 19 | 1078 | 30 | -4 | -248 |
| 5 | -108 | 12 | 859 | -140 | 16 | 1110 | 32 | -4 | -252 |

Perda total de protensão

| Seção | $\Delta\sigma_{total}$ | | |
|-------|------------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | -9 | -128 |
| 2 | 0 | 51 | -286 |
| 3 | 1 | 47 | -429 |
| 4 | 30 | 56 | -524 |
| 5 | 32 | 55 | -521 |

Tempo T = 00

| Seção | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 8 | Fase 9 |
|----------------|---------------------|------------------------|--------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| S ₀ | σ_s (tf/m2) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ_s' (tf/m2) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ_i (tf/m2) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S ₁ | σ_s (tf/m2) | 49 | 0 | 49 | 0 | 167 | 49 |
| | σ_s' (tf/m2) | 456 | -9 | 446 | 0 | 94 | 446 |
| | σ_i (tf/m2) | 318 | -128 | 190 | 0 | -416 | 190 |
| S ₂ | σ_s (tf/m2) | 87 | 0 | 87 | 0 | 296 | 87 |
| | σ_s' (tf/m2) | 411 | 51 | 462 | 0 | 167 | 462 |
| | σ_i (tf/m2) | 674 | -286 | 387 | 0 | -736 | 387 |
| S ₃ | σ_s (tf/m2) | 109 | 1 | 110 | 0 | 386 | 110 |
| | σ_s' (tf/m2) | 616 | 47 | 663 | 0 | 218 | 663 |
| | σ_i (tf/m2) | 1221 | -429 | 791 | 0 | -959 | 791 |
| S ₄ | σ_s (tf/m2) | -1 | 30 | 30 | 0 | 441 | 30 |
| | σ_s' (tf/m2) | 687 | 56 | 742 | 0 | 249 | 742 |
| | σ_i (tf/m2) | 1439 | -524 | 916 | 0 | -1098 | 916 |
| S ₅ | σ_s (tf/m2) | -4 | 32 | 28 | 0 | 461 | 28 |
| | σ_s' (tf/m2) | 730 | 55 | 786 | 0 | 260 | 786 |
| | σ_i (tf/m2) | 1414 | -521 | 893 | 0 | -1146 | 893 |

Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga central

Fases de verificação das tensões

F1 = G1 + 1ª Protensão
F2 = F1 + G2

F3 = F2 + 2ª Protensão
F4 = F3 + G3

F5 = F4 + CM_{mínima}
F6 = F4 + CM_{máxima}

Tempo T = 0

| Seção | | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|----------------|----------------------------------|------|---------|--------|------|--------|---------|--------|
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ_i (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 171 | 62 | 233 | 211 | 443 | 0 | 443 |
| | σ_i (tf/m ²) | -188 | 843 | 655 | -232 | 423 | 0 | 423 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 301 | -287 | 13 | 377 | 391 | 0 | 391 |
| | σ_i (tf/m ²) | -331 | 1605 | 1274 | -415 | 859 | 0 | 859 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -6 | -6 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 393 | -382 | 11 | 499 | 510 | 81 | 591 |
| | σ_i (tf/m ²) | -433 | 1758 | 1325 | -550 | 775 | 687 | 1461 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -132 | -132 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 449 | -384 | 65 | 578 | 642 | 19 | 662 |
| | σ_i (tf/m ²) | -494 | 1764 | 1269 | -636 | 633 | 1078 | 1711 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -140 | -140 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 467 | -386 | 82 | 612 | 693 | 16 | 709 |
| | σ_i (tf/m ²) | -515 | 1770 | 1255 | -674 | 581 | 1110 | 1692 |

| Seção | | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 |
|----------------|----------------------------------|------|--------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ_i (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 28 | 28 | 0 | 123 | 28 | 151 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 15 | 459 | 0 | 69 | 459 | 527 |
| | σ_i (tf/m ²) | -73 | 350 | 0 | -323 | 350 | 27 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 49 | 49 | 0 | 218 | 49 | 267 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 27 | 418 | 0 | 121 | 418 | 539 |
| | σ_i (tf/m ²) | -129 | 730 | 0 | -572 | 730 | 158 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 65 | 59 | 0 | 285 | 59 | 343 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 36 | 627 | 0 | 158 | 627 | 785 |
| | σ_i (tf/m ²) | -169 | 1292 | 0 | -746 | 1292 | 546 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 74 | -58 | 0 | 326 | -58 | 268 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 41 | 703 | 0 | 181 | 703 | 884 |
| | σ_i (tf/m ²) | -194 | 1517 | 0 | -854 | 1517 | 663 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 77 | -63 | 0 | 340 | -63 | 277 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 43 | 752 | 0 | 189 | 752 | 941 |
| | σ_i (tf/m ²) | -202 | 1490 | 0 | -891 | 1490 | 599 |

Tempo T = 00

Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$

$\Delta\sigma = \sigma_{t=00} - \sigma_{t=0}$

F8 = F7 + CM_{mínima}

F9 = F7 + CM_{máxima}

1ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|-------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| 1 | - | 52 | 715 | - | 62 | 843 | - | -9 | -128 |
| 2 | - | -236 | 1319 | - | -287 | 1605 | - | 51 | -286 |
| 3 | - | -319 | 1464 | - | -382 | 1758 | - | 63 | -294 |
| 4 | - | -324 | 1488 | - | -384 | 1764 | - | 60 | -275 |
| 5 | - | -327 | 1500 | - | -386 | 1770 | - | 59 | -270 |

2ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|-------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | -5 | 65 | 551 | -6 | 81 | 687 | 1 | -16 | -136 |
| 4 | -101 | 15 | 829 | -132 | 19 | 1078 | 30 | -4 | -248 |
| 5 | -108 | 12 | 859 | -140 | 16 | 1110 | 32 | -4 | -252 |

Perda total de protensão

| Seção | $\Delta\sigma_{total}$ | | |
|-------|------------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | -9 | -128 |
| 2 | 0 | 51 | -286 |
| 3 | 1 | 47 | -429 |
| 4 | 30 | 56 | -524 |
| 5 | 32 | 55 | -521 |

Tempo T = 00

| Seção | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | $CM_{mínima}$ | $CM_{máxima}$ | Fase 8 | Fase 9 | |
|----------------|---|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | σ_i (tf/m ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 28 | 0 | 28 | 0 | 123 | 28 | 151 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 459 | -9 | 449 | 0 | 69 | 449 | 518 |
| | σ_i (tf/m ²) | 350 | -128 | 222 | 0 | -323 | 222 | -101 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 49 | 0 | 49 | 0 | 218 | 49 | 267 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 418 | 51 | 469 | 0 | 121 | 469 | 591 |
| | σ_i (tf/m ²) | 730 | -286 | 443 | 0 | -572 | 443 | -129 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 59 | 1 | 60 | 0 | 285 | 60 | 345 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 627 | 47 | 674 | 0 | 158 | 674 | 833 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1292 | -429 | 863 | 0 | -746 | 863 | 116 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | -58 | 30 | -27 | 0 | 326 | -27 | 299 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 703 | 56 | 758 | 0 | 181 | 758 | 940 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1517 | -524 | 994 | 0 | -854 | 994 | 139 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | -63 | 32 | -31 | 0 | 340 | -31 | 309 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 752 | 55 | 807 | 0 | 189 | 807 | 997 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1490 | -521 | 968 | 0 | -891 | 968 | 77 |

Os quadros a seguir apresentam o cálculo do cisalhamento

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 35,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,k} = V_p^{1^{prot}} + V_p^{2^{prot}}$ em tempo $t = \infty$

| Seção | $V_{g1,k}$ (tf) | $V_{g2,k}$ (tf) | $V_{g3,k}$ (tf) | $V_{p,k}$ (tf) | $V_{q,max,k}$ (tf) | $V_{q,min,k}$ (tf) | V_k^{max} (tf) | V_k^{min} (tf) |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 0 | 13.7 | 15.1 | 12.7 | 0.0 | 43.4 | 0.0 | 63.3 | 41.5 |
| 1 | 10.4 | 12.2 | 10.2 | -33.9 | 37.1 | -1.3 | 17.4 | -1.8 |
| 2 | 7.8 | 9.2 | 7.6 | -18.4 | 31.1 | -4.1 | 21.8 | 4.2 |
| 3 | 5.2 | 6.3 | 5.1 | -38.7 | 25.6 | -7.6 | -25.9 | -9.3 |
| 4 | 2.6 | 3.4 | 2.5 | -4.2 | 20.5 | -11.5 | 14.5 | -1.4 |
| 5 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 15.8 | -15.8 | 8.3 | -7.5 |

Verificação do concreto

$$\phi_{bainha} \text{ (m)} = 0,055$$

$$V_{sd} = 1,40 * (V_{g1} + V_{g2} + V_{g3}) + 0,90 * V_p + 1,40 * V_q$$

$$V_{rd2} = 0,3 * f_{cd} * b_w * \text{nom} * d$$

$$d = H_{viga} + h_{laje} - 0,15$$

| Seção | V_{sd} (tf) | b_w (m) | $\Sigma \phi/2$ (m) | b_w^{nom} (m) | d (m) | V_{rd2} (tf) |
|-------|---------------|-----------|---------------------|-----------------|---------|----------------|
| 0 | 119.0 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.45 | 507.5 |
| 1 | 67.2 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |
| 2 | 61.5 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |
| 3 | 24.2 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |
| 4 | 36.8 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |
| 5 | 22.6 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

Parcela do esforço cortante absorvida pelo concreto

$$M_{sdu} = 1,40 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,40 * M_q$$

| Seção | $M_{g1,k}$ | $M_{g2,k}$ | $M_{g3,k}$ | $M_{q,k}$ | M_{sdu} (tf.m) |
|-------|------------|------------|------------|-----------|------------------|
| 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 27.9 | 31.8 | 26.6 | 90.7 | 247.9 |
| 2 | 49.0 | 56.8 | 47.3 | 160.5 | 439.1 |
| 3 | 64.1 | 74.9 | 62.1 | 209.3 | 574.6 |
| 4 | 73.2 | 86.2 | 71.0 | 239.5 | 657.8 |
| 5 | 76.2 | 90.6 | 74.0 | 250.0 | 687.0 |

$$V_{cd} = 2,5 * \beta_1 * \tau_{rd} * b_w \cdot \text{nom} * d$$

$$\tau_{rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ MPa}$$

$$\tau_{rd} \text{ (MPa)} = 0.376$$

$$\beta_1 = 1 + (M_o / M_{sdu}) \leq 2$$

$$M_o = 0,90 * (\sigma_p^{1^{\text{prot.00}}} * W^{\text{isol.}} + \sigma_p^{2^{\text{prot.00}}} * W^{\text{conj.}})$$

| Seção | $\sigma_p^{1^{\text{prot.00}}}$ (tf/m ²) | $W^{\text{isol.}}$ (m ³) | $\sigma_p^{2^{\text{prot.00}}}$ (tf/m ²) | $W^{\text{conj.}}$ (m ³) | M_o (tf.m) | β_1 |
|-------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------|-----------|
| 0 | 0 | 0.177 | 0 | 0.294 | 0.00 | 1.000 |
| 1 | 715 | 0.148 | 0 | 0.218 | 95.23 | 1.384 |
| 2 | 1319 | 0.148 | 0 | 0.218 | 175.68 | 1.400 |
| 3 | 1464 | 0.148 | 551 | 0.218 | 303.22 | 1.528 |
| 4 | 1488 | 0.148 | 829 | 0.218 | 361.10 | 1.549 |
| 5 | 1500 | 0.148 | 859 | 0.218 | 368.42 | 1.536 |

| Seção | b_w^{nom} (m) | d (m) | V_{cd} (tf) |
|-------|------------------------|-------|---------------|
| 0 | 0.500 | 1.450 | 68.1 |
| 1 | 0.153 | 1.450 | 28.7 |
| 2 | 0.153 | 1.450 | 29.1 |
| 3 | 0.153 | 1.450 | 31.7 |
| 4 | 0.153 | 1.450 | 32.2 |
| 5 | 0.153 | 1.450 | 31.9 |

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

| Seção | V_{sd} (tf) | V_{cd} (tf) | V_{wd} (tf) |
|-------|---------------|---------------|---------------|
| 0 | 119.0 | 68.1 | 50.89 |
| 1 | 67.2 | 28.7 | 38.45 |
| 2 | 61.5 | 29.1 | 32.44 |
| 3 | 24.2 | 31.7 | 0.00 |
| 4 | 36.8 | 32.2 | 4.60 |
| 5 | 22.6 | 31.9 | 0.00 |

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{ywd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w)$$

| Seção | b_w (m) | V_{wd} (tf) | A_{sw}/s (cm ² /m) | ρ_w (cm ² /m ²) |
|-------|-----------|---------------|------------------------------------|--|
| 0 | 0.50 | 50.9 | 8.97 | 17.94 |
| 1 | 0.18 | 38.5 | 6.78 | 37.65 |
| 2 | 0.18 | 32.4 | 5.72 | 31.76 |
| 3 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.18 | 4.6 | 0.81 | 4.50 |
| 5 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\Delta\sigma_w = (V_{\max} - V_c) / (b_w * d * \rho_{wu}) - (V_{\min} - V_c) / (b_w * d * \rho_{wu})$$

$$\Delta f_{sd}^{fad} = 850 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f.f. = \Delta\sigma_w / \Delta f_{sd}$$

| Seção | V ^{máx} (tf) | V ^{min} (tf) | V _c (tf) | ρ _{wu} (cm ² /cm ²) | σ _{wmax} (tf/m ²) | σ _{wmin} (tf/m ²) |
|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--|---|---|
| 0 | 63.25 | 41.53 | 45.38 | 0.00179 | 13742 | 0 |
| 1 | 17.35 | -1.84 | 19.16 | 0.00377 | 0 | 0 |
| 2 | 21.80 | 4.18 | 19.38 | 0.00318 | 2922 | 0 |
| 3 | -25.92 | -9.34 | 21.15 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 4 | 14.53 | -1.44 | 21.44 | 0.00045 | 0 | 0 |
| 5 | 8.30 | -7.46 | 21.26 | 0.00000 | 0 | 0 |

| Δσ _w (tf/m ²) | f.f. |
|---|------|
| 13742 | 1.62 |
| 0 | 1.00 |
| 2922 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |

Cálculo dos estribos e seus espaçamentos

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w) \geq 15 \text{ (cm}^2/\text{m}^2)$$

$$s = 2 * A_{S1perna} / (\rho_w * f.f. * b_w)$$

$$\phi \text{ (mm)} = 10.00 \quad A_{S1perna} \text{ (cm}^2) = 0.785$$

| Seção | b _w (m) | ρ _{wu} | ρ _{wu} x f.f | ρ _{wu} x f.f (Médio) | Espaçam. (m) |
|-------|--------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------|
| 0 | 0.50 | 17.94 | 29.00 | | |
| | | | | 33.3 | 13.9 |
| 1 | 0.18 | 37.65 | 37.65 | | |
| | | | | 34.7 | 25.1 |
| 2 | 0.18 | 31.76 | 31.76 | | |
| | | | | 15.9 | 54.9 |
| 3 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 4 | 0.18 | 4.50 | 4.50 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 5 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | | |

Verificação dos Aparelhos de Apoio
Apoio1
Viga de Bordo
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.40$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 14.2$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 16.3$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 13.0$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 43.4$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = 0.0$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 87.0$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = 724.7 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 43.5$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = 362.7 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

Viga Central
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.40$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 14.2$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 18.2$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 7.6$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 33.1$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = 0.0$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 73.1$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = 609.4 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

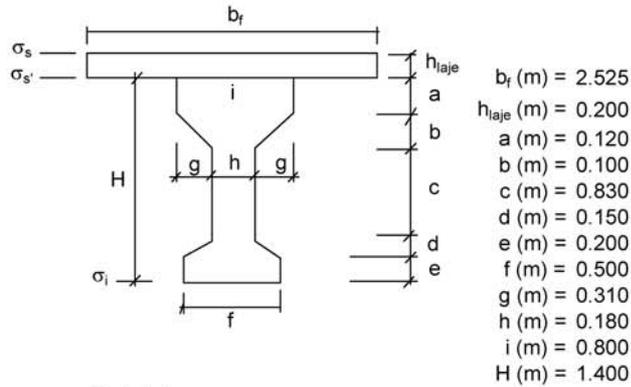
$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 40.0$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = 333.6 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à Ruptura da Seção S₅)

Verificação da Seção do Meio do Vão (S₅)

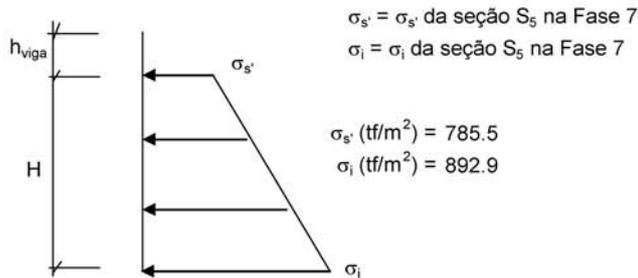


Materiais:

Concreto: f_{ck} (MPa) = 35.0 E_c (kgf/cm²) = 332,406

Aço: CP-190-RB E_{sp} (kgf/cm²) = 1,950,000

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



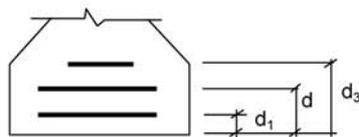
Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

$$\sigma_{sp}^{t=\infty} = \sigma_{sp}^{t=0} - \sigma_{1^{prot.}}^{t=0} + \sigma_{sp}^{t=0} - \sigma_{2^{prot.}}^{t=0} \quad \sigma_{sp}^{t=\infty} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 97,008$$

Solicitações atuantes na seção S₅

M_{g1} (tf.m) = 76.2
 M_{g2} (tf.m) = 90.6 M_p (tf.m) = 250.0
 M_{g3} (tf.m) = 74.0

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



1ª camada: n° cabos = 3
d₁ (m) = 0.09

2ª camada: n° cabos = 3
d₂ (m) = 0.21

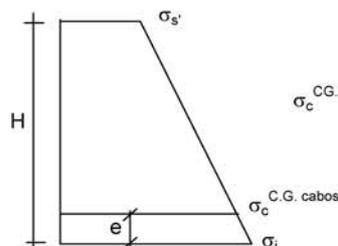
3ª camada: n° cabos = 1
d₃ (m) = 0.33

C.G (cm) = 0.176

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=00} / E_{sp} \quad \epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = 0.0050$$

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



$$\sigma_c^{C.G. \text{ cabos}} = [(H - e) * (\sigma_s - \sigma_c) / H] + \sigma_s$$

$$\sigma_c^{C.G. \text{ cabos}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 879.4$$

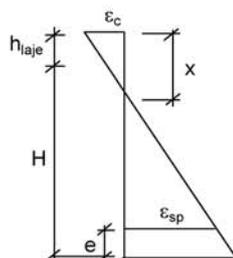
$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{C.G. \text{ cabos}} / E_c$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = 0.00026$$

$$e \text{ (m)} = 0.176$$

1ª Tentativa:

Deformada admitida para a seção S₅ ϵ_c (‰) = 3.5
 ϵ_{sp} (‰) = 10.0

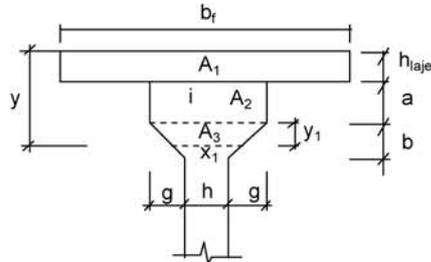


$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0.369$$

$$y = 0,8 * x \quad y \text{ (m)} = 0.295$$

Cálculo da resultante de compressão



- b_f (m) = 2.525
- h_{laje} (m) = 0.200
- a (m) = 0.120
- b (m) = 0.100
- g (m) = 0.310
- h (m) = 0.180
- i (m) = 0.800
- y_1 (m) = 0.000
- x_1 (m) = 0.000
- y (m) = 0.295

$$R_{cc} = 0,85 * f_{cd} * (A_1 + A_2 + A_3) / 1,4$$

- A_1 (m²) = 0.505
- A_2 (m²) = 0.076
- A_3 (m²) = 0.000

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 1,235.3$$

Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

$$\epsilon_{sp}^{total} \text{ (‰)} = 15.24$$

Da tabela do livro de concreto protendido do Prof. Walter do Couto Pfeil tem-se:

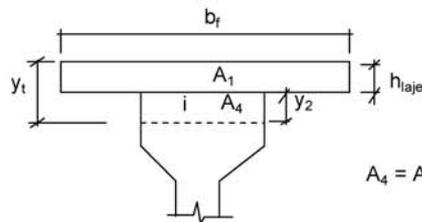
$$\sigma_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 15,724$$

$$A_{sp}^{1cabo\ 6\phi 12,7} \text{ (cm}^2\text{)} = 5.92 \quad A_{sp}^{total} \text{ (cm}^2\text{)} = 41.4$$

$$R_{st} = A_{sp}^{total} * \sigma_{sp} \quad R_{st} \text{ (tf)} = 651.6$$

Como $R_{st} < R_{cc}$, devemos diminuir o valor de x para reduzir a mesa de compressão e conseqüentemente R_{cc} .

Logo devemos ter: $R_{cc} = R_{st} \text{ (tf)} = 651.6$



$$A_c^{total} = A_1 + A_4 = R_{cc} / (0,85 * f_{cd})$$

- A_1 (m²) = 0.505
- A_c^{total} (m²) = 0.307

$$A_4 = A_c^{total} - A_1 \quad A_4 \text{ (m}^2\text{)} = 0.000 \quad (y_t < h_{laje})$$

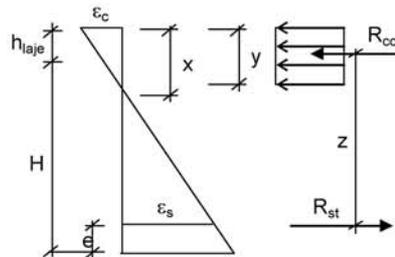
logo: y_2 (m) = 0.0000

$$y_t \text{ (m)} = 0.1214 \quad y_t < h_{laje}$$

$$x = y_t / 0,8 \quad x \text{ (m)} = 0.152$$

Cálculo do C.G da mesa comprimida

$$y_{C.G.} = \frac{\sum(A_i \cdot y_i)}{\sum A_i} \quad y_{C.G.} (m) = 0.0607$$



$$z = H + h_{laje} - y_{C.G.} - e \quad z (m) = 1.364$$

Assim temos:

$$M_u = R_{cc} \cdot z \quad M_u (tf.m) = 888.5$$

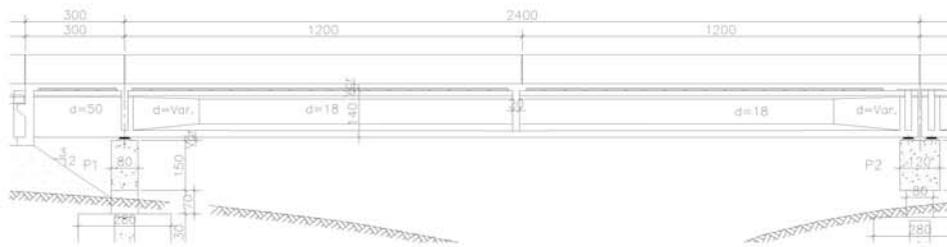
$$M_d = 1,4 \cdot (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3} + M_p) \quad M_d (tf.m) = 687.0$$

$$\text{Então: } M_u / M_d = 1.29 > 1,00 \text{ (Atende)}$$

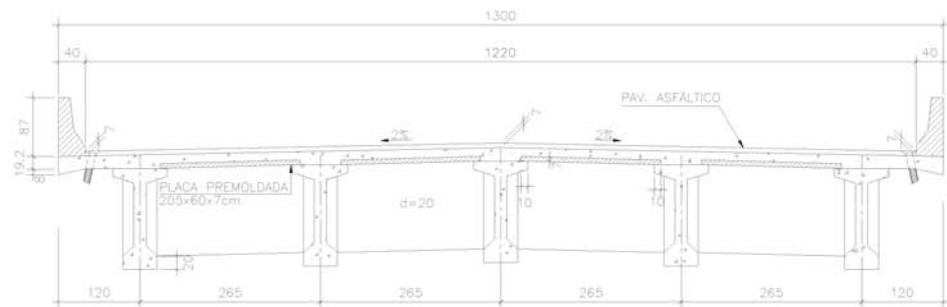
OBRA: Ponte sobre o Rio Santa Júlia

1 – Cálculo da superestrutura

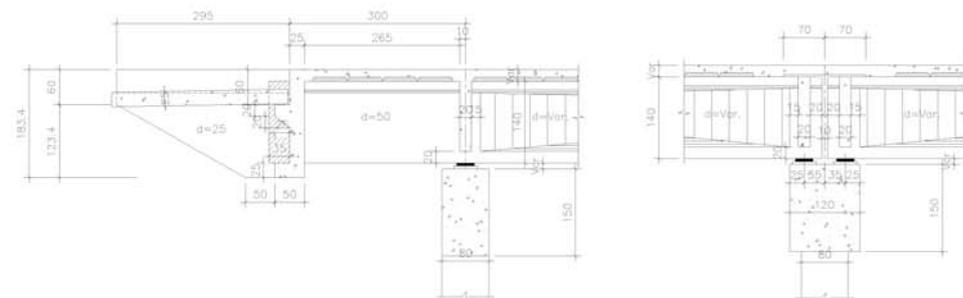
Perfil Longitudinal



Seção Transversal

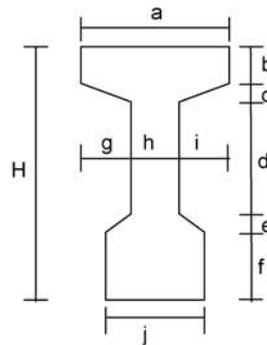


Detalhe das vigas nos apoios



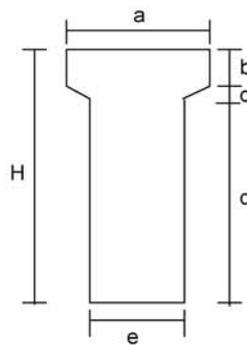
2 - Seção Transversal das Vigas

Seção Corrente



- a (m) = 0.800
- b (m) = 0.120
- c (m) = 0.100
- d (m) = 0.830
- e (m) = 0.150
- f (m) = 0.200
- g (m) = 0.310
- h (m) = 0.180
- i (m) = 0.310
- j (m) = 0.500
- H (m) = 1.400

Seção no Apoio



- a (m) = 0.800
- b (m) = 0.120
- c (m) = 0.048
- d (m) = 1.232
- e (m) = 0.500
- H (m) = 1.400

3 - Cálculo das cargas permanentes

3.1 - Características geométricas das vigas

| | Viga Isolada | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.445 | 0.743 |
| J (m ⁴) | 0.109 | 0.130 |
| Vs (m) | - | - |
| Vs' (m) | 0.666 | 0.664 |
| Vi (m) | 0.734 | 0.736 |
| Ws (m ³) | - | - |
| Ws' (m ³) | 0.163 | 0.197 |
| Wi (m ³) | 0.148 | 0.177 |

Viga de Bordo

$bf (m) = 2.53$

$h_{laje} (m) = 0.20$

Viga Central

$bf (m) = 2.65$

bf é a largura efetiva da mesa de contribuição

| | Viga Conjunto t = oo | |
|-----------------------|----------------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.950 | 1.248 |
| J (m ⁴) | 0.248 | 0.307 |
| Vs (m) | 0.459 | 0.555 |
| Vs' (m) | 0.259 | 0.355 |
| Vi (m) | 1.141 | 1.045 |
| Ws (m ³) | 0.540 | 0.554 |
| Ws' (m ³) | 0.958 | 0.865 |
| Wi (m ³) | 0.217 | 0.294 |

| | Viga Conjunto t = oo | |
|-----------------------|----------------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.975 | 1.273 |
| J (m ⁴) | 0.251 | 0.313 |
| Vs (m) | 0.449 | 0.546 |
| Vs' (m) | 0.249 | 0.346 |
| Vi (m) | 1.151 | 1.054 |
| Ws (m ³) | 0.559 | 0.573 |
| Ws' (m ³) | 1.008 | 0.905 |
| Wi (m ³) | 0.218 | 0.296 |

3.2 - Peso próprio da viga (g₁)

Carga distribuída

$g_1 = S_{corrente} * 2,50$

$g_1 (tf/m) = 1.113$

Trecho em balanço

$L_{bal} (m) = 3.000$

$g_{bal} = S_{apoio} * 2,50$

$g_{bal} (tf/m) = 1.858$

Carga Concentrada

Alargamento da Viga

$P_1 = (S_{apoio} - S_{corrente}) * (L_1 / 2) * 2,50$

$L_1 (m) = 2.000$

$P_1 (tf) = 0.75$

Alargamento no Apoio

$P_{apoio} = (S_{apoio} - S_{corrente}) * L_{apoio} * 2,5$

$L_{esq} (m) = 0.250$

$P_{esq} (tf) = 0.19$

$L_{dir} (m) = 0.550$

$P_{dir} (tf) = 0.41$

Placa de ancoragem

$$L3 \text{ (m)} = 0.350$$

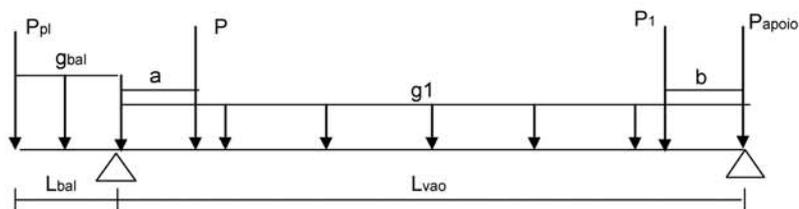
$$L4 \text{ (m)} = 0.500$$

$$h1 \text{ (m)} = 1.400$$

$$P_{pl} = L3 * h1 * L4 * 2,50$$

$$P_{pl} \text{ (tf)} = 0.613$$

Resumo do carregamento de peso próprio



$$P = P1 + P_{esq}$$

$$P_{papoio} = P_{dir}$$

$$L_{vao} \text{ (m)} = 23.65$$

$$L_{bal} \text{ (m)} = 3.000$$

$$a \text{ (m)} = 0.750$$

$$b \text{ (m)} = 0.667$$

$$g_{bal} \text{ (tf/m)} = 1.858$$

$$g1 \text{ (tf/m)} = 1.113$$

$$P_{pl} \text{ (tf)} = 0.61$$

$$P \text{ (tf)} = 0.93$$

$$P1 \text{ (tf)} = 0.75$$

$$P_{papoio} \text{ (tf)} = 0.41$$

Esforços Seccionais

Reações

$$R1 \text{ (tf)} = 20.69$$

$$R2 \text{ (tf)} = 13.89$$

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|----------------------|--------|----------|
| S _{Ext} Bal | -0.61 | 0.00 |
| S _{1/2} Bal | -3.40 | -3.01 |
| 0 esq | -6.19 | -10.20 |
| 0 dir | 14.51 | -10.20 |
| 1 | 10.95 | 19.50 |
| 2 | 8.32 | 42.28 |
| 3 | 5.68 | 58.84 |
| 4 | 3.05 | 69.17 |
| 5 | 0.42 | 73.28 |
| 6 | -2.21 | 71.17 |
| 7 | -4.84 | 62.83 |
| 8 | -7.47 | 48.28 |
| 9 | -10.10 | 27.50 |
| 10 | -13.48 | 0.00 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = - M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -15 | 17 |
| 0 | - | -52 | 58 |
| 1 | - | 120 | -132 |
| 2 | - | 259 | -286 |
| 3 | - | 361 | -398 |
| 4 | - | 424 | -467 |
| 5 | - | 450 | -495 |
| 6 | - | 437 | -481 |
| 7 | - | 385 | -425 |
| 8 | - | 296 | -326 |
| 9 | - | 169 | -186 |
| 10 | - | 0 | 0 |

3.3 - Laje + Transversina (g2)

Viga de Bordo

carga distribuída

$$g_2 = h * L * 2,50$$

$$h \text{ (m)} = 0.200 \quad g_2 \text{ (tf/m)} = 1.263$$

$$L \text{ (m)} = 2.525$$

carga concentrada

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{apoio} - j * f)] / 2 \} * esp * 2,50$$

$$L \text{ (m)} = 2.65 \quad j \text{ (m)} = 0.50$$

$$h \text{ (m)} = 1.40 \quad esp \text{ (m)} = 0.20$$

$$f \text{ (m)} = 0.20$$

$$P1 \text{ (tf)} = 0.77$$

Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{corrent} - j * f)] / 2 \} * esp * 2,50$$

$$L \text{ (m)} = 2.65 \quad j \text{ (m)} = 0.50$$

$$h \text{ (m)} = 1.40 \quad esp \text{ (m)} = 0.20$$

$$f \text{ (m)} = 0.20$$

$$P2 \text{ (tf)} = 0.84$$

Viga Central

carga distribuída

$$g_2 = h * L * 2,50$$

$$h \text{ (m)} = 0.200 \quad g_2 \text{ (tf/m)} = 1.325$$

$$L \text{ (m)} = 2.650$$

cargas concentradas

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{apoio} - j * f)] \} * esp * 2,50$$

$$L \text{ (m)} = 2.65 \quad j \text{ (m)} = 0.50$$

$$h \text{ (m)} = 1.40 \quad esp \text{ (m)} = 0.20$$

$$f \text{ (m)} = 0.20$$

$$P1 \text{ (tf)} = 1.53$$

Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{corrent} - j * f)] \} * esp * 2,50$$

$$L \text{ (m)} = 2.65 \quad j \text{ (m)} = 0.50$$

$$h \text{ (m)} = 1.40 \quad esp \text{ (m)} = 0.20$$

$$f \text{ (m)} = 0.20$$

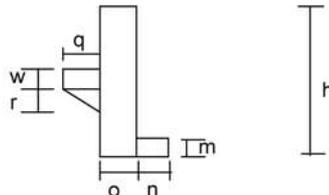
$$P2 \text{ (tf)} = 1.68$$

Seção fora do vão de cálculo

$$P3 = L * g2 \quad L (m) = 0.300$$

$$P3 (tf) = 0.38$$

Cortina



$$P_{cort} = [(m * n * L_{total}) + (w + r + w) * 0,5 * q * L_{cons} + o * h * L_{total}] * \gamma_{conc}$$

$$L_{total} (m) = 13.000$$

$$L_{cons} (m) = 9.400$$

$$h (m) = 1.900 \quad q (m) = 0.250$$

$$m (m) = 0.250 \quad w (m) = 0.200$$

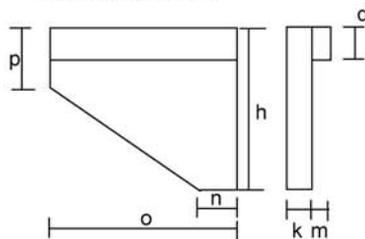
$$n (m) = 0.250 \quad r (m) = 0.200$$

$$o (m) = 0.250$$

$$P4 = P_{cort} / 5 \text{ vigas}$$

$$P4 (tf) = 3.85$$

Abas das Cortinas



$$P5 = [d * o * (k + m) + (o + n) * 0,5 * (h - p) * k + (p - d) * k * o] * \gamma_{conc}$$

$$h (m) = 1.826 \quad n (m) = 0.750$$

$$k (m) = 0.250 \quad o (m) = 2.950$$

$$d (m) = 0.400 \quad p (m) = 0.600$$

$$m (m) = 0.150$$

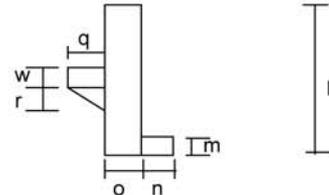
$$P5 (tf) = 2.97$$

Seção fora do vão de cálculo

$$P3 = L * g2 \quad L (m) = 0.300$$

$$P3 (tf) = 0.40$$

Cortina



$$P_{cort} = [(m * n * L_{total}) + (w + r + w) * 0,5 * q * L_{cons} + o * h * L_{total}] * \gamma_{conc}$$

$$L_{total} (m) = 13.000$$

$$L_{cons} (m) = 9.400$$

$$h (m) = 1.900 \quad q (m) = 0.250$$

$$m (m) = 0.250 \quad w (m) = 0.200$$

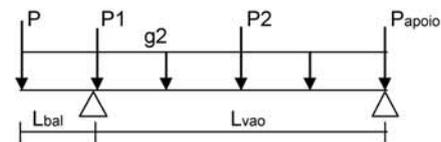
$$n (m) = 0.250 \quad r (m) = 0.200$$

$$o (m) = 0.250$$

$$P4 = P_{cort} / 5 \text{ vigas}$$

$$P4 (tf) = 3.85$$

Resumo dos esforços



$$P = P4$$

$$P_{apoio} = P1 + P3$$

$$P (tf) = 3.85$$

$$P_{apoio} (tf) = 1.93$$

$$g2 (tf/m) = 1.325$$

$$P (tf) = 3.85$$

$$P_{apoio} (tf) = 1.93$$

$$P1 (tf) = 1.53$$

$$P2 (tf) = 1.68$$

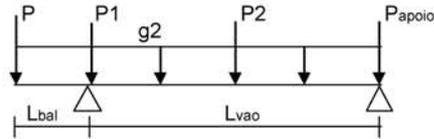
Esforços Seccionais

Reações

$$R1 (tf) = 26.60$$

$$R2 (tf) = 17.70$$

Resumo dos esforços



$P = P4 + P5$ P (tf) = 6.81
 $P_{apoio} = P1 + P3$ P_{apoio} (tf) = 1.15

g_2 (tf/m) = 1.263
 P (tf) = 6.81
 P_{apoio} (tf) = 1.15
 $P1$ (tf) = 0.77
 $P2$ (tf) = 0.84

Esforços Seccionais

Reações

$R1$ (tf) = 27.82
 $R2$ (tf) = 15.39

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -6.81 | 0.00 |
| S1/2Bal | -8.71 | -11.64 |
| 0 esq | -10.60 | -26.12 |
| 0 dir | 16.45 | -26.12 |
| 1 | 13.47 | 9.26 |
| 2 | 10.48 | 37.59 |
| 3 | 7.50 | 58.85 |
| 4 | 4.51 | 73.05 |
| 5 | 0.68 | 80.18 |
| 6 | -2.30 | 78.27 |
| 7 | -5.29 | 69.29 |
| 8 | -8.27 | 53.26 |
| 9 | -11.26 | 30.16 |
| 10 | -14.25 | 0.00 |

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -3.85 | 0.00 |
| S1/2Bal | -5.83 | -7.26 |
| 0 esq | -7.82 | -17.50 |
| 0 dir | 17.25 | -17.50 |
| 1 | 14.12 | 19.59 |
| 2 | 10.98 | 49.27 |
| 3 | 7.85 | 71.53 |
| 4 | 4.71 | 86.39 |
| 5 | -0.10 | 93.83 |
| 6 | -3.23 | 89.89 |
| 7 | -6.37 | 78.53 |
| 8 | -9.50 | 59.77 |
| 9 | -12.64 | 33.59 |
| 10 | -15.77 | 0.00 |

Tensões

$\sigma_s = M / W_{s\text{isolada}}$

$\sigma_i = -M / W_{i\text{isolada}}$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -37 | 41 |
| 0 | - | -89 | 99 |
| 1 | - | 120 | -132 |
| 2 | - | 302 | -333 |
| 3 | - | 439 | -483 |
| 4 | - | 530 | -584 |
| 5 | - | 576 | -634 |
| 6 | - | 551 | -607 |
| 7 | - | 482 | -531 |
| 8 | - | 367 | -404 |
| 9 | - | 206 | -227 |
| 10 | - | 0 | 0 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = - M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| S _{ExtBal} | - | 0 | 0 |
| S _{1/2Bal} | - | -59 | 66 |
| 0 | - | -133 | 148 |
| 1 | - | 57 | -63 |
| 2 | - | 231 | -254 |
| 3 | - | 361 | -398 |
| 4 | - | 448 | -494 |
| 5 | - | 492 | -542 |
| 6 | - | 480 | -529 |
| 7 | - | 425 | -468 |
| 8 | - | 327 | -360 |
| 9 | - | 185 | -204 |
| 10 | - | 0 | 0 |

3.4 - Sobrecarga Permanente (g₃)
Viga de Bordo

carga distribuída

Pavimentação asfáltica

$$g_a = L * h * 2,40$$

$$h \text{ (m)} = 0.10 \quad L \text{ (m)} = 2.125$$

$$g_a \text{ (tf/m)} = 0.510$$

guarda-rodas

$$g_3 = g_a + g_b \quad g_b \text{ (tf/m)} = 0.580$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1.090$$

carga concentrada

Guarda rodas sobre a aba

$$P_1 = g_b * L$$

$$L \text{ (m)} = 2.950 \quad P_1 \text{ (tf)} = 1.71$$

Laje de acesso

$$P_2 = (k * h * L * 2,50 / 2) / 5 \text{ vigas}$$

Viga Central

carga distribuída

Pavimentação asfáltica

$$g_3 = L * h * 2,40$$

$$h \text{ (m)} = 0.10$$

$$L \text{ (m)} = 2.65$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0.636$$

carga concentrada

Laje de acesso

$$P_1 = (k * h * L * 2,50 / 2) / 5 \text{ vigas}$$

$$k \text{ (m)} = 3.000$$

$$h \text{ (m)} = 0.250 \quad P_1 \text{ (tf)} = 1.86$$

$$L \text{ (m)} = 9.900$$

seção fora do vão de cálculo

$$P_2 = L * g_3$$

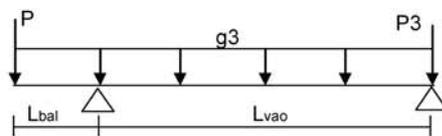
$k (m) = 3.000$
 $h (m) = 0.250$ $P2 (tf) = 2.28$
 $L (m) = 12.15$

seção fora do vão de cálculo

$P3 = L * g_3$ $L (m) = 0.300$

$P3 (tf) = 0.33$

Resumo dos esforços



$P = P1 + P2$
 $g_3 (tf/m) = 1.090$
 $P (tf) = 3.99$
 $P3 (tf) = 0.33$

Reações

$R1 (tf) = 20.86$
 $R2 (tf) = 12.50$

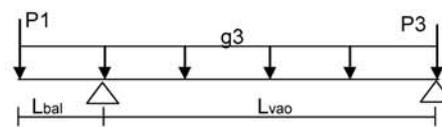
Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------------------|--------|----------|
| S _{ExtBal} | -3.99 | 0.00 |
| S _{1/2Bal} | -5.62 | -7.21 |
| 0 esq | -7.26 | -16.87 |
| 0 dir | 13.60 | -16.87 |
| 1 | 11.02 | 12.25 |
| 2 | 8.45 | 35.28 |
| 3 | 5.87 | 52.20 |
| 4 | 3.29 | 63.04 |
| 5 | 0.71 | 67.77 |
| 6 | -1.86 | 66.41 |
| 7 | -4.44 | 58.95 |
| 8 | -7.02 | 45.40 |
| 9 | -9.60 | 25.75 |
| 10 | -12.18 | 0.00 |

$L (m) = 0.300$

$P3 (tf) = 0.19$

Resumo dos esforços



$g_3 (tf/m) = 0.636$
 $P1 (tf) = 1.86$
 $P3 (tf) = 0.19$

Reações

$R1 (tf) = 11.64$
 $R2 (tf) = 7.36$

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------------------|--------|----------|
| S _{ExtBal} | -1.86 | 0.00 |
| S _{1/2Bal} | -2.81 | -2.07 |
| 0 esq | -3.76 | -8.43 |
| 0 dir | 7.88 | -8.43 |
| 1 | 6.37 | 8.42 |
| 2 | 4.87 | 21.71 |
| 3 | 3.36 | 31.45 |
| 4 | 1.86 | 37.63 |
| 5 | 0.36 | 40.25 |
| 6 | -1.15 | 39.32 |
| 7 | -2.65 | 34.82 |
| 8 | -4.16 | 26.77 |
| 9 | -5.66 | 15.16 |
| 10 | -7.16 | 0.00 |

Tensões

$$\sigma_s = M / Ws_{conjunto}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{conjunto}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{conjunto}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -13 | -8 | 25 |
| 0 | -30 | -20 | 57 |
| 1 | 23 | 13 | -56 |
| 2 | 65 | 37 | -163 |
| 3 | 97 | 55 | -241 |
| 4 | 117 | 66 | -290 |
| 5 | 126 | 71 | -312 |
| 6 | 123 | 69 | -306 |
| 7 | 109 | 62 | -272 |
| 8 | 84 | 47 | -209 |
| 9 | 48 | 27 | -119 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |

Tensões

$$\sigma_s = M / Ws_{conjunto}$$

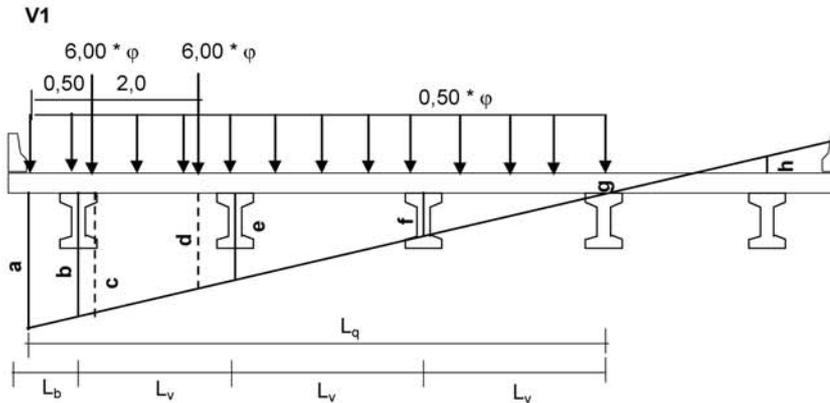
$$\sigma_s' = M / Ws'_{conjunto}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{conjunto}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -4 | -2 | 7 |
| 0 | -15 | -9 | 28 |
| 1 | 15 | 8 | -39 |
| 2 | 39 | 22 | -100 |
| 3 | 56 | 31 | -144 |
| 4 | 67 | 37 | -173 |
| 5 | 72 | 40 | -185 |
| 6 | 70 | 39 | -180 |
| 7 | 62 | 35 | -160 |
| 8 | 48 | 27 | -123 |
| 9 | 27 | 15 | -70 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |

4 - Cálculo Esforços de Carga Móvel

4.1 - Distribuição transversal do trem-tipo para obtenção do trem-tipo longitudinal



$$L_b \text{ (m)} = 1.20 \quad \text{Vão (m)} = 23.65$$

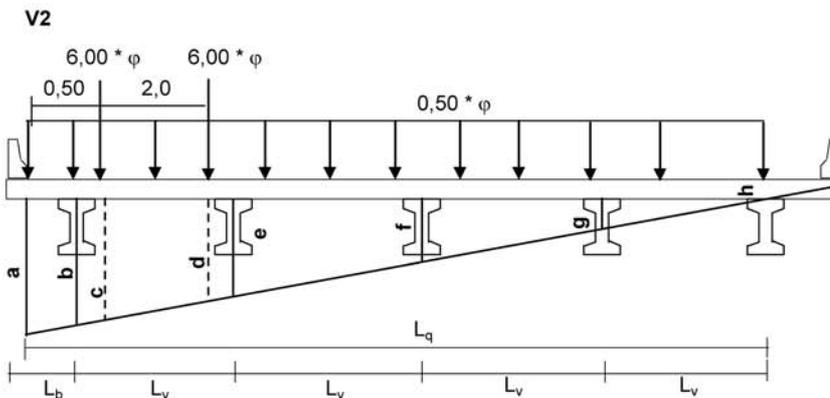
$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \quad \varphi = 1.234$$

$$a = 0.660 \quad c = 0.623 \quad e = 0.400 \quad g = 0.000$$

$$b = 0.600 \quad d = 0.472 \quad f = 0.200 \quad L_q \text{ (m)} = 8.750$$

$$P = 6 * \varphi * (c + d) \quad P \text{ (tf)} = 8.105$$

$$q = 0,50 * \varphi * (a * L_q) / 2 \quad q \text{ (tf/m)} = 1.783$$



$$a = 0.430 \quad c = 0.411 \quad e = 0.300 \quad g = 0.100$$

$$b = 0.400 \quad d = 0.336 \quad f = 0.200 \quad h = 0.000$$

$$L_q \text{ (m)} = 11.40$$

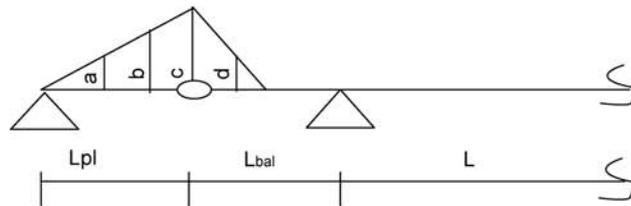
$$P = 6 * \varphi * (c + d) \quad P \text{ (tf)} = 5.534$$

$$q = 0,50 * \varphi * (a * L_q) / 2 \quad q \text{ (tf/m)} = 1.513$$

4.2 - Esforços internos devido ao carregamento do trem-tipo longitudinal

$$L_{pl} \text{ (m)} = 3.000 \qquad L \text{ (m)} = 23.65$$

$$L_{bal} \text{ (m)} = 3.000$$

Linha de Influência Momento Fletor
LI Momento S_{1/2} balanço


$$a = (L_{pl} - 3,00) * (c / L_{pl}) \qquad a = 0.000$$

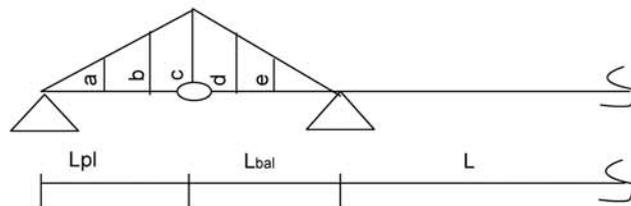
$$b = (L_{pl} - 1,50) * (c / L_{pl}) \qquad b = 0.750$$

$$c = 0,50 * L_{bal} \qquad c = 1.500$$

$$d = (0,5 * L_{bal} - 1,50) * [c / (0,50 * L_{bal})] \qquad d = 0.000$$

$$M_{1/2_min} = -p * [c * (L_{pl} + 0,50 * L_{bal}) * 0,50] - P * \text{maior} (a + b + c; b + c + d)$$

$$M_{1/2_max} = 0$$

LI Momento S₀


$$a = (L_{pl} - 3,00) * (c / L_{pl}) \qquad a = 0.000$$

$$b = (L_{pl} - 1,50) * (c / L_{pl}) \qquad b = 1.500$$

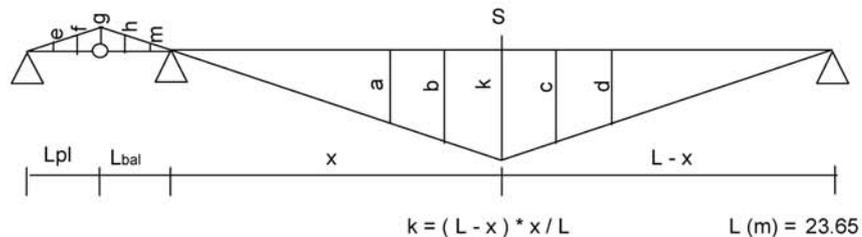
$$c = L_{bal} \qquad c = 3.000$$

$$d = (L_{bal} - 1,50) * (c / L_{bal}) \qquad d = 1.500$$

$$e = (L_{bal} - 3,00) * (c / L_{bal}) \qquad e = 0.000$$

$$M_{S0_min} = -p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) * 0,50] - P * [c + \text{maior} (a + b; b + d; d + e)]$$

$$M_{S0_max} = 0$$

LI Momento S₁ a S₁₀


$$a = (x - 3,0) * (L - x) / L$$

$$b = (x - 1,5) * (L - x) / L$$

$$c = [(L - x) - 1,5] * k / (L - x)$$

$$d = [(L - x) - 3,0] * k / (L - x)$$

$$e = (L_{pl} - 3,00) * (g / L_{pl})$$

$$f = (L_{pl} - 1,50) * (g / L_{pl})$$

$$g = L_{bal} * (k / x)$$

$$h = (L_{bal} - 1,50) * (g / L_{bal})$$

$$m = (L_{bal} - 3,00) * (g / L_{bal})$$

| Seção | x (m) | k | a | b | c | d |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| S1 | 2.37 | 2.129 | -0.572 | 0.779 | 1.979 | 1.829 |
| S2 | 4.73 | 3.784 | 1.384 | 2.584 | 3.484 | 3.184 |
| S3 | 7.10 | 4.967 | 2.867 | 3.917 | 4.517 | 4.067 |
| S4 | 9.46 | 5.676 | 3.876 | 4.776 | 5.076 | 4.476 |
| S5 | 11.83 | 5.913 | 4.413 | 5.163 | 5.163 | 4.413 |
| S6 | 14.19 | 5.676 | 4.476 | 5.076 | 4.776 | 3.876 |
| S7 | 16.56 | 4.967 | 4.067 | 4.517 | 3.917 | 2.867 |
| S8 | 18.92 | 3.784 | 3.184 | 3.484 | 2.584 | 1.384 |
| S9 | 21.29 | 2.129 | 1.829 | 1.979 | 0.779 | -0.571 |
| S10 | 23.65 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -1.500 | -3.000 |

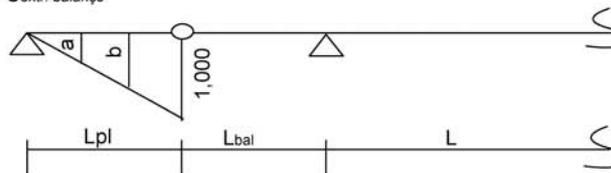
$$M_{max} = P * [k + \text{maior}(a + b; b + c; c + d)] + p * (L * k / 2)$$

| Seção | x (m) | e | f | g | h | m |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.37 | 0.000 | 1.350 | 2.700 | 1.350 | 0.000 |
| S2 | 4.73 | 0.000 | 1.200 | 2.400 | 1.200 | 0.000 |
| S3 | 7.10 | 0.000 | 1.050 | 2.100 | 1.050 | 0.000 |
| S4 | 9.46 | 0.000 | 0.900 | 1.800 | 0.900 | 0.000 |
| S5 | 11.83 | 0.000 | 0.750 | 1.500 | 0.750 | 0.000 |
| S6 | 14.19 | 0.000 | 0.600 | 1.200 | 0.600 | 0.000 |
| S7 | 16.56 | 0.000 | 0.450 | 0.900 | 0.450 | 0.000 |
| S8 | 18.92 | 0.000 | 0.300 | 0.600 | 0.300 | 0.000 |
| S9 | 21.29 | 0.000 | 0.150 | 0.300 | 0.150 | 0.000 |
| S10 | 23.65 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

$$M_{min} = -P * [\text{maior}(e + f + g; f + g + h; g + h + m)] - p * [(L_{pl} + L_{bal}) * g / 2]$$

Linha de Influência de Esforço Cortante

LI Cortante $S_{extr. balanço}$



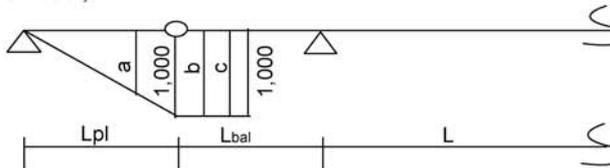
$$a = (L_{pl} - 3,00) / L_{pl} \quad a = 0,000$$

$$b = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl} \quad b = 0,500$$

$$Q_{extr_max} = p * L_{pl} / 2 + P * (a + b + 1,000)$$

$$Q_{extr_min} = 0$$

LI Cortante S_{1/2}. balanço



$$a = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl}$$

$$a = 0.500$$

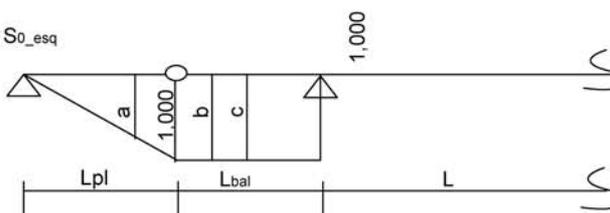
$$b = 1.000$$

$$c = 1.000$$

$$Q_{1/2bal_max} = p * (L_{pl} / 2 + L_{bal} / 2) + P * [1,000 + \text{maior}(a + b; b + c)]$$

$$Q_{1/2bal_min} = 0$$

LI Cortante S₀_esq



$$a = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl}$$

$$a = 0.500$$

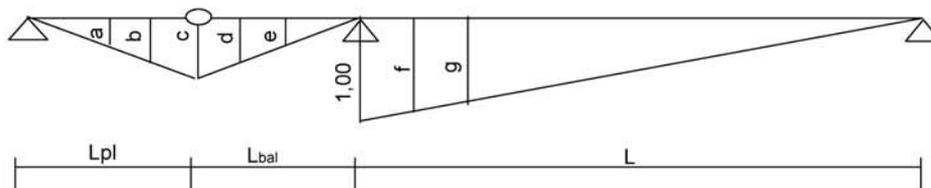
$$b = 1.000$$

$$c = 1.000$$

$$QS_{0esq_max} = p * (L_{pl} / 2 + L_{bal}) + P * [1,000 + \text{maior}(a + b; b + c)]$$

$$QS_{0esq_min} = 0$$

LI Cortante S₀_dir



$$a = (L_{pl} - 3,00) * c / L_{pl}$$

$$a = 0.000$$

$$b = (L_{pl} - 1,50) * c / L_{pl}$$

$$b = 0.063$$

$$c = L_{bal} * (1 / L)$$

$$c = 0.127$$

$$d = (L_{bal} - 1,50) * (c / L_{bal})$$

$$d = 0.063$$

$$e = (L_{bal} - 3,00) * (c / L_{bal})$$

$$e = 0.000$$

$$f = (L - 1,50) * (1,000 / L)$$

$$f = 0.937$$

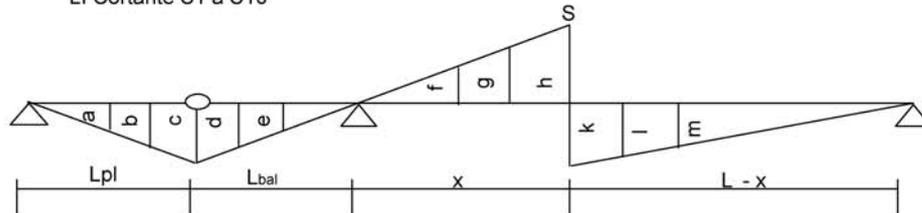
$$g = (L - 3,00) * (1,000 / L)$$

$$g = 0.873$$

$$QS_{0dir_max} = p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + 1,000 * L / 2] + P * [\text{maior}(a + b + c; b + c + d; c + d + e; 1,000 + f + g)]$$

$$QS_{0dir_min} = 0$$

LI Cortante S1 a S10



$$\begin{aligned}
 a &= (L_{pl} - 3,00) * c / L_{pl} & e &= (L_{bal} - 3,00) * c / L_{bal} & k &= (L - x) / L \\
 b &= (L_{pl} - 1,50) * c / L_{pl} & f &= (x - 3,00) * h / x & l &= (L - x - 1,50) * k / (L - x) \\
 c &= L_{bal} * h / x & g &= (x - 1,5) * h / x & m &= (L - x - 3,00) * k / (L - x) \\
 d &= (L_{bal} - 1,50) * c / L_{bal} & h &= x / L
 \end{aligned}$$

$L (m) = 23.650$

$L_{pl} (m) = 3.000$
 $L_{bal} (m) = 3.000$

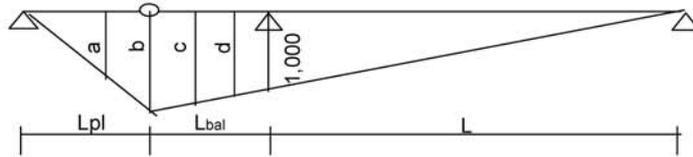
| Seção | x (m) | a | b | c | d | e | k | l | m |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| S1 | 2.37 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.900 | 0.837 | 0.773 |
| S2 | 4.73 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.800 | 0.737 | 0.673 |
| S3 | 7.10 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.700 | 0.637 | 0.573 |
| S4 | 9.46 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.600 | 0.537 | 0.473 |
| S5 | 11.83 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.500 | 0.437 | 0.373 |
| S6 | 14.19 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.400 | 0.337 | 0.273 |
| S7 | 16.56 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.300 | 0.237 | 0.173 |
| S8 | 18.92 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.200 | 0.137 | 0.073 |
| S9 | 21.29 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.100 | 0.037 | -0.027 |
| S10 | 23.65 | 0.000 | 0.063 | 0.127 | 0.063 | 0.000 | 0.000 | -0.063 | -0.127 |

$Q_{max} = P * [maior (a + b + c ; b + c + d ; c + d + e ; k + l + m)] + p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + k * (L - x) / 2]$

| Seção | x (m) | f | g | h |
|-------|-------|--------|-------|-------|
| S1 | 2.37 | -0.027 | 0.037 | 0.100 |
| S2 | 4.73 | 0.073 | 0.137 | 0.200 |
| S3 | 7.10 | 0.173 | 0.237 | 0.300 |
| S4 | 9.46 | 0.273 | 0.337 | 0.400 |
| S5 | 11.83 | 0.373 | 0.437 | 0.500 |
| S6 | 14.19 | 0.473 | 0.537 | 0.600 |
| S7 | 16.56 | 0.573 | 0.637 | 0.700 |
| S8 | 18.92 | 0.673 | 0.737 | 0.800 |
| S9 | 21.29 | 0.773 | 0.837 | 0.900 |
| S10 | 23.65 | 0.873 | 0.937 | 1.000 |

$Q_{min} = - P * (f + g + h) - p * h * x / 2$

LI Reação de apoio



$$a = (L_{pl} - 1,50) * b / L_{pl} \quad a = 0.563$$

$$b = (L_{bal} + L) * (1 / L) \quad b = 1.127$$

$$c = (L_{bal} + L - 1,50) * (1 / L) \quad c = 1.063$$

$$d = (L_{bal} + L - 3,00) * (1 / L) \quad d = 1.000$$

$$R_{max} = p * [b * (L_{pl} + L_{bal} + L) / 2] + P * [\text{maior} (a + b + c ; b + c + d)]$$

$$R_{min} = 0$$

Esforços Viga V1

$$P \text{ (tf)} = 8.105$$

$$p \text{ (tf/m)} = 1.783$$

$$R_{max} \text{ (tf)} = 55.6$$

$$R_{min} \text{ (tf)} = 0.0$$

| Seção | Cortante | | Momento | |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Q+ (tf.m) | Q- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| SExtBal | 14.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 29.7 | 0.0 | 0.0 | -24.3 |
| S0 esq | 32.3 | 0.0 | 0.0 | -64.7 |
| S0 dir | 44.5 | 0.0 | 0.0 | -64.7 |
| S1 | 38.1 | -1.1 | 93.0 | -58.2 |
| S2 | 32.1 | -4.2 | 164.5 | -51.7 |
| S3 | 26.5 | -7.7 | 214.6 | -45.3 |
| S4 | 21.3 | -11.6 | 245.6 | -38.8 |
| S5 | 16.6 | -15.9 | 256.3 | -32.3 |
| S6 | 12.2 | -20.6 | 245.6 | -25.9 |
| S7 | 8.3 | -25.8 | 214.6 | -19.4 |
| S8 | 4.8 | -31.4 | 164.5 | -12.9 |
| S9 | 2.9 | -37.4 | 93.0 | -6.5 |
| S10 | 2.7 | -43.9 | 0.0 | 0.0 |

Tensões normais

$$\sigma_s = M / Ws_{corrente}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{corrente}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{corrente}$$

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Momento Máximo | | | Momento Mínimo | | |
|---------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 | -44 | -28 | 83 |
| 0 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 | -117 | -75 | 220 |
| 1 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 172 | 97 | -429 | -108 | -61 | 268 |
| 2 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 305 | 172 | -758 | -96 | -54 | 238 |
| 3 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 397 | 224 | -989 | -84 | -47 | 209 |
| 4 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 455 | 256 | -1132 | -72 | -41 | 179 |
| 5 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 475 | 268 | -1181 | -60 | -34 | 149 |
| 6 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 455 | 256 | -1132 | -48 | -27 | 119 |
| 7 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 397 | 224 | -989 | -36 | -20 | 89 |
| 8 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 305 | 172 | -758 | -24 | -14 | 60 |
| 9 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 172 | 97 | -429 | -12 | -7 | 30 |
| 10 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Esforços Viga V2

$$P \text{ (tf)} = 5.534$$

$$p \text{ (tf/m)} = 1.513$$

$$R_{\max} \text{ (tf)} = 17.7$$

$$R_{\min} \text{ (tf)} = 0.0$$

| Seção | Cortante | | Momento | |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Q+ (tf.m) | Q- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| SExtBal | 10.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 21.1 | 0.0 | 0.0 | -17.6 |
| S0 esq | 23.4 | 0.0 | 0.0 | -46.8 |
| S0 dir | 34.0 | 0.0 | 0.0 | -46.8 |
| S1 | 29.0 | -0.8 | 70.9 | -42.1 |
| S2 | 24.3 | -3.0 | 125.6 | -37.5 |
| S3 | 19.9 | -5.5 | 163.9 | -32.8 |
| S4 | 15.9 | -8.5 | 187.5 | -28.1 |
| S5 | 12.3 | -11.7 | 195.7 | -23.4 |
| S6 | 9.0 | -15.4 | 187.5 | -18.7 |
| S7 | 6.1 | -19.3 | 163.9 | -14.0 |
| S8 | 3.6 | -23.7 | 125.6 | -9.4 |
| S9 | 2.2 | -28.4 | 70.9 | -4.7 |
| S10 | 2.0 | -33.4 | 0.0 | 0.0 |

Tensões normais

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Momento Máximo | | | Momento Mínimo | | |
|---------|---------|----------|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0.573 | 0.905 | 0.296 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.573 | 0.905 | 0.296 | 0 | 0 | 0 | -31 | -19 | 59 |
| 0 | 0.573 | 0.905 | 0.296 | 0 | 0 | 0 | -82 | -52 | 158 |
| 1 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 127 | 70 | -325 | -75 | -42 | 193 |
| 2 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 225 | 125 | -576 | -67 | -37 | 172 |
| 3 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 293 | 163 | -752 | -59 | -33 | 150 |
| 4 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 335 | 186 | -860 | -50 | -28 | 129 |
| 5 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 350 | 194 | -898 | -42 | -23 | 107 |
| 6 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 335 | 186 | -860 | -34 | -19 | 86 |
| 7 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 293 | 163 | -752 | -25 | -14 | 64 |
| 8 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 225 | 125 | -576 | -17 | -9 | 43 |
| 9 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 127 | 70 | -325 | -8 | -5 | 21 |
| 10 | 0.559 | 1.008 | 0.218 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Esforços de Protensão

Os esforços de protensão foram obtidos com o uso do programa "VEPRO" cuja listagem encontra-se anexa. Os resumos dos esforços em cada etapa de protensão estão resumidos a seguir.

Primeira etapa de protensão

| Tempo T = 0 | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 240.0 | 23.8 | 34.1 |
| 0 esq | 250.6 | 0.0 | 51.8 |
| 0 dir | 250.6 | 0.0 | 51.8 |
| 1 | 262.5 | -48.2 | -11.2 |
| 2 | 272.1 | -36.2 | -137.4 |
| 3 | 282.3 | -0.6 | -176.9 |
| 4 | 280.4 | 0.0 | -175.7 |
| 5 | 278.7 | 0.0 | -174.7 |
| 6 | 277.0 | 0.0 | -173.6 |
| 7 | 275.3 | 0.0 | -172.6 |
| 8 | 271.4 | 8.0 | -164.8 |
| 9 | 261.3 | 32.0 | -113.8 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| Tempo T = ∞ | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 202.1 | 20.0 | 28.7 |
| 0 esq | 212.2 | 0.0 | 43.8 |
| 0 dir | 212.2 | 0.0 | 43.8 |
| 1 | 218.1 | -40.1 | -9.3 |
| 2 | 221.6 | -29.5 | -111.8 |
| 3 | 230.0 | -0.5 | -144.1 |
| 4 | 232.4 | 0.0 | -145.6 |
| 5 | 232.8 | 0.0 | -145.9 |
| 6 | 230.7 | 0.0 | -144.6 |
| 7 | 226.5 | 0.0 | -142.0 |
| 8 | 219.2 | 6.5 | -133.1 |
| 9 | 211.7 | 26.0 | -92.2 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

$$\sigma_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma'_s = N / S + M / W'_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Tempo T = 0 | | | | | | | |
|-------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 496 | 130 |
| 0 | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 600 | 45 |
| 1 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 521 | 666 |
| 2 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -231 | 1540 |
| 3 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -451 | 1830 |
| 4 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -448 | 1817 |
| 5 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -445 | 1807 |
| 6 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -443 | 1795 |
| 7 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -440 | 1785 |
| 8 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -401 | 1723 |
| 9 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -111 | 1356 |
| 10 | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 0 | 0 |

| Tempo T = ∞ | | | | | | | |
|-------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 418 | 110 |
| 0 | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 508 | 38 |
| 1 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 433 | 553 |
| 2 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -188 | 1253 |
| 3 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -367 | 1491 |
| 4 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -371 | 1506 |
| 5 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -372 | 1509 |
| 6 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -369 | 1495 |
| 7 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -362 | 1468 |
| 8 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -324 | 1392 |
| 9 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -90 | 1099 |
| 10 | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 0 | 0 |

Segunda etapa de protensão

| Tempo T = 0 | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 0.0 | 0.0 | 0 |
| 0 esq | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0 dir | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 189.9 | -47.7 | -113.9 |
| 4 | 211.4 | -4.3 | -190.4 |
| 5 | 214.1 | 0.0 | -193.4 |
| 6 | 211.4 | 4.3 | -190.4 |
| 7 | 189.8 | 47.9 | -114.5 |
| 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| Tempo T = oo | | | |
|--------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 0.0 | 0.0 | 0 |
| 0 esq | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0 dir | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 149.6 | -37.6 | -89.7 |
| 4 | 160.4 | -3.3 | -144.5 |
| 5 | 164.6 | 0.0 | -148.7 |
| 6 | 162.0 | 3.3 | -145.9 |
| 7 | 151.5 | 38.3 | -91.4 |
| 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

$$\sigma'_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | Tempo T = 0 | | |
|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -11 | 81 | 725 |
| 4 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -130 | 24 | 1100 |
| 5 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -133 | 23 | 1117 |
| 6 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -130 | 24 | 1100 |
| 7 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -12 | 80 | 727 |
| 8 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |

| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | Tempo T = oo | | |
|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -9 | 64 | 571 |
| 4 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -99 | 18 | 835 |
| 5 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -102 | 18 | 859 |
| 6 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -100 | 18 | 843 |
| 7 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | -10 | 64 | 581 |
| 8 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0.95 | 0.540 | 0.958 | 0.217 | 0 | 0 | 0 |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

BR-163 - Viga de 27,00m - Viga de Bordo - Primeira Protensao

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

23.65 3.00 .01

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 5.92 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| -1 | .743 | .130 | .197 | .177 | .734 |
| 0 | .743 | .130 | .197 | .177 | .734 |
| 1 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 2 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 3 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 4 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 5 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 6 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 7 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 8 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 9 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C1

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 2.37 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.50 /FINAL= 4.50 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| -1 | 1.26 | 3.00 | 14092. | 10197. |
| 0 | 1.30 | .00 | 13856. | 10432. |
| 1 | 1.07 | -10.20 | 13175. | 11114. |
| 2 | .49 | -13.33 | 12920. | 11369. |
| 3 | .20 | -.50 | 12144. | 12144. |
| 4 | .20 | .00 | 12046. | 12046. |
| 5 | .20 | .00 | 11975. | 11975. |
| 6 | .20 | .00 | 11905. | 11905. |
| 7 | .20 | .00 | 11835. | 11835. |
| 8 | .24 | 3.62 | 11581. | 11581. |
| 9 | .53 | 10.50 | 11172. | 11172. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)

=====

CABOS NUM. C2

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 2.37 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= 2.80 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| -1 | 1.02 | 5.50 | 14184. | 10113. |
| 0 | 1.10 | .00 | 13796. | 10501. |
| 1 | .86 | -10.20 | 13118. | 11179. |
| 2 | .27 | -12.54 | 12908. | 11389. |
| 3 | .08 | .00 | 12149. | 12149. |
| 4 | .08 | .00 | 12077. | 12077. |
| 5 | .08 | .00 | 12006. | 12006. |
| 6 | .08 | .00 | 11935. | 11935. |
| 7 | .08 | .00 | 11865. | 11865. |
| 8 | .12 | 3.22 | 11630. | 11630. |
| 9 | .36 | 8.70 | 11288. | 11288. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 3 (1 CABOS)

=====

CABOS NUM. C3

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 2.37 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| -1 | .76 | 6.50 | 14184. | 10936. |
| 0 | .85 | .00 | 13736. | 11384. |
| 1 | .60 | -11.60 | 12981. | 12139. |
| 2 | .12 | -5.40 | 12560. | 12560. |
| 3 | .08 | .00 | 12195. | 12195. |
| 4 | .08 | .00 | 12123. | 12123. |
| 5 | .08 | .00 | 12052. | 12052. |
| 6 | .08 | .00 | 11981. | 11981. |
| 7 | .08 | .00 | 11910. | 11910. |
| 8 | .08 | .00 | 11840. | 11840. |
| 9 | .23 | 7.00 | 11416. | 11416. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 4 (1 CABOS)

CABOS NUM. C4

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 2.37 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= 1.46 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|-------|------------------------------------|---------------------|
| -1 | .49 | 7.50 | 14184. | 10674. |
| 0 | .55 | .00 | 13676. | 11182. |
| 1 | .28 | -9.60 | 13038. | 11821. |
| 2 | .08 | .00 | 12429. | 12429. |
| 3 | .08 | .00 | 12356. | 12356. |
| 4 | .08 | .00 | 12283. | 12283. |
| 5 | .08 | .00 | 12211. | 12211. |
| 6 | .08 | .00 | 12139. | 12139. |
| 7 | .08 | .00 | 12067. | 12067. |
| 8 | .08 | .00 | 11996. | 11996. |
| 9 | .10 | 2.04 | 11820. | 11820. |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSAO SUCESSIVA = 291.4 KG/CM2

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSAO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| -1 | .14 | 3.98 | 10188.1 |
| 0 | .21 | 4.00 | 10583.6 |
| 1 | -.04 | 3.93 | 11271.3 |
| 2 | -.50 | 3.94 | 11652.0 |
| 3 | -.63 | 4.00 | 11919.7 |
| 4 | -.63 | 4.00 | 11841.1 |
| 5 | -.63 | 4.00 | 11769.6 |
| 6 | -.63 | 4.00 | 11698.5 |
| 7 | -.63 | 4.00 | 11627.8 |
| 8 | -.61 | 4.00 | 11470.5 |
| 9 | -.44 | 3.96 | 11134.1 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 240.0 | 23.8 | 34.1 | 495.8 | 130.6 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 250.6 | .0 | 51.8 | 600.3 | 44.7 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | | .0 | | | | | | |
| 1 | 262.5 | -48.2 | -11.2 | 521.3 | 665.4 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 272.1 | -36.2 | -137.4 | -231.2 | 1539.5 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 282.3 | -.6 | -176.9 | -450.8 | 1829.4 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 280.4 | .0 | -175.7 | -448.0 | 1817.4 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 278.7 | .0 | -174.7 | -445.3 | 1806.5 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 277.0 | .0 | -173.6 | -442.6 | 1795.5 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 275.3 | .0 | -172.6 | -439.9 | 1784.7 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | 271.4 | 8.0 | -164.8 | -401.2 | 1723.3 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | 261.3 | 32.0 | -113.8 | -111.1 | 1356.0 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

1

| | | APOIO | REACAO (T) | |
|--|--|-------|------------|--|
| | | 1 | .00 | |

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | -15.0 | 17.0 | -59.0 | 66.0 |
| 0 | -52.0 | 58.0 | -133.0 | 148.0 |
| 1 | 120.0 | -132.0 | 57.0 | -63.0 |
| 2 | 259.0 | -286.0 | 231.0 | -254.0 |
| 3 | 361.0 | -398.0 | 361.0 | -398.0 |
| 4 | 424.0 | -467.0 | 448.0 | -494.0 |
| 5 | 450.0 | -495.0 | 492.0 | -542.0 |
| 6 | 437.0 | -481.0 | 480.0 | -529.0 |
| 7 | 385.0 | -425.0 | 425.0 | -468.0 |
| 8 | 296.0 | -326.0 | 327.0 | -360.0 |
| 9 | 169.0 | -186.0 | 185.0 | -204.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=0

NOTAS :
 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
 3)F1=1ªPROT.+G1
 F2=F1+G2

| SECAO | | F1 | F2 |
|-------|---|--------|--------|
| -1 | S | 480.8 | 421.8 |
| -1 | I | 147.6 | 213.6 |
| 0 | S | 548.3 | 415.3 |
| 0 | I | 102.7 | 250.7 |
| 1 | S | 641.3 | 698.3 |
| 1 | I | 533.4 | 470.4 |
| 2 | S | 27.8 | 258.8 |
| 2 | I | 1253.5 | 999.5 |
| 3 | S | -89.8 | 271.2 |
| 3 | I | 1431.4 | 1033.4 |
| 4 | S | -24.0 | 424.0 |
| 4 | I | 1350.4 | 856.4 |
| 5 | S | 4.7 | 496.7 |
| 5 | I | 1311.5 | 769.5 |
| 6 | S | -5.6 | 474.4 |
| 6 | I | 1314.5 | 785.5 |
| 7 | S | -54.9 | 370.1 |
| 7 | I | 1359.7 | 891.7 |
| 8 | S | -105.2 | 221.8 |
| 8 | I | 1397.3 | 1037.3 |
| 9 | S | 57.9 | 242.9 |
| 9 | I | 1170.0 | 966.0 |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|

| | | | | | | |
|--|----|-------|--------|-------|--------|--------|
| | -1 | 493.8 | 484.1 | 630.0 | 1607.9 | 8580.2 |
| | 0 | 490.1 | 505.0 | 630.0 | 1625.1 | 8958.6 |
| | 1 | 479.1 | 795.8 | 630.0 | 1904.9 | 9366.4 |
| | 2 | 438.5 | 1096.1 | 630.0 | 2164.6 | 9487.4 |
| | 3 | 417.9 | 1159.6 | 630.0 | 2207.6 | 9712.1 |
| | 4 | 417.9 | 979.6 | 630.0 | 2027.5 | 9813.6 |
| | 5 | 417.9 | 890.8 | 630.0 | 1938.7 | 9830.9 |
| | 6 | 417.9 | 906.4 | 630.0 | 1954.4 | 9744.2 |
| | 7 | 417.9 | 1013.3 | 630.0 | 2061.2 | 9566.6 |
| | 8 | 421.3 | 1155.0 | 630.0 | 2206.3 | 9264.2 |
| | 9 | 447.9 | 1035.2 | 630.0 | 2113.1 | 9020.9 |

1

ESFORÇOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 202.1 | 20.0 | 28.7 | 417.6 | 110.0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 212.1 | .0 | 43.8 | 508.1 | 37.8 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | 218.1 | -40.1 | -9.3 | 433.2 | 552.9 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 221.6 | -29.5 | -111.8 | -188.2 | 1253.5 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 230.0 | -.5 | -144.1 | -367.3 | 1490.6 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 232.4 | .0 | -145.6 | -371.3 | 1506.2 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 232.8 | .0 | -145.9 | -371.9 | 1508.9 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 230.7 | .0 | -144.6 | -368.6 | 1495.6 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 226.5 | .0 | -142.0 | -361.9 | 1468.3 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | 219.2 | 6.5 | -133.1 | -324.0 | 1391.9 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | 211.7 | 26.0 | -92.2 | -90.0 | 1098.7 | .0 | .0 | .0 |

1

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | -15.0 | 17.0 | -60.0 | 67.0 |
| 0 | -52.0 | 58.0 | -135.0 | 150.0 |
| 1 | 120.0 | -132.0 | 61.0 | -67.0 |
| 2 | 260.0 | -286.0 | 240.0 | -264.0 |
| 3 | 361.0 | -398.0 | 374.0 | -412.0 |
| 4 | 425.0 | -468.0 | 463.0 | -510.0 |
| 5 | 450.0 | -495.0 | 509.0 | -560.0 |
| 6 | 437.0 | -481.0 | 496.0 | -546.0 |
| 7 | 386.0 | -425.0 | 439.0 | -483.0 |
| 8 | 296.0 | -326.0 | 337.0 | -371.0 |
| 9 | 169.0 | -186.0 | 191.0 | -210.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=INFINITO

- NOTAS :
- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
 - 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
 - 3)F1=1ªPROT.+G1
F2=F1+G2

| SECAO | | F1 | F2 |
|-------|---|-------|-------|
| -1 | S | 402.6 | 342.6 |
| -1 | I | 127.0 | 194.0 |

| | | | |
|---|---|--------|-------|
| 0 | S | 456.1 | 321.1 |
| 0 | I | 95.8 | 245.8 |
| 1 | S | 553.2 | 614.2 |
| 1 | I | 420.9 | 353.9 |
| 2 | S | 71.8 | 311.8 |
| 2 | I | 967.5 | 703.5 |
| 3 | S | -6.3 | 367.7 |
| 3 | I | 1092.6 | 680.6 |
| 4 | S | 53.7 | 516.7 |
| 4 | I | 1038.2 | 528.2 |
| 5 | S | 78.1 | 587.1 |
| 5 | I | 1013.9 | 453.9 |
| 6 | S | 68.4 | 564.4 |
| 6 | I | 1014.6 | 468.6 |
| 7 | S | 24.1 | 463.1 |
| 7 | I | 1043.3 | 560.3 |
| 8 | S | -28.0 | 309.0 |
| 8 | I | 1065.9 | 694.9 |
| 9 | S | 79.0 | 270.0 |
| 9 | I | 912.7 | 702.7 |

1

ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)

=====

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 165. | 0. | 165. |
| 2 | 166. | 0. | 166. |
| 3 | 166. | 0. | 166. |
| 4 | 167. | 0. | 167. |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

BR-163 - viga de 27,00m - viga de Bordo - Segunda Protensao

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

23.65 3.00 .00

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 5.92 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM)

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| -1 | 1.248 | .307 | .865 | .294 | 1.044 |
| 0 | 1.248 | .307 | .865 | .294 | 1.044 |
| 1 | .950 | .248 | .958 | .217 | 1.143 |
| 2 | .950 | .248 | .958 | .217 | 1.143 |
| 3 | .950 | .248 | .958 | .217 | 1.143 |
| 4 | .950 | .248 | .958 | .217 | 1.143 |
| 5 | .950 | .248 | .958 | .217 | 1.143 |
| 6 | .950 | .248 | .958 | .217 | 1.143 |
| 7 | .950 | .248 | .958 | .217 | 1.143 |
| 8 | .950 | .248 | .958 | .217 | 1.143 |
| 9 | .950 | .248 | .958 | .217 | 1.143 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C5

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 3.53 /FINAL= 3.53 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 17.80 /FINAL= 17.51 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | APOS CRAV. |
|-------|-------|-------|--|------------|
|-------|-------|-------|--|------------|

| | | | | |
|---|-----|-------|--------|--------|
| 3 | .28 | -7.20 | 13069. | 11723. |
| 4 | .20 | .00 | 12591. | 12202. |
| 5 | .20 | .00 | 12516. | 12276. |
| 6 | .20 | .00 | 12591. | 12202. |
| 7 | .27 | 7.49 | 13086. | 11707. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCAVEL DO CABO

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C6

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.33 /FINAL= 2.33 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 10.46 /FINAL= 10.53 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | PERDAS APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|-------------------|
| 3 | .51 | -14.54 | 13535. | 11173. |
| 4 | .20 | .00 | 12628. | 12080. |
| 5 | .20 | .00 | 12554. | 12154. |
| 6 | .20 | .00 | 12628. | 12080. |
| 7 | .51 | 14.47 | 13531. | 11177. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCAVEL DO CABO

GRUPO DE CABOS NUM. 3 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C7

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.13 /FINAL= 1.13 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 3.73 /FINAL= 3.73 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | PERDAS APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|-------------------|
| 3 | .89 | -21.27 | 13981. | 10572. |
| 4 | .33 | -3.58 | 12866. | 11687. |
| 5 | .32 | .00 | 12592. | 11961. |
| 6 | .33 | 3.58 | 12866. | 11687. |
| 7 | .89 | 21.27 | 13981. | 10572. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCAVEL DO CABO

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSAO SUCESSIVA = 77.6 KG/CM2

1

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSAO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| -1 | .00 | .00 | -77.6 |
| 0 | .00 | .00 | -77.6 |
| 1 | .00 | .00 | -77.6 |
| 2 | .00 | .00 | -77.6 |
| 3 | -.60 | 2.89 | 11090.6 |
| 4 | -.90 | 3.00 | 11912.3 |
| 5 | -.90 | 3.00 | 12053.1 |
| 6 | -.90 | 3.00 | 11912.3 |
| 7 | -.60 | 2.89 | 11086.2 |
| 8 | .00 | .00 | -77.6 |
| 9 | .00 | .00 | -77.6 |

ESFORÇOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 189.9 | -47.7 | -113.9 | 81.0 | 724.7 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 211.4 | -4.3 | -190.4 | 23.8 | 1100.1 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 214.1 | .0 | -193.4 | 23.5 | 1116.5 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 211.4 | 4.3 | -190.4 | 23.8 | 1100.1 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 189.8 | 47.9 | -114.5 | 80.3 | 727.3 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | F2 1ªPROT. | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|------------|--------|------------------|--------|------------------|---------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | 421.8 | 213.6 | -8.0 | 25.0 | .0 | .0 | -28.0 | 83.0 |
| 0 | 415.3 | 250.7 | -20.0 | 57.0 | .0 | .0 | -75.0 | 220.0 |
| 1 | 698.3 | 470.4 | 13.0 | -56.0 | 97.0 | -429.0 | -61.0 | 268.0 |
| 2 | 258.8 | 999.5 | 37.0 | -163.0 | 172.0 | -758.0 | -54.0 | 238.0 |
| 3 | 271.2 | 1033.4 | 55.0 | -241.0 | 224.0 | -989.0 | -47.0 | 209.0 |
| 4 | 424.0 | 856.4 | 66.0 | -290.0 | 256.0 | -1132.0 | -41.0 | 179.0 |
| 5 | 496.7 | 769.5 | 71.0 | -312.0 | 268.0 | -1181.0 | -34.0 | 149.0 |
| 6 | 474.4 | 785.5 | 69.0 | -306.0 | 256.0 | -1132.0 | -27.0 | 119.0 |
| 7 | 370.1 | 891.7 | 62.0 | -272.0 | 224.0 | -989.0 | -20.0 | 89.0 |
| 8 | 221.8 | 1037.3 | 47.0 | -209.0 | 172.0 | -758.0 | -14.0 | 60.0 |
| 9 | 242.9 | 966.0 | 27.0 | -119.0 | 97.0 | -429.0 | -7.0 | 30.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=0

NOTAS :
 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
 3)F3=F2+2ªPROT.
 F4=F3+G3
 F5=F4+I.QMAX
 F6=F4+I.QMIN

| SECAO | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| -1 S | 421.8 | 413.8 | 413.8 | 385.8 |
| -1 I | 213.6 | 238.6 | 238.6 | 321.6 |

| | | | | | |
|---|---|--------|--------|-------|--------|
| 0 | S | 415.3 | 395.3 | 395.3 | 320.3 |
| 0 | I | 250.7 | 307.7 | 307.7 | 527.7 |
| 1 | S | 698.3 | 711.3 | 808.3 | 650.3 |
| 1 | I | 470.4 | 414.4 | -14.6 | 682.4 |
| 2 | S | 258.8 | 295.8 | 467.8 | 241.8 |
| 2 | I | 999.5 | 836.5 | 78.5 | 1074.5 |
| 3 | S | 352.2 | 407.2 | 631.2 | 360.2 |
| 3 | I | 1758.1 | 1517.1 | 528.1 | 1726.1 |
| 4 | S | 447.8 | 513.8 | 769.8 | 472.8 |
| 4 | I | 1956.5 | 1666.5 | 534.5 | 1845.5 |
| 5 | S | 520.2 | 591.2 | 859.2 | 557.2 |
| 5 | I | 1886.0 | 1574.0 | 393.0 | 1723.0 |
| 6 | S | 498.2 | 567.2 | 823.2 | 540.2 |
| 6 | I | 1885.6 | 1579.6 | 447.6 | 1698.6 |
| 7 | S | 450.4 | 512.4 | 736.4 | 492.4 |
| 7 | I | 1619.0 | 1347.0 | 358.0 | 1436.0 |
| 8 | S | 221.8 | 268.8 | 440.8 | 254.8 |
| 8 | I | 1037.3 | 828.3 | 70.3 | 888.3 |
| 9 | S | 242.9 | 269.9 | 366.9 | 262.9 |
| 9 | I | 966.0 | 847.0 | 418.0 | 877.0 |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM²)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
| -1 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1234.1 |
| 0 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1234.1 |
| 1 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1234.1 |
| 2 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1234.1 |
| 3 | 487.3 | 1237.3 | 630.0 | 2354.6 | 8736.0 |
| 4 | 460.3 | 1784.1 | 630.0 | 2874.3 | 9038.0 |
| 5 | 460.0 | 1692.4 | 630.0 | 2782.4 | 9270.7 |
| 6 | 460.3 | 1694.3 | 630.0 | 2784.5 | 9127.8 |
| 7 | 487.1 | 1117.5 | 630.0 | 2234.6 | 8851.6 |
| 8 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1234.1 |
| 9 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1234.1 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M ²) | TENSAO ISOST INF. (T/M ²) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M ²) | TENSAO HIPER INF. (T/M ²) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| -1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 149.6 | -37.6 | -89.7 | 63.8 | 570.8 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 160.4 | -3.3 | -144.5 | 18.0 | 834.6 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 164.6 | .0 | -148.7 | 18.0 | 858.8 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 162.0 | 3.3 | -145.9 | 18.2 | 842.9 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 151.5 | 38.3 | -91.4 | 64.1 | 580.7 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M²)

| SECAO | F2 1ªPROT. | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|------------|-------|------------------|--------|------------------|---------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | 342.6 | 194.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 321.1 | 245.8 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | 614.2 | 353.9 | -8.0 | 25.0 | .0 | .0 | -28.0 | 83.0 |
| 2 | 311.8 | 703.5 | -20.0 | 57.0 | .0 | .0 | -75.0 | 220.0 |
| 3 | 367.7 | 680.6 | 13.0 | -56.0 | 97.0 | -429.0 | -61.0 | 268.0 |
| 4 | 516.7 | 528.2 | 37.0 | -163.0 | 172.0 | -758.0 | -54.0 | 238.0 |
| 5 | 587.1 | 453.9 | 55.0 | -241.0 | 224.0 | -989.0 | -47.0 | 209.0 |
| 6 | 564.4 | 468.6 | 66.0 | -290.0 | 256.0 | -1132.0 | -41.0 | 179.0 |
| 7 | 463.1 | 560.3 | 71.0 | -312.0 | 268.0 | -1181.0 | -34.0 | 149.0 |
| 8 | 309.0 | 694.9 | 69.0 | -306.0 | 256.0 | -1132.0 | -27.0 | 119.0 |
| 9 | 270.0 | 702.7 | 62.0 | -272.0 | 224.0 | -989.0 | -20.0 | 89.0 |

1

=====
TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO
=====

TEMPO T=INFINITO

- NOTAS :
 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
 3)F3=F2+2ªPROT.
 F4=F3+G3
 F5=F4+I.QMAX
 F6=F4+I.QMIN

| SECAO | | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------|---|--------|--------|--------|--------|
| -1 | S | 342.6 | 342.6 | 342.6 | 342.6 |
| -1 | I | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 |
| 0 | S | 321.1 | 321.1 | 321.1 | 321.1 |
| 0 | I | 245.8 | 245.8 | 245.8 | 245.8 |
| 1 | S | 614.2 | 606.2 | 606.2 | 578.2 |
| 1 | I | 353.9 | 378.9 | 378.9 | 461.9 |
| 2 | S | 311.8 | 291.8 | 291.8 | 216.8 |
| 2 | I | 703.5 | 760.5 | 760.5 | 980.5 |
| 3 | S | 431.5 | 444.5 | 541.5 | 383.5 |
| 3 | I | 1251.4 | 1195.4 | 766.4 | 1463.4 |
| 4 | S | 534.7 | 571.7 | 743.7 | 517.7 |
| 4 | I | 1362.8 | 1199.8 | 441.8 | 1437.8 |
| 5 | S | 605.1 | 660.1 | 884.1 | 613.1 |
| 5 | I | 1312.7 | 1071.7 | 82.7 | 1280.7 |
| 6 | S | 582.6 | 648.6 | 904.6 | 607.6 |
| 6 | I | 1311.5 | 1021.5 | -110.5 | 1200.5 |
| 7 | S | 527.2 | 598.2 | 866.2 | 564.2 |
| 7 | I | 1141.0 | 829.0 | -352.0 | 978.0 |
| 8 | S | 309.0 | 378.0 | 634.0 | 351.0 |
| 8 | I | 694.9 | 388.9 | -743.1 | 507.9 |
| 9 | S | 270.0 | 332.0 | 556.0 | 312.0 |
| 9 | I | 702.7 | 430.7 | -558.3 | 519.7 |

1

=====
ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)
=====

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 49. | 50. | 99. |
| 2 | 42. | 42. | 83. |
| 3 | 34. | 34. | 68. |

Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga de bordo
Fases de verificação das tensões

$$F1 = G1 + 1^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F2 = F1 + G2$$

$$F3 = F2 + 2^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F4 = F3 + G3$$

$$F5 = F4 + CM_{\text{mínima}}$$

$$F6 = F4 + CM_{\text{máxima}}$$

Tempo T = 0

| Seção | | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|---------------------|---|------|---------|-------------|------|-------------|---------|-------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -15 | 496 | 481 | -59 | 422 | 0 | 422 |
| | σ_i (tf/m ²) | 17 | 130 | 147 | 66 | 213 | 0 | 213 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -52 | 600 | 548 | -133 | 416 | 0 | 416 |
| | σ_i (tf/m ²) | 58 | 45 | 102 | 148 | 250 | 0 | 250 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 120 | 521 | 641 | 57 | 698 | 0 | 698 |
| | σ_i (tf/m ²) | -132 | 666 | 534 | -63 | 471 | 0 | 471 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 259 | -231 | 28 | 231 | 258 | 0 | 258 |
| | σ_i (tf/m ²) | -286 | 1540 | 1254 | -254 | 1000 | 0 | 1000 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -11 | -11 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 361 | -451 | -90 | 361 | 271 | 81 | 352 |
| | σ_i (tf/m ²) | -398 | 1830 | 1432 | -398 | 1034 | 725 | 1759 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -130 | -130 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 424 | -448 | -23 | 448 | 425 | 24 | 448 |
| | σ_i (tf/m ²) | -467 | 1817 | 1350 | -494 | 856 | 1100 | 1956 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -133 | -133 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 450 | -445 | 4 | 492 | 496 | 23 | 519 |
| | σ_i (tf/m ²) | -495 | 1807 | 1312 | -542 | 770 | 1117 | 1886 |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -130 | -130 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 437 | -443 | -6 | 480 | 474 | 24 | 498 |
| | σ_i (tf/m ²) | -481 | 1795 | 1315 | -529 | 786 | 1100 | 1886 |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -12 | -12 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 385 | -440 | -55 | 425 | 370 | 80 | 451 |
| | σ_i (tf/m ²) | -425 | 1785 | 1360 | -468 | 892 | 727 | 1620 |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 296 | -401 | -105 | 327 | 222 | 0 | 222 |
| | σ_i (tf/m ²) | -326 | 1723 | 1397 | -360 | 1037 | 0 | 1037 |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 169 | -111 | 58 | 185 | 243 | 0 | 243 |
| | σ_i (tf/m ²) | -186 | 1356 | 1170 | -204 | 967 | 0 | 967 |

| Seção | | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 |
|---------------------|---|------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -13 | -13 | -44 | 0 | -57 | -13 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -8 | 413 | -28 | 0 | 385 | 413 |
| | σ_i (tf/m ²) | 25 | 238 | 83 | 0 | 320 | 238 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -30 | -30 | -117 | 0 | -147 | -30 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -20 | 396 | -75 | 0 | 322 | 396 |
| | σ_i (tf/m ²) | 57 | 307 | 220 | 0 | 527 | 307 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 23 | 23 | -108 | 172 | -85 | 195 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 13 | 710 | -61 | 97 | 650 | 808 |
| | σ_i (tf/m ²) | -56 | 415 | 268 | -429 | 683 | -14 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 65 | 65 | -96 | 305 | -31 | 370 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 37 | 295 | -54 | 172 | 241 | 467 |
| | σ_i (tf/m ²) | -163 | 838 | 238 | -758 | 1076 | 80 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 97 | 86 | -84 | 397 | 2 | 483 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 55 | 407 | -47 | 224 | 359 | 631 |
| | σ_i (tf/m ²) | -241 | 1519 | 209 | -989 | 1727 | 530 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 117 | -13 | -72 | 455 | -85 | 441 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 66 | 514 | -41 | 256 | 474 | 771 |
| | σ_i (tf/m ²) | -290 | 1666 | 179 | -1132 | 1845 | 534 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 126 | -7 | -60 | 475 | -67 | 467 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 71 | 590 | -34 | 268 | 556 | 858 |
| | σ_i (tf/m ²) | -312 | 1574 | 149 | -1181 | 1723 | 393 |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | 123 | -7 | -48 | 455 | -55 | 448 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 69 | 567 | -27 | 256 | 540 | 824 |
| | σ_i (tf/m ²) | -306 | 1580 | 119 | -1132 | 1699 | 448 |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | 109 | 97 | -36 | 397 | 61 | 494 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 62 | 512 | -20 | 224 | 492 | 736 |
| | σ_i (tf/m ²) | -272 | 1348 | 89 | -989 | 1437 | 359 |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | 84 | 84 | -24 | 305 | 60 | 389 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 47 | 269 | -14 | 172 | 256 | 441 |
| | σ_i (tf/m ²) | -209 | 828 | 60 | -758 | 888 | 70 |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | 48 | 48 | -12 | 172 | 36 | 220 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 27 | 270 | -7 | 97 | 263 | 367 |
| | σ_i (tf/m ²) | -119 | 848 | 30 | -429 | 878 | 419 |

Tempo T = 00

Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$

$\Delta\sigma = \sigma_{t=00} - \sigma_{t=0}$

F8 = F7 + CM_{mínima}

F9 = F7 + CM_{máxima}

1ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | 418 | 110 | - | 496 | 130 | - | -78 | -21 |
| 0 | - | 508 | 38 | - | 600 | 45 | - | -92 | -6 |
| 1 | - | 433 | 553 | - | 521 | 666 | - | -88 | -113 |
| 2 | - | -188 | 1253 | - | -231 | 1540 | - | 44 | -286 |
| 3 | - | -367 | 1491 | - | -451 | 1830 | - | 84 | -339 |
| 4 | - | -371 | 1506 | - | -448 | 1817 | - | 77 | -311 |
| 5 | - | -372 | 1509 | - | -445 | 1807 | - | 74 | -298 |
| 6 | - | -369 | 1495 | - | -443 | 1795 | - | 74 | -300 |
| 7 | - | -362 | 1468 | - | -440 | 1785 | - | 78 | -316 |
| 8 | - | -324 | 1392 | - | -401 | 1723 | - | 77 | -331 |
| 9 | - | -90 | 1099 | - | -111 | 1356 | - | 21 | -257 |
| 10 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |

2ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | -9 | 64 | 571 | -11 | 81 | 725 | 2 | -17 | -154 |
| 4 | -99 | 18 | 835 | -130 | 24 | 1100 | 31 | -6 | -265 |
| 5 | -102 | 18 | 859 | -133 | 23 | 1117 | 31 | -5 | -258 |
| 6 | -100 | 18 | 843 | -130 | 24 | 1100 | 30 | -6 | -257 |
| 7 | -10 | 64 | 581 | -12 | 80 | 727 | 2 | -16 | -147 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Perda total de protensão

| Seção | $\Delta\sigma_{total}$ | | |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| S _{ExtBal} | 0 | 0 | 0 |
| S _{1/2Bal} | 0 | -78 | -21 |
| 0 | 0 | -92 | -6 |
| 1 | 0 | -88 | -113 |
| 2 | 0 | 44 | -286 |
| 3 | 2 | 67 | -493 |
| 4 | 31 | 71 | -576 |
| 5 | 31 | 68 | -556 |
| 6 | 30 | 68 | -557 |
| 7 | 2 | 62 | -463 |
| 8 | 0 | 77 | -331 |
| 9 | 0 | 21 | -257 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |

Tempo T = 00

| Seção | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 8 | Fase 9 | |
|---------------------|----------------------------------|------------------------|--------|----------------------|----------------------|--------|--------|------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -13 | 0 | -13 | -44 | 0 | -57 | -13 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 413 | -78 | 335 | -28 | 0 | 307 | 335 |
| | σ_i (tf/m ²) | 238 | -21 | 217 | 83 | 0 | 300 | 217 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -30 | 0 | -30 | -117 | 0 | -147 | -30 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 396 | -92 | 304 | -75 | 0 | 229 | 304 |
| | σ_i (tf/m ²) | 307 | -6 | 301 | 220 | 0 | 521 | 301 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 23 | 0 | 23 | -108 | 172 | -85 | 195 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 710 | -88 | 622 | -61 | 97 | 562 | 719 |
| | σ_i (tf/m ²) | 415 | -113 | 302 | 268 | -429 | 570 | -126 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 65 | 0 | 65 | -96 | 305 | -31 | 370 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 295 | 44 | 339 | -54 | 172 | 285 | 511 |
| | σ_i (tf/m ²) | 838 | -286 | 551 | 238 | -758 | 790 | -207 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 86 | 2 | 88 | -84 | 397 | 4 | 485 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 407 | 67 | 473 | -47 | 224 | 426 | 697 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1519 | -493 | 1026 | 209 | -989 | 1234 | 37 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | -13 | 31 | 18 | -72 | 455 | -54 | 473 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 514 | 71 | 585 | -41 | 256 | 545 | 842 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1666 | -576 | 1089 | 179 | -1132 | 1268 | -42 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | -7 | 31 | 23 | -60 | 475 | -36 | 498 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 590 | 68 | 658 | -34 | 268 | 625 | 926 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1574 | -556 | 1018 | 149 | -1181 | 1167 | -163 |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | -7 | 30 | 23 | -48 | 455 | -25 | 478 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 567 | 68 | 636 | -27 | 256 | 609 | 892 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1580 | -557 | 1023 | 119 | -1132 | 1142 | -109 |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | 97 | 2 | 99 | -36 | 397 | 63 | 497 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 512 | 62 | 574 | -20 | 224 | 554 | 798 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1348 | -463 | 885 | 89 | -989 | 974 | -104 |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | 84 | 0 | 84 | -24 | 305 | 60 | 389 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 269 | 77 | 346 | -14 | 172 | 333 | 518 |
| | σ_i (tf/m ²) | 828 | -331 | 497 | 60 | -758 | 556 | -261 |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | 48 | 0 | 48 | -12 | 172 | 36 | 220 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 270 | 21 | 291 | -7 | 97 | 284 | 388 |
| | σ_i (tf/m ²) | 848 | -257 | 590 | 30 | -429 | 620 | 162 |

Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga central

Fases de verificação das tensões

$$F1 = G1 + 1^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F2 = F1 + G2$$

$$F3 = F2 + 2^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F4 = F3 + G3$$

$$F5 = F4 + CM_{\text{mínima}}$$

$$F6 = F4 + CM_{\text{máxima}}$$

Tempo T = 0

| Seção | | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|---------|----------------------------|------|---------|--------|------|--------|---------|--------|
| S1/2Bal | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | -15 | 496 | 481 | -37 | 444 | 0 | 444 |
| | σ_i (tf/m2) | 17 | 130 | 147 | 41 | 188 | 0 | 188 |
| S0 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | -52 | 600 | 548 | -89 | 460 | 0 | 460 |
| | σ_i (tf/m2) | 58 | 45 | 102 | 99 | 201 | 0 | 201 |
| S1 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | 120 | 521 | 641 | 120 | 761 | 0 | 761 |
| | σ_i (tf/m2) | -132 | 666 | 534 | -132 | 401 | 0 | 401 |
| S2 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | 259 | -231 | 28 | 302 | 330 | 0 | 330 |
| | σ_i (tf/m2) | -286 | 1540 | 1254 | -333 | 921 | 0 | 921 |
| S3 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | -11 | -11 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | 361 | -451 | -90 | 439 | 349 | 81 | 430 |
| | σ_i (tf/m2) | -398 | 1830 | 1432 | -483 | 949 | 725 | 1674 |
| S4 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | -130 | -130 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | 424 | -448 | -23 | 530 | 507 | 24 | 530 |
| | σ_i (tf/m2) | -467 | 1817 | 1350 | -584 | 766 | 1100 | 1866 |
| S5 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | -133 | -133 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | 450 | -445 | 4 | 576 | 580 | 23 | 603 |
| | σ_i (tf/m2) | -495 | 1807 | 1312 | -634 | 678 | 1117 | 1794 |
| S6 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | -130 | -130 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | 437 | -443 | -6 | 551 | 546 | 24 | 569 |
| | σ_i (tf/m2) | -481 | 1795 | 1315 | -607 | 707 | 1100 | 1807 |
| S7 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | -12 | -12 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | 385 | -440 | -55 | 482 | 427 | 80 | 507 |
| | σ_i (tf/m2) | -425 | 1785 | 1360 | -531 | 830 | 727 | 1557 |
| S8 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | 296 | -401 | -105 | 367 | 262 | 0 | 262 |
| | σ_i (tf/m2) | -326 | 1723 | 1397 | -404 | 993 | 0 | 993 |
| S9 | σ_s (tf/m2) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m2) | 169 | -111 | 58 | 206 | 264 | 0 | 264 |
| | σ_i (tf/m2) | -186 | 1356 | 1170 | -227 | 943 | 0 | 943 |

| Seção | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 | |
|---------------------|----------------------------------|----------|----------------------|----------------------|--------|-------------|------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -4 | -4 | -31 | 0 | -34 | -4 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -2 | 442 | -19 | 0 | 422 | 442 |
| | σ_i (tf/m ²) | 7 | 195 | 59 | 0 | 255 | 195 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -15 | -15 | -82 | 0 | -96 | -15 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -9 | 450 | -52 | 0 | 399 | 450 |
| | σ_i (tf/m ²) | 28 | 230 | 158 | 0 | 388 | 230 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 15 | 15 | -75 | 127 | -60 | 142 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 8 | 769 | -42 | 70 | 728 | 840 |
| | σ_i (tf/m ²) | -39 | 363 | 193 | -325 | 556 | 37 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 39 | 39 | -75 | 225 | -37 | 263 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 22 | 352 | -42 | 125 | 310 | 476 |
| | σ_i (tf/m ²) | -100 | 822 | 193 | -576 | 1015 | 246 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 56 | 45 | -59 | 293 | -13 | 338 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 31 | 461 | -33 | 163 | 429 | 624 |
| | σ_i (tf/m ²) | -144 | 1529 | 150 | -752 | 1680 | 778 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 67 | -63 | -50 | 335 | -113 | 273 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 37 | 568 | -28 | 186 | 540 | 754 |
| | σ_i (tf/m ²) | -173 | 1694 | 129 | -860 | 1822 | 833 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 72 | -61 | -42 | 350 | -103 | 289 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 40 | 643 | -23 | 194 | 620 | 837 |
| | σ_i (tf/m ²) | -185 | 1610 | 107 | -898 | 1717 | 712 |
| | | 0 | | | | | |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | 70 | -60 | -34 | 335 | -93 | 276 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 39 | 608 | -19 | 186 | 590 | 794 |
| | σ_i (tf/m ²) | -180 | 1627 | 86 | -860 | 1713 | 767 |
| | | 0 | | | | | |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | 62 | 50 | -25 | 293 | 25 | 343 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 35 | 542 | -14 | 163 | 528 | 704 |
| | σ_i (tf/m ²) | -160 | 1397 | 64 | -752 | 1462 | 646 |
| | | 0 | | | | | |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | 48 | 48 | -17 | 225 | 31 | 273 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 27 | 288 | -9 | 125 | 279 | 413 |
| | σ_i (tf/m ²) | -123 | 871 | 43 | -576 | 914 | 295 |
| | | 0 | | | | | |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | 27 | 27 | -8 | 127 | 19 | 154 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 15 | 279 | -5 | 70 | 274 | 349 |
| | σ_i (tf/m ²) | -70 | 874 | 21 | -325 | 895 | 548 |

Tempo T = 00

 Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$
 $\Delta\sigma = \sigma_{t=00} - \sigma_{t=0}$

 F8 = F7 + CM_{mínima}

 F9 = F7 + CM_{máxima}

| Seção | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 8 | Fase 9 | |
|---------------------|---------------------------------|------------------------|--------|----------------------|----------------------|--------|--------|-----|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -4 | 0 | -4 | -31 | 0 | -34 | -4 |
| | σ^s (tf/m ²) | 442 | -78 | 363 | -19 | 0 | 344 | 363 |
| | σ_i (tf/m ²) | 195 | -21 | 175 | 59 | 0 | 234 | 175 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -15 | 0 | -15 | -82 | 0 | -96 | -15 |
| | σ^s (tf/m ²) | 450 | -92 | 358 | -52 | 0 | 306 | 358 |
| | σ_i (tf/m ²) | 230 | -6 | 223 | 158 | 0 | 381 | 223 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 15 | 0 | 15 | -75 | 127 | -60 | 142 |
| | σ^s (tf/m ²) | 769 | -88 | 681 | -42 | 70 | 639 | 752 |
| | σ_i (tf/m ²) | 363 | -113 | 250 | 193 | -325 | 444 | -75 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 39 | 0 | 39 | -75 | 225 | -37 | 263 |
| | σ^s (tf/m ²) | 352 | 44 | 395 | -42 | 125 | 353 | 520 |
| | σ_i (tf/m ²) | 822 | -286 | 535 | 193 | -576 | 729 | -41 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 45 | 2 | 48 | -59 | 293 | -11 | 341 |
| | σ^s (tf/m ²) | 461 | 67 | 528 | -33 | 163 | 495 | 690 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1529 | -493 | 1036 | 150 | -752 | 1187 | 285 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | -63 | 31 | -31 | -50 | 335 | -82 | 304 |
| | σ^s (tf/m ²) | 568 | 71 | 639 | -28 | 186 | 611 | 825 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1694 | -576 | 1117 | 129 | -860 | 1246 | 257 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | -61 | 31 | -30 | -42 | 350 | -72 | 320 |
| | σ^s (tf/m ²) | 643 | 68 | 711 | -23 | 194 | 688 | 905 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1610 | -556 | 1054 | 107 | -898 | 1161 | 156 |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | -60 | 30 | -29 | -34 | 335 | -63 | 306 |
| | σ^s (tf/m ²) | 608 | 68 | 677 | -19 | 186 | 658 | 863 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1627 | -557 | 1070 | 86 | -860 | 1156 | 210 |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | 50 | 2 | 53 | -25 | 293 | 27 | 346 |
| | σ^s (tf/m ²) | 542 | 62 | 604 | -14 | 163 | 590 | 766 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1397 | -463 | 934 | 64 | -752 | 999 | 183 |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | 48 | 0 | 48 | -17 | 225 | 31 | 273 |
| | σ^s (tf/m ²) | 288 | 77 | 365 | -9 | 125 | 356 | 490 |
| | σ_i (tf/m ²) | 871 | -331 | 539 | 43 | -576 | 582 | -37 |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | 27 | 0 | 27 | -8 | 127 | 19 | 154 |
| | σ^s (tf/m ²) | 279 | 21 | 300 | -5 | 70 | 295 | 370 |
| | σ_i (tf/m ²) | 874 | -257 | 616 | 21 | -325 | 638 | 291 |

Os quadros a seguir apresentam o cálculo do cisalhamento

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,max}$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,min}$$

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

$$\text{onde: } V_{p,k} = V_p^{1^{prot}} + V_p^{2^{prot}} \text{ em tempo } t = \infty$$

| Seção | $V_{g1,k}$ (tf) | $V_{g2,k}$ (tf) | $V_{g3,k}$ (tf) | $V_{p,k}$ (tf) | $V_{q,max,k}$ (tf) | $V_{q,min,k}$ (tf) | V_k^{max} (tf) | V_k^{min} (tf) |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 1/2 bal | -3.4 | -8.7 | -5.6 | 20.0 | 29.7 | 0.0 | 17.1 | 2.3 |
| 0 esq | -6.2 | -10.6 | -7.3 | 0.0 | 32.3 | 0.0 | -24.0 | -7.9 |
| 0 dir | 14.5 | 16.5 | 13.6 | 0.0 | 44.5 | 0.0 | 66.8 | 44.6 |
| 1 | 10.9 | 13.5 | 11.0 | -40.1 | 38.1 | -1.1 | 14.4 | -5.2 |
| 2 | 8.3 | 10.5 | 8.4 | -29.5 | 32.1 | -4.2 | 13.8 | -4.3 |
| 3 | 5.7 | 7.5 | 5.9 | -38.1 | 26.5 | -7.7 | -22.9 | -5.8 |
| 4 | 3.1 | 4.5 | 3.3 | -3.3 | 21.3 | -11.6 | 18.2 | 1.8 |
| 5 | 0.4 | 0.7 | 0.7 | 0.0 | 16.6 | -15.9 | 10.1 | -6.1 |
| 6 | -2.2 | -2.3 | -1.9 | 3.3 | 12.2 | -20.6 | -13.4 | 3.0 |
| 7 | -4.8 | -5.3 | -4.4 | 38.3 | 8.3 | -25.8 | 27.9 | 10.8 |
| 8 | -7.5 | -8.3 | -7.0 | 6.5 | 4.8 | -31.4 | -32.0 | -13.8 |
| 9 | -10.1 | -11.3 | -9.6 | 26.0 | 2.9 | -37.4 | -23.7 | -3.5 |
| 10 | -13.5 | -14.2 | -12.2 | 0.0 | 2.7 | -43.9 | -61.8 | -38.5 |

Verificação do concreto

$$\phi_{\text{bainha}} \text{ (m)} = 0,055$$

$$V_{sd} = 1,40 * (V_{g1} + V_{g2} + V_{g3}) + 0,90 * V_p + 1,40 * V_q$$

$$V_{rd2} = 0,3 * f_{cd} * b_w * \text{nom} * d$$

$$d = H_{\text{viga}} + h_{\text{laje}} - 0,15$$

| Seção | V_{sd} (tf) | b_w (m) | $\Sigma \phi/2$ (m) | b_w^{nom} (m) | d (m) | V_{rd2} (tf) |
|---------|---------------|-----------|---------------------|-----------------|---------|----------------|
| 1/2 bal | 34.7 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.45 | 435.0 |
| 0 esq | -33.7 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.45 | 435.0 |
| 0 dir | 124.7 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.45 | 435.0 |
| 1 | 66.9 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 132.7 |
| 2 | 56.5 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 132.7 |
| 3 | 29.5 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 132.7 |
| 4 | 42.1 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 132.7 |
| 5 | 25.7 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 132.7 |
| 6 | -34.8 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 132.7 |
| 7 | 25.7 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 132.7 |
| 8 | -70.0 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 132.7 |
| 9 | -72.3 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 132.7 |
| 10 | -117.3 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.45 | 435.0 |

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

Parcela do esforço cortante absorvida pelo concreto

$$M_{sdu} = 1,40 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,40 * M_q$$

| Seção | M _{g1,k} | M _{g2,k} | M _{g3,k} | M _{q,k} | M _{sdu} (tf.m) |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| 1/2 bal | -3.0 | -11.6 | -7.2 | -24.3 | -64.6 |
| 0 esq | -10.2 | -26.1 | -16.9 | -64.7 | -165.0 |
| 0 dir | -10.2 | -26.1 | -16.9 | -64.7 | -165.0 |
| 1 | 19.5 | 9.3 | 12.2 | 93.0 | 187.6 |
| 2 | 42.3 | 37.6 | 35.3 | 164.5 | 391.5 |
| 3 | 58.8 | 58.8 | 52.2 | 214.6 | 538.2 |
| 4 | 69.2 | 73.0 | 63.0 | 245.6 | 631.1 |
| 5 | 73.3 | 80.2 | 67.8 | 256.3 | 668.5 |
| 6 | 71.2 | 78.3 | 66.4 | 245.6 | 646.0 |
| 7 | 62.8 | 69.3 | 59.0 | 214.6 | 567.9 |
| 8 | 48.3 | 53.3 | 45.4 | 164.5 | 436.0 |
| 9 | 27.5 | 30.2 | 25.7 | 93.0 | 247.0 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

$$V_{cd} = 2,5 * \beta_1 * \tau_{rd} * b_w \text{ nom} * d$$

$$\beta_1 = 1 + (M_o / M_{sdu}) \leq 2$$

$$\tau_{rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ MPa}$$

$$M_o = 0,90 * (\sigma_p^{1\text{prot.}} * W^{\text{isol.}} + \sigma_p^{2\text{prot.}} * W^{\text{conj.}})$$

$$\tau_{rd} \text{ (MPa)} = 0.339$$

| Seção | $\sigma_p^{1\text{prot.00}}$ (tf/m ²) | W ^{isol.} (m ³) | $\sigma_p^{2\text{prot.00}}$ (tf/m ²) | W ^{conj.} (m ³) | M _o (tf.m) | β_1 |
|---------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------|-----------|
| 1/2 bal | 418 | 0.197 | 0 | 0.865 | 74.06 | 2.000 |
| 0 esq | 508 | 0.197 | 0 | 0.865 | 90.06 | 1.546 |
| 0 dir | 508 | 0.197 | 0 | 0.865 | 90.06 | 1.546 |
| 1 | 553 | 0.148 | 0 | 0.217 | 73.65 | 1.393 |
| 2 | 1253 | 0.148 | 0 | 0.217 | 166.95 | 1.426 |
| 3 | 1491 | 0.148 | 571 | 0.217 | 310.02 | 1.576 |
| 4 | 1506 | 0.148 | 835 | 0.217 | 363.63 | 1.576 |
| 5 | 1509 | 0.148 | 859 | 0.217 | 368.66 | 1.551 |
| 6 | 1495 | 0.148 | 843 | 0.217 | 363.81 | 1.563 |
| 7 | 1468 | 0.148 | 581 | 0.217 | 309.00 | 1.544 |
| 8 | 1392 | 0.148 | 0 | 0.217 | 185.40 | 1.425 |
| 9 | 1099 | 0.148 | 0 | 0.217 | 146.35 | 1.593 |
| 10 | 0 | 0.197 | 0 | 0.865 | 0.00 | 1.000 |

| Seção | b _w ^{nom} (m) | d (m) | V _{cd} (tf) |
|---------|-----------------------------------|-------|----------------------|
| 1/2 bal | 0.500 | 1.450 | 122.8 |
| 0 esq | 0.500 | 1.450 | 94.9 |
| 0 dir | 0.500 | 1.450 | 94.9 |
| 1 | 0.153 | 1.450 | 26.1 |
| 2 | 0.153 | 1.450 | 26.7 |
| 3 | 0.153 | 1.450 | 29.5 |
| 4 | 0.153 | 1.450 | 29.5 |
| 5 | 0.153 | 1.450 | 29.1 |
| 6 | 0.153 | 1.450 | 29.3 |
| 7 | 0.153 | 1.450 | 28.9 |
| 8 | 0.153 | 1.450 | 26.7 |
| 9 | 0.153 | 1.450 | 29.8 |

| | | | |
|----|-------|-------|------|
| 10 | 0.500 | 1.450 | 61.4 |
|----|-------|-------|------|

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

| Seção | V _{sd} (tf) | V _{cd} (tf) | V _{wd} (tf) |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1/2 bal | 34.7 | 122.8 | 0.00 |
| 0 esq | 33.7 | 94.9 | 0.00 |
| 0 dir | 124.7 | 94.9 | 29.80 |
| 1 | 66.9 | 26.1 | 40.78 |
| 2 | 56.5 | 26.7 | 29.79 |
| 3 | 29.5 | 29.5 | 0.00 |
| 4 | 42.1 | 29.5 | 12.54 |
| 5 | 25.7 | 29.1 | 0.00 |
| 6 | 34.8 | 29.3 | 5.56 |
| 7 | 25.7 | 28.9 | 0.00 |
| 8 | 70.0 | 26.7 | 43.29 |
| 9 | 72.3 | 29.8 | 42.50 |
| 10 | 117.3 | 61.4 | 55.84 |

Cálculo da taxa volumétrica de armação transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{ywd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w)$$

| Seção | b _w (m) | V _{wd} (tf) | A _{sw} /s (cm ² /m) | ρ _{wu} (cm ² /m ²) |
|---------|--------------------|----------------------|---|--|
| 1/2 bal | 0.50 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 0 esq | 0.50 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 0 dir | 0.50 | 29.8 | 5.25 | 10.51 |
| 1 | 0.18 | 40.8 | 7.19 | 39.93 |
| 2 | 0.18 | 29.8 | 5.25 | 29.17 |
| 3 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.18 | 12.5 | 2.21 | 12.28 |
| 5 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.18 | 5.6 | 0.98 | 5.45 |
| 7 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | 0.18 | 43.3 | 7.63 | 42.39 |
| 9 | 0.18 | 42.5 | 7.49 | 41.61 |
| 10 | 0.50 | 55.8 | 9.84 | 19.68 |

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\Delta\sigma_w = (V_{max} - V_c) / (b_w * d * \rho_{wu}) - (V_{min} - V_c) / (b_w * d * \rho_{wu})$$

$$\Delta f_{sd}^{fad} = 850 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f.f. = \Delta\sigma_w / \Delta f_{sd}$$

| Seção | V ^{máx} (tf) | V ^{min} (tf) | V _c (tf) | ρ _{wu} (cm ² /cm ²) | σ _{wmax} (tf/m ²) | σ _{wmin} (tf/m ²) |
|---------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---|--|--|
| 1/2 bal | 17.10 | 2.27 | 81.90 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 0 esq | -24.04 | -7.87 | 63.30 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 0 dir | 66.84 | 44.57 | 63.30 | 0.00105 | 54 | 0 |
| 1 | 14.39 | -5.21 | 17.39 | 0.00399 | 0 | 0 |
| 2 | 13.79 | -4.34 | 17.82 | 0.00292 | 0 | 0 |
| 3 | -22.87 | -5.80 | 19.68 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 4 | 18.21 | 1.78 | 19.69 | 0.00123 | 0 | 0 |
| 5 | 10.10 | -6.12 | 19.38 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 6 | -13.39 | 3.04 | 19.52 | 0.00054 | 0 | 0 |
| 7 | 27.89 | 10.82 | 19.29 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 8 | -31.97 | -13.84 | 17.80 | 0.00424 | 265 | 0 |
| 9 | -23.67 | -3.49 | 19.89 | 0.00416 | 70 | 0 |
| 10 | -61.83 | -38.53 | 40.95 | 0.00197 | 181 | 0 |

| Δσ _w (tf/m ²) | f.f. |
|--------------------------------------|------|
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 54 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 265 | 1.00 |
| 70 | 1.00 |
| 181 | 1.00 |

Cálculo dos estribos e seus espaçamentos

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w) \geq 15 \text{ (cm}^2/\text{m}^2\text{)}$$

$$s = 2 * A_{stperna} / (\rho_w * f.f. * b_w)$$

$$\phi \text{ (mm)} = 10.00 \quad A_{stperna} \text{ (cm}^2\text{)} = 0.785$$

| Seção | b _w (m) | ρ _{wu} | ρ _{wu} x f.f | ρ _{wu} x f.f (Médio) | Espaçam. (m) |
|---------|--------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------|--------------|
| 1/2 bal | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 15.0 | 20.9 |
| 0 esq | 0.50 | 0.00 | 0.00 | | |
| 0 dir | 0.50 | 10.51 | 10.51 | 25.2 | 18.3 |
| 1 | 0.18 | 39.93 | 39.93 | 34.5 | 25.2 |
| 2 | 0.18 | 29.17 | 29.17 | 15.0 | 58.1 |
| 3 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 15.0 | 58.1 |
| 4 | 0.18 | 12.28 | 12.28 | 15.0 | 58.1 |
| 5 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 15.0 | 58.1 |
| 6 | 0.18 | 5.45 | 5.45 | 15.0 | 58.1 |
| 7 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 15.0 | 58.1 |

| | | | | | |
|----|------|-------|-------|------|------|
| | | | | 21.2 | 41.2 |
| 8 | 0.18 | 42.39 | 42.39 | 42.0 | 20.8 |
| 9 | 0.18 | 41.61 | 41.61 | 30.6 | 15.1 |
| 10 | 0.50 | 19.68 | 19.68 | | |

Verificação dos Aparelhos de Apoio
Apoios 1 e 4
Viga de Bordo
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.50$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 20.7$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 27.8$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 20.9$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 55.6$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = 0.0$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 125.0$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 833.5 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 69.4$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 462.5 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

Viga Central
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.50$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 20.7$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 26.6$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 11.6$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 17.7$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = 0.0$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 76.6$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 510.6 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 58.9$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 392.9 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

Apoios 2 e 3
Viga de Bordo
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.40$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 13.9$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 15.4$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 12.5$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 55.6$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = 0.0$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 97.4$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = \mathbf{811.9} \leq \mathbf{1.500 \text{ tf/m}^2}$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 41.8$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = \mathbf{348.2} \geq \mathbf{200 \text{ tf/m}^2}$$

Viga Central
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.40$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 13.9$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 17.7$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 7.4$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 17.7$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = 0.0$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 56.6$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = \mathbf{471.7} \leq \mathbf{1.500 \text{ tf/m}^2}$$

Tensão normal mínima

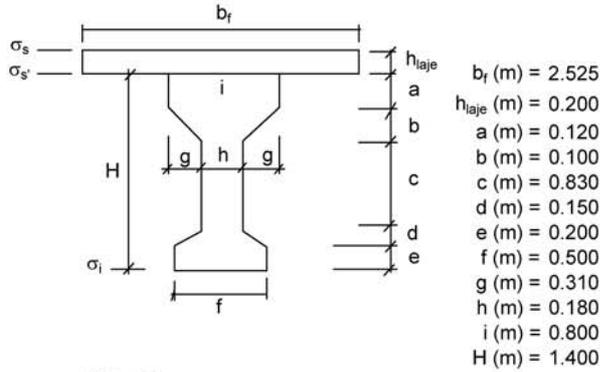
$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 38.9$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = \mathbf{324.5} \geq \mathbf{200 \text{ tf/m}^2}$$

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à Ruptura das Seções S₃ e S₀)

Verificação da Seção do Meio do Vão (S₅)

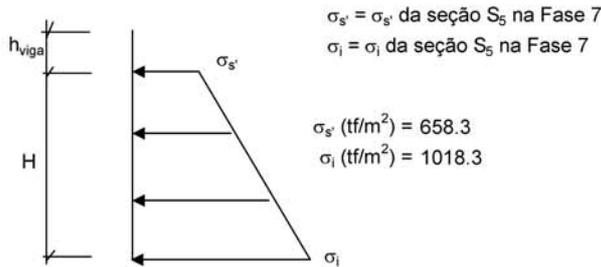


Materiais:

Concreto: f_{ck} (MPa) = 35.0 E_c (kgf/cm²) = 330,000

Aço: CP-190-RB E_{sp} (kgf/cm²) = 1,950,000

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



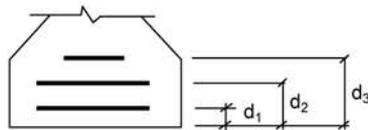
Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

$$\sigma_{sp}^{t=\infty} = \sigma_{sp}^{t=0} - \sigma_{1^{prot.}}^{t=0} + \sigma_{sp}^{t=0} - \sigma_{2^{prot.}}^{t=0} \quad \sigma_{sp}^{t=\infty} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 95,898$$

Solicitações atuantes na seção S₅

M_{g1} (tf.m) = 73.3 M_p (tf.m) = 256.3
 M_{g2} (tf.m) = 80.2
 M_{g3} (tf.m) = 67.8

Cálculo do C.G. da armadura de protensãc

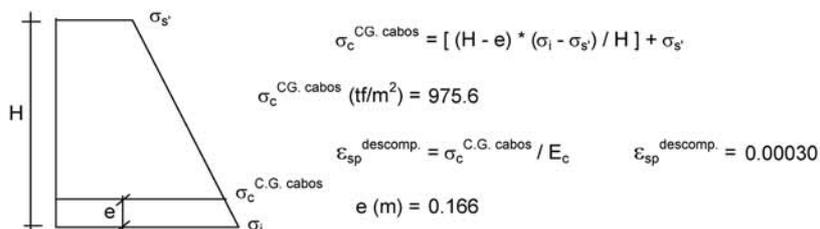


1ª camada: n° cabos = 3 d₁ (m) = 0.08 C.G (cm) = 0.166
 2ª camada: n° cabos = 3 d₂ (m) = 0.2
 3ª camada: n° cabos = 1 d₃ (m) = 0.32

Cálculo do pré-alongamento da armadur:

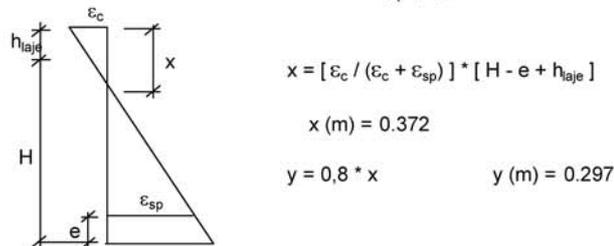
$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=00} / E_{sp} \quad \epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = 0.0049$$

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concret:

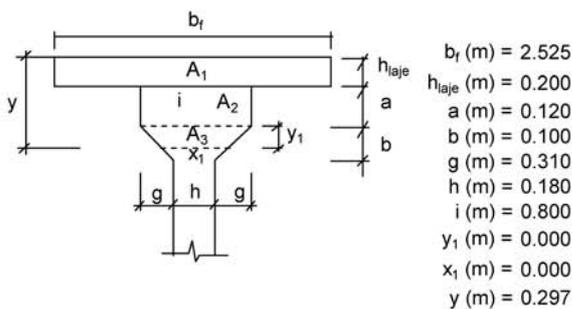


1ª Tentativa:

Deformada admitida para a seção S₅ ϵ_c (‰) = 3.5
 ϵ_{sp} (‰) = 10.0



Cálculo da resultante de compressão



$$R_{cc} = 0.85 * f_{cd} * (A_1 + A_2 + A_3) / 1.4$$

A_1 (m²) = 0.505
 A_2 (m²) = 0.078
 A_3 (m²) = 0.000

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 1238.8$$

Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

$$\epsilon_{sp}^{total} (\%) = 15,21$$

Da tabela do livro de concreto protendido do Prof. Walter do Couto Pfeil tem-se:

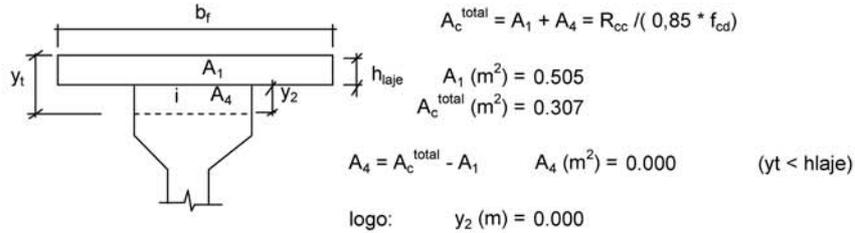
$$\sigma_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 15,721$$

$$A_{sp}^{1cabo\ 6\phi 12,7} \text{ (cm}^2\text{)} = 5,92 \qquad A_{sp}^{total} \text{ (cm}^2\text{)} = 41,4$$

$$R_{st} = A_{sp}^{total} * \sigma_{sp} \qquad R_{st} \text{ (tf)} = 651,5$$

Como $R_{st} < R_{cc}$, devemos diminuir o valor de x para reduzir a mesa de compressão e conseqüentemente Rcc.

Logo devemos ter: $R_{cc} = R_{st} \text{ (tf)} = 651,5$

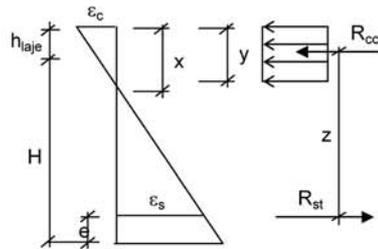


$$y_t \text{ (m)} = 0,1214 \qquad y_t < h_{laje}$$

$$x = y_t / 0,8 \qquad x \text{ (m)} = 0,152$$

Cálculo do C.G da mesa comprimida

$$y_{C.G.} = \Sigma(A_i * y_i) / \Sigma A_i \qquad y_{C.G.} \text{ (m)} = 0,0607$$



$$z = H + h_{laje} - y_{C.G.} - e \qquad z \text{ (m)} = 1,374$$

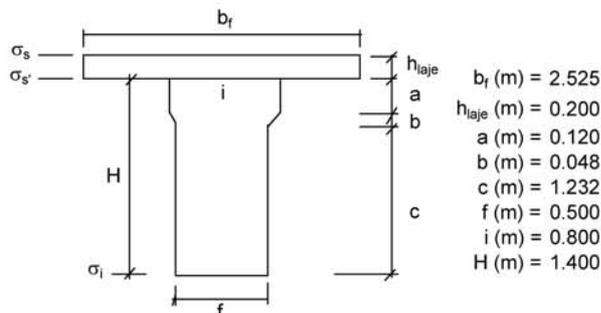
Assim temos:

$$M_u = R_{cc} * z \qquad M_u \text{ (tf.m)} = 894,9$$

$$M_d = 1,4 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3} + M_p) \qquad M_d \text{ (tf.m)} = 668,5$$

Então: $M_u / M_d = 1,34 > 1,00$ (Atende)
 Ruptura unicamente pelo escoamento do aço

Verificação da Seção do Apoio (S₀)

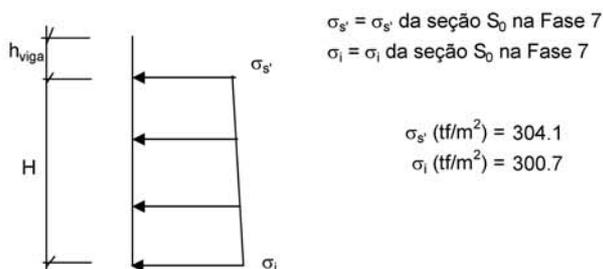


Materiais:

Concreto: f_{ck} (MPa) = 35.0 E_c (kgf/cm²) = 330,000

Aço: CP-190-RB E_{sp} (kgf/cm²) = 1,950,000

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$

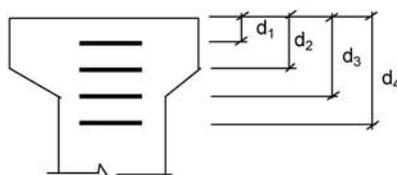


Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

$$\sigma_{sp}^{t=\infty} = \sigma_{sp}^{t=0} + \sigma_{sp}^{1^{\circ}prot.} + \sigma_{sp}^{2^{\circ}prot.} \quad \sigma_{sp}^{t=\infty} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 89,611$$

Solicitações atuantes na seção S₀

M_{g1} (tf.m) = -10.2
 M_{g2} (tf.m) = -26.1 M_p (tf.m) = -64.7
 M_{g3} (tf.m) = -16.9



1ª camada: 2ª camada: 3ª camada:
 nº cabos = 1 nº cabos = 1 nº cabos = 1
 d_1 (m) = 0.10 d_2 (m) = 0.3 d_3 (m) = 0.55

4ª camada:

$$n^{\circ} \text{ cabos} = 1$$

$$d_4 \text{ (m)} = 0.85$$

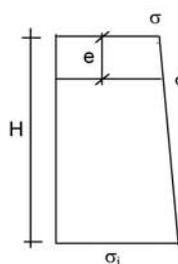
$$\text{C.G (cm)} = 0.450$$

Cálculo do pré-alongamento da armadura:

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=00} / E_{sp}$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = 0.0046$$

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto:



$$\sigma_c^{\text{C.G. cabos}} = [e * (\sigma_i - \sigma_s) / H] + \sigma_s$$

$$\sigma_c^{\text{C.G. cabos}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 303.0$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_c$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = 0.00009$$

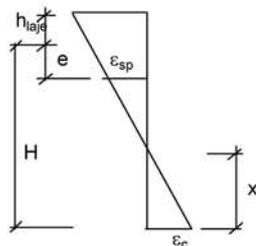
$$e \text{ (m)} = 0.450$$

1ª Tentativa:

Deformada admitida para a seção S_0

$$\epsilon_c \text{ (‰)} = 3.5$$

$$\epsilon_{sp} \text{ (‰)} = 10.0$$



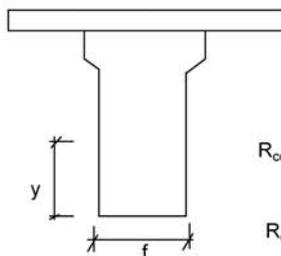
$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{ajed}]$$

$$x \text{ (m)} = 0.298$$

$$y = 0.8 * x$$

$$y \text{ (m)} = 0.239$$

Cálculo da resultante de compressão:



$$f \text{ (m)} = 0.500$$

$$y \text{ (m)} = 0.239$$

$$R_{cc} = 0.85 * f_{cd} * (y * f) / 1.4$$

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 253.4$$

Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

$$\epsilon_{sp}^{total} (\%) = 14.69$$

Da tabela do livro de concreto protendido do Prof. Walter do Couto Pfeil tem-se:

$$\sigma_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 15,669$$

$$A_{sp}^{1\text{cabo } 6\phi 12,7} \text{ (cm}^2\text{)} = 5.92$$

$$A_{sp}^{total} \text{ (cm}^2\text{)} = 23.7$$

$$R_{st} = A_{sp}^{total} * \sigma_{sp}$$

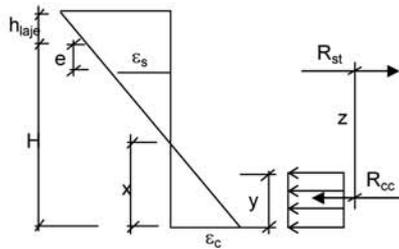
$$R_{st} \text{ (tf)} = 371.0$$

Como $R_{st} > R_{cc}$, devemos manter o valor de x e com isso também a área de compressão.

$$R_{cc} = R_{st} \text{ (tf)} = 253.4$$

Cálculo do C.G da área comprimida

$$y_{c.g.} = \Sigma(A_i * y_i) / \Sigma A_i \quad y_{c.g.} \text{ (m)} = 0.119$$



$$z = H - y_{c.g.} - e \quad z \text{ (m)} = 0.831$$

Assim temos:

$$M_u = R_{cc} * z \quad M_u \text{ (tf.m)} = 210.5$$

$$M_d = 1,4 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3} + M_p) \quad M_d \text{ (tf.m)} = 165.0$$

Então: $M_u / M_d = 1.28 > 1.00$ (Atende)
Ruptura pelo esmagamento do concreto

2.2 CÁLCULO DA INFRA-ESTRUTURA

Quatro linhas de apoio com pilares de respectivamente 2,70 m, 2,60 m, 2,60 m e 1,70 m de altura para as obras de 78,00 m com um vão de 24,00 m e dois vãos de 24,00 m com balanços de 3,00 m (Ver Cálculo da Infra-estrutura da Ponte sobre o Rio Natal no Volume 3 B – 1ª Parte).

3 PONTE SOBRE O RIO NATAL

3 PONTE SOBRE O RIO NATAL

3.1 CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA

Vão de 24,00 m (Ver Cálculo da Superestrutura da Ponte sobre o Rio Santa Júlia no Volume 3 B – 1ª Parte).

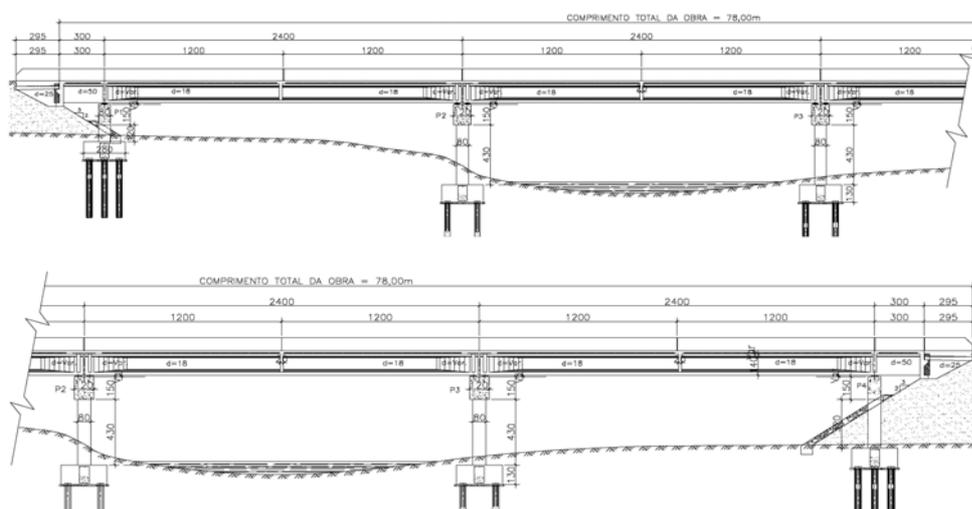
Vãos de 24,00 m com balanços de 3,00 m (Ver Cálculo da Superestrutura da Ponte sobre o Rio Santa Júlia no Volume 3 B – 1ª Parte).

3.2 CÁLCULO DA INFRA-ESTRUTURA

Quatro linhas de apoio com pilares de respectivamente 1,20 m, 4,30 m, 4,30 m e 3,20 m de altura, para as obras de 78,00 m com um vão de 24,00 m e dois vãos de 24,00 m com balanços de 3,00 m.

Cálculo da Infraestrutura - (1 vão de 24,00m e 2 vãos de 24,00m com balanços de 3,00m)

1 - Sistema estrutural

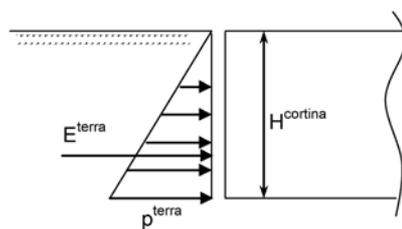


- $L_{vão1}$ (m) = 24.00
- $L_{vão2}$ (m) = 24.00
- $L_{vão3}$ (m) = 24.00
- L_{bal_esq} (m) = 3.00
- L_{bal_dir} (m) = 3.00

2 - Cálculo dos esforços solicitantes horizontais

2.1 - Direção longitudinal

2.1.1 - Empuxo de terra unilateral nas cortinas



$$K_a = 0.333$$

$$\gamma^{solo} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 1.80$$

$$H^{cortina} \text{ (m)} = 1.90$$

$$L^{obra} \text{ (m)} = 13.00$$

$$p^{terra} = K_a \times \gamma^{solo} \times H^{cortina}$$

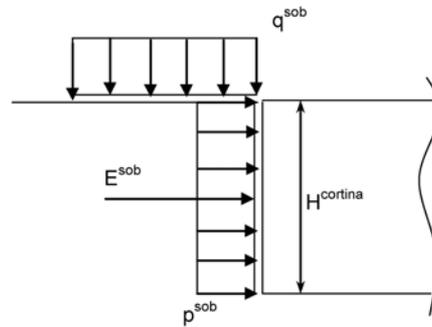
$$p^{terra} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1.140$$

$$E_{terra} = ((p^{terra} \times H^{cortina})/2) \times L^{obra}$$

$$E_{terra} \text{ (tf)} = 14.1$$

2.1.2 - Empuxo de sobrecarga unilateral nas cortinas

$$q^{\text{mult}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.50$$



$$q^{\text{sob}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.50$$

$$L^{\text{obra}} \text{ (m)} = 13.00$$

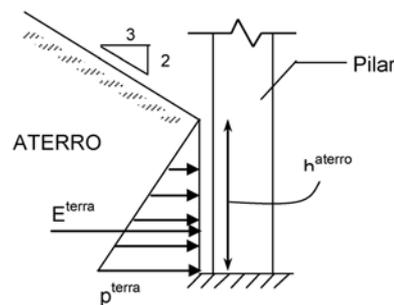
$$H^{\text{cortina}} \text{ (m)} = 1.90$$

$$p^{\text{sob}} = K_a \times q^{\text{sob}}$$

$$p^{\text{sob}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.167$$

$$E_{\text{sob}} = p^{\text{sob}} \times L^{\text{obra}} \times H^{\text{cortina}}$$

$$E_{\text{sob}} \text{ (tf)} = 4.1$$

2.1.3 - Empuxo de terra nos pilares extremos


$$K_a = 0.75$$

$$\gamma_{\text{solo}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 1.80$$

$$h^{\text{aterro P1}} \text{ (m)} = 1.00$$

$$b^{\text{pilar}} \text{ (m)} = 0.80$$

$$h^{\text{aterro P4}} \text{ (m)} = 3.00$$

$$b^{\text{pilar}} \text{ (m)} = 0.80$$

$$p^{\text{terra}} = K_a \times \gamma_{\text{solo}} \times h^{\text{aterro}}$$

$$p^{\text{terra P1}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1.35$$

$$p^{\text{terra P4}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 4.05$$

$$E_{\text{terra}} = ((p^{\text{terra}} \times h^{\text{aterro}})/2) \times 3 \times b^{\text{pilar}}$$

$$E_{\text{terra P1}} \text{ (tf)} = 1.62$$

$$E_{\text{terra P4}} \text{ (tf)} = 14.58$$

2.1.4 - Deformações impostas

Para simular os efeitos de retração do concreto, deformação imediata e lenta do concreto devidas à protensão e variação ambiental de temperatura assumiremos queda de temperatura e coeficiente de dilatação térmica respectivamente de:

$$\Delta\theta \text{ (}^\circ\text{C)} = -65$$

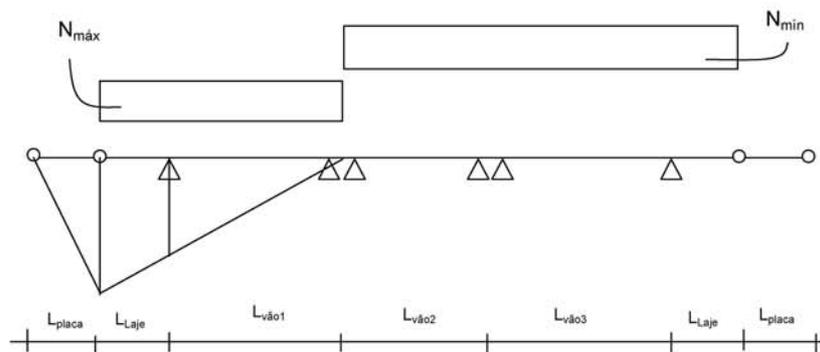
$$\alpha = 0.00001$$

2.1.5 - Frenagem e aceleração

$$F^{fren} \geq \begin{cases} 30\% \text{ do peso do veículo tipo} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} \end{cases}$$

| | | |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| $P^{concentrado} (tf) = 45.0$ | $Larg^{obra} (m) = 13.00$ | $L^{V\grave{a}o1} (m) = 24.00$ |
| $q^{mult} (tf/m^2) = 0.5$ | $L^{bal_esq} (m) = 3.00$ | $L^{V\grave{a}o2} (m) = 24.00$ |
| $Larg^{obra} (m) = 13.00$ | $L^{bal_dir} (m) = 3.00$ | $L^{V\grave{a}o3} (m) = 24.00$ |

Linha de influência da reação máxima em P1 e P4



1ª Hipótese - N_{máx}

30% do peso do veículo tipo = $0,30 \times P^{concentrado}$
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80) \times L^{bal_esq+V\grave{a}o1}$ para PTC
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80)/2 \times L^{bal_esq+V\grave{a}o1}$ para PMC

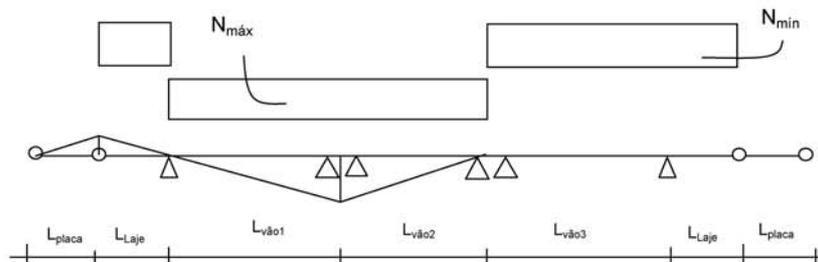
$$F^{fren} (tf) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 8.24 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 4.12 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$

2ª Hipótese - N_{mín}

30% do peso do veículo tipo = $0,30 \times P^{concentrado}$
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80) \times L^{bal_dir+v\grave{a}o2+v\grave{a}o3}$ para PTC
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80)/2 \times L^{bal_dir+v\grave{a}o2+v\grave{a}o3}$ para PMC

$$F^{fren} (tf) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 15.56 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 7.78 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$

Linha de influência da reação máxima em P2 e P3



1ª Hipótese - N_{máx}

30% do peso do veículo tipo = $0,30 \times P^{\text{concentrado}}$

5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80) \times L^{\text{vão1}+\text{vão2}}$ para PTC

5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80)/2 \times L^{\text{vão1}+\text{vão2}}$ para PMC

$$F^{\text{fren}}(\text{tf}) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 14.64 \\ 7.32 \end{cases} \begin{array}{l} \text{ponte totalmente carregada} \\ \text{ponte metade carregada} \end{array}$$

2ª Hipótese - N_{min}

30% do peso do veículo tipo = $0,30 \times P^{\text{concentrado}}$

5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80) \times L^{\text{bal_esq}+\text{vão3}+\text{bal_dir}}$ para PTC

5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80)/2 \times L^{\text{bal_esq}+\text{vão3}+\text{bal_dir}}$ para PMC

$$F^{\text{fren}}(\text{tf}) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 9.15 \\ 4.58 \end{cases} \begin{array}{l} \text{ponte totalmente carregada} \\ \text{ponte metade carregada} \end{array}$$

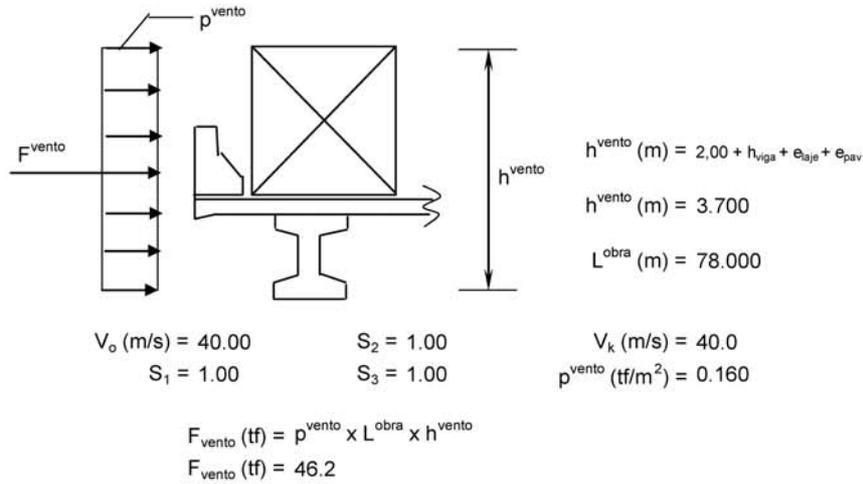
2.2 Direção transversal

2.2.1 - Vento na superestrutura

o cálculo da pressão do vento será feito de acordo com o prescreve a NBR-6123

$$p^{\text{vento}} = C_x \cdot (V_k^2) / 16$$

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \qquad C_x = 1.60$$



3 - Cálculo das rizejas dos apoios

3.1 - Linha de apoio 1

3.1.1 - Aparelhos de apoio (30x50)

n° de aparelhos de apoio (n) = 5
 S_1 apar (m²) = 0.15
 G (tf/m²) = 100.0 $k^{neop}_{transv} = k^{neop}_{long} = (n * G * S) / h_{borr}$
 h_{borr} (m) = 0.04
 K^{neop} (tf/m) = 1,875.0

3.1.2 - Pilares (80x80)

fck_{pilar} (MPa) = 20
 $h_{total} = h_{travessa} + H_{pilar} + h_{bloco}/2$
 $h_{total} = 3.35$
 n° de pilares (n) = 2

- longitudinal

$K = n * 3 * E * J / (H^3)$
 $J^{long}_{1 pilar}$ (m⁴) = 0.0341
 E_c (tf/m²) = $9,5 \times (fck_j + 8)^{1/3}$
 E_c (tf/m²) = 2,884,760
 K^{long}_1 (tf/m) = 15,714.7

- transversal

$K = n * 3 * E * J / (H^3)$
 $J^{transv}_{1 pilar}$ (m⁴) = 0.0341
 E_c (tf/m²) = 2,884,760
 K^{transv}_1 (tf/m) = 15,714.7

3.1.3 - Rigidez do conjunto

$$K^{conj} = 1 / ((1/k_{neop}) + (1/k_{pilar}))$$

- longitudinal

$$K^{long-conj}_1 (tf/m) = 1,675.1$$

- transversal

$$K^{transv-conj}_1 (tf/m) = 1,675.1$$

3.2 - Linha de apoio 2

3.2.1 - Aparelhos de apoio (30x40)

$$n^{\circ} \text{ de aparelhos de apoio } (n) = 10$$

$$S_{1 \text{ apar}} (m^2) = 0.12$$

$$G (tf/m^2) = 100$$

$$h (m) = 0.04$$

$$k^{neop}_{transv} = k^{neop}_{long} = (n * G * S) / h_{borr}$$

$$K^{neop} (tf/m) = 3,000.0$$

3.2.2 - Pilares (80x100)

$$fck_{pilar} (MPa) = 20$$

$$h_{total} = h_{travessa} + H_{pilar} + h_{bloco}/2$$

$$h_{total} = 6.45$$

$$n^{\circ} \text{ de pilares } (n) = 2$$

- longitudinal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$J^{long}_{1 \text{ pilar}} (m^4) = 0.0427$$

$$Ec (tf/m^2) = 9,5 * (fck_j + 8)^{1/3}$$

$$Ec (tf/m^2) = 2,884,760$$

$$K^{long}_2 (tf/m) = 2,752.1$$

- transversal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$J^{transv}_{1 \text{ pilar}} (m^4) = 0.0667$$

$$Ec (tf/m^2) = 2,884,760$$

$$K^{transv}_2 (tf/m) = 4,300.2$$

3.2.3 - Rigidez do conjunto

$$K^{conj} = 1 / ((1/k_{neop}) + (1/k_{pilar}))$$

- longitudinal

$$K^{long-conj}_2 (tf/m) = 1,435.4$$

- transversal

$$K^{transv-conj}_2 (tf/m) = 1,767.2$$

3.3 - Linha de apoio 3

3.3.1 - Aparelhos de apoio (30x40)

$$\begin{aligned} \text{n}^\circ \text{ de aparelhos de apoio (n)} &= 10 \\ S_{1 \text{ apar}} \text{ (m}^2\text{)} &= 0.12 \\ G \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 100 \\ h \text{ (m)} &= 0.04 \end{aligned} \quad k_{\text{transv}}^{\text{neop}} = k_{\text{long}}^{\text{neop}} = (n * G * S) / h_{\text{borr}}$$

$$K^{\text{neop}} \text{ (tf/m)} = 3,000.0$$

3.3.2 - Pilares (80x100)

$$\begin{aligned} f_{ck_{\text{pilar}}} \text{ (MPa)} &= 20 \\ h_{\text{total}} &= h_{\text{travessa}} + H_{\text{pilar}} + h_{\text{bloco}}/2 \\ h_{\text{total}} &= 6.45 \\ \text{n}^\circ \text{ de pilares (n)} &= 2 \end{aligned}$$

- longitudinal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$\begin{aligned} J_{1 \text{ pilar}}^{\text{long}} \text{ (m}^4\text{)} &= 0.0427 \\ E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 9,5 * (f_{ckj} + 8)^{1/3} \\ E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 2,884,760 \\ K_3^{\text{long}} \text{ (tf/m)} &= 2,752.1 \end{aligned}$$

- transversal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$\begin{aligned} J_{1 \text{ pilar}}^{\text{transv}} \text{ (m}^4\text{)} &= 0.0667 \\ E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 2,884,760 \\ K_3^{\text{transv}} \text{ (tf/m)} &= 4,300.2 \end{aligned}$$

3.3.3 - Rigidez do conjunto

$$K^{\text{conj}} = 1 / ((1/k_{\text{neop}}) + (1/k_{\text{pilar}}))$$

- longitudinal

$$K^{\text{long - conj}}_3 \text{ (tf/m)} = 1,435.4$$

- transversal

$$K^{\text{transv - conj}}_3 \text{ (tf/m)} = 1,767.2$$

3.4 - Linha de apoio 4

3.4.1 - Aparelhos de apoio (30x50)

$$\begin{aligned} \text{n}^\circ \text{ de aparelhos de apoio (n)} &= 5 \\ S_{1 \text{ apar}} \text{ (m}^2\text{)} &= 0.15 \\ G \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 100 \\ h \text{ (m)} &= 0.04 \end{aligned} \quad k_{\text{transv}}^{\text{neop}} = k_{\text{long}}^{\text{neop}} = (n * G * S) / h_{\text{borr}}$$

$$K^{\text{neop}} \text{ (tf/m)} = 1,875.0$$

3.4.2 - Pilares (80x80)

$$f_{ck_{\text{pilar}}} \text{ (MPa)} = 20$$

$$h_{\text{total}} = h_{\text{travessa}} + H_{\text{pilar}} + h_{\text{bloco}}/2$$

$$h_{\text{total}} = 5.35$$

$$n^{\circ} \text{ de pilares (n)} = 2$$

- longitudinal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$J_{\text{1 pilar}}^{\text{long}} \text{ (m}^4\text{)} = 0.0341$$

$$E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} = 9,5 \times (f_{ckj} + 8)^{1/3}$$

$$E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} = 2,884,760$$

$$K_4^{\text{long}} \text{ (tf/m)} = 3,858.1$$

- transversal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$J_{\text{1 pilar}}^{\text{transv}} \text{ (m}^4\text{)} = 0.0341$$

$$E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} = 2,884,760$$

$$K_4^{\text{transv}} \text{ (tf/m)} = 3,858.1$$

3.4.3 - Rigidez do conjunto

$$K^{\text{conj}} = 1 / ((1/k_{\text{neop}}) + (1/k_{\text{pilar}}))$$

- longitudinal

$$K_4^{\text{long - conj}} \text{ (tf/m)} = 1,261.8$$

- transversal

$$K_4^{\text{transv - conj}} \text{ (tf/m)} = 1,261.8$$

3.5 - Cálculo dos coeficientes de distribuição

$$\mu = k_i / \sum k_i$$

- longitudinal

$$\sum K_{\text{conj}}^{\text{long}} = 5,807.6$$

$$\mu_1^{\text{long}} = 0.2884$$

$$\mu_2^{\text{long}} = 0.2472$$

$$\mu_3^{\text{long}} = 0.2472$$

$$\mu_4^{\text{long}} = 0.2173$$

- transversal

$$\sum K_{\text{conj}}^{\text{transv}} = 6,471.2$$

$$\mu_1^{\text{transv}} = 0.2589$$

$$\mu_2^{\text{transv}} = 0.2731$$

$$\mu_3^{\text{transv}} = 0.2731$$

$$\mu_4^{\text{transv}} = 0.1950$$

| Resumo | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Linha Apoio | Rigidez | | Coef. de distribuição | |
| | longitudinal | transversal | longitudinal | transversal |
| 1 | 1,675.1 | 1,675.1 | 0.28844 | 0.25886 |
| 2 | 1,435.4 | 1,767.2 | 0.24715 | 0.27308 |
| 3 | 1,435.4 | 1,767.2 | 0.24715 | 0.27308 |
| 4 | 1,261.8 | 1,261.8 | 0.21726 | 0.19498 |
| Total | 5,807.6 | 6,471.2 | 1.0 | 1.0 |

4 - Distribuição dos esforços longitudinais

$$F^1 (tf) = \text{Esforço} \times \mu_{\text{long}}^{\text{Apoio1}}$$

$$F^2 (tf) = \text{Esforço} \times \mu_{\text{long}}^{\text{Apoio2}}$$

$$F^3 (tf) = \text{Esforço} \times \mu_{\text{long}}^{\text{Apoio3}}$$

$$F^4 (tf) = \text{Esforço} \times \mu_{\text{long}}^{\text{Apoio4}}$$

4.1 - Empuxo de terra unilateral nas cortinas por linha de apoio

$$F^1 (tf) = 4.06$$

$$F^2 (tf) = 3.48$$

$$F^3 (tf) = 3.48$$

$$F^4 (tf) = 3.06$$

4.2 - Empuxo de sobrecarga unilateral nas cortinas por linha de apoio

$$F^1 (tf) = 1.19$$

$$F^2 (tf) = 1.02$$

$$F^3 (tf) = 1.02$$

$$F^4 (tf) = 0.89$$

4.3 - Empuxo de terra nos pilares extremos (para cada pilar)
(aplicado diretamente sobre os pilares)

$$\text{Pilar}^{\text{apoio1}} (tf) = 1.62$$

$$\text{Pilar}^{\text{apoio4}} (tf) = 14.58$$

4.4 - Deformações impostas por linha de apoio

centro elástico longitudinal

$$X_{c.c.} = \frac{\sum K_i \cdot X_i}{\sum K_i} \quad F = K_i \cdot X_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Xc.e.Longitudinal (m) = 36.4

| Apoio | K _{long} (tf/m) | X _i (m) | F (tf) |
|-------|--------------------------|--------------------|--------|
| 1 | 1,675.1 | 33.44 | 36.41 |
| 2 | 1,435.4 | 9.44 | 8.81 |
| 3 | 1,435.4 | 14.56 | 13.59 |
| 4 | 1,261.8 | 38.56 | 31.63 |

4.5 - Frenagem e aceleração por linha de apoio

Hipótese de $N_{máx}$

- PTC

$$F^1 \text{ (tf)} = 3.9$$

$$F^2 \text{ (tf)} = 3.6$$

$$F^3 \text{ (tf)} = 3.6$$

$$F^4 \text{ (tf)} = 2.9$$

- PMC

$$F^1 \text{ (tf)} = 3.9$$

$$F^2 \text{ (tf)} = 3.3$$

$$F^3 \text{ (tf)} = 3.3$$

$$F^4 \text{ (tf)} = 2.9$$

Hipótese de $N_{mín}$

- PTC

$$F^1 \text{ (tf)} = 4.5$$

$$F^2 \text{ (tf)} = 3.3$$

$$F^3 \text{ (tf)} = 3.3$$

$$F^4 \text{ (tf)} = 3.4$$

- PMC

$$F^1 \text{ (tf)} = 3.9$$

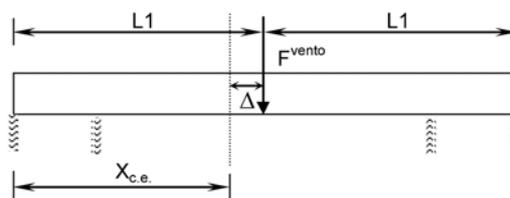
$$F^2 \text{ (tf)} = 3.3$$

$$F^3 \text{ (tf)} = 3.3$$

$$F^4 \text{ (tf)} = 2.9$$

5 - Distribuição dos esforços transversais por linha de apoio

5.1 - Vento na superestrutura



$$L1 \text{ (m)} = 39.00$$

$$X_{c.e. \text{ Transversal}} \text{ (m)} = 36.70$$

$$\Delta \text{ (m)} = 2.299$$

$$F_{\text{vento}} \text{ (tf)} = 46.18$$

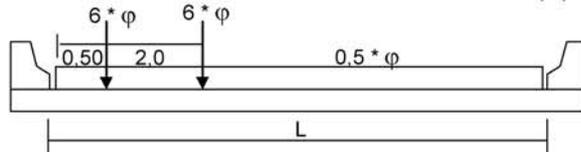
$$F^T_i = F_{\text{vento}} * K_{i \text{ Trans}} * [(1 / \sum K_{i \text{ Trans}}) \pm (\Delta * X_i) / (\sum (K_{i \text{ Trans}} * X_i^2))]$$

| Linha | $K_{i \text{ Trans}} \text{ (tf/m)}$ | $X_i \text{ (m)}$ | $K_{i \text{ Trans}} * X_i^2$ | $F^T_i \text{ (tf)}$ |
|--------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1 | 1,675.1 | -33.70 | 1902492 | 10.55 |
| 2 | 1,767.2 | -9.70 | 166291 | 12.18 |
| 3 | 1,767.2 | 14.30 | 361339 | 13.24 |
| 4 | 1,261.8 | 38.30 | 1850853 | 10.20 |
| TOTAL | 6,471.2 | | 4280974 | 46.18 |

6 - Cálculo dos Esforços na Infra-Estrutura provenientes da superestrutura

PTC

$L (m) = 12.20$



$$P = 2 * 6 * \varphi \quad Mt = 6 * \varphi * (0,5 * L - 0,5 + 0,5 * L - 2,50)$$

$$p = 0,5 * \varphi * L \quad mt = 0$$

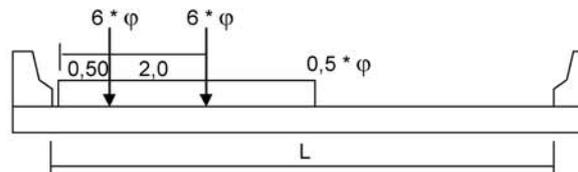
Trem-Tipo Flexão

| Vão teórico (m) | φ | P (tf) | p (tf/m) |
|-----------------|-----------|--------|----------|
| L1 | 23.65 | 1.234 | 7.530 |
| L2 | 23.30 | 1.237 | 7.545 |
| L3 | 23.65 | 1.234 | 7.530 |

Trem-Tipo Torsão

| Vão teórico (m) | φ | Mt | mt |
|-----------------|-----------|-------|-------|
| L1 | 23.65 | 1.234 | 0.000 |
| L2 | 23.30 | 1.237 | 0.000 |
| L3 | 23.65 | 1.234 | 0.000 |

PMC



$$P = 2 * 6 * \varphi \quad Mt = 6 * \varphi * (0,5 * L - 0,5 + 0,5 * L - 2,50)$$

$$p = 0,5 * \varphi * 0,50 * L \quad mt = 0,50 * \varphi * 0,50 * L * 0,25 * L$$

Trem-Tipo Flexão

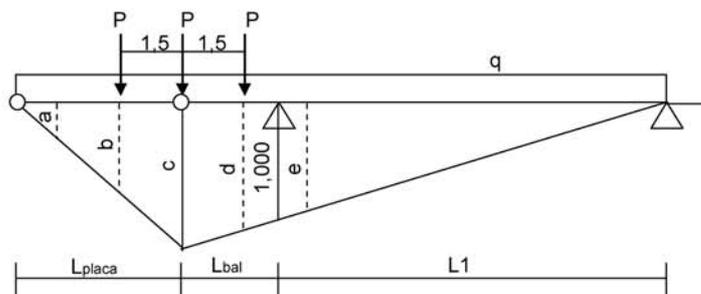
| Vão teórico (m) | φ | P (tf) | p (tf/m) |
|-----------------|-----------|--------|----------|
| L1 | 23.65 | 1.234 | 3.765 |
| L2 | 23.30 | 1.237 | 3.773 |
| L3 | 23.65 | 1.234 | 3.765 |

Trem-Tipo Torsão

| Vão teórico (m) | φ | Mt | mt |
|-----------------|-----------|-------|-------|
| L1 | 23.65 | 1.234 | 11.48 |
| L2 | 23.30 | 1.237 | 11.51 |
| L3 | 23.65 | 1.234 | 11.48 |

Reações de Carga Móvel nos Apoios

Apoio P1



$L_{placa} (m) = 3.00$ $a (m) = 0.000$ $d (m) = 1.063$
 $L_{bal} (m) = 3.00$ $b (m) = 0.563$ $e (m) = 1.000$
 $L_1 (m) = 23.65$ $c (m) = 1.127$

Reação Máxima

$$N_p = P * [c + \text{maior}(a + b; b + d; d + e)] + q * [(L_{bal} + L_1) * c + c * L_{placa}] / 2$$

PTC

$P (tf) = 14.8$
 $q (tf/m) = 7.530$

$N_p (tf) = 173.1$
 $ML (tf.m) = 0.0$

PMC

$P (tf) = 14.8$
 $q (tf/m) = 3.765$

$N_p (tf) = 110.2$
 $ML (tf.m) = 0.0$

Reação Mínima

PTC

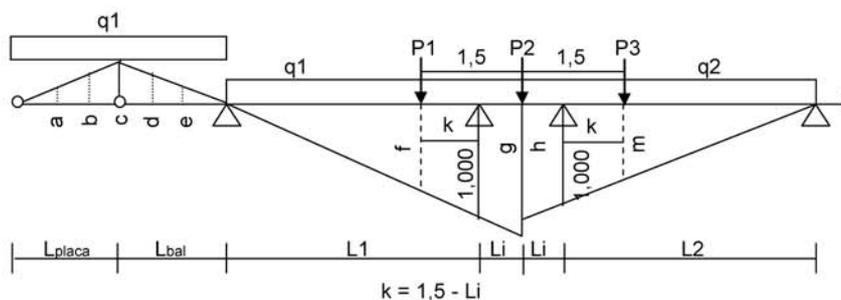
$N_p (tf) = 0.0$
 $ML (tf.m) = 0.0$

PMC

$N_p (tf) = 0.0$
 $ML (tf.m) = 0.0$

Apoio P2

Dois vãos carregados



$P_{L1} (tf) = 14.8$

$P_{L2} (tf) = 14.8$

| | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| L_{placa} (m) = 3.00 | a (m) = 0.000 | f (m) = 0.951 | $P1$ (tf) = 14.8 |
| L_{bal} (m) = 3.00 | b (m) = 0.063 | g (m) = 1.015 | $P2$ (tf) = 14.8 |
| $L1$ (m) = 23.65 | c (m) = 0.127 | h (m) = 1.015 | $P3$ (tf) = 14.8 |
| $L2$ (m) = 23.30 | d (m) = 0.063 | m (m) = 0.951 | |
| Li (m) = 0.35 | e (m) = 0.000 | k (m) = 1.15 | |

Reação Máxima

$$N_e = P1 * f + (P2 / 2) * g + q1 * [g * (L1 + Li) / 2]$$

$$N_d = (P2 / 2) * h + P3 * m + q2 * [h * (L2 + Li) / 2]$$

$$M_L = (N_d - N_e) * Li$$

PTC

$$q1 \text{ (tf/m)} = 7.530$$

$$q2 \text{ (tf/m)} = 7.545$$

PMC

$$q1 \text{ (tf/m)} = 3.765$$

$$q2 \text{ (tf/m)} = 3.773$$

$$N_e \text{ (tf)} = 113.3$$

$$N_d \text{ (tf)} = 112.2$$

$$N_e \text{ (tf)} = 67.5$$

$$N_d \text{ (tf)} = 66.9$$

$$N_p \text{ (tf)} = 225.5$$

$$ML \text{ (tf.m)} = -0.39$$

$$N_p \text{ (tf)} = 134.4$$

$$ML \text{ (tf.m)} = -0.19$$

Reação Mínima

$$N_e = P * [c + \text{maior}(a + b ; b + d ; d + e)] + q1 * c * (L_{placa} + L_{bal}) / 2$$

$$N_d = 0$$

$$M_L = -N_e * Li$$

PTC

$$P \text{ (tf)} = 14.8$$

$$q1 \text{ (tf/m)} = 7.530$$

$$N_e \text{ (tf)} = -6.6$$

$$ML \text{ (tf.m)} = 2.32$$

PMC

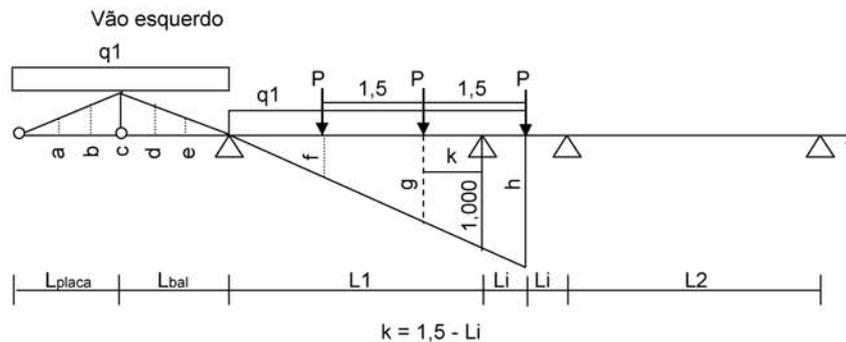
$$P \text{ (tf)} = 14.8$$

$$q1 \text{ (tf/m)} = 3.765$$

$$N_e \text{ (tf)} = -5.2$$

$$ML \text{ (tf.m)} = 1.82$$

Apenas um vão carregado



| | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|
| L_{placa} (m) = 3.00 | a (m) = 0.000 | f (m) = 0.888 |
| L_{bal} (m) = 3.00 | b (m) = 0.063 | g (m) = 0.951 |
| $L1$ (m) = 23.65 | c (m) = 0.127 | h (m) = 1.015 |
| $L2$ (m) = 23.30 | d (m) = 0.063 | k (m) = 1.150 |
| Li (m) = 0.35 | e (m) = 0.000 | |

Reação Máxima

$$N_e = P * (f + g + h) + q_1 * [h * (L_1 + L_i) / 2]$$

$$N_d = 0$$

$$M_L = - N_p * L_i$$

| PTC | PMC |
|-------------------|-------------------|
| P (tf) = 14.8 | P (tf) = 14.8 |
| q1 (tf/m) = 7.530 | q1 (tf/m) = 3.765 |
| Ne (tf) = 134.0 | Ne (tf) = 88.1 |
| ML (tf.m) = -46.9 | ML (tf.m) = -30.8 |

Reação Mínima

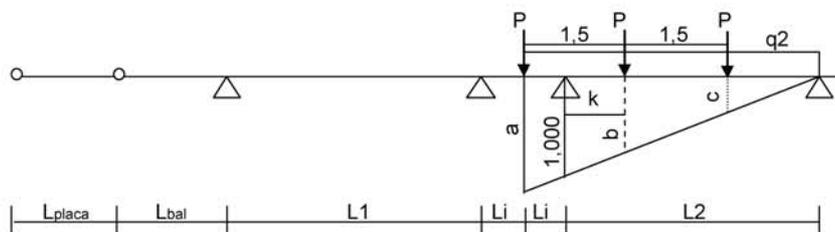
$$N_e = P * [c + \text{maior}(a + b; b + d; d + e)] + q_1 * c * (L_{placa} + L_{bal}) / 2$$

$$N_d = 0$$

$$M_L = - N_p * L_i$$

| PTC | PMC |
|-------------------|-------------------|
| P (tf) = 14.8 | P (tf) = 14.8 |
| q1 (tf/m) = 7.530 | q1 (tf/m) = 3.765 |
| Ne (tf) = -6.6 | Nd (tf) = -5.2 |
| ML (tf.m) = 2.32 | ML (tf.m) = 1.82 |

Vão direito



| | |
|------------------------|-----------------|
| L_{placa} (m) = 3.00 | a (m) = 1.015 |
| L_{bal} (m) = 3.00 | b (m) = 0.951 |
| L_1 (m) = 23.65 | c (m) = 0.886 |
| L_2 (m) = 23.30 | |
| L_i (m) = 0.35 | k (m) = 1.150 |

Reação Máxima

$$N_e = 0$$

$$N_d = P * (a + b + c) + q_2 * [a * (L_2 + L_i) / 2]$$

$$M_L = N_p * L_i$$

| | | | |
|-----|-------------------|-----|-------------------|
| PTC | | PMC | |
| | P (tf) = 14.8 | | P (tf) = 14.8 |
| | q1 (tf/m) = 7.545 | | q1 (tf/m) = 3.773 |
| | Nd (tf) = 132.9 | | Nd (tf) = 87.6 |
| | ML (tf.m) = 46.5 | | ML (tf.m) = 30.7 |

Reação Mínima

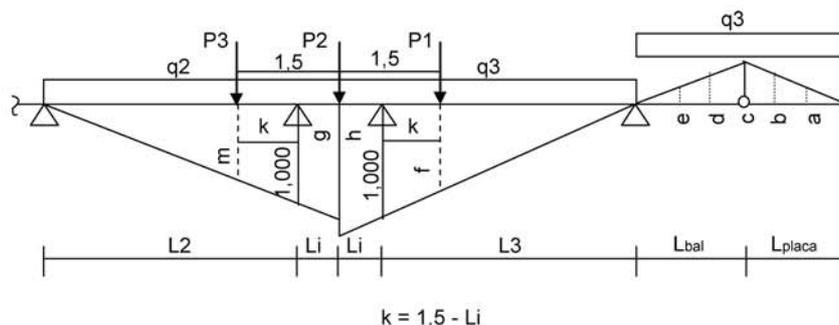
$$N_e = N_d = 0$$

$$M_L = 0$$

| | | | |
|-----|-------------------|-----|-------------------|
| PTC | | PMC | |
| | P (tf) = 14.8 | | P (tf) = 14.8 |
| | q1 (tf/m) = 7.545 | | q1 (tf/m) = 3.773 |
| | Np (tf) = 0.0 | | Np (tf) = 0.0 |
| | ML (tf.m) = 0.0 | | ML (tf.m) = 0.0 |

Apoio P3

Dois vãos carregados



$$P_{L2} (tf) = 14.8 \qquad P_{L3} (tf) = 14.8$$

| | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| $L_{placa} (m) = 3.00$ | $a (m) = 0.000$ | $f (m) = 0.951$ | $P1 (tf) = 14.8$ |
| $L_{bal} (m) = 3.00$ | $b (m) = 0.063$ | $g (m) = 1.015$ | $P2 (tf) = 14.8$ |
| $L2 (m) = 23.30$ | $c (m) = 0.127$ | $h (m) = 1.015$ | $P3 (tf) = 14.8$ |
| $L3 (m) = 23.65$ | $d (m) = 0.063$ | $m (m) = 0.951$ | |
| $L_i (m) = 0.35$ | $e (m) = 0.000$ | $k (m) = 1.150$ | |

Reação Máxima

$$N_e = P_3 * m + (P_2 / 2) * g + q_2 * [g * (L_2 + L_i) / 2]$$

$$N_d = P_1 * f + (P_2 / 2) * h + q_3 * [h * (L_3 + L_i) / 2]$$

$$M_L = (N_d - N_e) * L_i$$

| PTC | PMC |
|-------------------|-------------------|
| q2 (tf/m) = 7.545 | q2 (tf/m) = 3.773 |
| q3 (tf/m) = 7.530 | q3 (tf/m) = 3.765 |
| Ne (tf) = 112.2 | Ne (tf) = 66.9 |
| Nd (tf) = 113.3 | Nd (tf) = 67.5 |
| Np (tf) = 225.5 | Np (tf) = 134.4 |
| ML (tf.m) = 0.39 | ML (tf.m) = 0.20 |

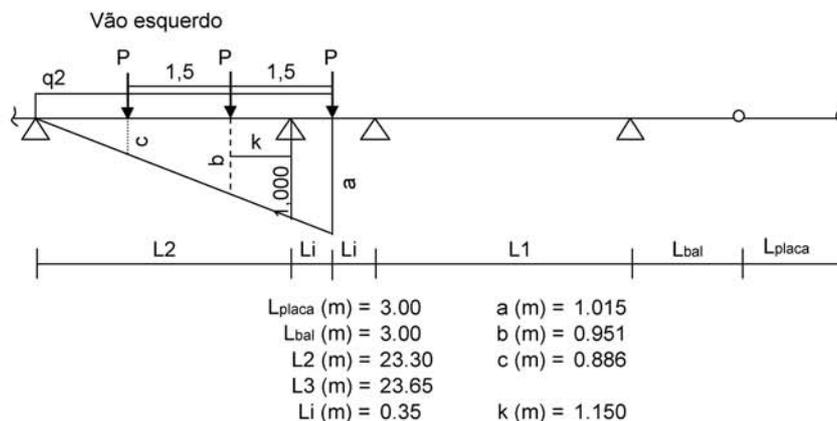
Reação Mínima

$$N_e = 0$$

$$N_d = P * [c + \text{maior}(a + b; b + d; d + e)] + q_3 * c * (L_{placa} + L_{bal}) / 2$$

$$M_L = N_d * L_i$$

| PTC | PMC |
|-------------------|-------------------|
| P (tf) = 14.8 | P (tf) = 14.8 |
| q3 (tf/m) = 7.530 | q3 (tf/m) = 3.765 |
| Nd (tf) = -6.6 | Nd (tf) = -5.2 |
| ML (tf.m) = -2.32 | ML (tf.m) = -1.82 |

Apenas um vão carregado


Reação Máxima

$$N_e = P * (a + b + c) + q_2 * [a * (L_2 + L_i) / 2]$$

$$M_L = - N_p * L_i$$

| PTC | | PMC | |
|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
| P (tf) | = 14.8 | P (tf) | = 14.8 |
| q1 (tf/m) | = 7.545 | q1 (tf/m) | = 3.773 |
| N _e (tf) | = 132.9 | N _e (tf) | = 87.6 |
| M _L (tf.m) | = -46.5 | M _L (tf.m) | = -30.7 |

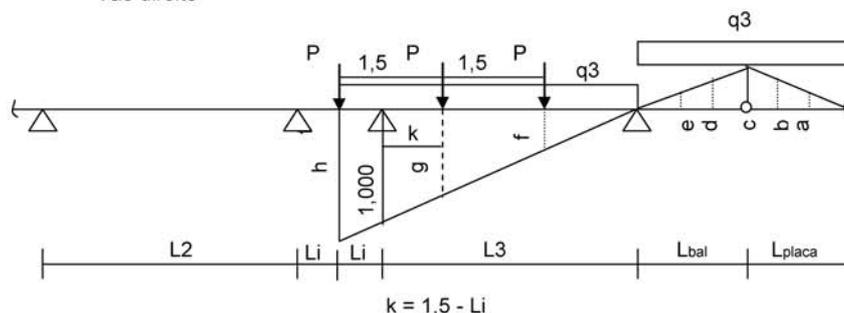
Reação Mínima

$$N_e = N_d = 0$$

$$M_L = 0$$

| PTC | | PMC | |
|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
| P (tf) | = 14.8 | P (tf) | = 14.8 |
| q1 (tf/m) | = 7.545 | q1 (tf/m) | = 3.773 |
| N _p (tf) | = 0.0 | N _p (tf) | = 0.0 |
| M _L (tf.m) | = 0.0 | M _L (tf.m) | = 0.0 |

Vão direito



| | | | | | |
|------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|
| L _{placa} (m) | = 3.00 | a (m) | = 0.000 | f (m) | = 0.888 |
| L _{bal} (m) | = 3.00 | b (m) | = 0.063 | g (m) | = 0.951 |
| L ₂ (m) | = 23.30 | c (m) | = 0.127 | h (m) | = 1.015 |
| L ₃ (m) | = 23.65 | d (m) | = 0.063 | k (m) | = 1.150 |
| L _i (m) | = 0.35 | e (m) | = 0.000 | | |

Reação Máxima

$$N_d = P * (f + g + h) + q_3 * [h * (L_3 + L_i) / 2]$$

$$M_L = N_p * L_i$$

| PTC | | PMC | |
|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
| P (tf) | = 14.8 | P (tf) | = 14.8 |
| q3 (tf/m) | = 7.530 | q3 (tf/m) | = 3.765 |
| N _d (tf) | = 134.0 | N _d (tf) | = 88.1 |
| M _L (tf.m) | = 46.9 | M _L (tf.m) | = 30.8 |

Reação Mínima

$$N_d = P * [c + \text{maior}(a + b ; b + d ; d + e)] + q_3 * c * (L_{\text{placa}} + L_{\text{bal}}) / 2$$

$$M_L = N_p * L_i$$

PTC

$$P \text{ (tf)} = 14.8$$

$$q_1 \text{ (tf/m)} = 7.530$$

$$N_d \text{ (tf)} = -6.6$$

$$M_L \text{ (tf.m)} = -2.32$$

PMC

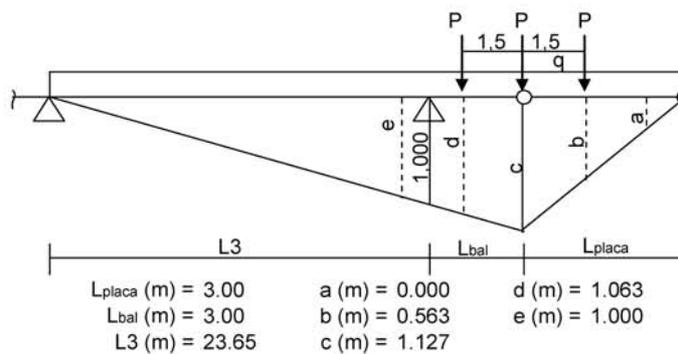
$$P \text{ (tf)} = 14.8$$

$$q_1 \text{ (tf/m)} = 3.765$$

$$N_d \text{ (tf)} = -5.2$$

$$M_L \text{ (tf.m)} = -1.82$$

Apoio P4



Reação Máxima

$$N_p = P * [c + \text{maior}(a + b ; b + d ; d + e)] + q * [(L_{\text{bal}} + L_1) * c + c * L_{\text{placa}}] / 2$$

PTC

$$P \text{ (tf)} = 14.8$$

$$q \text{ (tf/m)} = 7.530$$

$$N_p \text{ (tf)} = 173.1$$

$$M_L \text{ (tf.m)} = 0.0$$

PMC

$$P \text{ (tf)} = 14.8$$

$$q \text{ (tf/m)} = 3.765$$

$$N_p \text{ (tf)} = 110.2$$

$$M_L \text{ (tf.m)} = 0.0$$

Reação Mínima

PTC

$$N_p \text{ (tf)} = 0.0$$

$$M_L \text{ (tf.m)} = 0.0$$

PMC

$$N_p \text{ (tf)} = 0.0$$

$$M_L \text{ (tf.m)} = 0.0$$

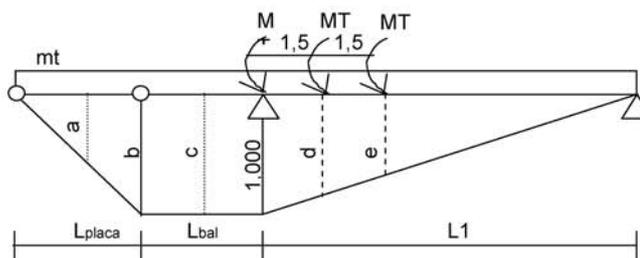
Resumo das Reações nos Apoios

| Apoio | 1 vão carregado | | | | | | | |
|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------|
| | Máxima | | | | Mínima | | | |
| | PTC | | PMC | | PTC | | PMC | |
| N_p (tf) | M_{Lp} (tf.m) | |
| P1 | 173.1 | 0.0 | 110.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| P2 | 134.0 | -46.9 | 88.1 | -30.8 | -6.6 | 2.3 | -5.2 | 1.8 |
| P3 | 134.0 | 46.9 | 88.1 | 30.8 | -6.6 | -2.3 | -5.2 | -1.8 |
| P4 | 173.1 | 0.0 | 110.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| Apoio | 2 vãos carregados | | | | | | | |
|-------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| | Máxima | | | | Mínima | | | |
| | PTC | | PMC | | PTC | | PMC | |
| | N _p (tf) | M _{Lp} (tf.m) |
| P1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| P2 | 225.5 | -0.4 | 134.4 | -0.2 | -6.6 | 2.32 | -5.2 | 1.82 |
| P3 | 225.5 | 0.4 | 134.4 | 0.2 | -6.6 | -2.32 | -5.2 | -1.82 |
| P4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Momento Transversal de Carga Móvel nos Apoios

Apoio P1



$L_{placa} \text{ (m)} = 3.00$ $a \text{ (m)} = 1.000$ $d \text{ (m)} = 0.937$
 $L_{bal} \text{ (m)} = 3.00$ $b \text{ (m)} = 1.000$ $e \text{ (m)} = 0.873$
 $L1 \text{ (m)} = 23.65$ $c \text{ (m)} = 1.000$

$$MT-p = MT * [1,000 + \text{maior}(a + b ; b + c ; c + d ; d + e)] + mt * (L1 * 1,000 / 2 + 1,000 * L_{bal} + b * L_{placa} / 2)$$

PTC

MT (tf) = 68.1
mt (tf.m/m) = 0.00

Mt-p (tf.m) = 204.4

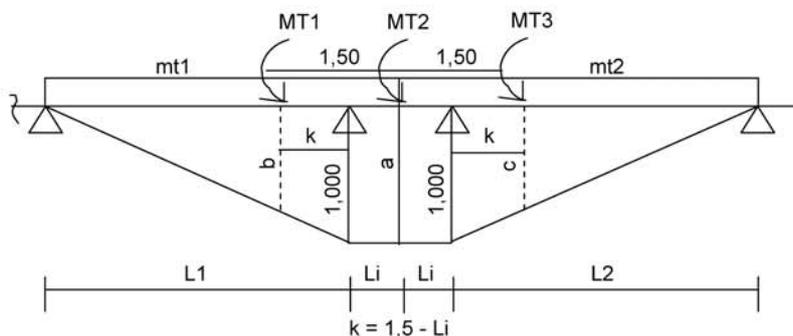
PMC

MT (tf) = 68.1
mt (tf.m/m) = 11.48

Mt-p (tf.m) = 391.9

Apoio P2

Dois vãos carregados

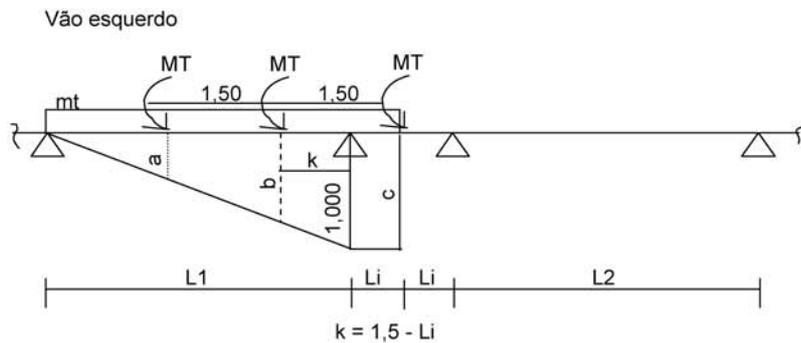


$$\begin{aligned}
 &Mt_L1 \text{ (tf.m)} = 68.1 && Mt_L2 \text{ (tf.m)} = 68.3 \\
 &L1 \text{ (m)} = 23.65 & a \text{ (m)} = 1.000 & k \text{ (m)} = 1.15 & MT1 \text{ (tf)} = 68.1 \\
 &L2 \text{ (m)} = 23.30 & b \text{ (m)} = 0.951 & & MT2 \text{ (tf)} = 68.3 \\
 &Li \text{ (m)} = 0.35 & c \text{ (m)} = 0.951 & & MT3 \text{ (tf)} = 68.3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mt-e &= MT1 * b + MT2 * a / 2 + mt1 * [(1,00 * L1 / 2) + Li * 1,00] \\
 Mt-d &= MT3 * c + MT2 * a / 2 + mt2 * [(1,00 * L2 / 2) + Li * 1,00]
 \end{aligned}$$

| | |
|---------------------|----------------------|
| PTC | PMC |
| mt1 (tf.m/m) = 0.00 | mt1 (tf.m/m) = 11.48 |
| mt2 (tf.m/m) = 0.00 | mt2 (tf.m/m) = 11.51 |
| Mt-e (tf.m) = 98.97 | Mt-e (tf.m) = 238.78 |
| Mt-d (tf.m) = 99.05 | Mt-d (tf.m) = 237.12 |
| Mt-p (tf.m) = 198.0 | Mt-p (tf.m) = 475.9 |

Apenas um vão carregado

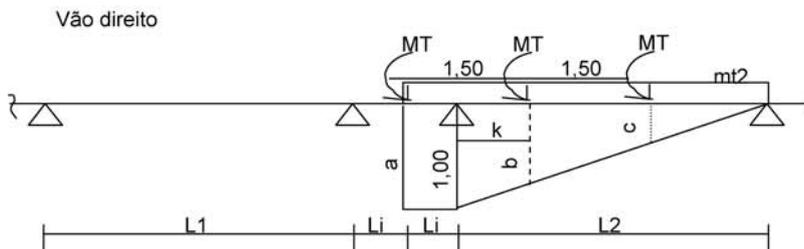


$$\begin{aligned}
 L1 \text{ (m)} &= 23.65 & a \text{ (m)} &= 0.888 & k \text{ (m)} &= 1.15 \\
 L2 \text{ (m)} &= 23.30 & b \text{ (m)} &= 0.951 & & \\
 Li \text{ (m)} &= 0.35 & c \text{ (m)} &= 1.000 & &
 \end{aligned}$$

$$Mt-e = MT * (a + b + c) + mt * [(1,00 * L1 / 2) + Li * 1,00]$$

$$MT \text{ (tf.m)} = 68.1$$

| | |
|---------------------|---------------------|
| PTC | PMC |
| mt (tf.m/m) = 0.00 | mt (tf.m/m) = 11.48 |
| Mt-e (tf.m) = 193.5 | Mt-e (tf.m) = 333.3 |



$L1 (m) = 23.65$ $a (m) = 1.000$ $k (m) = 1.150$
 $L2 (m) = 23.30$ $b (m) = 0.951$
 $Li (m) = 0.35$ $c (m) = 0.886$

$$Mt-d = MT * (a + b + c) + mt * [(1,00 * L1 / 2) + Li * 1,00]$$

$$MT (tf.m) = 68.3$$

PTC

$$mt (tf.m/m) = 0.00$$

PMC

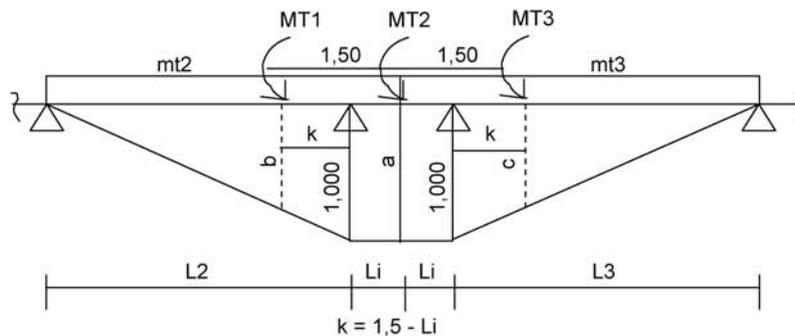
$$mt (tf.m/m) = 11.51$$

$$Mt-d (tf.m) = 193.7$$

$$Mt-d (tf.m) = 331.8$$

Apoio P3

Dois vãos carregados



$$Mt_L2 (tf.m) = 68.3$$

$$Mt_L3 (tf.m) = 68.1$$

$L2 (m) = 23.30$ $a (m) = 1.000$ $k (m) = 1.15$ $MT1 (tf) = 68.3$
 $L3 (m) = 23.65$ $b (m) = 0.951$ $MT2 (tf) = 68.3$
 $Li (m) = 0.35$ $c (m) = 0.951$ $MT3 (tf) = 68.1$

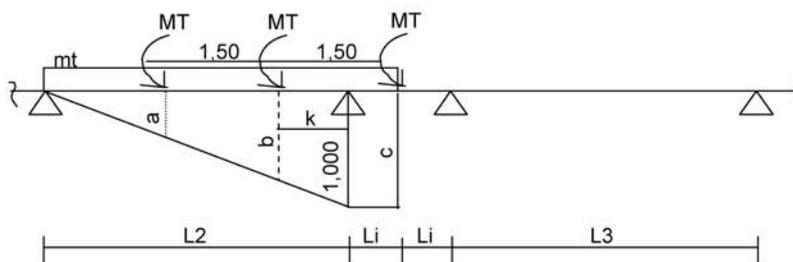
$$Mt-e = MT1 * b + MT2 * a / 2 + mt2 * [(1,00 * L2 / 2) + Li * 1,00]$$

$$Mt-d = MT3 * c + MT2 * a / 2 + mt3 * [(1,00 * L3 / 2) + Li * 1,00]$$

| | |
|---------------------|----------------------|
| PTC | PMC |
| mt2 (tf.m/m) = 0.00 | mt2 (tf.m/m) = 11.51 |
| mt3 (tf.m/m) = 0.00 | mt3 (tf.m/m) = 11.48 |
| Mt-e (tf.m) = 99.05 | Mt-e (tf.m) = 237.12 |
| Mt-d (tf.m) = 98.97 | Mt-d (tf.m) = 238.78 |
| Mt-p (tf.m) = 198.0 | Mt-p (tf.m) = 475.9 |

Apenas um vão carregado

Vão esquerdo



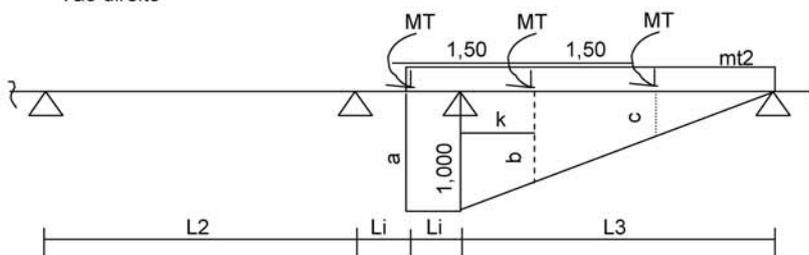
| | | |
|----------------|---------------|--------------|
| L2 (m) = 23.30 | a (m) = 0.886 | k (m) = 1.15 |
| L3 (m) = 23.65 | b (m) = 0.951 | |
| Li (m) = 0.35 | c (m) = 1.000 | |

$$Mt-e = MT * (a + b + c) + mt * [(1,00 * L2 / 2) + Li * 1,00]$$

$$MT (tf.m) = 68.3$$

| | |
|---------------------|---------------------|
| PTC | PMC |
| mt (tf.m/m) = 0.00 | mt (tf.m/m) = 11.51 |
| Mt-e (tf.m) = 193.7 | Mt-e (tf.m) = 331.8 |

Vão direito



| | | |
|----------------|---------------|---------------|
| L2 (m) = 23.30 | a (m) = 1.000 | k (m) = 1.150 |
| L3 (m) = 23.65 | b (m) = 0.951 | |
| Li (m) = 0.35 | c (m) = 0.888 | |

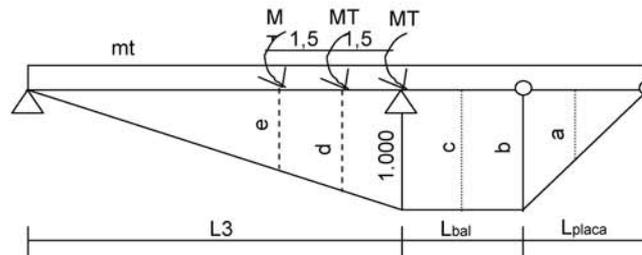
$$Mt-d = MT * (a + b + c) + mt * [(1,00 * L3 / 2) + Li * 1,00]$$

$$MT (tf.m) = 68.1$$

PTC
 mt (tf.m/m) = 0.00
 Mt-d (tf.m) = 193.5

PMC
 mt (tf.m/m) = 11.48
 Mt-d (tf.m) = 333.3

Apoio P4



$L_{placa} (m) = 3.00$ $a (m) = 1.000$ $d (m) = 0.937$
 $L_{bal} (m) = 3.00$ $b (m) = 1.000$ $e (m) = 0.873$
 $L_3 (m) = 23.65$ $c (m) = 1.000$

$$MT-p = MT * [1,000 + \text{maior}(a + b ; b + c ; c + d ; d + e)] +$$

$$+ mt * (L_3 * 1,000 / 2 + 1,000 * L_{bal} + b * L_{placa} / 2)$$

PTC
 MT (tf) = 68.1
 mt (tf.m/m) = 0.00
 Mt-p (tf.m) = 204.4

PMC
 MT (tf) = 68.1
 mt (tf.m/m) = 11.48
 Mt-p (tf.m) = 391.9

Resumo dos momentos transversais

| Apoio | Máximo | | | |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1 Vão Carregado | | 2 Vãos Carregados | |
| | M _T (tf.m) | M _T (tf.m) | M _T (tf.m) | M _T (tf.m) |
| | PTC | PMC | PTC | PMC |
| P1 | 204.4 | 391.9 | 0.0 | 0.0 |
| P2 | 193.5 | 333.3 | 198.0 | 475.9 |
| P3 | 193.5 | 333.3 | 198.0 | 475.9 |
| P4 | 204.4 | 391.9 | 0.0 | 0.0 |

Esforços Permanentes

Esforços verticais

Vão L1

Vigas de Bordo (V₁ = V₅)

| Apoio | | g1 | g2 | g3 | R _g (tf) |
|-------|---------------------|-------|-------|-------|---------------------|
| P1 | R _v (tf) | 20.69 | 27.82 | 20.86 | 69.37 |
| P2 | R _v (tf) | 13.89 | 15.39 | 12.50 | 41.78 |

Vigas Centrais ($V_2 = V_3 = V_4$)

| Apoio | | g1 | g2 | g3 | R _g (tf) |
|-------|---------|-------|-------|-------|---------------------|
| P1 | Rv (tf) | 20.69 | 26.60 | 11.64 | 58.93 |
| P2 | Rv (tf) | 13.89 | 17.70 | 7.36 | 38.95 |

Vão (L2)

Vigas de Bordo ($V_1 = V_5$)

| Apoio | | g1 | g2 | g3 | R _g (tf) |
|-------|---------|-------|-------|-------|---------------------|
| P2 | Rv (tf) | 14.24 | 16.28 | 13.03 | 43.55 |
| P3 | Rv (tf) | 14.24 | 16.28 | 13.03 | 43.55 |

Vigas Centrais ($V_2 = V_3 = V_4$)

| Apoio | | g1 | g2 | g3 | R _g (tf) |
|-------|---------|-------|-------|------|---------------------|
| P2 | Rv (tf) | 14.24 | 18.21 | 7.60 | 40.05 |
| P3 | Rv (tf) | 14.24 | 18.21 | 7.60 | 40.05 |

Vão (L3)

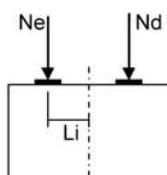
Vigas de Bordo ($V_1 = V_5$)

| Apoio | | g1 | g2 | g3 | R _g (tf) |
|-------|---------|-------|-------|-------|---------------------|
| P3 | Rv (tf) | 13.89 | 15.39 | 12.50 | 41.78 |
| P4 | Rv (tf) | 20.69 | 27.82 | 20.86 | 69.37 |

Vigas Centrais ($V_2 = V_3 = V_4$)

| Apoio | | g1 | g2 | g3 | R _g (tf) |
|-------|---------|-------|-------|-------|---------------------|
| P3 | Rv (tf) | 13.89 | 17.70 | 7.36 | 38.95 |
| P4 | Rv (tf) | 20.69 | 26.60 | 11.64 | 58.93 |

Momentos longitudinais



$$M_L = (N_d - N_e) * L_i$$

| Apoio | Ne (tf) | Nd (tf) | Li (m) | M _L (tf.m) |
|-------|---------|---------|--------|-----------------------|
| P1 | 315.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| P2 | 200.4 | 207.3 | 0.35 | 2.4 |
| P3 | 207.3 | 200.4 | 0.35 | -2.4 |
| P4 | 315.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Resumo dos esforços permanentes

| Apoio | Ng (tf) | M _L (tf.m) |
|-------|---------|-----------------------|
| P1 | 315.5 | 0.0 |
| P2 | 407.7 | 2.4 |
| P3 | 407.7 | -2.4 |
| P4 | 315.5 | 0.0 |

Resumo dos Esforços em Serviço Provenientes da Superestrutura

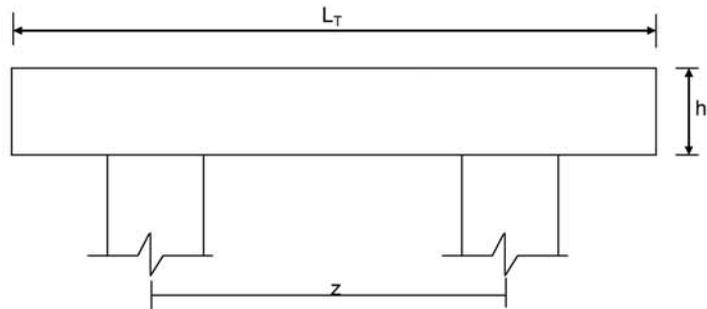
| Apoio | Permanentes | | | 1 Vão Carregado - Máxima | | | | | |
|-------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|---------------------|-----------|-----------------------|
| | R _{g1+g2+g3} | ML _{g1+g2+g3} | MT _{g1+g2+g3} | Carga Móvel PTC | | | Carga Móvel PMC | | |
| | | | | N _p (tf) | ML (tf.m) | M _T (tf.m) | N _p (tf) | ML (tf.m) | M _T (tf.m) |
| P1 | 315.5 | 0.0 | 0.0 | 173.1 | 0.0 | 204.4 | 110.2 | 0.0 | 391.9 |
| P2 | 407.7 | 2.4 | 0.0 | 134.0 | -46.9 | 193.5 | 88.1 | -30.8 | 333.3 |
| P3 | 407.7 | -2.4 | 0.0 | 134.0 | 46.9 | 193.5 | 88.1 | 30.8 | 333.3 |
| P4 | 315.5 | 0.0 | 0.0 | 173.1 | 0.0 | 204.4 | 110.2 | 0.0 | 391.9 |

| Apoio | 1 Vão Carregado - Mínima | | | | | |
|-------|--------------------------|-----------|-----------------------|---------------------|-----------|-----------------------|
| | Carga Móvel PTC | | | Carga Móvel PMC | | |
| | N _p (tf) | ML (tf.m) | M _T (tf.m) | N _p (tf) | ML (tf.m) | M _T (tf.m) |
| P1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| P2 | -6.6 | 2.3 | 0.0 | -5.2 | 1.8 | 0.0 |
| P3 | -6.6 | -2.3 | 0.0 | -5.2 | -1.8 | 0.0 |
| P4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

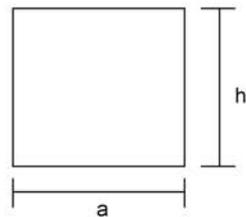
| Apoio | 2 Vãos Carregados - Máxima | | | | | |
|-------|----------------------------|-----------|-----------------------|---------------------|-----------|-----------------------|
| | Carga Móvel PTC | | | Carga Móvel PMC | | |
| | N _p (tf) | ML (tf.m) | M _T (tf.m) | N _p (tf) | ML (tf.m) | M _T (tf.m) |
| P1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| P2 | 225.5 | -0.4 | 198.0 | 134.4 | -0.2 | 475.9 |
| P3 | 225.5 | 0.4 | 198.0 | 134.4 | 0.2 | 475.9 |
| P4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| Apoio | 2 Vãos Carregados - Mínima | | | | | |
|-------|----------------------------|-----------|-----------------------|---------------------|-----------|-----------------------|
| | Carga Móvel PTC | | | Carga Móvel PMC | | |
| | N _p (tf) | ML (tf.m) | M _T (tf.m) | N _p (tf) | ML (tf.m) | M _T (tf.m) |
| P1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| P2 | -6.6 | 2.3 | 0.0 | -5.2 | 1.8 | 0.0 |
| P3 | -6.6 | -2.3 | 0.0 | -5.2 | -1.8 | 0.0 |
| P4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

7 - Dimensionamento da Travessa de P1



L_T (m) = 11.80
 h_T (m) = 1.50
 f_{ck} (MPa) = 20.0
 f_{yk} (MPa) = 500.0



a (m) = 0.800
 h (m) = 1.500

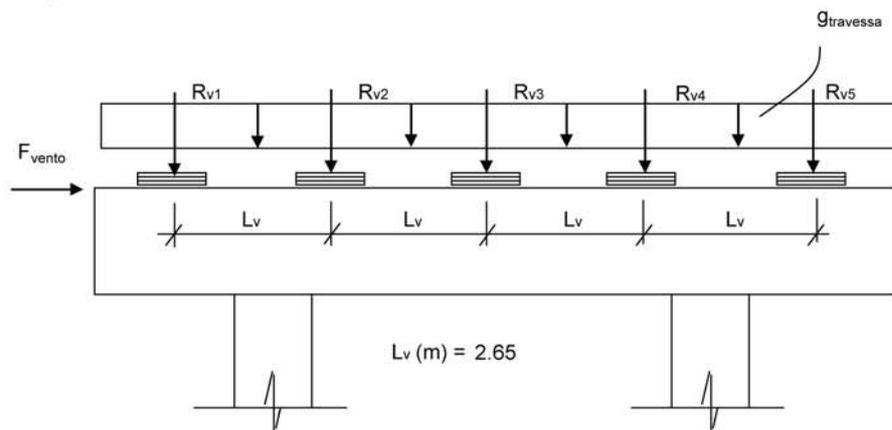
d (m) = 1.40 **d é a altura efetiva da seção**

S (m²) = 1.20
 $g = S * 2,50$
 $N_{trav} = g * L_T$

g (tf/m) = 3.0

Direção transversal

Carregamentos atuantes na travessa



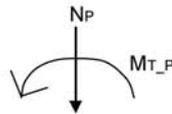
L_v (m) = 2.65

- Peso Próprio

g (tf/m) = 3.000

R_{v1} (tf) = 69.37
 R_{v2} (tf) = 58.93
 R_{v3} (tf) = 58.93
 R_{v4} (tf) = 58.93
 R_{v5} (tf) = 69.37

- Carga Móvel



$$R_i = N_p / n + (M_T * x_i) / \sum(x_i)^2 \quad X_{C.E.} (m) = 5.90$$

$$\begin{matrix} X_1 (m) = 5.30 & X_3 (m) = 0.00 & X_5 (m) = -5.30 & n = 5 \\ X_2 (m) = 2.65 & X_4 (m) = -2.65 & & \end{matrix}$$

$$\sum(x_i)^2 (m) = 70.225$$

PTC - 1 Vão Carregado

$$\begin{matrix} N_P (tf) = 173.1 \\ M_{T-P} (tf.m) = 204.4 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} R_{v1} (tf) = 50.0 \\ R_{v2} (tf) = 42.3 \\ R_{v3} (tf) = 34.6 \\ R_{v4} (tf) = 26.9 \\ R_{v5} (tf) = 19.2 \end{matrix}$$

PMC - 1 Vão Carregado

$$\begin{matrix} N_P (tf) = 110.2 \\ M_{T-P} (tf.m) = 391.9 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} R_{v1} (tf) = 51.6 \\ R_{v2} (tf) = 36.8 \\ R_{v3} (tf) = 22.0 \\ R_{v4} (tf) = 7.2 \\ R_{v5} (tf) = -7.5 \end{matrix}$$

- Vento

$$F_{vento} (tf) = 10.55$$

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio

$$b_w (m) = 0.80$$

$$M_g (tf.m) = -148.9 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} (tf.m) = -103.2 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} (tf.m) = -8.5 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,40 * M_g + 1,40 * M_{q1} + 0,70 * M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 358.8$$

| | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|
| $a = fcd \cdot bw \cdot 0,272$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 \cdot bw \cdot d \cdot fcd$ | 310.857 | -1088 | 358.8 | 737542 |
| $c = M_d$ | | | | |

$$x \text{ (m)} = 0.369$$

| | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| $Z = d - 0,4 \cdot x$ | $z \text{ (m)} = 1.253$ | $x / d = 0.263$ |
| | | $kmd = 0.160$ |

$$A_s^- \text{ (cm}^2\text{)} = \mathbf{65.89}$$

b) Seção do vão

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$M_g \text{ (tf.m)} = 22.1 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} \text{ (tf.m)} = 17.5 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} \text{ (tf.m)} = 0.2 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,40 \cdot M_g + 1,40 \cdot M_{q1} + 0,70 \cdot M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 55.5$$

| | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|
| $a = fcd \cdot bw \cdot 0,272$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 \cdot bw \cdot d \cdot fcd$ | 310.857 | -1088 | 55.5 | 1114782 |
| $c = M_d$ | | | | |

$$x \text{ (m)} = 0.052$$

| | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| $Z = d - 0,4 \cdot x$ | $z \text{ (m)} = 1.379$ | $x / d = 0.037$ |
| | | $kmd = 0.025$ |

$$A_s^+ \text{ (cm}^2\text{)} = \mathbf{9.25}$$

c) Armadura mínima

$$A_{s_min} = 0,15 \% (b_w \cdot h_T)$$

$$A_{s_min} \text{ (cm}^2\text{)} = \mathbf{18.0}$$

Dimensionamento ao Cisalhamento

a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$V_g \text{ (tf)} = 77.2 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 51.6 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{sd} = 1,40 \cdot V_g + 1,40 \cdot V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 180.3$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2}$$

onde: $V_{Rd2} = 0,30 * f_{cd} * b_w * d$

$$V_{Rd2} (tf) = 480.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2,5 * \beta_1 * \tau_{rd} * b_w * d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \text{ (concreto armado)}$$

$$V_{cd} (tf) = 72.4$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{yd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) / b_w \geq 15 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$$

$$V_{wd} (tf) = 107.9$$

$$A_{sw}/s = 19.7 \text{ (cm}^2/\text{m)}$$

$$\rho_w = 24.61 \text{ (cm}^2/\text{m}^2)$$

b) Seção do apoio à direita

$$V_g (tf) = 98.3 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_{q1} (tf) = 66.8 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{q2} (tf) = 2.5 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$V_{sd} = 1,40 * V_g + 1,40 * V_{q1} + 0,5 * 1,40 * V_{q2}$$

$$V_{sd} (tf) = 232.9$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{yd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) / b_w \geq 15 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$$

$$V_{cd} (tf) = 72.4$$

$$V_{wd} (tf) = 160.5$$

$$A_{sw}/s = 29.3 \text{ (cm}^2/\text{m)}$$

$$\rho_w = 36.63 \text{ (cm}^2/\text{m}^2)$$

```

Portico Plano Travessa P1 Ponte 27x24x27 - 78,00m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      3.3500
  2      0.6000      3.3500
  3      2.6000      3.3500
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      3.3500
  6      5.9000      3.3500
  7      8.5500      3.3500
  8      9.2000      3.3500
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      3.3500
 11     11.8000      3.3500
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.200E+0000 1.200E+0000 2.250E-0001 1.0
  2 6.400E-0001 6.400E-0001 3.410E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 4
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2  PY -69.370
  5  PY -58.930
  6  PY -58.930
  7  PY -58.930
 10  PY -69.370
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  2 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  3 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  4 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  5 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  6 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  7 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  8 U 0.000 0.000 WYA -3.000
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC
cargas nodais
2 PY -50.000
5 PY -42.300
6 PY -34.600
7 PY -26.900
10 PY -19.200
0
fim
carregamento 3 PMC
cargas nodais
2 PY -51.600
5 PY -36.800
6 PY -22.000
7 PY -7.200
10 PY 7.500
0
fim
carregamento 4 Vento
cargas nodais
1 PX 10.550
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa Pl Ponte 27x24x27 - 78,00m

 DATA : 1/26/2006(quinta-feira)
 HORA : 10:42:17 AM
 ARQUIVO DE DADOS : travessapl_27x24x27_78,00m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 3.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 3.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 3.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 3.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 3.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 3.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 3.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 3.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 3.35E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | constante de mola | transl. x | transl. y |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | comprimento | |
|-------|----------------------------|-------|------------|-------------|------------|
| | material | seção | nó inicial | | nó final |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6.00E-0001 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2.00E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6.50E-0001 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 | 2.65E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 | 2.65E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 | 6.50E-0001 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 | 2.00E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 | 6.00E-0001 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3.35E+0000 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 | 3.35E+0000 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.20E+0000 | 1.20E+0000 | 2.25E-0001 |
| 2 | 6.40E-0001 | 6.40E-0001 | 3.41E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -69.37 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -58.93 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -58.93 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -58.93 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -69.37 | 0.00 |

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | t | | wxa | wxb | wya | |
| | | | f1 | f2 | wxa | wxb | wya | |
| | | | | | f3 | p | | |
| 1 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 2 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 3 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 4 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 5 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 6 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 7 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 8 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -50.00 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -42.30 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -34.60 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -26.90 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -19.20 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -51.60 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -36.80 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -22.00 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -7.20 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 7.50 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - Vento

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|-------|---------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | 10.55 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 4
 número de carregamentos 4

resultado da renumeração nodal
 perfil antes da renumeração : 23
 perfil após a renumeração : 21

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 1.2E+0002
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1
 =====

Título : Peso Proprio

| deslocamentos nodais | | | | | |
|----------------------|--------|----------------|----------------|----------------|--|
| no sistema | | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | | x | y | z | |
| 1 | global | -7.81502E-0006 | -1.33407E-0003 | 4.09147E-0004 | |
| 2 | global | -7.81502E-0006 | -1.08824E-0003 | 4.08981E-0004 | |
| 3 | global | -7.81502E-0006 | -3.18380E-0004 | 1.81856E-0004 | |
| 4 | global | 2.85610E-0031 | -6.11302E-0030 | -2.92353E-0031 | |
| 5 | global | -6.27570E-0006 | -2.79381E-0004 | 8.36421E-0005 | |
| 6 | global | 3.39721E-0018 | -3.09890E-0004 | 8.82315E-0020 | |
| 7 | global | 6.27570E-0006 | -2.79381E-0004 | -8.36421E-0005 | |
| 8 | global | 7.81502E-0006 | -3.18380E-0004 | -1.81856E-0004 | |
| 9 | global | -2.85610E-0031 | -6.11302E-0030 | 2.92353E-0031 | |
| 10 | global | 7.81502E-0006 | -1.08824E-0003 | -4.08981E-0004 | |
| 11 | global | 7.81502E-0006 | -1.33407E-0003 | -4.09147E-0004 | |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|-------|--------|---------|
| nó sistema | | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 4 | global | -8.20 | 175.46 | 8.39 |
| 9 | global | 8.20 | 175.47 | -8.39 |

| | | | | |
|------------|--|-------|--------|---------|
| Resultante | | -0.00 | 350.93 | 2070.49 |
|------------|--|-------|--------|---------|

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | | | |
|---|--|--------|-------|---------|--|
| | | força | força | momento | |
| | | x | y | z | |
| | | -0.000 | 0.000 | 0.000 | |

| esforços nas barras | | | | | |
|---------------------|---------|----|--------------|----------------|----------------|
| barra | sistema | nó | força normal | força cortante | momento fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | 1.80 | -0.54 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -71.17 | 0.54 |
| | | 3 | 0.00 | 77.17 | -148.88 |
| 3 | local | 3 | -8.20 | 98.29 | 129.81 |
| | | 5 | 8.20 | -96.34 | -66.55 |
| 4 | local | 5 | -8.20 | 37.41 | 66.55 |
| | | 6 | 8.20 | -29.46 | 22.07 |
| 5 | local | 6 | -8.20 | -29.47 | -22.07 |
| | | 7 | 8.20 | 37.42 | -66.55 |
| 6 | local | 7 | -8.20 | -96.35 | 66.55 |
| | | 8 | 8.20 | 98.30 | -129.81 |
| 7 | local | 8 | 0.00 | 77.17 | 148.88 |
| | | 10 | -0.00 | -71.17 | -0.54 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 1.80 | 0.54 |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 175.46 | 8.20 | 19.07 |
| | | 4 | -175.46 | -8.20 | 8.39 |
| 10 | local | 8 | 175.47 | -8.20 | -19.07 |
| | | 9 | -175.47 | 8.20 | -8.39 |

carregamento 2

Título : PTC

| deslocamentos nodais | | | | | |
|----------------------|--------|----------------|----------------|----------------|--|
| no sistema | | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | | x | y | z | |
| 1 | global | -1.12684E-0004 | -9.25303E-0004 | 2.87189E-0004 | |
| 2 | global | -1.12684E-0004 | -7.52990E-0004 | 2.87189E-0004 | |
| 3 | global | -1.12684E-0004 | -2.11993E-0004 | 1.33122E-0004 | |
| 4 | global | 1.06138E-0031 | -4.07036E-0030 | -4.15950E-0032 | |
| 5 | global | -1.12112E-0004 | -1.80483E-0004 | 6.37559E-0005 | |
| 6 | global | -1.09780E-0004 | -1.96578E-0004 | 2.35368E-0006 | |
| 7 | global | -1.07448E-0004 | -1.25457E-0004 | 1.92125E-0005 | |
| 8 | global | -1.06876E-0004 | -1.01913E-0004 | -2.04082E-0006 | |
| 9 | global | -1.06138E-0031 | -1.95679E-0030 | 1.75694E-0031 | |
| 10 | global | -1.06876E-0004 | -2.11500E-0004 | -6.12023E-0005 | |
| 11 | global | -1.06876E-0004 | -2.48221E-0004 | -6.12023E-0005 | |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|-------|--------|---------|
| nó sistema | | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 4 | global | -3.05 | 116.83 | 1.19 |
| 9 | global | 3.05 | 56.17 | -5.04 |

Resultante -0.00 173.00 816.65
 NOTA:
 0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força x | força y | momento z |
|--|---------|---------|-----------|
| | -0.000 | -0.000 | 0.000 |

| barra | esforços sistema | nó | na s força normal | ba r r a s força cortante | momento fletor |
|-------|------------------|----|----------------------|------------------------------|----------------|
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -50.00 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | 0.00 | 50.00 | -100.00 |
| 3 | local | 3 | -3.05 | 66.83 | 90.99 |
| 4 | local | 5 | 3.05 | -66.83 | -47.55 |
| 4 | local | 5 | -3.05 | 24.53 | 47.55 |
| 5 | local | 6 | 3.05 | -24.53 | 17.47 |
| 5 | local | 6 | -3.05 | -10.07 | -17.47 |
| 6 | local | 7 | 3.05 | 10.07 | -9.21 |
| 6 | local | 7 | -3.05 | -36.97 | 9.21 |
| 7 | local | 8 | 3.05 | 36.97 | -33.24 |
| 7 | local | 8 | 0.00 | 19.20 | 38.40 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -19.20 | -0.00 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 11 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 116.83 | 3.05 | 9.01 |
| 10 | local | 4 | -116.83 | -3.05 | 1.19 |
| 10 | local | 8 | 56.17 | -3.05 | -5.16 |
| | | 9 | -56.17 | 3.05 | -5.04 |

carregamento 3

Título : PMC

deslocamentos nodais

| no sistema | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z | |
|------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 1 | global | -2.12497E-0004 | -1.02402E-0003 | 3.28052E-0004 |
| 2 | global | -2.12497E-0004 | -8.27192E-0004 | 3.28052E-0004 |
| 3 | global | -2.12497E-0004 | -2.05537E-0004 | 1.69056E-0004 |
| 4 | global | 6.80077E-0032 | -3.94639E-0030 | 5.90348E-0032 |
| 5 | global | -2.12131E-0004 | -1.50003E-0004 | 9.40267E-0005 |
| 6 | global | -2.10637E-0004 | -1.24535E-0004 | 4.54047E-0006 |
| 7 | global | -2.09142E-0004 | -4.43179E-0005 | 6.51717E-0005 |
| 8 | global | -2.08776E-0004 | 5.76093E-0006 | 8.24506E-0005 |
| 9 | global | -6.80077E-0032 | 1.10612E-0031 | 1.98262E-0031 |
| 10 | global | -2.08776E-0004 | 2.11875E-0004 | 1.05560E-0004 |
| 11 | global | -2.08776E-0004 | 2.75211E-0004 | 1.05560E-0004 |

reações nos apoios

| nó sistema | força x | força y | momento z | |
|------------|---------|---------|-----------|-------|
| 4 | global | -1.95 | 113.27 | -1.69 |
| 9 | global | 1.95 | -3.17 | -5.69 |

Resultante -0.00 110.10 257.92
 NOTA:
 0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força x | força y | momento z |
|--|---------|---------|-----------|
| | -0.000 | -0.000 | 0.000 |

| barra | esforços sistema | nó | na s força normal | ba r r a s força cortante | momento fletor |
|-------|------------------|----|----------------------|------------------------------|----------------|
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -51.60 | -0.00 |

| | | | | | |
|----|-------|----|---------|--------|---------|
| 3 | local | 3 | 0.00 | 51.60 | -103.20 |
| | | 3 | -1.95 | 61.67 | 94.97 |
| | | 5 | 1.95 | -61.67 | -54.88 |
| 4 | local | 5 | -1.95 | 24.87 | 54.88 |
| | | 6 | 1.95 | -24.87 | 11.04 |
| 5 | local | 6 | -1.95 | 2.87 | -11.04 |
| | | 7 | 1.95 | -2.87 | 18.66 |
| 6 | local | 7 | -1.95 | -4.33 | -18.66 |
| | | 8 | 1.95 | 4.33 | 15.85 |
| 7 | local | 8 | 0.00 | -7.50 | -15.00 |
| | | 10 | -0.00 | 7.50 | -0.00 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| | | 11 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 113.27 | 1.95 | 8.23 |
| | | 4 | -113.27 | -1.95 | -1.69 |
| 10 | local | 8 | -3.17 | -1.95 | -0.85 |
| | | 9 | 3.17 | 1.95 | -5.69 |

carregamento 4

Título : Vento

| no sistema | deslocamentos nodais | | | rotacao |
|------------|----------------------|---------------|----------------|----------------|
| | deslocamento | deslocamento | deslocamento | |
| | x | y | z | |
| 1 | global | 2.32727E-0004 | 5.13920E-0005 | -1.80047E-0005 |
| 2 | global | 2.30898E-0004 | 4.05892E-0005 | -1.80047E-0005 |
| 3 | global | 2.24803E-0004 | 4.57967E-0006 | -1.80047E-0005 |
| 4 | global | 1.87310E-0031 | 8.79315E-0032 | -3.32164E-0031 |
| 5 | global | 2.23832E-0004 | -3.40507E-0006 | -1.03372E-0005 |
| 6 | global | 2.19871E-0004 | -1.24032E-0006 | 3.92008E-0006 |
| 7 | global | 2.15911E-0004 | 2.52409E-0006 | -9.12992E-0006 |
| 8 | global | 2.14939E-0004 | -4.57967E-0006 | -1.65013E-0005 |
| 9 | global | 1.80241E-0031 | -8.79315E-0032 | -3.18785E-0031 |
| 10 | global | 2.14939E-0004 | -3.75823E-0005 | -1.65013E-0005 |
| 11 | global | 2.14939E-0004 | -4.74831E-0005 | -1.65013E-0005 |

| nó sistema | reações nos apoios | | | momento |
|------------|--------------------|--------|-------|---------|
| | força | força | força | |
| | x | y | z | |
| 4 | global | -5.38 | -2.52 | 9.53 |
| 9 | global | -5.17 | 2.52 | 9.15 |
| Resultante | | -10.55 | 0.00 | 35.34 |

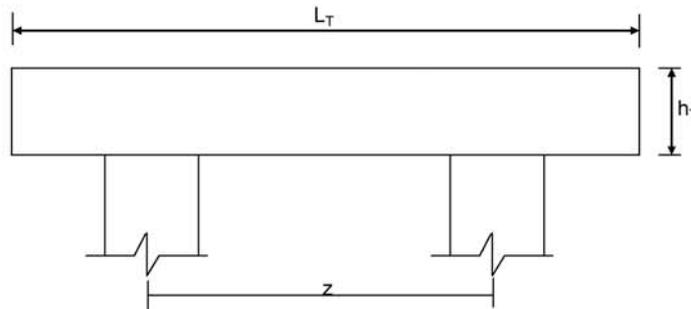
NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio | | | |
|---|-------|-------|---------|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | 0.000 | -0.000 |

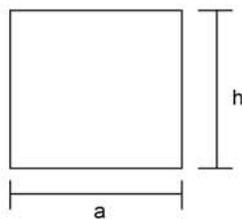
| barra | esforços sistema | nó | nas barras | | momento Fletor |
|-------|------------------|----|--------------|----------------|----------------|
| | | | força normal | força cortante | |
| 1 | local | 1 | 10.55 | -0.00 | -0.00 |
| | | 2 | -10.55 | 0.00 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | 10.55 | -0.00 | 0.00 |
| | | 3 | -10.55 | 0.00 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | 5.17 | -2.52 | -8.48 |
| | | 5 | -5.17 | 2.52 | 6.84 |
| 4 | local | 5 | 5.17 | -2.52 | -6.84 |
| | | 6 | -5.17 | 2.52 | 0.15 |
| 5 | local | 6 | 5.17 | -2.52 | -0.15 |
| | | 7 | -5.17 | 2.52 | -6.54 |
| 6 | local | 7 | 5.17 | -2.52 | 6.54 |
| | | 8 | -5.17 | 2.52 | -8.18 |
| 7 | local | 8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 10 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 11 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | -2.52 | 5.38 | 8.48 |
| | | 4 | 2.52 | -5.38 | 9.53 |
| 10 | local | 8 | 2.52 | 5.17 | 8.18 |
| | | 9 | -2.52 | -5.17 | 9.15 |

Fim Do Programa

8 - Dimensionamento da Travessa de P2



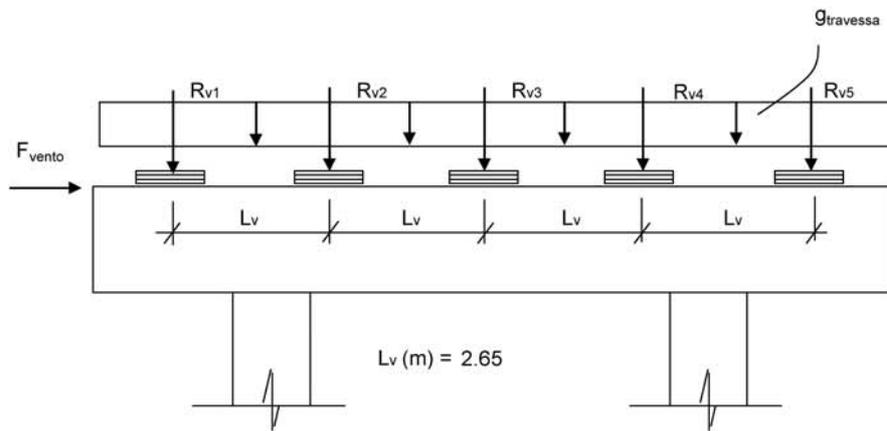
L_T (m) = 11.80
 h_T (m) = 1.50
 f_{ck} (MPa) = 20.0
 f_{yk} (MPa) = 500.0



a (m) = 1.200
 h (m) = 1.500
 d (m) = 1.40 **d** é a altura efetiva da seção
 S (m²) = 1.80
 $g = S * 2,50$
 $N_{trav} = g * L_T$ g (tf/m) = 4.50

Direção transversal

Carregamentos atuantes na travessa

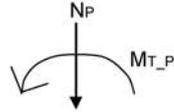


- Peso Próprio

g (tf/m) = 4.500

R_{v1} (tf) = 85.33
 R_{v2} (tf) = 79.00
 R_{v3} (tf) = 79.00
 R_{v4} (tf) = 79.00
 R_{v5} (tf) = 85.33

- Carga Móvel



$$R_i = N_p / n + (M_T * x_i) / \sum(x_i)^2 \quad X_{C.E.} (m) = 5.90$$

$$\begin{array}{llll} X1 (m) = 5.30 & X3 (m) = 0.00 & X5 (m) = -5.30 & n = 5 \\ X2 (m) = 2.65 & X4 (m) = -2.65 & & \end{array}$$

$$\sum(x_i)^2 (m) = 70.225$$

PTC - 1 Vão Carregado

| | |
|--|--|
| $N_e (tf) = 134.0$ $M_{T-e} (tf.m) = 193.5$ | $N_d (tf) = 132.9$ $M_{T-d} (tf.m) = 193.7$ |
| $R_{v1} (tf) = 41.4$ $R_{v2} (tf) = 34.1$ $R_{v3} (tf) = 26.8$ $R_{v4} (tf) = 19.5$ $R_{v5} (tf) = 12.2$ | $R_{v1} (tf) = 41.2$ $R_{v2} (tf) = 33.9$ $R_{v3} (tf) = 26.6$ $R_{v4} (tf) = 19.3$ $R_{v5} (tf) = 12.0$ |

PMC - 1 Vão Carregado

| | |
|---|---|
| $N_e (tf) = 88.1$ $M_{T-e} (tf.m) = 333.3$ | $N_d (tf) = 87.6$ $M_{T-d} (tf.m) = 331.8$ |
| $R_{v1} (tf) = 42.8$ $R_{v2} (tf) = 30.2$ $R_{v3} (tf) = 17.6$ $R_{v4} (tf) = 5.0$ $R_{v5} (tf) = -7.5$ | $R_{v1} (tf) = 42.6$ $R_{v2} (tf) = 30.0$ $R_{v3} (tf) = 17.5$ $R_{v4} (tf) = 5.0$ $R_{v5} (tf) = -7.5$ |

PTC - 2 Vãos Carregados

| | | |
|--|--|--|
| $N_e (tf) = 113.3$ $M_{T-e} (tf.m) = 99.0$ | $N_d (tf) = 112.2$ $M_{T-d} (tf.m) = 99.0$ | $N_P (tf) = 225.5$ $M_{T-P} (tf.m) = 198.0$ |
| $R_{v1} (tf) = 30.1$ $R_{v2} (tf) = 26.4$ $R_{v3} (tf) = 22.7$ $R_{v4} (tf) = 18.9$ $R_{v5} (tf) = 15.2$ | $R_{v1} (tf) = 29.9$ $R_{v2} (tf) = 26.2$ $R_{v3} (tf) = 22.4$ $R_{v4} (tf) = 18.7$ $R_{v5} (tf) = 15.0$ | $R_{v1} (tf) = 60.0$ $R_{v2} (tf) = 52.6$ $R_{v3} (tf) = 45.1$ $R_{v4} (tf) = 37.6$ $R_{v5} (tf) = 30.2$ |

PMC - 2 Vãos Carregados

| | | |
|---|---|---|
| $N_e (tf) = 67.5$ $M_{T-e} (tf.m) = 238.8$ | $N_d (tf) = 66.9$ $M_{T-d} (tf.m) = 237.1$ | $N_P (tf) = 134.4$ $M_{T-P} (tf.m) = 475.9$ |
| $R_{v1} (tf) = 31.5$ $R_{v2} (tf) = 22.5$ $R_{v3} (tf) = 13.5$ $R_{v4} (tf) = 4.5$ $R_{v5} (tf) = -4.5$ | $R_{v1} (tf) = 31.3$ $R_{v2} (tf) = 22.3$ $R_{v3} (tf) = 13.4$ $R_{v4} (tf) = 4.4$ $R_{v5} (tf) = -4.5$ | $R_{v1} (tf) = 62.8$ $R_{v2} (tf) = 44.8$ $R_{v3} (tf) = 26.9$ $R_{v4} (tf) = 8.9$ $R_{v5} (tf) = -9.0$ |

- Vento

$$F_{\text{vento}} (\text{tf}) = 12.18$$

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio

$$b_w (\text{m}) = 1.20$$

$$M_g (\text{tf.m}) = -185.9 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} (\text{tf.m}) = -125.6 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} (\text{tf.m}) = -18.9 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,40 * M_g + 1,40 * M_{q1} + 0,70 * M_{q2}$$

$$M_d (\text{tf.m}) = 449.3$$

$$a = fcd * b_w * 0,272$$

$$b = -0,68 * b_w * d * fcd$$

$$c = M_d$$

| | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|
| | a | b | c | Δ |
| | 466.286 | -1632 | 449.3 | 1825490 |

$$x (\text{m}) = 0.301$$

$$Z = d - 0,4 * x$$

$$z (\text{m}) = 1.280$$

$$x / d = 0.215$$

$$k_{md} = 0.134$$

$$A_s (\text{cm}^2) = \mathbf{80.76}$$

b) Seção do vão

$$b_w (\text{m}) = 1.20$$

$$M_g (\text{tf.m}) = 36.5 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} (\text{tf.m}) = 20.9 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} (\text{tf.m}) = 0.1 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,40 * M_g + 1,40 * M_{q1} + 0,70 * M_{q2}$$

$$M_d (\text{tf.m}) = 80.4$$

$$a = fcd * b_w * 0,272$$

$$b = -0,68 * b_w * d * fcd$$

$$c = M_d$$

| | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|
| | a | b | c | Δ |
| | 466.286 | -1632 | 80.4 | 2513424 |

$$x (\text{m}) = 0.050$$

$$Z = d - 0,4 * x$$

$$z (\text{m}) = 1.380$$

$$x / d = 0.036$$

$$k_{md} = 0.024$$

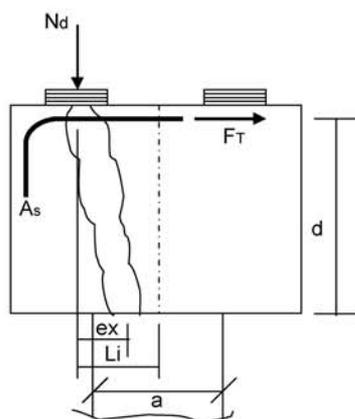
$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 13.40$$

c) Armadura mínima

$$A_{s_min} = 0,15 \% (b_w * h_T)$$

$$A_{s_min} \text{ (cm}^2\text{)} = 27.0$$

Direção Longitudinal



$$\begin{aligned} a \text{ (m)} &= 0.80 \\ d \text{ (m)} &= 1.40 \\ Li \text{ (m)} &= 0.35 \end{aligned}$$

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500.0$$

$$e_x = Li - a / 4$$

$$F_{td} = N_d * e_x / d$$

$$A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$e_x \text{ (m)} = 0.150$$

Apoio esquerdo

$$N_g \text{ (tf)} = 41.78$$

$$N_p \text{ (tf)} = 42.8 \quad (\text{reação máxima viga extrema})$$

$$N_d \text{ (tf)} = 118.4$$

$$F_{td} \text{ (tf)} = 12.7$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 2.9$$

Apoio direito

$$N_g \text{ (tf)} = 43.55$$

$$N_p \text{ (tf)} = 42.6 \quad (\text{reação máxima viga extrema})$$

$$N_d \text{ (tf)} = 120.6$$

$$F_{td} \text{ (tf)} = 12.9$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 3.0$$

logo será adotado :

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 3.0$$

Dimensionamento ao Cisalhamento
Parcela do esforço cortante

a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 1.20$$

$$V_g \text{ (tf)} = 97.0 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 41.4 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas - PTC}_1 \text{ Vão Carregado})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 42.8 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas - PMC}_1 \text{ Vão Carregado})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 60.0 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas - PTC}_2 \text{ Vãos Carregados})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 62.8 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas - PMC}_2 \text{ Vãos Carregados})$$

$$V_{sd} = 1,40 * V_g + 1,40 * V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 193.8 \quad \text{PTC - 1 Vão Carregado}$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 195.8 \quad \text{PMC - 1 Vão Carregado}$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 219.8 \quad \text{PTC - 2 Vãos Carregados}$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 223.8 \quad \text{PMC - 2 Vãos Carregados}$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2}$$

$$\text{onde: } V_{Rd2} = 0,30 * f_{cd} * b_w * d$$

$$V_{Rd2} \text{ (tf)} = 720.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2,5 * \beta_1 * \tau_{rd} * b_w * d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \quad (\text{concreto armado})$$

$$V_{cd} \text{ (tf)} = 108.6$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{yd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) / b_w \geq 15 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$$

| | | | |
|-----------------------|-------------------|--------------|-------------------------|
| $V_{wd} (tf) = 85.2$ | $A_{sw/s} = 15.5$ | (cm^2/m) | PTC - 1 Vão Carregado |
| $V_{wd} (tf) = 87.1$ | $A_{sw/s} = 15.9$ | (cm^2/m) | PMC - 1 Vão Carregado |
| $V_{wd} (tf) = 111.2$ | $A_{sw/s} = 20.3$ | (cm^2/m) | PTC - 2 Vãos Carregados |
| $V_{wd} (tf) = 115.1$ | $A_{sw/s} = 21.0$ | (cm^2/m) | PMC - 2 Vãos Carregados |
| | $\rho_w = 15.00$ | (cm^2/m^2) | PTC - 1 Vão Carregado |
| | $\rho_w = 15.00$ | (cm^2/m^2) | PMC - 1 Vão Carregado |
| | $\rho_w = 16.92$ | (cm^2/m^2) | PTC - 2 Vãos Carregados |
| | $\rho_w = 17.51$ | (cm^2/m^2) | PMC - 2 Vãos Carregados |

b) Seção do apoio à direita

| | |
|---------------------|---|
| $V_g (tf) = 133.4$ | (reação de carga permanente das vigas) |
| $V_q (tf) = 54.4$ | (reação de carga móvel das vigas - PTC_1 Vão Carregado) |
| $V_q (tf) = 50.9$ | (reação de carga móvel das vigas - PMC_1 Vão Carregado) |
| $V_q (tf) = 82.2$ | (reação de carga móvel das vigas - PTC_2 Vãos Carregados) |
| $V_q (tf) = 75.2$ | (reação de carga móvel das vigas - PMC_2 Vãos Carregados) |
| $V_{q2} (tf) = 5.7$ | (vento na superestrutura) |

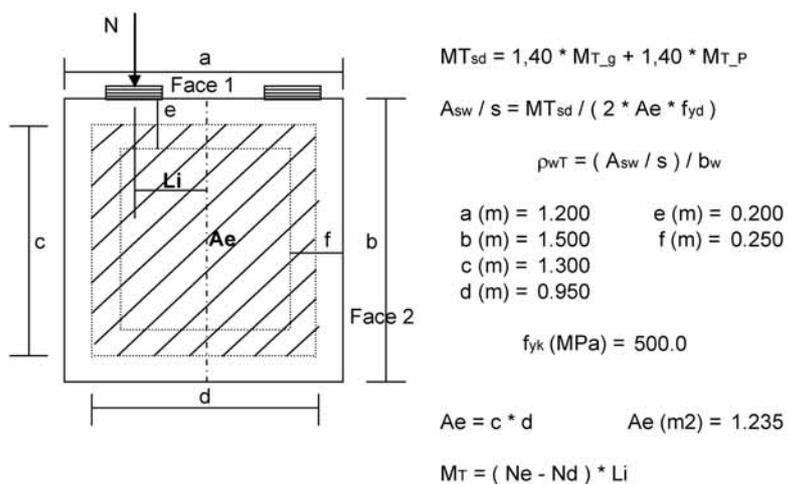
$$V_{sd} = 1,40 * V_g + 1,40 * V_{q1} + 0,5 * 1,40 * V_{q2}$$

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| $V_{sd} (tf) = 266.8$ | PTC - 1 Vão Carregado |
| $V_{sd} (tf) = 261.9$ | PMC - 1 Vão Carregado |
| $V_{sd} (tf) = 305.7$ | PTC - 2 Vãos Carregados |
| $V_{sd} (tf) = 296.0$ | PMC - 2 Vãos Carregados |

Cálculo da Armadura Transversal

| | | | |
|-----------------------|-------------------|------------|-------------------------|
| $V_{wd} (tf) = 158.2$ | $A_{sw/s} = 28.9$ | (cm^2/m) | PTC - 1 Vão Carregado |
| $V_{wd} (tf) = 153.3$ | $A_{sw/s} = 28.0$ | (cm^2/m) | PMC - 1 Vão Carregado |
| $V_{wd} (tf) = 197.1$ | $A_{sw/s} = 36.0$ | (cm^2/m) | PTC - 2 Vãos Carregados |
| $V_{wd} (tf) = 187.4$ | $A_{sw/s} = 34.2$ | (cm^2/m) | PMC - 2 Vãos Carregados |

| | |
|---|-------------------------|
| $\rho_w = 24.07$ (cm^2/m^2) | PTC - 1 Vão Carregado |
| $\rho_w = 23.32$ (cm^2/m^2) | PMC - 1 Vão Carregado |
| $\rho_w = 29.99$ (cm^2/m^2) | PTC - 2 Vãos Carregados |
| $\rho_w = 28.50$ (cm^2/m^2) | PMC - 2 Vãos Carregados |

Parcela dos momentos torsores


Para 1 vão carregado

$$M_{T_{CM}} = \text{maior} (Ne ; Nd) * Li$$

Para 2 vãos carregados

$$M_{T_{CM}} = (Ne - Nd) * Li$$

| Carga | Ne (tf) | Nd (tf) | Li (m) | M_T (tf.m) |
|--------------|---------|---------|--------|--------------|
| Peso Prop. | 41.78 | 43.55 | 0.35 | 0.62 |
| 1 Vão - PTC | 41.4 | 41.2 | 0.35 | 14.5 |
| 1 Vão - PMC | 42.8 | 42.6 | 0.35 | 15.0 |
| 2 Vãos - PTC | 30.1 | 29.9 | 0.35 | -0.08 |
| 2 Vãos - PMC | 31.5 | 31.3 | 0.35 | -0.08 |

Esforço de projeto

$$M_{Td} = 1,40 * M_{T_g} + 1,40 * M_{T_{CM}}$$

| C.M. | 1 Vão Carregado | | 2 Vãos Carregados | |
|-----------------|-----------------|------|-------------------|-----|
| | PTC | PMC | PTC | PMC |
| M_{Td} (tf.m) | 21.2 | 21.8 | 0.8 | 0.8 |

| Face | b _w (m) | 1 Vão Carregado | | | | 2 Vãos Carregados | | | |
|------|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | PTC | | PMC | | PTC | | PMC | |
| | | A _{sw} / s (cm ² / m) | ρ _w t (cm ² / m ²) | A _{sw} / s (cm ² / m) | ρ _w t (cm ² / m ²) | A _{sw} / s (cm ² / m) | ρ _w t (cm ² / m ²) | A _{sw} / s (cm ² / m) | ρ _w t (cm ² / m ²) |
| 1 | 0.25 | 2.0 | 7.9 | 2.0 | 8.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.3 |
| 2 | 0.20 | 2.0 | 9.8 | 2.0 | 10.2 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.4 |

Verificação do concreto

$$M_{T,d} \leq TR_{D1}$$

$$TR_{D1} = 0,50 * f_{cd} * A_e * b_w$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0$$

| Face | b _w (m) | TR _{D1} |
|------|--------------------|------------------|
| 1 | 0.25 | 220.5 |
| 2 | 0.20 | 176.4 |

Verificação das Solicitações Combinadas

$$M_{T,sd} / TR_{D1} + V_{sd} / VR_{D2} \leq 1$$

| Face | 1 Vão Carregado | | | | | |
|------|----------------------------|--------------------------|-------|----------------------------|--------------------------|-------|
| | PTC | | | PMC | | |
| | $\frac{M_{T,sd}}{TR_{D1}}$ | $\frac{V_{sd}}{VR_{D2}}$ | Soma | $\frac{M_{T,sd}}{TR_{D1}}$ | $\frac{V_{sd}}{VR_{D2}}$ | Soma |
| 1 | 0.096 | 0.371 | 0.467 | 0.099 | 0.364 | 0.463 |
| 2 | 0.120 | 0.371 | 0.491 | 0.124 | 0.364 | 0.488 |

| Face | 2 Vãos Carregados | | | | | |
|------|----------------------------|--------------------------|-------|----------------------------|--------------------------|-------|
| | PTC | | | PMC | | |
| | $\frac{M_{T,sd}}{TR_{D1}}$ | $\frac{V_{sd}}{VR_{D2}}$ | Soma | $\frac{M_{T,sd}}{TR_{D1}}$ | $\frac{V_{sd}}{VR_{D2}}$ | Soma |
| 1 | 0.003 | 0.425 | 0.428 | 0.003 | 0.411 | 0.415 |
| 2 | 0.004 | 0.425 | 0.429 | 0.004 | 0.411 | 0.415 |

```

Portico Plano Travessa P2 Ponte 27x24x27 - 78,00m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      6.4500
  2      0.6000      6.4500
  3      2.6000      6.4500
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      6.4500
  6      5.9000      6.4500
  7      8.5500      6.4500
  8      9.2000      6.4500
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      6.4500
 11     11.8000      6.4500
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.800E+0000 1.800E+0000 3.380E-0001 1.0
  2 8.000E-0001 8.000E-0001 6.667E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 6
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2  PY -85.330
  5  PY -79.000
  6  PY -79.000
  7  PY -79.000
 10  PY -85.330
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  2 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  3 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  4 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  5 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  6 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  7 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  8 U 0.000 0.000 WYA -4.500
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC - 1 Vão Carregado
cargas nodais
2 PY -41.400
5 PY -34.100
6 PY -26.800
7 PY -19.500
10 PY -12.200
0
fim
carregamento 3 PMC - 1 Vão Carregado
cargas nodais
2 PY -42.800
5 PY -30.200
6 PY -17.600
7 PY -5.000
10 PY 7.500
0
fim
carregamento 4 PTC - 2 Vãos Carregados
cargas nodais
2 PY -60.000
5 PY -52.600
6 PY -45.100
7 PY -37.600
10 PY -30.200
0
fim
carregamento 5 PMC - 2 Vãos Carregados
cargas nodais
2 PY -62.800
5 PY -44.800
6 PY -26.900
7 PY -8.900
10 PY 9.000
0
fim
carregamento 6 Vento
cargas nodais
1 PX 12.180
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa P2 Ponte 27x24x27 - 78,00m

 DATA : 1/26/2006(quinta-feira)
 HORA : 10:42:12 AM
 ARQUIVO DE DADOS : travessap2_27x24x27_78,00m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | transl. x | transl. y | rotação z |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | comprimento |
|-------|----------------------------|-------|------------|-------------|
| | material | seção | nó inicial | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.80E+0000 | 1.80E+0000 | 3.38E-0001 |
| 2 | 8.00E-0001 | 8.00E-0001 | 6.67E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -85.33 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -79.00 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -79.00 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -79.00 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -85.33 | 0.00 |

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | t | | wxa | wxb | wya | |
| | | | f1 | f2 | wf3 | p | | |
| 1 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 2 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 3 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 4 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 5 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 6 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 7 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 8 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC - 1 Vão Carregado

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -41.40 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -34.10 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -26.80 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -19.50 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -12.20 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC - 1 Vão Carregado

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -42.80 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -30.20 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -17.60 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -5.00 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 7.50 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - PTC - 2 Vãos Carregados

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -60.00 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -52.60 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -45.10 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -37.60 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -30.20 | 0.00 |

fim do carregamento 4

carregamento 5 - PMC - 2 Vãos Carregados

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -62.80 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -44.80 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -26.90 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -8.90 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 9.00 | 0.00 |

fim do carregamento 5

carregamento 6 - Vento

cargas nodais

| nó | sistema | força ^x | força ^y | momento ^z |
|----|---------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | global | 12.18 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 6
 número de carregamentos 6

resultado da renumeração nodal
 perfil antes da renumeração : 23
 perfil após a renumeração : 21

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 5.9E+0002
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1

Título : Peso Proprio

| no | sistema | deslocamento ^x | deslocamento ^y | rotacao ^z |
|----|---------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| 1 | global | -2.35158E-0006 | -1.46328E-0003 | 3.30372E-0004 |
| 2 | global | -2.35158E-0006 | -1.26471E-0003 | 3.30206E-0004 |
| 3 | global | -2.35158E-0006 | -6.43880E-0004 | 1.41825E-0004 |
| 4 | global | 8.72677E-0032 | -5.43339E-0030 | -1.81701E-0031 |
| 5 | global | -1.88839E-0006 | -6.21859E-0004 | 5.73722E-0005 |
| 6 | global | 1.22429E-0018 | -6.73832E-0004 | 2.10153E-0019 |
| 7 | global | 1.88839E-0006 | -6.21859E-0004 | -5.73722E-0005 |
| 8 | global | 2.35158E-0006 | -6.43880E-0004 | -1.41825E-0004 |
| 9 | global | -8.72677E-0032 | -5.43339E-0030 | 1.81701E-0031 |
| 10 | global | 2.35158E-0006 | -1.26471E-0003 | -3.30206E-0004 |
| 11 | global | 2.35158E-0006 | -1.46328E-0003 | -3.30372E-0004 |

| nó | sistema | força ^x | força ^y | momento ^z |
|----|---------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 4 | global | -3.70 | 230.38 | 7.70 |
| 9 | global | 3.70 | 230.38 | -7.70 |

Resultante -0.00 460.76 2718.48

NOTA:
 O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem
 do sistema global.

diferença de equilíbrio
 (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)
 força^x força^y momento^z
 -0.000 -0.000 -0.000

| barra | sistema | nó | força normal | força cortante | momento fletor |
|-------|---------|----|--------------|----------------|----------------|
| 1 | local | 1 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | 2.70 | -0.81 |
| 3 | local | 3 | -0.00 | -88.03 | 0.81 |
| 4 | local | 5 | 0.00 | 97.03 | -185.87 |
| 5 | local | 3 | -3.70 | 133.35 | 169.71 |
| 6 | local | 5 | 3.70 | -130.42 | -83.98 |
| 7 | local | 5 | -3.70 | 51.42 | 83.98 |
| 8 | local | 6 | 3.70 | -39.50 | 36.49 |
| 9 | local | 6 | -3.70 | -39.50 | -36.49 |
| 10 | local | 7 | 3.70 | 51.43 | -83.98 |
| 11 | local | 7 | -3.70 | -130.42 | 83.98 |
| 12 | local | 8 | 3.70 | 133.35 | -169.71 |
| 13 | local | 8 | -0.00 | 97.03 | 185.87 |
| 14 | local | 10 | 0.00 | -88.03 | -0.81 |
| 15 | local | 10 | -0.00 | 2.70 | 0.81 |
| 16 | local | 11 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 17 | local | 3 | 230.38 | 3.70 | 16.16 |
| 18 | local | 4 | -230.38 | -3.70 | 7.70 |
| 19 | local | 8 | 230.38 | -3.70 | -16.16 |
| 20 | local | 9 | -230.38 | 3.70 | -7.70 |

carregamento 2

Título : PTC - 1 Vão Carregado

| deslocamentos nodais | | | | |
|----------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | x | y | z | |
| 1 | global | -1.79494E-0004 | -7.14657E-0004 | 1.78933E-0004 |
| 2 | global | -1.79494E-0004 | -6.07297E-0004 | 1.78933E-0004 |
| 3 | global | -1.79494E-0004 | -2.67774E-0004 | 9.40140E-0005 |
| 4 | global | 2.37238E-0032 | -2.25961E-0030 | -1.03944E-0032 |
| 5 | global | -1.79368E-0004 | -2.37086E-0004 | 5.46363E-0005 |
| 6 | global | -1.78854E-0004 | -2.01608E-0004 | 1.52922E-0005 |
| 7 | global | -1.78341E-0004 | -1.29005E-0004 | 2.57117E-0005 |
| 8 | global | -1.78215E-0004 | -1.06737E-0004 | 1.69034E-0005 |
| 9 | global | -2.37238E-0032 | -9.00702E-0031 | 8.83965E-0032 |
| 10 | global | -1.78215E-0004 | -1.17573E-0004 | -8.12096E-0006 |
| 11 | global | -1.78215E-0004 | -1.22446E-0004 | -8.12096E-0006 |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|--------|---------|-------|
| nó sistema | força | força | momento | |
| | x | y | z | |
| 4 | global | -1.01 | 95.81 | 0.44 |
| 9 | global | 1.01 | 38.19 | -3.75 |
| ----- | | | | |
| Resultante | 0.00 | 134.00 | 597.15 | |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio | | | |
|---|-------|--------|---------|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | e s f o r ç o s | n a s | | | b a r r a s | momento |
|-------|-----------------|-------|--------|----------|-------------|---------|
| | | força | força | momento | | |
| | sistema | nó | normal | cortante | fletor | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | |
| 2 | local | 2 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | |
| 3 | local | 3 | -0.00 | -41.40 | -0.00 | |
| 4 | local | 5 | 0.00 | 41.40 | -82.80 | |
| 5 | local | 3 | -1.01 | 54.41 | 76.75 | |
| 6 | local | 5 | 1.01 | -54.41 | -41.39 | |
| 7 | local | 6 | -1.01 | 20.31 | 41.39 | |
| 8 | local | 6 | 1.01 | -20.31 | 12.43 | |
| 9 | local | 7 | -1.01 | -6.49 | -12.43 | |
| 10 | local | 7 | 1.01 | 6.49 | -4.77 | |
| 11 | local | 8 | -1.01 | -25.99 | 4.77 | |
| 12 | local | 8 | 1.01 | 25.99 | -21.66 | |
| 13 | local | 10 | -0.00 | 12.20 | 24.40 | |
| 14 | local | 10 | 0.00 | -12.20 | 0.00 | |
| 15 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | |
| 16 | local | 11 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | |
| 17 | local | 3 | 95.81 | 1.01 | 6.05 | |
| 18 | local | 4 | -95.81 | -1.01 | 0.44 | |
| 19 | local | 8 | 38.19 | -1.01 | -2.74 | |
| 20 | local | 9 | -38.19 | 1.01 | -3.75 | |

c a r r e g a m e n t o 3

Título : PMC - 1 Vão Carregado

| deslocamentos nodais | | | | |
|----------------------|--------------|----------------|----------------|---------------|
| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | x | y | z | |
| 1 | global | -3.08530E-0004 | -7.86026E-0004 | 2.08892E-0004 |
| 2 | global | -3.08530E-0004 | -6.60691E-0004 | 2.08892E-0004 |
| 3 | global | -3.08530E-0004 | -2.61871E-0004 | 1.21101E-0004 |
| 4 | global | 1.57301E-0032 | -2.20980E-0030 | 3.44341E-0032 |
| 5 | global | -3.08447E-0004 | -2.13355E-0004 | 7.89056E-0005 |
| 6 | global | -3.08107E-0004 | -1.32136E-0004 | 2.63682E-0005 |
| 7 | global | -3.07766E-0004 | -2.70570E-0005 | 5.95180E-0005 |
| 8 | global | -3.07683E-0004 | 1.56438E-0005 | 6.99728E-0005 |
| 9 | global | -1.57301E-0032 | 1.32010E-0031 | 9.99375E-0032 |
| 10 | global | -3.07683E-0004 | 1.83034E-0004 | 8.53566E-0005 |
| 11 | global | -3.07683E-0004 | 2.34248E-0004 | 8.53566E-0005 |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|-------|---------|-------|
| nó sistema | força | força | momento | |
| | x | y | z | |
| 4 | global | -0.67 | 93.70 | -1.46 |
| 9 | global | 0.67 | -5.60 | -4.24 |

| | | | |
|------------|------|-------|--------|
| Resultante | 0.00 | 88.10 | 186.42 |
|------------|------|-------|--------|

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | | força | | momento |
|--|--|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| | | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | e s f o r ç o s | n a s | b a r r a s | momento | |
|-------|-----------------|-------|--------------|----------------|--------|
| barra | sistema | nó | força normal | força cortante | fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | -0.00 |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -42.80 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 42.80 | -85.60 |
| 3 | local | 3 | -0.67 | 50.90 | 79.84 |
| | | 5 | 0.67 | -50.90 | -46.75 |
| 4 | local | 5 | -0.67 | 20.70 | 46.75 |
| | | 6 | 0.67 | -20.70 | 8.09 |
| 5 | local | 6 | -0.67 | 3.10 | -8.09 |
| | | 7 | 0.67 | -3.10 | 16.30 |
| 6 | local | 7 | -0.67 | -1.90 | -16.30 |
| | | 8 | 0.67 | 1.90 | 15.06 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | -7.50 | -15.00 |
| | | 10 | 0.00 | 7.50 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 93.70 | 0.67 | 5.76 |
| | | 4 | -93.70 | -0.67 | -1.46 |
| 10 | local | 8 | -5.60 | -0.67 | -0.06 |
| | | 9 | 5.60 | 0.67 | -4.24 |

c a r r e g a m e n t o 4

Título : PTC - 2 Vãos Carregados

deslocamentos nodais

| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
|------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| | x | y | z | |
| 1 | global | -1.83628E-0004 | -1.00667E-0003 | 2.44558E-0004 |
| 2 | global | -1.83628E-0004 | -8.59939E-0004 | 2.44558E-0004 |
| 3 | global | -1.83628E-0004 | -3.97405E-0004 | 1.21487E-0004 |
| 4 | global | 3.99232E-0032 | -3.35351E-0030 | -4.33170E-0032 |
| 5 | global | -1.83416E-0004 | -3.63304E-0004 | 6.53531E-0005 |
| 6 | global | -1.82552E-0004 | -3.39274E-0004 | 1.56581E-0005 |
| 7 | global | -1.81689E-0004 | -2.52768E-0004 | 1.66778E-0005 |
| 8 | global | -1.81477E-0004 | -2.32835E-0004 | -8.27680E-0006 |
| 9 | global | -3.99232E-0032 | -1.96478E-0030 | 1.22931E-0031 |
| 10 | global | -1.81477E-0004 | -3.59900E-0004 | -7.02224E-0005 |
| 11 | global | -1.81477E-0004 | -4.02033E-0004 | -7.02224E-0005 |

reações nos apoios

| nó sistema | força | força | momento | |
|------------|--------|-------|---------|-------|
| | x | y | z | |
| 4 | global | -1.69 | 142.19 | 1.84 |
| 9 | global | 1.69 | 83.31 | -5.21 |

| | | | |
|------------|------|--------|---------|
| Resultante | 0.00 | 225.50 | 1132.76 |
|------------|------|--------|---------|

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | | força | | momento |
|--|--|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| | | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | e s f o r ç o s | n a s | b a r r a s | momento | |
|-------|-----------------|-------|--------------|----------------|---------|
| barra | sistema | nó | força normal | força cortante | fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -60.00 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 60.00 | -120.00 |
| 3 | local | 3 | -1.69 | 82.19 | 110.92 |
| | | 5 | 1.69 | -82.19 | -57.49 |

| | | | | | |
|----|-------|----|---------|--------|--------|
| 4 | local | 5 | -1.69 | 29.59 | 57.49 |
| | | 6 | 1.69 | -29.59 | 20.92 |
| 5 | local | 6 | -1.69 | -15.51 | -20.92 |
| | | 7 | 1.69 | 15.51 | -20.17 |
| 6 | local | 7 | -1.69 | -53.11 | 20.17 |
| | | 8 | 1.69 | 53.11 | -54.69 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 30.20 | 60.40 |
| | | 10 | 0.00 | -30.20 | -0.00 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| | | 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 142.19 | 1.69 | 9.08 |
| | | 4 | -142.19 | -1.69 | 1.84 |
| 10 | local | 8 | 83.31 | -1.69 | -5.71 |
| | | 9 | -83.31 | 1.69 | -5.21 |

carregamento 5

Título : PMC - 2 Vãos Carregados

deslocamentos nodais

| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
|------------|--------------|----------------|----------------|---------------|
| | x | y | z | |
| 1 | global | -4.40429E-0004 | -1.14825E-0003 | 3.03952E-0004 |
| 2 | global | -4.40429E-0004 | -9.65883E-0004 | 3.03952E-0004 |
| 3 | global | -4.40429E-0004 | -3.85802E-0004 | 1.75138E-0004 |
| 4 | global | 2.38563E-0032 | -3.25559E-0030 | 4.62284E-0032 |
| 5 | global | -4.40302E-0004 | -3.16408E-0004 | 1.13366E-0004 |
| 6 | global | -4.39786E-0004 | -2.02072E-0004 | 3.76021E-0005 |
| 7 | global | -4.39270E-0004 | -5.06480E-0005 | 8.42016E-0005 |
| 8 | global | -4.39143E-0004 | 1.01726E-0005 | 9.75970E-0005 |
| 9 | global | -2.38563E-0032 | 8.58422E-0032 | 1.45571E-0031 |
| 10 | global | -4.39143E-0004 | 2.38300E-0004 | 1.16057E-0004 |
| 11 | global | -4.39143E-0004 | 3.07935E-0004 | 1.16057E-0004 |

reações nos apoios

| nó sistema | força | força | momento | |
|------------|--------|-------|---------|--------|
| | x | y | z | |
| 4 | global | -1.01 | 138.04 | -1.96 |
| 9 | global | 1.01 | -3.64 | -6.17 |
| Resultante | | | | |
| | | 0.00 | 134.40 | 317.28 |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| força | força | momento |
|-------|--------|---------|
| x | y | z |
| 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | esforços | nó | forças | forças | momento |
|-------|----------|----|---------|----------|---------|
| | sistema | | normal | cortante | fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | -0.00 |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -62.80 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 62.80 | -125.60 |
| 3 | local | 3 | -1.01 | 75.24 | 117.12 |
| | | 5 | 1.01 | -75.24 | -68.21 |
| 4 | local | 5 | -1.01 | 30.44 | 68.21 |
| | | 6 | 1.01 | -30.44 | 12.46 |
| 5 | local | 6 | -1.01 | 3.54 | -12.46 |
| | | 7 | 1.01 | -3.54 | 21.84 |
| 6 | local | 7 | -1.01 | -5.36 | -21.84 |
| | | 8 | 1.01 | 5.36 | 18.35 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | -9.00 | -18.00 |
| | | 10 | 0.00 | 9.00 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| | | 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 138.04 | 1.01 | 8.48 |
| | | 4 | -138.04 | -1.01 | -1.96 |
| 10 | local | 8 | -3.64 | -1.01 | -0.35 |
| | | 9 | 3.64 | 1.01 | -6.17 |

carregamento 6

Título : Vento

| deslocamentos nodais | | | | | |
|----------------------|--------|---------------|----------------|----------------|--|
| no sistema | | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | | x | y | z | |
| 1 | global | 8.51254E-0004 | 9.10313E-0005 | -2.88926E-0005 | |
| 2 | global | 8.49847E-0004 | 7.36957E-0005 | -2.88926E-0005 | |
| 3 | global | 8.45156E-0004 | 1.59104E-0005 | -2.88926E-0005 | |
| 4 | global | 1.44216E-0031 | 1.34260E-0031 | -4.85415E-0031 | |
| 5 | global | 8.44397E-0004 | 2.65916E-0006 | -1.75540E-0005 | |
| 6 | global | 8.41301E-0004 | -4.06940E-0007 | 3.14421E-0006 | |
| 7 | global | 8.38206E-0004 | -2.94820E-0006 | -1.71579E-0005 | |
| 8 | global | 8.37447E-0004 | -1.59104E-0005 | -2.83994E-0005 | |
| 9 | global | 1.43042E-0031 | -1.34260E-0031 | -4.81284E-0031 | |
| 10 | global | 8.37447E-0004 | -7.27092E-0005 | -2.83994E-0005 | |
| 11 | global | 8.37447E-0004 | -8.97489E-0005 | -2.83994E-0005 | |

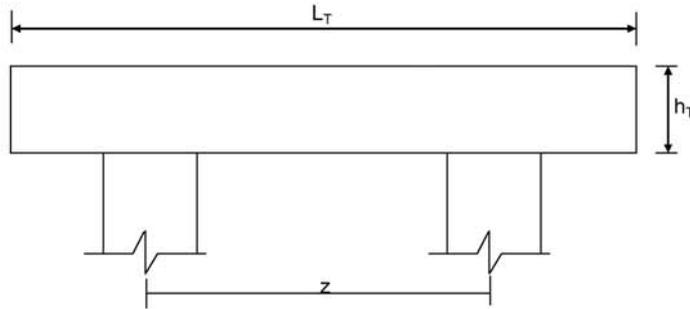
| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|--------|-------|---------|
| nó sistema | | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 4 | global | -6.11 | -5.69 | 20.58 |
| 9 | global | -6.07 | 5.69 | 20.41 |
| Resultante | | -12.18 | -0.00 | 78.56 |

NOTA:
 O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

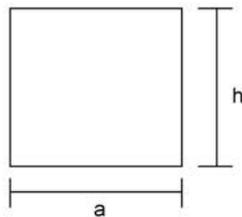
| diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | | | | |
|---|-----------------|--------|--------------|----------------|---------------|---------|
| | | força | | força | | momento |
| | | x | y | | | z |
| | | -0.000 | -0.000 | | | 0.000 |
| barra | e s f o r ç o s | n o s | n a s | b a r r a s | m o m e n t o | |
| | sistema | nó | força normal | força cortante | fletor | |
| 1 | local | 1 | 12.18 | -0.00 | -0.00 | |
| | | 2 | -12.18 | 0.00 | -0.00 | |
| 2 | local | 2 | 12.18 | -0.00 | 0.00 | |
| | | 3 | -12.18 | 0.00 | -0.00 | |
| 3 | local | 3 | 6.07 | -5.69 | -18.86 | |
| | | 5 | -6.07 | 5.69 | 15.16 | |
| 4 | local | 5 | 6.07 | -5.69 | -15.16 | |
| | | 6 | -6.07 | 5.69 | 0.07 | |
| 5 | local | 6 | 6.07 | -5.69 | -0.07 | |
| | | 7 | -6.07 | 5.69 | -15.01 | |
| 6 | local | 7 | 6.07 | -5.69 | 15.01 | |
| | | 8 | -6.07 | 5.69 | -18.71 | |
| 7 | local | 8 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | |
| | | 10 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | |
| 9 | local | 3 | -5.69 | 6.11 | 18.86 | |
| | | 4 | 5.69 | -6.11 | 20.58 | |
| 10 | local | 8 | 5.69 | 6.07 | 18.71 | |
| | | 9 | -5.69 | -6.07 | 20.41 | |

Fim Do Programa

9 - Dimensionamento da Travessa de P3



L_T (m) = 11.80
 h_T (m) = 1.50
 f_{ck} (MPa) = 20.0
 f_{yk} (MPa) = 500.0



a (m) = 1.200
 h (m) = 1.500

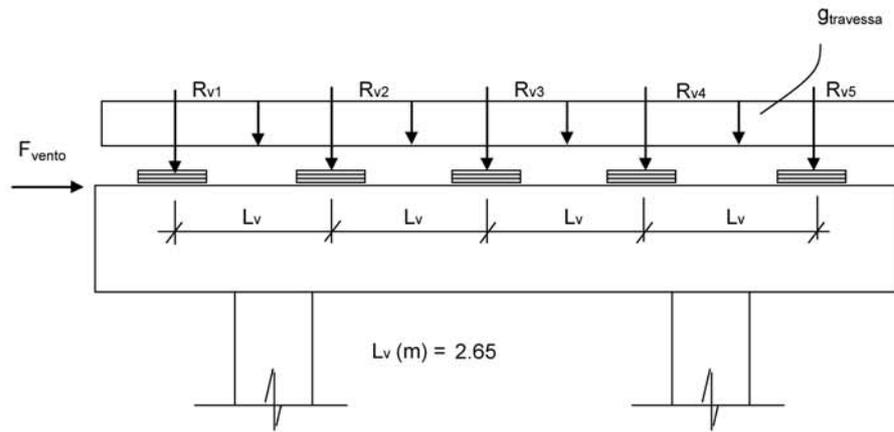
d (m) = 1.40 **d é a altura efetiva da seção**

S (m²) = 1.8
 $g = S * 2,50$
 $N_{trav} = g * L_T$

g (tf/m) = 4.50

Direção transversal

Carregamentos atuantes na travessa



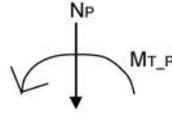
- Peso Próprio

g (tf/m) = 4.500

L_v (m) = 2.65

R_{v1} (tf) = 85.33
 R_{v2} (tf) = 79.00
 R_{v3} (tf) = 79.00
 R_{v4} (tf) = 79.00
 R_{v5} (tf) = 85.33

- Carga Móvel



$$R_i = N_p / n + (M_T * x_i) / \sum(x_i)^2 \quad X_{C.E.} (m) = 5.90$$

$$\begin{array}{llll} X1 (m) = 5.30 & X3 (m) = 0.00 & X5 (m) = -5.30 & n = 5 \\ X2 (m) = 2.65 & X4 (m) = -2.65 & & \end{array}$$

$$\sum(x_i)^2 (m) = 70.225$$

PTC - 1 Vão Carregado

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| $N_e (tf) = 132.9$ | $N_d (tf) = 134.0$ |
| $M_{T-e} (tf.m) = 193.7$ | $M_{T-d} (tf.m) = 193.5$ |
| $R_{v1} (tf) = 41.2$ | $R_{v1} (tf) = 41.4$ |
| $R_{v2} (tf) = 33.9$ | $R_{v2} (tf) = 34.1$ |
| $R_{v3} (tf) = 26.6$ | $R_{v3} (tf) = 26.8$ |
| $R_{v4} (tf) = 19.3$ | $R_{v4} (tf) = 19.5$ |
| $R_{v5} (tf) = 12.0$ | $R_{v5} (tf) = 12.2$ |

PMC - 1 Vão Carregado

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| $N_e (tf) = 87.6$ | $N_d (tf) = 88.1$ |
| $M_{T-e} (tf.m) = 331.8$ | $M_{T-d} (tf.m) = 333.3$ |
| $R_{v1} (tf) = 42.6$ | $R_{v1} (tf) = 42.8$ |
| $R_{v2} (tf) = 30.0$ | $R_{v2} (tf) = 30.2$ |
| $R_{v3} (tf) = 17.5$ | $R_{v3} (tf) = 17.6$ |
| $R_{v4} (tf) = 5.0$ | $R_{v4} (tf) = 5.0$ |
| $R_{v5} (tf) = -7.5$ | $R_{v5} (tf) = -7.5$ |

PTC - 2 Vãos Carregados

| | | |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| $N_e (tf) = 112.2$ | $N_d (tf) = 113.3$ | $N_P (tf) = 225.5$ |
| $M_{T-e} (tf.m) = 99.0$ | $M_{T-d} (tf.m) = 99.0$ | $M_{T-P} (tf.m) = 198.0$ |
| $R_{v1} (tf) = 29.9$ | $R_{v1} (tf) = 30.1$ | $R_{v1} (tf) = 60.1$ |
| $R_{v2} (tf) = 26.2$ | $R_{v2} (tf) = 26.4$ | $R_{v2} (tf) = 52.6$ |
| $R_{v3} (tf) = 22.4$ | $R_{v3} (tf) = 22.7$ | $R_{v3} (tf) = 45.1$ |
| $R_{v4} (tf) = 18.7$ | $R_{v4} (tf) = 18.9$ | $R_{v4} (tf) = 37.6$ |
| $R_{v5} (tf) = 15.0$ | $R_{v5} (tf) = 15.2$ | $R_{v5} (tf) = 30.2$ |

PMC - 2 Vãos Carregados

| | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $N_e (tf) = 66.9$ | $N_d (tf) = 67.5$ | $N_P (tf) = 134.4$ |
| $M_{T-e} (tf.m) = 237.1$ | $M_{T-d} (tf.m) = 238.8$ | $M_{T-P} (tf.m) = 475.9$ |
| $R_{v1} (tf) = 31.3$ | $R_{v1} (tf) = 31.5$ | $R_{v1} (tf) = 62.8$ |
| $R_{v2} (tf) = 22.3$ | $R_{v2} (tf) = 22.5$ | $R_{v2} (tf) = 44.8$ |
| $R_{v3} (tf) = 13.4$ | $R_{v3} (tf) = 13.5$ | $R_{v3} (tf) = 26.9$ |
| $R_{v4} (tf) = 4.4$ | $R_{v4} (tf) = 4.5$ | $R_{v4} (tf) = 8.9$ |
| $R_{v5} (tf) = -4.5$ | $R_{v5} (tf) = -4.5$ | $R_{v5} (tf) = -9.0$ |

- Vento

$$F_{\text{vento}} (\text{tf}) = 13.24$$

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio

$$b_w (\text{m}) = 1.20$$

$$M_g (\text{tf.m}) = -185.9 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} (\text{tf.m}) = -125.6 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} (\text{tf.m}) = -20.5 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,40 * M_g + 1,40 * M_{q1} + 0,70 * M_{q2}$$

$$M_d (\text{tf.m}) = 450.4$$

$$a = fcd * b_w * 0,272$$

$$b = -0,68 * b_w * d * fcd$$

$$c = M_d$$

| a | b | c | Δ |
|---------|-------|-------|----------|
| 466.286 | -1632 | 450.4 | 1823349 |

$$x (\text{m}) = 0.302$$

$$Z = d - 0,4 * x$$

$$z (\text{m}) = 1.279$$

$$x / d = 0.216$$

$$k_{md} = 0.134$$

$$A_s (\text{cm}^2) = \mathbf{80.98}$$

b) Seção do vão

$$b_w (\text{m}) = 1.20$$

$$M_g (\text{tf.m}) = 36.5 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} (\text{tf.m}) = 20.9 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} (\text{tf.m}) = 0.1 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,40 * M_g + 1,40 * M_{q1} + 0,70 * M_{q2}$$

$$M_d (\text{tf.m}) = 80.3$$

$$a = fcd * b_w * 0,272$$

$$b = -0,68 * b_w * d * fcd$$

$$c = M_d$$

| a | b | c | Δ |
|---------|-------|------|----------|
| 466.286 | -1632 | 80.3 | 2513593 |

$$x (\text{m}) = 0.050$$

$$Z = d - 0,4 * x$$

$$z (\text{m}) = 1.380$$

$$x / d = 0.036$$

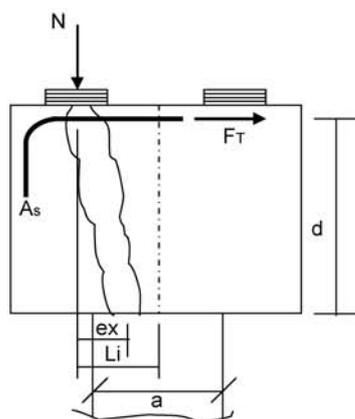
$$k_{md} = 0.024$$

$$A_s^- (\text{cm}^2) = 13.39$$

c) Armadura mínima

$$A_{s_min} = 0,15 \% (b_w * h_T)$$

$$A_{s_min} (\text{cm}^2) = 27.0$$

Direção Longitudinal


$$\begin{aligned} a (\text{m}) &= 0.80 \\ d (\text{m}) &= 1.40 \\ Li (\text{m}) &= 0.35 \end{aligned}$$

$$f_{yk} (\text{MPa}) = 500.0$$

$$e_x = Li - a / 4$$

$$F_{td} = N_d * e_x / d_b$$

$$A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$e_x (\text{m}) = 0.150$$

Apoio esquerdo

$$N_g (\text{tf}) = 43.55$$

$$N_P (\text{tf}) = 42.6 \quad (\text{reação máxima viga extrema})$$

$$N_d (\text{tf}) = 120.6$$

$$F_{td} (\text{tf}) = 12.9$$

$$A_s (\text{cm}^2) = 3.0$$

Apoio direito

$$N_g (\text{tf}) = 41.78$$

$$N_P (\text{tf}) = 42.8 \quad (\text{reação máxima viga extrema})$$

$$N_d (\text{tf}) = 118.4$$

$$F_{td} (\text{tf}) = 12.7$$

$$A_s (\text{cm}^2) = 2.9$$

logo será adotado :

$$A_s (\text{cm}^2) = 3.0$$

Dimensionamento ao Cisalhamento**Parcela do esforço cortante**

a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 1.20$$

$$V_g \text{ (tf)} = 97.0 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 41.4 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas - PTC}_1 \text{ Vão Carregado})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 42.8 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas - PMC}_1 \text{ Vão Carregado})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 60.1 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas - PTC}_2 \text{ Vãos Carregados})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 62.8 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas - PMC}_2 \text{ Vãos Carregados})$$

$$V_{sd} = 1,4 * V_g + 1,4 * V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 193.8 \quad \text{PTC - 1 Vão Carregado}$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 195.8 \quad \text{PMC - 1 Vão Carregado}$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 220.0 \quad \text{PTC - 2 Vãos Carregados}$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 223.8 \quad \text{PMC - 2 Vãos Carregados}$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2}$$

$$\text{onde: } V_{Rd2} = 0,30 * f_{cd} * b_w * d$$

$$V_{Rd2} \text{ (tf)} = 720.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2,5 * \beta_1 * \tau_{rd} * b_w * d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \quad (\text{concreto armado})$$

$$V_{cd} \text{ (tf)} = 108.6$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{yd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) / b_w \geq 15 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$$

| | | | |
|-----------------------|-------------------|--------------|-------------------------|
| $V_{wd} (tf) = 85.2$ | $A_{sw}/s = 15.5$ | (cm^2/m) | PTC - 1 Vão Carregado |
| $V_{wd} (tf) = 87.1$ | $A_{sw}/s = 15.9$ | (cm^2/m) | PMC - 1 Vão Carregado |
| $V_{wd} (tf) = 111.4$ | $A_{sw}/s = 20.3$ | (cm^2/m) | PTC - 2 Vãos Carregados |
| $V_{wd} (tf) = 115.1$ | $A_{sw}/s = 21.0$ | (cm^2/m) | PMC - 2 Vãos Carregados |
| | $\rho_w = 15.00$ | (cm^2/m^2) | PTC - 1 Vão Carregado |
| | $\rho_w = 15.00$ | (cm^2/m^2) | PMC - 1 Vão Carregado |
| | $\rho_w = 16.94$ | (cm^2/m^2) | PTC - 2 Vãos Carregados |
| | $\rho_w = 17.51$ | (cm^2/m^2) | PMC - 2 Vãos Carregados |

b) Seção do apoio à direita

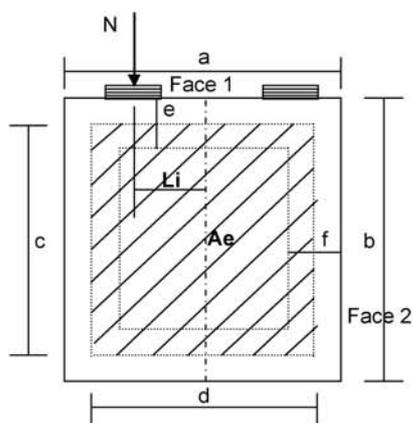
| | |
|---|---|
| $V_g (tf) = 133.4$ | (reação de carga permanente das vigas) |
| $V_q (tf) = 54.4$ | (reação de carga móvel das vigas - PTC_1 Vão Carregado) |
| $V_q (tf) = 50.9$ | (reação de carga móvel das vigas - PMC_1 Vão Carregado) |
| $V_q (tf) = 82.2$ | (reação de carga móvel das vigas - PTC_2 Vãos Carregados) |
| $V_q (tf) = 75.2$ | (reação de carga móvel das vigas - PMC_2 Vãos Carregados) |
| $V_{q2} (tf) = 6.2$ | (vento na superestrutura) |
| $V_{sd} = 1,40 * V_g + 1,40 * V_{q1} + 0,5 * 1,40 * V_{q2}$ | |
| $V_{sd} (tf) = 267.2$ | PTC - 1 Vão Carregado |
| $V_{sd} (tf) = 262.3$ | PMC - 1 Vão Carregado |
| $V_{sd} (tf) = 306.1$ | PTC - 2 Vãos Carregados |
| $V_{sd} (tf) = 296.4$ | PMC - 2 Vãos Carregados |

Cálculo da Armadura Transversal

| | | | |
|-----------------------|-------------------|------------|-------------------------|
| $V_{wd} (tf) = 158.6$ | $A_{sw}/s = 28.9$ | (cm^2/m) | PTC - 1 Vão Carregado |
| $V_{wd} (tf) = 153.7$ | $A_{sw}/s = 28.0$ | (cm^2/m) | PMC - 1 Vão Carregado |
| $V_{wd} (tf) = 197.5$ | $A_{sw}/s = 36.1$ | (cm^2/m) | PTC - 2 Vãos Carregados |
| $V_{wd} (tf) = 187.7$ | $A_{sw}/s = 34.3$ | (cm^2/m) | PMC - 2 Vãos Carregados |

| | |
|---|-------------------------|
| $\rho_w = 24.12$ (cm ² /m ²) | PTC - 1 Vão Carregado |
| $\rho_w = 23.37$ (cm ² /m ²) | PMC - 1 Vão Carregado |
| $\rho_w = 30.04$ (cm ² /m ²) | PTC - 2 Vãos Carregados |
| $\rho_w = 28.56$ (cm ² /m ²) | PMC - 2 Vãos Carregados |

Parcela dos momentos torsores



$$M_{Tsd} = 1,40 * M_{T_g} + 1,40 * M_{T_P}$$

$$A_{sw} / s = M_{Tsd} / (2 * Ae * f_{yd})$$

$$\rho_{wT} = (A_{sw} / s) / b_w$$

| | |
|---------------|---------------|
| a (m) = 1.200 | e (m) = 0.200 |
| b (m) = 1.500 | f (m) = 0.250 |
| c (m) = 1.300 | |
| d (m) = 0.950 | |

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500.0$$

$$Ae = c * d \quad Ae \text{ (m}^2\text{)} = 1.235$$

$$M_T = (Ne - Nd) * Li$$

Para 1 vão carregado

$$M_{T_{CM}} = \text{maior} (Ne ; Nd) * Li$$

Para 2 vãos carregados

$$M_{T_{CM}} = (Ne - Nd) * Li$$

| Carga | Ne (tf) | Nd (tf) | Li (m) | M _T (tf.m) |
|--------------|---------|---------|--------|-----------------------|
| Peso Prop. | 43.55 | 41.78 | 0.35 | 0.62 |
| 1 Vão - PTC | 41.2 | 41.4 | 0.35 | 14.5 |
| 1 Vão - PMC | 42.6 | 42.8 | 0.35 | 15.0 |
| 2 Vãos - PTC | 29.9 | 30.1 | 0.35 | 0.08 |
| 2 Vãos - PMC | 31.3 | 31.5 | 0.35 | 0.08 |

Esforço de projeto

$$M_{Td} = 1,40 * M_{T_g} + 1,40 * M_{T_{CM}}$$

| C.M. | 1 Vão Carregado | | 2 Vãos Carregados | |
|------------------------|-----------------|------|-------------------|-----|
| | PTC | PMC | PTC | PMC |
| M _{Td} (tf.m) | 21.2 | 21.8 | 1.0 | 1.0 |

| Face | b _w (m) | 1 Vão Carregado | | | | 2 Vãos Carregados | | | |
|------|--------------------|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | | PTC | | PMC | | PTC | | PMC | |
| | | A _{sw} / s (cm ² / m) | ρ _{wt} (cm ² / m ²) | A _{sw} / s (cm ² / m) | ρ _{wt} (cm ² / m ²) | A _{sw} / s (cm ² / m) | ρ _{wt} (cm ² / m ²) | A _{sw} / s (cm ² / m) | ρ _{wt} (cm ² / m ²) |
| 1 | 0.25 | 2.0 | 7.9 | 2.0 | 8.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.4 |
| 2 | 0.20 | 2.0 | 9.8 | 2.0 | 10.2 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.5 |

Verificação do concreto

$$M_{T,d} \leq T_{RD1}$$

$$T_{RD1} = 0,50 \cdot f_{cd} \cdot A_e \cdot b_w$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0$$

| Face | b _w (m) | T _{RD1} |
|------|--------------------|------------------|
| 1 | 0.25 | 220.5 |
| 2 | 0.20 | 176.4 |

Verificação das Solicitações Combinadas

$$M_{T,sd} / T_{RD1} + V_{sd} / V_{RD2} \leq 1$$

| Face | 1 Vão Carregado | | | | | |
|------|----------------------------|--------------------------|-------|----------------------------|--------------------------|-------|
| | PTC | | | PMC | | |
| | $\frac{M_{T,sd}}{T_{RD1}}$ | $\frac{V_{sd}}{V_{RD2}}$ | Soma | $\frac{M_{T,sd}}{T_{RD1}}$ | $\frac{V_{sd}}{V_{RD2}}$ | Soma |
| 1 | 0.096 | 0.371 | 0.467 | 0.099 | 0.364 | 0.463 |
| 2 | 0.120 | 0.371 | 0.491 | 0.124 | 0.364 | 0.488 |

| Face | 2 Vãos Carregados | | | | | |
|------|----------------------------|--------------------------|-------|----------------------------|--------------------------|-------|
| | PTC | | | PMC | | |
| | $\frac{M_{T,sd}}{T_{RD1}}$ | $\frac{V_{sd}}{V_{RD2}}$ | Soma | $\frac{M_{T,sd}}{T_{RD1}}$ | $\frac{V_{sd}}{V_{RD2}}$ | Soma |
| 1 | 0.004 | 0.425 | 0.430 | 0.004 | 0.412 | 0.416 |
| 2 | 0.006 | 0.425 | 0.431 | 0.006 | 0.412 | 0.417 |

```

Portico Plano Travessa P3 Ponte 27x24x27 - 78,00m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      6.4500
  2      0.6000      6.4500
  3      2.6000      6.4500
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      6.4500
  6      5.9000      6.4500
  7      8.5500      6.4500
  8      9.2000      6.4500
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      6.4500
 11     11.8000      6.4500
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.800E+0000 1.800E+0000 3.380E-0001 1.0
  2 8.000E-0001 8.000E-0001 6.667E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 6
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2  PY -85.330
  5  PY -79.000
  6  PY -79.000
  7  PY -79.000
 10  PY -85.330
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  2 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  3 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  4 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  5 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  6 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  7 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  8 U 0.000 0.000 WYA -4.500
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC - 1 Vão Carregado
cargas nodais
2 PY -41.400
5 PY -34.100
6 PY -26.800
7 PY -19.500
10 PY -12.200
0
fim
carregamento 3 PMC - 1 Vão Carregado
cargas nodais
2 PY -42.800
5 PY -30.200
6 PY -17.600
7 PY -5.000
10 PY 7.500
0
fim
carregamento 4 PTC - 2 Vãos Carregados
cargas nodais
2 PY -60.100
5 PY -52.600
6 PY -45.100
7 PY -37.600
10 PY -30.200
0
fim
carregamento 5 PMC - 2 Vãos Carregados
cargas nodais
2 PY -62.800
5 PY -44.800
6 PY -26.900
7 PY -8.900
10 PY 9.000
0
fim
carregamento 6 Vento
cargas nodais
1 PX 13.240
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa P3 Ponte 27x24x27 - 78,00m

 DATA : 1/26/2006(quinta-feira)
 HORA : 10:42:08 AM
 ARQUIVO DE DADOS : travessap3_27x24x27_78,00m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 6.45E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | transl. x | transl. y | rotação z |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | comprimento |
|-------|----------------------------|-------|------------|-------------|
| | material | seção | nó inicial | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.80E+0000 | 1.80E+0000 | 3.38E-0001 |
| 2 | 8.00E-0001 | 8.00E-0001 | 6.67E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -85.33 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -79.00 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -79.00 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -79.00 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -85.33 | 0.00 |

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | t | | wxa | wxb | wya | |
| | | | f1 | f2 | wxa | wxb | wya | wyb |
| | | | | | f3 | p | | |
| 1 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 2 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 3 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 4 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 5 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 6 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 7 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 8 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC - 1 Vão Carregado

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -41.40 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -34.10 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -26.80 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -19.50 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -12.20 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC - 1 Vão Carregado

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -42.80 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -30.20 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -17.60 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -5.00 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 7.50 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - PTC - 2 Vãos Carregados

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -60.10 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -52.60 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -45.10 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -37.60 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -30.20 | 0.00 |

fim do carregamento 4

carregamento 5 - PMC - 2 Vãos Carregados

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -62.80 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -44.80 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -26.90 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -8.90 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 9.00 | 0.00 |

fim do carregamento 5

carregamento 6 - Vento

cargas nodais

| nó | sistema | força ^x | força ^y | momento ^z |
|----|---------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | global | 13.24 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 6
 número de carregamentos 6

resultado da renumeração nodal
 perfil antes da renumeração : 23
 perfil após a renumeração : 21

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 5.9E+0002
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1

Título : Peso Proprio

| no | sistema | deslocamento ^x | deslocamento ^y | rotacao ^z |
|----|---------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| 1 | global | -2.35158E-0006 | -1.46328E-0003 | 3.30372E-0004 |
| 2 | global | -2.35158E-0006 | -1.26471E-0003 | 3.30206E-0004 |
| 3 | global | -2.35158E-0006 | -6.43880E-0004 | 1.41825E-0004 |
| 4 | global | 8.72677E-0032 | -5.43339E-0030 | -1.81701E-0031 |
| 5 | global | -1.88839E-0006 | -6.21859E-0004 | 5.73722E-0005 |
| 6 | global | 1.22429E-0018 | -6.73832E-0004 | 2.10153E-0019 |
| 7 | global | 1.88839E-0006 | -6.21859E-0004 | -5.73722E-0005 |
| 8 | global | 2.35158E-0006 | -6.43880E-0004 | -1.41825E-0004 |
| 9 | global | -8.72677E-0032 | -5.43339E-0030 | 1.81701E-0031 |
| 10 | global | 2.35158E-0006 | -1.26471E-0003 | -3.30206E-0004 |
| 11 | global | 2.35158E-0006 | -1.46328E-0003 | -3.30372E-0004 |

| nó | sistema | força ^x | força ^y | momento ^z |
|----|---------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 4 | global | -3.70 | 230.38 | 7.70 |
| 9 | global | 3.70 | 230.38 | -7.70 |

Resultante -0.00 460.76 2718.48

NOTA:
 O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem
 do sistema global.

diferença de equilíbrio
 (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| força ^x | força ^y | momento ^z |
|--------------------|--------------------|----------------------|
| -0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | e s f o r ç o s | n o s | n a s | b a r r a s | m o m e n t o |
|---------|-----------------|--------------|----------------|-------------|---------------|
| sistema | nó | força normal | força cortante | força | fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | 2.70 | -0.81 |
| 3 | local | 3 | -0.00 | -88.03 | 0.81 |
| 4 | local | 5 | 0.00 | 97.03 | -185.87 |
| 5 | local | 3 | -3.70 | 133.35 | 169.71 |
| 6 | local | 5 | 3.70 | -130.42 | -83.98 |
| 7 | local | 6 | -3.70 | 51.42 | 83.98 |
| 8 | local | 6 | 3.70 | -39.50 | 36.49 |
| 9 | local | 6 | -3.70 | -39.50 | -36.49 |
| 10 | local | 7 | 3.70 | 51.43 | -83.98 |
| 11 | local | 7 | -3.70 | -130.42 | 83.98 |
| 12 | local | 8 | 3.70 | 133.35 | -169.71 |
| 13 | local | 8 | -0.00 | 97.03 | 185.87 |
| 14 | local | 10 | 0.00 | -88.03 | -0.81 |
| 15 | local | 10 | -0.00 | 2.70 | 0.81 |
| 16 | local | 11 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 17 | local | 3 | 230.38 | 3.70 | 16.16 |
| 18 | local | 4 | -230.38 | -3.70 | 7.70 |
| 19 | local | 8 | 230.38 | -3.70 | -16.16 |
| 20 | local | 9 | -230.38 | 3.70 | -7.70 |

carregamento 2

Título : PTC - 1 Vão Carregado

| deslocamentos nodais | | | | |
|----------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | x | y | z | |
| 1 | global | -1.79494E-0004 | -7.14657E-0004 | 1.78933E-0004 |
| 2 | global | -1.79494E-0004 | -6.07297E-0004 | 1.78933E-0004 |
| 3 | global | -1.79494E-0004 | -2.67774E-0004 | 9.40140E-0005 |
| 4 | global | 2.37238E-0032 | -2.25961E-0030 | -1.03944E-0032 |
| 5 | global | -1.79368E-0004 | -2.37086E-0004 | 5.46363E-0005 |
| 6 | global | -1.78854E-0004 | -2.01608E-0004 | 1.52922E-0005 |
| 7 | global | -1.78341E-0004 | -1.29005E-0004 | 2.57117E-0005 |
| 8 | global | -1.78215E-0004 | -1.06737E-0004 | 1.69034E-0005 |
| 9 | global | -2.37238E-0032 | -9.00702E-0031 | 8.83965E-0032 |
| 10 | global | -1.78215E-0004 | -1.17573E-0004 | -8.12096E-0006 |
| 11 | global | -1.78215E-0004 | -1.22446E-0004 | -8.12096E-0006 |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|--------|---------|-------|
| nó sistema | força | força | momento | |
| | x | y | z | |
| 4 | global | -1.01 | 95.81 | 0.44 |
| 9 | global | 1.01 | 38.19 | -3.75 |
| ----- | | | | |
| Resultante | 0.00 | 134.00 | 597.15 | |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio | | | |
|---|-------|--------|---------|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | e s f o r ç o s | n a s | | | b a r r a s | momento |
|---------|-----------------|--------|----------|---------|-------------|---------|
| | | força | força | momento | | |
| sistema | nó | normal | cortante | fletor | | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | -0.00 | -41.40 | -0.00 | -0.00 |
| 4 | local | 5 | 0.00 | 41.40 | -82.80 | -82.80 |
| 5 | local | 3 | -1.01 | 54.41 | 76.75 | 76.75 |
| 6 | local | 5 | 1.01 | -54.41 | -41.39 | -41.39 |
| 7 | local | 6 | -1.01 | 20.31 | 41.39 | 41.39 |
| 8 | local | 7 | 1.01 | -20.31 | 12.43 | 12.43 |
| 9 | local | 6 | -1.01 | -6.49 | -12.43 | -12.43 |
| 10 | local | 7 | 1.01 | 6.49 | -4.77 | -4.77 |
| 11 | local | 7 | -1.01 | -25.99 | 4.77 | 4.77 |
| 12 | local | 8 | 1.01 | 25.99 | -21.66 | -21.66 |
| 13 | local | 8 | -0.00 | 12.20 | 24.40 | 24.40 |
| 14 | local | 10 | 0.00 | -12.20 | 0.00 | 0.00 |
| 15 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 16 | local | 11 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 17 | local | 3 | 95.81 | 1.01 | 6.05 | 6.05 |
| 18 | local | 4 | -95.81 | -1.01 | 0.44 | 0.44 |
| 19 | local | 8 | 38.19 | -1.01 | -2.74 | -2.74 |
| 20 | local | 9 | -38.19 | 1.01 | -3.75 | -3.75 |

c a r r e g a m e n t o 3

Título : PMC - 1 Vão Carregado

| deslocamentos nodais | | | | |
|----------------------|--------------|----------------|----------------|---------------|
| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | x | y | z | |
| 1 | global | -3.08530E-0004 | -7.86026E-0004 | 2.08892E-0004 |
| 2 | global | -3.08530E-0004 | -6.60691E-0004 | 2.08892E-0004 |
| 3 | global | -3.08530E-0004 | -2.61871E-0004 | 1.21101E-0004 |
| 4 | global | 1.57301E-0032 | -2.20980E-0030 | 3.44341E-0032 |
| 5 | global | -3.08447E-0004 | -2.13355E-0004 | 7.89056E-0005 |
| 6 | global | -3.08107E-0004 | -1.32136E-0004 | 2.63682E-0005 |
| 7 | global | -3.07766E-0004 | -2.70570E-0005 | 5.95180E-0005 |
| 8 | global | -3.07683E-0004 | 1.56438E-0005 | 6.99728E-0005 |
| 9 | global | -1.57301E-0032 | 1.32010E-0031 | 9.99375E-0032 |
| 10 | global | -3.07683E-0004 | 1.83034E-0004 | 8.53566E-0005 |
| 11 | global | -3.07683E-0004 | 2.34248E-0004 | 8.53566E-0005 |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|-------|---------|-------|
| nó sistema | força | força | momento | |
| | x | y | z | |
| 4 | global | -0.67 | 93.70 | -1.46 |
| 9 | global | 0.67 | -5.60 | -4.24 |

 Resultante 0.00 88.10 186.42

NOTA:
 O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
 (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)
 força força momento
 x y z
 0.000 -0.000 -0.000

| barra | e s f o r ç o s | n ó | n a s | b a r r a s | m o m e n t o |
|-------|-----------------|-----|--------------|----------------|---------------|
| | sistema | | força normal | força cortante | fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | -0.00 |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -42.80 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 42.80 | -85.60 |
| 3 | local | 3 | -0.67 | 50.90 | 79.84 |
| | | 5 | 0.67 | -50.90 | -46.75 |
| 4 | local | 5 | -0.67 | 20.70 | 46.75 |
| | | 6 | 0.67 | -20.70 | 8.09 |
| 5 | local | 6 | -0.67 | 3.10 | -8.09 |
| | | 7 | 0.67 | -3.10 | 16.30 |
| 6 | local | 7 | -0.67 | -1.90 | -16.30 |
| | | 8 | 0.67 | 1.90 | 15.06 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | -7.50 | -15.00 |
| | | 10 | 0.00 | 7.50 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 93.70 | 0.67 | 5.76 |
| | | 4 | -93.70 | -0.67 | -1.46 |
| 10 | local | 8 | -5.60 | -0.67 | -0.06 |
| | | 9 | 5.60 | 0.67 | -4.24 |

c a r r e g a m e n t o 4
 =====

Título : PTC - 2 Vãos Carregados

deslocamentos nodais

| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
|------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| | x | y | z | |
| 1 | global | -1.84233E-0004 | -1.00864E-0003 | 2.45194E-0004 |
| 2 | global | -1.84233E-0004 | -8.61526E-0004 | 2.45194E-0004 |
| 3 | global | -1.84233E-0004 | -3.97765E-0004 | 1.21918E-0004 |
| 4 | global | 4.00735E-0032 | -3.35654E-0030 | -4.34988E-0032 |
| 5 | global | -1.84021E-0004 | -3.63427E-0004 | 6.56789E-0005 |
| 6 | global | -1.83153E-0004 | -3.39011E-0004 | 1.56846E-0005 |
| 7 | global | -1.82286E-0004 | -2.52638E-0004 | 1.66112E-0005 |
| 8 | global | -1.82074E-0004 | -2.32755E-0004 | -8.33469E-0006 |
| 9 | global | -4.00735E-0032 | -1.96411E-0030 | 1.23375E-0031 |
| 10 | global | -1.82074E-0004 | -3.59936E-0004 | -7.02803E-0005 |
| 11 | global | -1.82074E-0004 | -4.02104E-0004 | -7.02803E-0005 |

reações nos apoios

| nó sistema | força | força | momento | |
|------------|--------|-------|---------|-------|
| | x | y | z | |
| 4 | global | -1.70 | 142.32 | 1.84 |
| 9 | global | 1.70 | 83.28 | -5.23 |

Resultante 0.00 225.60 1132.82

NOTA:
 O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
 (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)
 força força momento
 x y z
 0.000 -0.000 -0.000

| barra | e s f o r ç o s | n ó | n a s | b a r r a s | m o m e n t o |
|-------|-----------------|-----|--------------|----------------|---------------|
| | sistema | | força normal | força cortante | fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | -0.00 |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -60.10 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 60.10 | -120.20 |
| 3 | local | 3 | -1.70 | 82.22 | 111.08 |
| | | 5 | 1.70 | -82.22 | -57.64 |

| | | | | | |
|----|-------|----|---------|--------|--------|
| 4 | local | 5 | -1.70 | 29.62 | 57.64 |
| | | 6 | 1.70 | -29.62 | 20.85 |
| 5 | local | 6 | -1.70 | -15.48 | -20.85 |
| | | 7 | 1.70 | 15.48 | -20.17 |
| 6 | local | 7 | -1.70 | -53.08 | 20.17 |
| | | 8 | 1.70 | 53.08 | -54.67 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 30.20 | 60.40 |
| | | 10 | 0.00 | -30.20 | -0.00 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| | | 11 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 142.32 | 1.70 | 9.12 |
| | | 4 | -142.32 | -1.70 | 1.84 |
| 10 | local | 8 | 83.28 | -1.70 | -5.73 |
| | | 9 | -83.28 | 1.70 | -5.23 |

carregamento 5

Título : PMC - 2 Vãos Carregados

| | | deslocamentos nodais | | |
|------------|--------|----------------------|----------------|---------------|
| no sistema | | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
| 1 | global | -4.40429E-0004 | -1.14825E-0003 | 3.03952E-0004 |
| 2 | global | -4.40429E-0004 | -9.65883E-0004 | 3.03952E-0004 |
| 3 | global | -4.40429E-0004 | -3.85802E-0004 | 1.75138E-0004 |
| 4 | global | 2.38563E-0032 | -3.25559E-0030 | 4.62284E-0032 |
| 5 | global | -4.40302E-0004 | -3.16408E-0004 | 1.13366E-0004 |
| 6 | global | -4.39786E-0004 | -2.02072E-0004 | 3.76021E-0005 |
| 7 | global | -4.39270E-0004 | -5.06480E-0005 | 8.42016E-0005 |
| 8 | global | -4.39143E-0004 | 1.01726E-0005 | 9.75970E-0005 |
| 9 | global | -2.38563E-0032 | 8.58422E-0032 | 1.45571E-0031 |
| 10 | global | -4.39143E-0004 | 2.38300E-0004 | 1.16057E-0004 |
| 11 | global | -4.39143E-0004 | 3.07935E-0004 | 1.16057E-0004 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|---------|-----------|
| nó sistema | | força x | força y | momento z |
| 4 | global | -1.01 | 138.04 | -1.96 |
| 9 | global | 1.01 | -3.64 | -6.17 |
| Resultante | | 0.00 | 134.40 | 317.28 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| | | diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | |
|--|--|---|---------|-----------|
| | | força x | força y | momento z |
| | | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | esforços sistema | nó | forças nas barras | forças nas barras | momento fletor |
|-------|------------------|----|-------------------|-------------------|----------------|
| | | | normal | cortante | |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | -0.00 |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -62.80 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 62.80 | -125.60 |
| 3 | local | 3 | -1.01 | 75.24 | 117.12 |
| | | 5 | 1.01 | -75.24 | -68.21 |
| 4 | local | 5 | -1.01 | 30.44 | 68.21 |
| | | 6 | 1.01 | -30.44 | 12.46 |
| 5 | local | 6 | -1.01 | 3.54 | -12.46 |
| | | 7 | 1.01 | -3.54 | 21.84 |
| 6 | local | 7 | -1.01 | -5.36 | -21.84 |
| | | 8 | 1.01 | 5.36 | 18.35 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | -9.00 | -18.00 |
| | | 10 | 0.00 | 9.00 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| | | 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 138.04 | 1.01 | 8.48 |
| | | 4 | -138.04 | -1.01 | -1.96 |
| 10 | local | 8 | -3.64 | -1.01 | -0.35 |
| | | 9 | 3.64 | 1.01 | -6.17 |

carregamento 6

Título : Vento

| deslocamentos nodais | | | | | |
|----------------------|--------|---------------|----------------|----------------|--|
| no sistema | | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | | x | y | z | |
| 1 | global | 9.25337E-0004 | 9.89536E-0005 | -3.14071E-0005 | |
| 2 | global | 9.23807E-0004 | 8.01093E-0005 | -3.14071E-0005 | |
| 3 | global | 9.18708E-0004 | 1.72951E-0005 | -3.14071E-0005 | |
| 4 | global | 1.56766E-0031 | 1.45944E-0031 | -5.27660E-0031 | |
| 5 | global | 9.17883E-0004 | 2.89058E-0006 | -1.90817E-0005 | |
| 6 | global | 9.14518E-0004 | -4.42355E-0007 | 3.41785E-0006 | |
| 7 | global | 9.11153E-0004 | -3.20478E-0006 | -1.86511E-0005 | |
| 8 | global | 9.10328E-0004 | -1.72951E-0005 | -3.08709E-0005 | |
| 9 | global | 1.55491E-0031 | -1.45944E-0031 | -5.23169E-0031 | |
| 10 | global | 9.10328E-0004 | -7.90370E-0005 | -3.08709E-0005 | |
| 11 | global | 9.10328E-0004 | -9.75595E-0005 | -3.08709E-0005 | |

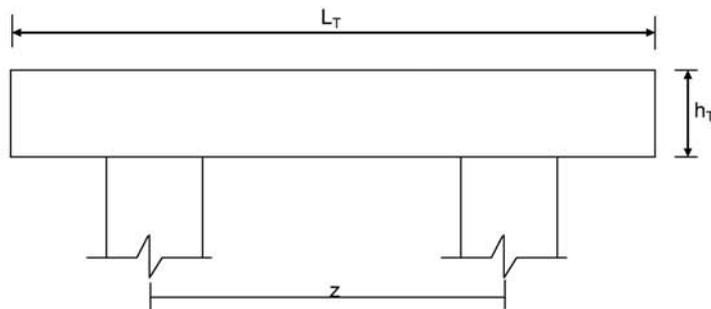
| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|--------|-------|---------|
| nó sistema | | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 4 | global | -6.65 | -6.19 | 22.37 |
| 9 | global | -6.59 | 6.19 | 22.18 |
| Resultante | | -13.24 | -0.00 | 85.40 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

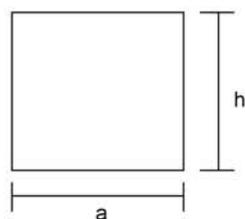
| diferença de equilíbrio | | | | | | |
|---|-----------------|--------|--------------|----------------|---------------|--|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | | | | |
| | | força | força | momento | | |
| | | x | y | z | | |
| | | -0.000 | -0.000 | 0.000 | | |
| barra | e s f o r ç o s | n o s | n a s | b a r r a s | m o m e n t o | |
| sistema | | nó | força normal | força cortante | fletor | |
| 1 | local | 1 | 13.24 | -0.00 | 0.00 | |
| | | 2 | -13.24 | 0.00 | -0.00 | |
| 2 | local | 2 | 13.24 | -0.00 | 0.00 | |
| | | 3 | -13.24 | 0.00 | -0.00 | |
| 3 | local | 3 | 6.59 | -6.19 | -20.50 | |
| | | 5 | -6.59 | 6.19 | 16.48 | |
| 4 | local | 5 | 6.59 | -6.19 | -16.48 | |
| | | 6 | -6.59 | 6.19 | 0.08 | |
| 5 | local | 6 | 6.59 | -6.19 | -0.08 | |
| | | 7 | -6.59 | 6.19 | -16.32 | |
| 6 | local | 7 | 6.59 | -6.19 | 16.32 | |
| | | 8 | -6.59 | 6.19 | -20.34 | |
| 7 | local | 8 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | |
| | | 10 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | |
| 9 | local | 3 | -6.19 | 6.65 | 20.50 | |
| | | 4 | 6.19 | -6.65 | 22.37 | |
| 10 | local | 8 | 6.19 | 6.59 | 20.34 | |
| | | 9 | -6.19 | -6.59 | 22.18 | |

Fim Do Programa

10 - Dimensionamento da Travessa de P4



L_T (m) = 11.80
 h_T (m) = 1.50
 f_{ck} (MPa) = 20.0
 f_{yk} (MPa) = 500.0



a (m) = 0.800
 h (m) = 1.500

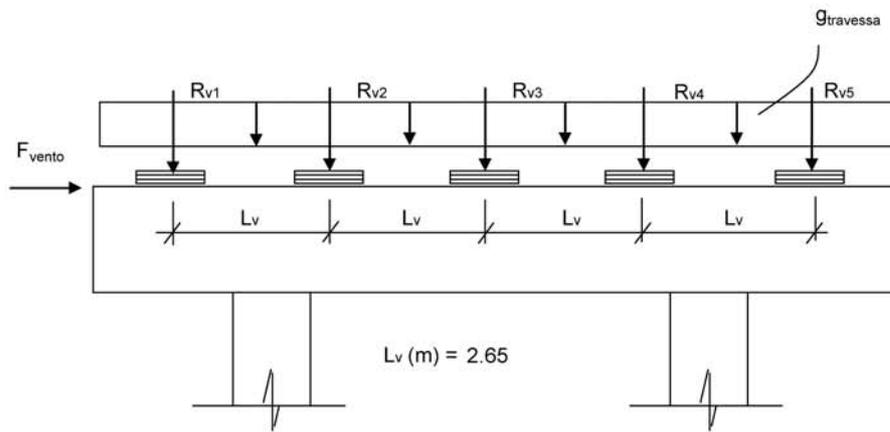
d (m) = 1.40 **d é a altura efetiva da seção**

S (m²) = 1.20
 $g = S * 2,50$
 $N_{trav} = g * L_T$

g (tf/m) = 3.00

Direção transversal

Carregamentos atuantes na travessa



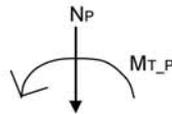
L_v (m) = 2.65

- Peso Próprio

g (tf/m) = 3.000

R_{v1} (tf) = 69.37
 R_{v2} (tf) = 58.93
 R_{v3} (tf) = 58.93
 R_{v4} (tf) = 58.93
 R_{v5} (tf) = 69.37

- Carga Móvel



$$R_i = N_p / n + (M_T * x_i) / \sum(x_i)^2 \quad X_{C.E.} (m) = 5.90$$

$$\begin{array}{llll} X_1 (m) = 5.30 & X_3 (m) = 0.00 & X_5 (m) = -5.30 & n = 5 \\ X_2 (m) = 2.65 & X_4 (m) = -2.65 & & \end{array}$$

$$\sum(x_i)^2 (m) = 70.225$$

PTC - 1 Vão Carregado

$$\begin{array}{l} N_P (tf) = 173.1 \\ M_{T_P} (tf.m) = 204.4 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} R_{v1} (tf) = 50.0 \\ R_{v2} (tf) = 42.3 \\ R_{v3} (tf) = 34.6 \\ R_{v4} (tf) = 26.9 \\ R_{v5} (tf) = 19.2 \end{array}$$

PMC - 1 Vão Carregado

$$\begin{array}{l} N_P (tf) = 110.2 \\ M_{T_P} (tf.m) = 391.9 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} R_{v1} (tf) = 51.6 \\ R_{v2} (tf) = 36.8 \\ R_{v3} (tf) = 22.0 \\ R_{v4} (tf) = 7.2 \\ R_{v5} (tf) = -7.5 \end{array}$$

- Vento

$$F_{vento} (tf) = 10.20$$

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio

$$b_w (m) = 0.80$$

$$M_g (tf.m) = -148.9 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} (tf.m) = -103.2 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} (tf.m) = -13.2 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,40 * M_g + 1,40 * M_{q1} + 0,70 * M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 362.1$$

| | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|
| $a = f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,272$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$ | 310.857 | -1088 | 362.1 | 733443 |
| $c = M_d$ | | | | |

$$x \text{ (m)} = 0.372$$

| | | |
|-----------------------|-------------------------|------------------|
| $Z = d - 0,4 \cdot x$ | $z \text{ (m)} = 1.251$ | $x / d = 0.266$ |
| | | $k_{md} = 0.162$ |

$$A_s^- \text{ (cm}^2\text{)} = 66.58$$

b) Seção do vão

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$M_g \text{ (tf.m)} = 17.5 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} \text{ (tf.m)} = 15.8 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} \text{ (tf.m)} = 0.1 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,40 \cdot M_g + 1,40 \cdot M_{q1} + 0,70 \cdot M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 46.5$$

| | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|
| $a = f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,272$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$ | 310.857 | -1088 | 46.5 | 1125889 |
| $c = M_d$ | | | | |

$$x \text{ (m)} = 0.043$$

| | | |
|-----------------------|-------------------------|------------------|
| $Z = d - 0,4 \cdot x$ | $z \text{ (m)} = 1.383$ | $x / d = 0.031$ |
| | | $k_{md} = 0.021$ |

$$A_s^+ \text{ (cm}^2\text{)} = 7.74$$

c) Armadura mínima

$$A_{s_min} = 0,15 \% (b_w \cdot h_T)$$

$$A_{s_min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18.0$$

Dimensionamento ao Cisalhamento

a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$V_g \text{ (tf)} = 77.2 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 51.6 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{sd} = 1,40 \cdot V_g + 1,40 \cdot V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 180.3$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2}$$

onde: $V_{Rd2} = 0,30 * f_{cd} * b_w * d$

$$V_{Rd2} (tf) = 480.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2,5 * \beta_1 * \tau_{Rd} * b_w * d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \text{ (concreto armado)}$$

$$V_{cd} (tf) = 72.4$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{yd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) / b_w \geq 15 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$$

$$V_{wd} (tf) = 107.9$$

$$A_{sw}/s = 19.7 \text{ (cm}^2/\text{m)}$$

$$\rho_w = 24.61 \text{ (cm}^2/\text{m}^2)$$

b) Seção do apoio à direita

$$V_g (tf) = 98.3 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_{q1} (tf) = 67.0 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{q2} (tf) = 4.0 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$V_{sd} = 1,40 * V_g + 1,40 * V_{q1} + 0,5 * 1,40 * V_{q2}$$

$$V_{sd} (tf) = 234.2$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{yd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) / b_w \geq 15 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$$

$$V_{cd} (tf) = 72.4$$

$$V_{wd} (tf) = 161.8$$

$$A_{sw}/s = 29.5 \text{ (cm}^2/\text{m)}$$

$$\rho_w = 36.91 \text{ (cm}^2/\text{m}^2)$$

```

Portico Plano Travessa P4 Ponte 27x24x27 - 78,00m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      5.3500
  2      0.6000      5.3500
  3      2.6000      5.3500
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      5.3500
  6      5.9000      5.3500
  7      8.5500      5.3500
  8      9.2000      5.3500
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      5.3500
 11     11.8000      5.3500
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.200E+0000 1.200E+0000 2.250E-0001 1.0
  2 6.400E-0001 6.400E-0001 3.410E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 4
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2  PY -69.370
  5  PY -58.930
  6  PY -58.930
  7  PY -58.930
 10  PY -69.370
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  2 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  3 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  4 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  5 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  6 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  7 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  8 U 0.000 0.000 WYA -3.000
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC
cargas nodais
2 PY -50.000
5 PY -42.300
6 PY -34.600
7 PY -26.900
10 PY -19.200
0
fim
carregamento 3 PMC
cargas nodais
2 PY -51.600
5 PY -36.800
6 PY -22.000
7 PY -7.200
10 PY 7.500
0
fim
carregamento 4 Vento
cargas nodais
1 PX 10.200
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa P4 Ponte 27x24x27 - 78,00m

 DATA : 1/26/2006(quinta-feira)
 HORA : 10:42:04 AM
 ARQUIVO DE DADOS : travessap4_27x24x27_78,00m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 5.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 5.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 5.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 5.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 5.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 5.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 5.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 5.35E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 5.35E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | constante de mola | transl. x | transl. y |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | nó final | comprimento |
|-------|----------------------------|-------|------------|----------|-------------|
| | material | seção | nó inicial | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6.00E-0001 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2.00E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6.50E-0001 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 | 2.65E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 | 2.65E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 | 6.50E-0001 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 | 2.00E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 | 6.00E-0001 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5.35E+0000 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 | 5.35E+0000 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.20E+0000 | 1.20E+0000 | 2.25E-0001 |
| 2 | 6.40E-0001 | 6.40E-0001 | 3.41E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -69.37 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -58.93 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -58.93 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -58.93 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -69.37 | 0.00 |

cargas aplicadas nas barras

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | t | | wxa | wyb | wya | |
| | | | f1 | f2 | f3 | p | | |
| 1 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 2 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 3 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 4 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 5 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 6 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 7 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 8 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -50.00 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -42.30 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -34.60 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -26.90 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -19.20 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -51.60 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -36.80 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -22.00 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -7.20 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 7.50 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - Vento

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|-------|---------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | 10.20 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 4
 número de carregamentos 4

resultado da renumeração nodal
 perfil antes da renumeração : 23
 perfil após a renumeração : 21

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 4.3E+0002
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1
 =====

Título : Peso Proprio

| deslocamentos nodais | | | | |
|----------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | x | y | z | |
| 1 | global | -3.80465E-0006 | -1.58522E-0003 | 4.32635E-0004 |
| 2 | global | -3.80465E-0006 | -1.32529E-0003 | 4.32469E-0004 |
| 3 | global | -3.80465E-0006 | -5.08457E-0004 | 2.05344E-0004 |
| 4 | global | 1.40603E-0031 | -6.18153E-0030 | -2.43101E-0031 |
| 5 | global | -3.05525E-0006 | -4.55695E-0004 | 1.02503E-0004 |
| 6 | global | 5.04905E-0018 | -4.61211E-0004 | -3.40356E-0020 |
| 7 | global | 3.05525E-0006 | -4.55695E-0004 | -1.02503E-0004 |
| 8 | global | 3.80465E-0006 | -5.08457E-0004 | -2.05344E-0004 |
| 9 | global | -1.40603E-0031 | -6.18153E-0030 | 2.43101E-0031 |
| 10 | global | 3.80465E-0006 | -1.32529E-0003 | -4.32469E-0004 |
| 11 | global | 3.80465E-0006 | -1.58522E-0003 | -4.32635E-0004 |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|-------|---------|-------|
| nó sistema | força | força | momento | |
| | x | y | z | |
| 4 | global | -3.99 | 175.46 | 6.90 |
| 9 | global | 3.99 | 175.47 | -6.90 |

Resultante 0.00 350.93 2070.49

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio | | | |
|---|-------|-------|---------|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| barra | esforços | nas | barra | s | momento |
|---------|----------|--------|----------|--------|---------|
| sistema | nó | força | força | | fletor |
| | | normal | cortante | | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2 | -0.00 | 1.80 | -0.54 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -71.17 | 0.54 |
| | | 3 | 0.00 | 77.17 | -148.88 |
| 3 | local | 3 | -3.99 | 98.29 | 134.43 |
| | | 5 | 3.99 | -96.34 | -71.17 |
| 4 | local | 5 | -3.99 | 37.41 | 71.17 |
| | | 6 | 3.99 | -29.46 | 17.45 |
| 5 | local | 6 | -3.99 | -29.47 | -17.45 |
| | | 7 | 3.99 | 37.42 | -71.17 |
| 6 | local | 7 | -3.99 | -96.35 | 71.17 |
| | | 8 | 3.99 | 98.30 | -134.43 |
| 7 | local | 8 | 0.00 | 77.17 | 148.88 |
| | | 10 | -0.00 | -71.17 | -0.54 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 1.80 | 0.54 |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 175.46 | 3.99 | 14.45 |
| | | 4 | -175.46 | -3.99 | 6.90 |
| 10 | local | 8 | 175.47 | -3.99 | -14.45 |
| | | 9 | -175.47 | 3.99 | -6.90 |

carregamento 2

Título : PTC

| deslocamentos nodais | | | | |
|----------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | x | y | z | |
| 1 | global | -2.06367E-0004 | -1.10381E-0003 | 3.06994E-0004 |
| 2 | global | -2.06367E-0004 | -9.19618E-0004 | 3.06994E-0004 |
| 3 | global | -2.06367E-0004 | -3.39010E-0004 | 1.52928E-0004 |
| 4 | global | 5.22513E-0032 | -4.12148E-0030 | -4.07111E-0032 |
| 5 | global | -2.06088E-0004 | -2.95411E-0004 | 8.13769E-0005 |
| 6 | global | -2.04953E-0004 | -2.75879E-0004 | 1.21196E-0005 |
| 7 | global | -2.03817E-0004 | -1.87706E-0004 | 2.28146E-0005 |
| 8 | global | -2.03539E-0004 | -1.62305E-0004 | 3.07624E-0007 |
| 9 | global | -5.22513E-0032 | -1.97321E-0030 | 1.39971E-0031 |
| 10 | global | -2.03539E-0004 | -2.67194E-0004 | -5.88539E-0005 |
| 11 | global | -2.03539E-0004 | -3.02507E-0004 | -5.88539E-0005 |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|--------|-------|---------|-------|
| nó sistema | força | força | momento | |
| | x | y | z | |
| 4 | global | -1.48 | 116.99 | 1.16 |
| 9 | global | 1.48 | 56.01 | -3.97 |

Resultante -0.00 173.00 816.65
 NOTA:
 0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força x | força y | momento z |
|--|---------|---------|-----------|
| | -0.000 | -0.000 | 0.000 |

| barra | esforços sistema | nó | na s força normal | ba r r a s força cortante | momento fletor |
|-------|------------------|----|-------------------|---------------------------|----------------|
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -50.00 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | 0.00 | 50.00 | -100.00 |
| 3 | local | 3 | -1.48 | 66.99 | 93.22 |
| 4 | local | 5 | 1.48 | -66.99 | -49.68 |
| 4 | local | 5 | -1.48 | 24.69 | 49.68 |
| 5 | local | 6 | 1.48 | -24.69 | 15.75 |
| 5 | local | 6 | -1.48 | -9.91 | -15.75 |
| 6 | local | 7 | 1.48 | 9.91 | -10.51 |
| 6 | local | 7 | -1.48 | -36.81 | 10.51 |
| 7 | local | 8 | 1.48 | 36.81 | -34.44 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 19.20 | 38.40 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -19.20 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 116.99 | 1.48 | 6.78 |
| 10 | local | 4 | -116.99 | -1.48 | 1.16 |
| 10 | local | 8 | 56.01 | -1.48 | -3.96 |
| | | 9 | -56.01 | 1.48 | -3.97 |

carregamento 3

Título : PMC

deslocamentos nodais

| no sistema | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z | |
|------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 1 | global | -3.94170E-0004 | -1.21742E-0003 | 3.54906E-0004 |
| 2 | global | -3.94170E-0004 | -1.00447E-0003 | 3.54906E-0004 |
| 3 | global | -3.94170E-0004 | -3.29114E-0004 | 1.95910E-0004 |
| 4 | global | 3.34798E-0032 | -4.00118E-0030 | 3.73448E-0032 |
| 5 | global | -3.93991E-0004 | -2.56919E-0004 | 1.18886E-0004 |
| 6 | global | -3.93264E-0004 | -1.74942E-0004 | 2.32865E-0005 |
| 7 | global | -3.92536E-0004 | -5.01162E-0005 | 8.10485E-0005 |
| 8 | global | -3.92358E-0004 | 1.00691E-0005 | 9.81191E-0005 |
| 9 | global | -3.34798E-0032 | 1.22415E-0031 | 1.53116E-0031 |
| 10 | global | -3.92358E-0004 | 2.47520E-0004 | 1.21229E-0004 |
| 11 | global | -3.92358E-0004 | 3.20258E-0004 | 1.21229E-0004 |

reações nos apoios

| nó sistema | força x | força y | momento z | |
|------------|---------|---------|-----------|-------|
| 4 | global | -0.95 | 113.57 | -1.06 |
| 9 | global | 0.95 | -3.47 | -4.35 |

Resultante -0.00 110.10 257.92
 NOTA:
 0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força x | força y | momento z |
|--|---------|---------|-----------|
| | -0.000 | -0.000 | 0.000 |

| barra | esforços sistema | nó | na s força normal | ba r r a s força cortante | momento fletor |
|-------|------------------|----|-------------------|---------------------------|----------------|
| 1 | local | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -51.60 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | 0.00 | 51.60 | -103.20 |
| 3 | local | 3 | -0.95 | 61.97 | 97.06 |
| 4 | local | 5 | 0.95 | -61.97 | -56.77 |
| 4 | local | 5 | -0.95 | 25.17 | 56.77 |

| | | | | | |
|----|-------|----|---------|--------|--------|
| | | 6 | 0.95 | -25.17 | 9.94 |
| 5 | local | 6 | -0.95 | 3.17 | -9.94 |
| | | 7 | 0.95 | -3.17 | 18.35 |
| 6 | local | 7 | -0.95 | -4.03 | -18.35 |
| | | 8 | 0.95 | 4.03 | 15.74 |
| 7 | local | 8 | 0.00 | -7.50 | -15.00 |
| | | 10 | -0.00 | 7.50 | -0.00 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| | | 11 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 113.57 | 0.95 | 6.14 |
| | | 4 | -113.57 | -0.95 | -1.06 |
| 10 | local | 8 | -3.47 | -0.95 | -0.74 |
| | | 9 | 3.47 | 0.95 | -4.35 |

carregamento 4

Título : Vento

| | | deslocamentos nodais | | |
|------------|--------|----------------------|----------------|----------------|
| no sistema | | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
| 1 | global | 7.85734E-0004 | 8.64875E-0005 | -2.88337E-0005 |
| 2 | global | 7.83966E-0004 | 6.91872E-0005 | -2.88337E-0005 |
| 3 | global | 7.78073E-0004 | 1.15198E-0005 | -2.88337E-0005 |
| 4 | global | 1.80672E-0031 | 1.40051E-0031 | -5.01976E-0031 |
| 5 | global | 7.77121E-0004 | -1.41855E-0006 | -1.69203E-0005 |
| 6 | global | 7.73238E-0004 | -5.83803E-0007 | 4.86945E-0006 |
| 7 | global | 7.69356E-0004 | 1.00389E-0006 | -1.63520E-0005 |
| 8 | global | 7.68404E-0004 | -1.15198E-0005 | -2.81261E-0005 |
| 9 | global | 1.78668E-0031 | -1.40051E-0031 | -4.96156E-0031 |
| 10 | global | 7.68404E-0004 | -6.77720E-0005 | -2.81261E-0005 |
| 11 | global | 7.68404E-0004 | -8.46476E-0005 | -2.81261E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|---------|-----------|
| nó sistema | | força x | força y | momento z |
| 4 | global | -5.13 | -3.98 | 14.25 |
| 9 | global | -5.07 | 3.98 | 14.08 |

Resultante -10.20 0.00 54.57

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

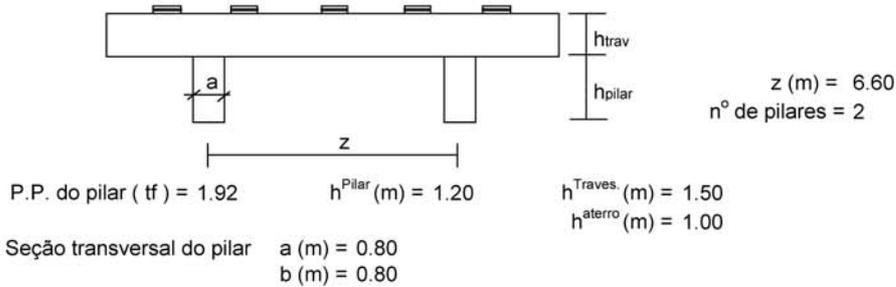
diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)
força x força y momento z
0.000 0.000 -0.000

| barra | esforços sistema | nó | força normal | força cortante | momento fletor |
|-------|------------------|----|--------------|----------------|----------------|
| 1 | local | 1 | 10.20 | 0.00 | -0.00 |
| | | 2 | -10.20 | -0.00 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | 10.20 | -0.00 | 0.00 |
| | | 3 | -10.20 | 0.00 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | 5.07 | -3.98 | -13.19 |
| | | 5 | -5.07 | 3.98 | 10.60 |
| 4 | local | 5 | 5.07 | -3.98 | -10.60 |
| | | 6 | -5.07 | 3.98 | 0.07 |
| 5 | local | 6 | 5.07 | -3.98 | -0.07 |
| | | 7 | -5.07 | 3.98 | -10.47 |
| 6 | local | 7 | 5.07 | -3.98 | 10.47 |
| | | 8 | -5.07 | 3.98 | -13.05 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 10 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| | | 11 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | -3.98 | 5.13 | 13.19 |
| | | 4 | 3.98 | -5.13 | 14.25 |
| 10 | local | 8 | 3.98 | 5.07 | 13.05 |
| | | 9 | -3.98 | -5.07 | 14.08 |

Fim Do Programa

11- Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar

Apoio 1



Esforços na base do pilar

- * $g_1 + g_2 + g_3$
 - * Carga móvel
 - * Peso próprio do pilar
- } - N e M_T provenientes do SALT
- * Temperatura
 - * Empuxo de terra sobre as cortinas
 - * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
 - $M_L = H_L * (h_{\text{pilar}} + h_{\text{travessa}})$
- * Vento
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
 - N e M_T provenientes do SALT
- * Empuxo de terra sobre os pilares
- } - H_L proveniente da aplicação direta no pilar
 $M_L = H_L * (h_{\text{aterro}}/3)$

1ª Hipótese : $N_{\text{máx}}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 175.5 | 116.8 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 296.7 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.2 | 1.9 | 0.0 | 2.0 | 0.6 | 1.6 | 24.4 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 49.2 | 5.3 | 0.0 | 5.5 | 1.6 | 0.5 | 62.0 |
| M_T (tf.m) | 8.4 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.1 |

2ª Hipótese : $N_{\text{mín}}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 175.5 | -3.2 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | -2.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 171.6 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.2 | 1.9 | 0.0 | 2.0 | 0.6 | 1.6 | 24.4 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 49.2 | 5.3 | 0.0 | 5.5 | 1.6 | 0.5 | 62.0 |
| M_T (tf.m) | 8.4 | -5.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.6 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 1.20$$

$$d \text{ (m)} = 0.74$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0080 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2/10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3})/d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0039$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.024 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 1.20$$

$$d \text{ (m)} = 0.74$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0080 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2/10) * (1/r) \quad r = (5 * 10^{-3})/d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0039$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.024 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N = 1,40 * (N_{g1+g2+g3} + N_{p.p.Pilar} + N_{p.p.Travessa}) + 1,40 * N_{\text{cargamóvel}}$$

$$H_L = 1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}$$

$$M_L = (1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}) * h_{\text{pil+trav}} + N * e_{\text{Total_Long.}}$$

$$H_T = 1,40 * H_{\text{vento}}$$

$$M_T = (1,40 * M_{T(g1+g2+g3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{T\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{T\text{vento}}) + N * e_{\text{Total_Transv.}}$$

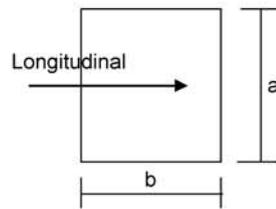
1ª Hipótese : N_{máx}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-----------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N_d (tf) | 245.6 | 163.6 | 2.7 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 413.7 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.8 | 2.7 | 0.0 | 2.8 | 0.4 | 2.3 | 30.1 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 |
| M_{dL}(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 59.0 | 7.4 | 0.0 | 7.7 | 1.1 | 0.8 | 85.8 |
| M_{dT}(tf.m) | 11.7 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 30.0 |

2ª Hipótese : N_{mín}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-----------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N_d (tf) | 245.6 | -4.4 | 2.7 | 0.0 | 0.0 | -1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 242.1 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.8 | 2.7 | 0.0 | 2.8 | 0.4 | 2.3 | 30.1 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 |
| M_{dL}(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 59.0 | 7.4 | 0.0 | 7.7 | 1.1 | 0.8 | 81.7 |
| M_{dT}(tf.m) | 11.7 | -8.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.5 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



a (m) = 0.80
b (m) = 0.80

Ac (m²) = 0.64
f_{ck} (MPa) = 20.0
f_{yk} (MPa) = 500

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

| | | | | |
|------------------------------|------------------------|---|---------|------------------|
| N_d (tf) = 413.7 | $v = 0.452$ | } | Ábaco → | $\omega = 0.150$ |
| M_d^{long} (tf.m) = 85.8 | $\mu_{long} = 0.117$ | | | |
| M_d^{transv} (tf.m) = 30.0 | $\mu_{transv} = 0.041$ | | | |

As (cm²) = 31.54

2ª Hipótese

$$\left. \begin{array}{ll} N_d \text{ (tf)} = 242.07 & v = 0.265 \\ M_d^{\text{long}} \text{ (tf.m)} = 81.68 & \mu \text{ long} = 0.112 \\ M_d^{\text{transv}} \text{ (tf.m)} = 16.47 & \mu \text{ transv} = 0.023 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Ábaco}} \omega = 0.105$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 22.08$$

Compressão pela NB-1/78

$$\begin{array}{ll} N_d \text{ (tf)} = 413.66 & A_c^{\text{nec}} = N_d / (0.85 * f_{cd} + 0.8\% * E * \epsilon_o) \\ E \text{ (MPa)} = 288476 & \\ \epsilon_o = 0.002 & \\ f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0 & \end{array}$$

$$A_c^{\text{nec}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2468$$

$$A_c^{\text{exist}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.6400$$

$$A_{s1}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 19.75$$

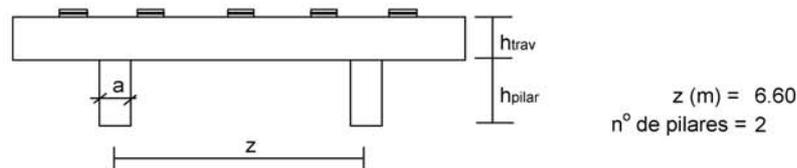
$$A_{s2}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 32.00$$

$$A_s^{\text{min}} = 0.8\% * A_c^{\text{nec}}$$

$$A_s^{\text{min}} = 0.5\% * A_c^{\text{exist}}$$

logo será adotado :

$$A_s^{\text{total}} \text{ (cm}^2\text{)} = 32.00$$

12 - Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar
Apoio 2


P.P. do pilar (tf) = 8.60 h^{Pilar} (m) = 4.30 h^{Traves.} (m) = 1.50

Seção transversal do pilar a (m) = 1.00
b (m) = 0.80

Esforços na base do pilar

| | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> * g₁ + g₂ + g₃ * Carga móvel * Peso próprio do pilar | } | - N e M _T provenientes do SALT |
| <ul style="list-style-type: none"> * Temperatura * Empuxo de terra sobre as cortinas * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas | } | - H _L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio - M _L = H _L * (h _{pilar} + h _{travessa}) |
| <ul style="list-style-type: none"> * Vento | } | - H _L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio - N e M _T provenientes do SALT |
| <ul style="list-style-type: none"> * Empuxo de terra sobre os pilares | } | - H _L proveniente da aplicação direta no pilar M _L = H _L * (h _{aterra} /3) |

1ª Hipótese : 1 Vão Carregado - PTC

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|----------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N (tf) | 230.4 | 95.8 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 5.7 | 0.0 | 0.0 | 340.5 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 1.8 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 8.5 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L(tf.m) | 1.2 | 23.4 | 0.0 | 25.5 | 10.5 | 0.0 | 10.1 | 3.0 | 73.7 |
| M_T(tf.m) | 7.7 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.6 | 0.0 | 0.0 | 28.7 |

2ª Hipótese : 1 Vão Carregado - PMC

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|----------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N (tf) | 230.4 | 93.7 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 5.7 | 0.0 | 0.0 | 338.4 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 1.7 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 8.3 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L(tf.m) | 1.2 | 15.4 | 0.0 | 25.5 | 9.7 | 0.0 | 10.1 | 3.0 | 64.9 |
| M_T(tf.m) | 7.7 | -1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.6 | 0.0 | 0.0 | 26.8 |

3ª Hipótese : 2 Vãos Carregados - PTC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N (tf) | 230.4 | 142.2 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 5.7 | 0.0 | 0.0 | 386.9 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 1.8 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 8.5 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L (tf.m) | 1.2 | 0.2 | 0.0 | 25.5 | 10.5 | 0.0 | 10.1 | 3.0 | 50.5 |
| M_T (tf.m) | 7.7 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.6 | 0.0 | 0.0 | 30.1 |

4ª Hipótese : 2 Vãos Carregados - PMC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N (tf) | 230.4 | 138.0 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 5.7 | 0.0 | 0.0 | 382.7 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 1.7 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 8.3 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L (tf.m) | 1.2 | 0.1 | 0.0 | 25.5 | 9.7 | 0.0 | 10.1 | 3.0 | 49.5 |
| M_T (tf.m) | 7.7 | -2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.6 | 0.0 | 0.0 | 26.3 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 4.30$$

$$d \text{ (m)} = 0.74$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0287 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0500$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.079 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 4.30$$

$$d \text{ (m)} = 0.74$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0287 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0500$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.079 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N = 1,40 * (N_{g1+g2+g3} + N_{p,p.Pilar} + N_{p,p.Travessa}) + 1,40 * N_{cargamóvel}$$

$$H_L = 1,40 * (H_{EmpTerra} + H_{EmpTerPilar}) + 1,20 * H_{Temp} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{fren} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{EmpSob}$$

$$M_L = (1,40 * (H_{EmpTerra} + H_{EmpTerPilar}) + 1,20 * H_{Temp} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{fren} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{EmpSob}) * h_{pil+trav} + N * e_{Total_Long.}$$

$$H_T = 1,40 * H_{Tvento}$$

$$M_T = (1,40 * M_{T(g1+g2+g3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{Tcargamóvel} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{Tvento}) + N * e_{Total_Transv.}$$

1ª Hipótese : 1 Vão Carregado - PTC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N_d (tf) | 322.5 | 134.1 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 472.7 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 2.5 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 10.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M_{dL} (tf.m) | 1.7 | 32.8 | 0.0 | 30.6 | 14.7 | 0.0 | 14.1 | 2.1 | 133.2 |
| M_{dT} (tf.m) | 10.8 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.4 | 0.0 | 0.0 | 63.0 |

2ª Hipótese : 1 Vão Carregado - PMC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N_d (tf) | 322.5 | 131.2 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 469.7 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 2.3 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 10.4 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M_{dL} (tf.m) | 1.7 | 21.6 | 0.0 | 30.6 | 13.5 | 0.0 | 14.1 | 2.1 | 120.6 |
| M_{dT} (tf.m) | 10.8 | -2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.4 | 0.0 | 0.0 | 60.1 |

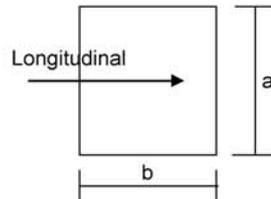
3ª Hipótese : 2 Vãos Carregados - PTC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N_d (tf) | 322.5 | 199.1 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 537.6 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 2.5 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 10.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M_{dL} (tf.m) | 1.7 | 0.3 | 0.0 | 30.6 | 14.7 | 0.0 | 14.1 | 2.1 | 105.8 |
| M_{dT} (tf.m) | 10.8 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.4 | 0.0 | 0.0 | 70.0 |

4ª Hipótese : 2 Vãos Carregados - PMC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N_d (tf) | 322.5 | 193.3 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 531.8 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 2.3 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 10.4 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M_{dL} (tf.m) | 1.7 | 0.1 | 0.0 | 30.6 | 13.5 | 0.0 | 14.1 | 2.1 | 104.0 |
| M_{dT} (tf.m) | 10.8 | -2.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.4 | 0.0 | 0.0 | 64.3 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



$a \text{ (m)} = 1.00$
 $b \text{ (m)} = 0.80$

$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0.80$
 $f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0$
 $f_{yk} \text{ (MPa)} = 500$

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| $N_d \text{ (tf)} = 472.69$ | $v = 0.414$ | } Ábaco $\omega = 0.265$ |
| $M_d^{long} \text{ (tf.m)} = 133.20$ | $\mu_{long} = 0.146$ | |
| $M_d^{transv} \text{ (tf.m)} = 62.97$ | $\mu_{transv} = 0.055$ | |

$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69.66$

2ª Hipótese

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| $N_d \text{ (tf)} = 469.74$ | $v = 0.411$ | } Ábaco $\omega = 0.235$ |
| $M_d^{long} \text{ (tf.m)} = 120.59$ | $\mu_{long} = 0.132$ | |
| $M_d^{transv} \text{ (tf.m)} = 60.08$ | $\mu_{transv} = 0.053$ | |

$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 61.77$

3ª Hipótese

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| $N_d \text{ (tf)} = 537.62$ | $v = 0.470$ | } Ábaco $\omega = 0.180$ |
| $M_d^{long} \text{ (tf.m)} = 105.75$ | $\mu_{long} = 0.116$ | |
| $M_d^{transv} \text{ (tf.m)} = 70.04$ | $\mu_{transv} = 0.061$ | |

$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 47.31$

4ª Hipótese

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| $N_d \text{ (tf)} = 531.81$ | $v = 0.465$ | } Ábaco $\omega = 0.175$ |
| $M_d^{long} \text{ (tf.m)} = 104.01$ | $\mu_{long} = 0.114$ | |
| $M_d^{transv} \text{ (tf.m)} = 64.26$ | $\mu_{transv} = 0.056$ | |

$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 46.00$

Compressão pela NB-1/78

$$\begin{aligned} N_d \text{ (tf)} &= 472.69 \\ E \text{ (MPa)} &= 288476 & A_c^{nec} &= N_d / (0,85 * f_{cd} + 0,8\% * E * \epsilon_o) \\ \epsilon_o &= 0.002 \\ f_{ck} \text{ (MPa)} &= 20.0 \end{aligned}$$

$$A_c^{nec} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2821$$

$$A_c^{exist} \text{ (m}^2\text{)} = 0.8000$$

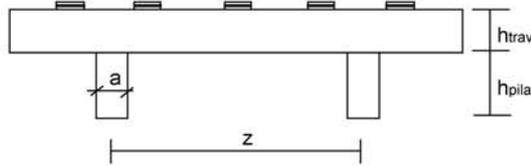
$$\begin{aligned} A_{s1}^{min} \text{ (cm}^2\text{)} &= 22.56 & A_s^{min} &= 0,8\% * A_c^{nec} \\ A_{s2}^{min} \text{ (cm}^2\text{)} &= 40.00 & A_s^{min} &= 0,5\% * A_c^{exist} \end{aligned}$$

logo será adotado :

$$A_s^{total} \text{ (cm}^2\text{)} = 69.66$$

13 - Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar

Apoio 3



$z (m) = 6.60$
 $n^{\circ} \text{ de pilares} = 2$

P.P. do pilar (tf) = 8.60 $h^{\text{Pilar}} (m) = 4.30$ $h^{\text{Traves}} (m) = 1.50$

Seção transversal do pilar $a (m) = 1.00$
 $b (m) = 0.80$

Esforços na base do pilar

- * $g_1 + g_2 + g_3$
- * Carga móvel
- * Peso próprio do pilar
- } - N e M_T provenientes do SALT

- * Temperatura
- * Empuxo de terra sobre as cortinas
- * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- } - $M_L = H_L * (h_{\text{pilar}} + h_{\text{travessa}})$

- * Vento
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- } - N e M_T provenientes do SALT

- * Empuxo de terra sobre os pilares
- } - H_L proveniente da aplicação direta no pilar
- } $M_L = H_L * (h_{\text{aterra}}/3)$

1ª Hipótese : 1 Vão Carregado - PTC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N (tf) | 230.4 | 95.8 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 341.0 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 1.8 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 8.5 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L (tf.m) | 1.2 | 23.4 | 0.0 | 25.5 | 10.5 | 0.0 | 10.1 | 3.0 | 73.7 |
| M_T (tf.m) | 7.7 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.4 | 0.0 | 0.0 | 28.5 |

2ª Hipótese : 1 Vão Carregado - PMC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N (tf) | 230.4 | 93.7 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 338.9 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 1.8 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 8.5 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L (tf.m) | 1.2 | 15.4 | 0.0 | 25.5 | 10.5 | 0.0 | 10.1 | 3.0 | 65.7 |
| M_T (tf.m) | 7.7 | -1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.4 | 0.0 | 0.0 | 26.6 |

3ª Hipótese : 2 Vãos Carregados - PTC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N (tf) | 230.4 | 142.3 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 387.5 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 1.8 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 8.5 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L (tf.m) | 1.2 | 0.2 | 0.0 | 25.5 | 10.5 | 0.0 | 10.1 | 3.0 | 50.5 |
| M_T (tf.m) | 7.7 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.4 | 0.0 | 0.0 | 29.9 |

4ª Hipótese : 2 Vãos Carregados - PMC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N (tf) | 230.4 | 138.0 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 383.2 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 1.8 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 8.5 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L (tf.m) | 1.2 | 0.1 | 0.0 | 25.5 | 10.5 | 0.0 | 10.1 | 3.0 | 50.4 |
| M_T (tf.m) | 7.7 | -2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.4 | 0.0 | 0.0 | 26.1 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 4.30$$

$$d \text{ (m)} = 0.74$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x/300 = 0.0287 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2/10) * (1/r) \quad r = (5 * 10^{-3})/d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0500$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.079 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 4.30$$

$$d \text{ (m)} = 0.74$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x/300 = 0.0287 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2/10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3})/d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0500$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.079 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N = 1,40 * (N_{g_1+g_2+g_3} + N_{p.p.Pilar} + N_{p.p.Travessa}) + 1,40 * N_{cargamóvel}$$

$$H_L = 1,40 * (H_{EmpTerra} + H_{EmpTerPilar}) + 1,20 * H_{Temp} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{fren} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{EmpSob}$$

$$M_L = (1,40 * (H_{EmpTerra} + H_{EmpTerPilar}) + 1,20 * H_{Temp} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{fren} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{EmpSob}) * h_{pil+trav} + N * e_{Total_Long}$$

$$H_T = 1,40 * H_{Tvento}$$

$$M_T = (1,40 * M_{T(g_1+g_2+g_3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{Tcargamóvel} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{Tvento}) + N * e_{Total_Transv}$$

1ª Hipótese : 1 Vão Carregado - PTC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N_d (tf) | 322.5 | 134.1 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 473.0 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 2.5 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 10.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M_{dL}(tf.m) | 1.7 | 32.8 | 0.0 | 30.6 | 14.7 | 0.0 | 14.1 | 2.1 | 133.2 |
| M_{dT}(tf.m) | 10.8 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 62.9 |

2ª Hipótese : 1 Vão Carregado - PMC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N_d (tf) | 322.5 | 131.2 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 470.1 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 2.5 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 10.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M_{dL}(tf.m) | 1.7 | 21.6 | 0.0 | 30.6 | 14.7 | 0.0 | 14.1 | 2.1 | 121.8 |
| M_{dT}(tf.m) | 10.8 | -2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 60.0 |

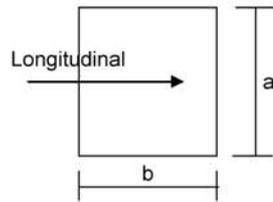
3ª Hipótese : 2 Vãos Carregados - PTC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N_d (tf) | 322.5 | 199.2 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 538.2 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 2.5 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 10.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M_{dL}(tf.m) | 1.7 | 0.3 | 0.0 | 30.6 | 14.7 | 0.0 | 14.1 | 2.1 | 105.8 |
| M_{dT}(tf.m) | 10.8 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 69.9 |

4ª Hipótese : 2 Vãos Carregados - PMC

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Total |
|-----------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| N_d (tf) | 322.5 | 193.3 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 532.2 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 2.5 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 10.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M_{dL}(tf.m) | 1.7 | 0.1 | 0.0 | 30.6 | 14.7 | 0.0 | 14.1 | 2.1 | 105.2 |
| M_{dT}(tf.m) | 10.8 | -2.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 64.1 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



$a \text{ (m)} = 1.00$
 $b \text{ (m)} = 0.80$

$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0.80$
 $f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0$
 $f_{yk} \text{ (MPa)} = 500$

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---|
| $N_d \text{ (tf)} = 473.04$ | $v = 0.414$ | } $\xrightarrow{\text{Ábaco}}$ $\omega = 0.265$ |
| $M_d^{long} \text{ (tf.m)} = 133.23$ | $\mu_{long} = 0.146$ | |
| $M_d^{transv} \text{ (tf.m)} = 62.85$ | $\mu_{transv} = 0.055$ | |

$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69.66$

2ª Hipótese

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---|
| $N_d \text{ (tf)} = 470.09$ | $v = 0.411$ | } $\xrightarrow{\text{Ábaco}}$ $\omega = 0.240$ |
| $M_d^{long} \text{ (tf.m)} = 121.76$ | $\mu_{long} = 0.133$ | |
| $M_d^{transv} \text{ (tf.m)} = 59.96$ | $\mu_{transv} = 0.052$ | |

$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 63.09$

3ª Hipótese

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---|
| $N_d \text{ (tf)} = 538.15$ | $v = 0.471$ | } $\xrightarrow{\text{Ábaco}}$ $\omega = 0.185$ |
| $M_d^{long} \text{ (tf.m)} = 105.79$ | $\mu_{long} = 0.116$ | |
| $M_d^{transv} \text{ (tf.m)} = 69.94$ | $\mu_{transv} = 0.061$ | |

$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 48.63$

4ª Hipótese

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---|
| $N_d \text{ (tf)} = 532.16$ | $v = 0.466$ | } $\xrightarrow{\text{Ábaco}}$ $\omega = 0.165$ |
| $M_d^{long} \text{ (tf.m)} = 105.19$ | $\mu_{long} = 0.115$ | |
| $M_d^{transv} \text{ (tf.m)} = 64.14$ | $\mu_{transv} = 0.056$ | |

$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 43.37$

Compressão pela NB-1/78

$$\begin{aligned} N_d \text{ (tf)} &= 473.04 \\ E \text{ (MPa)} &= 288476 & A_c^{\text{neq}} &= N_d / (0,85 * f_{cd} + 0,8\% * E * \epsilon_o) \\ \epsilon_o &= 0.002 \\ f_{ck} \text{ (MPa)} &= 20.0 \end{aligned}$$

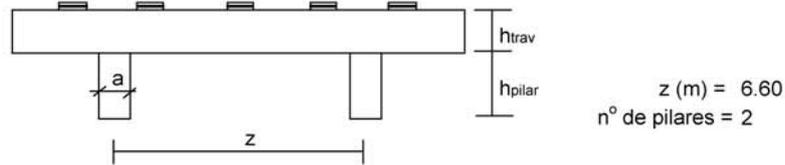
$$A_c^{\text{neq}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2823$$

$$A_c^{\text{exist}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.8000$$

$$\begin{aligned} A_{s1}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 22.58 & A_s^{\text{min}} &= 0,8\% * A_c^{\text{neq}} \\ A_{s2}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 40.00 & A_s^{\text{min}} &= 0,5\% * A_c^{\text{exist}} \end{aligned}$$

logo será adotado :

$$A_s^{\text{total}} \text{ (cm}^2\text{)} = 69.66$$

14 - Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar
Apoio 4


$$\text{P.P. do pilar (tf)} = 5.12 \quad h^{\text{Pilar}} \text{ (m)} = 3.20 \quad h^{\text{Traves.}} \text{ (m)} = 1.50$$

$$\text{Seção transversal do pilar} \quad a \text{ (m)} = 0.80$$

$$\quad \quad \quad b \text{ (m)} = 0.80$$

$$h^{\text{aterro}} \text{ (m)} = 3.00$$

Esforços na base do pilar

| | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> * $g_1 + g_2 + g_3$ * Carga móvel * Peso próprio do pilar | } | - N e M_T provenientes do SALT |
| <ul style="list-style-type: none"> * Temperatura * Empuxo de terra sobre as cortinas * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas | } | - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio - $M_L = H_L * (h_{\text{pilar}} + h_{\text{travessa}})$ |
| <ul style="list-style-type: none"> * Vento | } | - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio - N e M_T provenientes do SALT |
| <ul style="list-style-type: none"> * Empuxo de terra sobre os pilares | } | - H_L proveniente da aplicação direta no pilar $M_L = H_L * (h_{\text{aterro}}/3)$ |

1ª Hipótese : $N_{\text{máx}}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{te pilar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| N (tf) | 175.5 | 117.0 | 5.1 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 301.6 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.8 | 1.5 | 0.0 | 1.5 | 0.4 | 14.6 | 33.8 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.1 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 74.3 | 6.9 | 0.0 | 7.2 | 2.1 | 14.6 | 105.1 |
| M_T (tf.m) | 6.9 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 22.3 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{te pilar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| N (tf) | 175.5 | -3.5 | 5.1 | 0.0 | 0.0 | -4.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 173.0 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.8 | 1.5 | 0.0 | 1.5 | 0.4 | 14.6 | 33.8 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.1 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 74.3 | 6.9 | 0.0 | 7.2 | 2.1 | 14.6 | 105.1 |
| M_T (tf.m) | 6.9 | -4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.2 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 3.20$$

$$d \text{ (m)} = 0.74$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0213 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0277$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.049 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 3.20$$

$$d \text{ (m)} = 0.74$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0213 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0277$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.049 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N = 1,40 * (N_{g1+g2+g3} + N_{p.p.Pilar} + N_{p.p.Travessa}) + 1,40 * N_{\text{cargamóvel}}$$

$$H_L = 1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}$$

$$M_L = (1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}) * h_{\text{pil+trav}} + N * e_{\text{Total_Long.}}$$

$$H_T = 1,40 * H_{\text{vento}}$$

$$M_T = (1,40 * M_{T(g1+g2+g3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{T\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{T\text{vento}}) + N * e_{\text{Total_Transv.}}$$

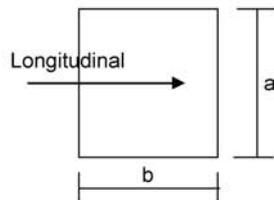
1ª Hipótese : N_{máx}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepar} | Total |
|------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------|
| N _d (tf) | 245.6 | 163.8 | 7.2 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 419.38 |
| H _{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 | 2.1 | 0.0 | 2.1 | 0.3 | 20.4 | 43.90 |
| H _{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.57 |
| M _{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 89.2 | 9.6 | 0.0 | 10.1 | 1.5 | 20.4 | 151.34 |
| M _{dT} (tf.m) | 9.7 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 41.81 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepar} | Total |
|------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------|
| N _d (tf) | 245.6 | -2.4 | 7.2 | 0.0 | 0.0 | -5.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 244.67 |
| H _{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 | 2.1 | 0.0 | 2.1 | 0.3 | 20.4 | 43.90 |
| H _{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.14 |
| M _{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 89.2 | 9.6 | 0.0 | 10.1 | 1.5 | 20.4 | 142.78 |
| M _{dT} (tf.m) | 9.7 | -3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 39.10 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



a (m) = 0.80
b (m) = 0.80

Ac (m²) = 0.64
f_{ck} (MPa) = 20.0
f_{yk} (MPa) = 500

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

| | | |
|--|-----------------------------|---------------------|
| N _d (tf) = 419.38 | v = 0.459 | } Ábaco → ω = 0.455 |
| M _{d^{long}} (tf.m) = 151.34 | μ _{long} = 0.207 | |
| M _{d^{transv}} (tf.m) = 41.81 | μ _{transv} = 0.057 | |

As (cm²) = 95.68

2ª Hipótese

| | | |
|--|-----------------------------|---------------------|
| N _d (tf) = 244.67 | v = 0.268 | } Ábaco → ω = 0.415 |
| M _{d^{long}} (tf.m) = 142.78 | μ _{long} = 0.195 | |
| M _{d^{transv}} (tf.m) = 39.10 | μ _{transv} = 0.053 | |

As (cm²) = 87.27

Compressão pela NB-1/78

$$N_d \text{ (tf)} = 419.38$$

$$E \text{ (MPa)} = 288476$$

$$\varepsilon_o = 0.002$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0$$

$$A_c^{nec} = N_d / (0,85 * f_{cd} + 0,8\% * E * \varepsilon_o)$$

$$A_c^{nec} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2503$$

$$A_c^{exist} \text{ (m}^2\text{)} = 0.6400$$

$$A_{s1}^{min} \text{ (cm}^2\text{)} = 20.02$$

$$A_{s2}^{min} \text{ (cm}^2\text{)} = 32.00$$

$$A_s^{min} = 0,8\% * A_c^{nec}$$

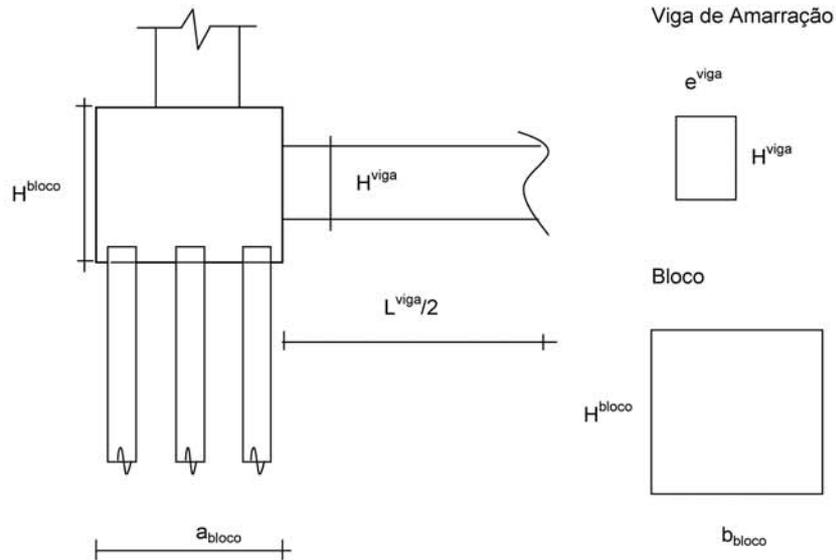
$$A_s^{min} = 0,5\% * A_c^{exist}$$

logo será adotado :

$$A_s^{total} \text{ (cm}^2\text{)} = 95.68$$

15 - Apoio P1

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{\text{bloco}} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{\text{bloco}} \text{ (m)} = 2.80$
- $b_{\text{bloco}} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{\text{Viga de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{\text{Viga de Amarração}} \text{ (m)} = 3.80$
- $e_{\text{Viga de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$
- $p.p. \text{ bloco} \text{ (tf)} = 25.48$
- $p.p. \text{ viga de amarração} \text{ (tf)} = 6.27$

*** Cálculo de N (tf)**

- $g1 + g2 + g3 = 350.92$
 - carga móvel Pesq = 116.8
 - carga móvel Pdir = 56.2
 - $p.p. \text{ pilar} = 3.8$
 - $p.p. \text{ bloco} = 57.2$
- $N = 585.0 \text{ tf}$

*** Cálculo de HL**

$HL \text{ (tf)} = 48.8$

* Cálculo de HT

$$HT (tf) = 10.6$$

* Cálculo de ML

$$ML (tf) = 183.3$$

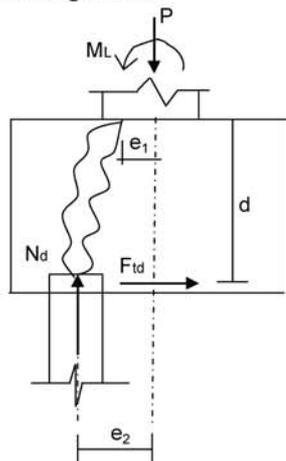
* Cálculo de MT

$$MT (tf) = 42.2$$

Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco de P1 (Para 1/2 bloco)

Direção Longitudinal



$$d (m) = 1.20 \quad f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$e_1 (m) = 0.20 \quad N (tf) = 94.6$$

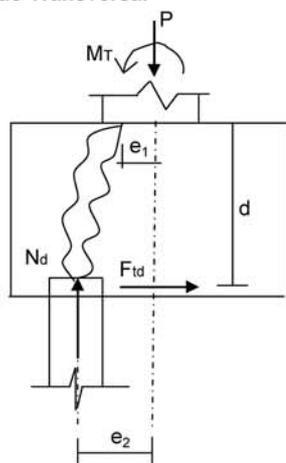
$$e_2 (m) = 1.00$$

$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) \quad A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 88.3$$

$$A_s (cm^2) = 20.3$$

Direção Transversal



$$d (m) = 1.20 \quad f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$e_1 (m) = 0.20 \quad N (tf) = 94.6$$

$$e_2 (m) = 1.00$$

$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) \quad A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 88.3$$

$$A_s (cm^2) = 20.3$$

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref:27x24x27_BR163b1
Data: 1/26/2006

Ponte 27x24x27 (Estaca Raiz) - BR-163 / B1

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|------------|-----------|----------|
| 10 | 1 | 2100000.00 | 810000.00 | 50.00 |

| COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------------------------|-------|------|-------|---------|------|------|
| N EST | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA |
| 1 | -4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | -3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | -2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 2 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 3 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 4 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 5 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 6 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 7 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 8 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 9 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 10 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref:27x24x27_BR163b1
Data: 1/26/2006

NRO CARREG 1

| Nmax | | | | | |
|--------|---------|--------|---------|------|-------|
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
| -10.60 | -585.00 | -48.80 | -183.30 | 0.00 | 42.20 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

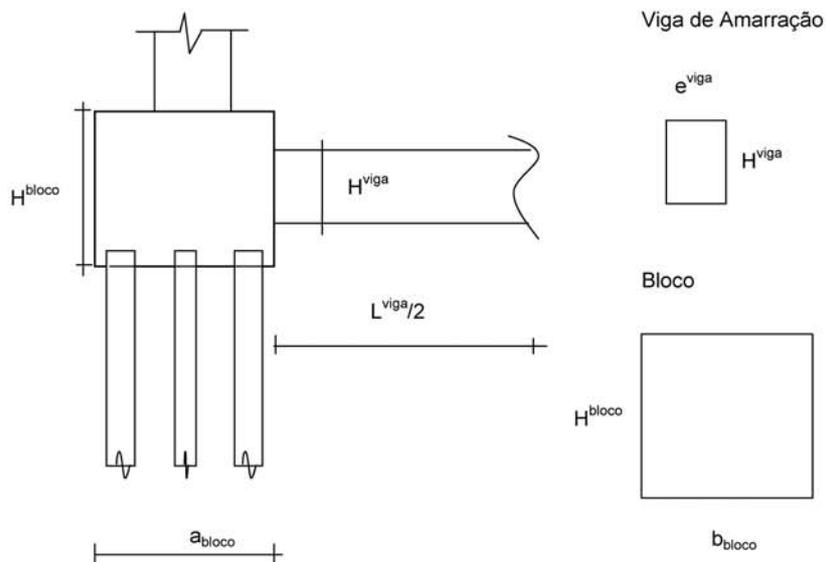
| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.004611 | -0.002111 | -0.027358 | -0.001216 | 0.000000 | 0.000021 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 94.64 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |
| 2 | 93.50 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |
| 3 | 90.89 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |
| 4 | 89.75 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |
| 5 | 60.38 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |
| 6 | 56.62 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |
| 7 | 27.25 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |
| 8 | 26.11 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |
| 9 | 23.50 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |
| 10 | 22.36 | -1.06 | -4.88 | 0.00 | 8.63 | -2.44 |

16 - Apoio P2

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{Bloco} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{bloco} \text{ (m)} = 3.20$
- $b_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 3.40$
- $e_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$

- $p.p. \text{ bloco (tf)} = 29.12$
- $p.p. \text{ viga de amarração (tf)} = 5.61$

1 Vão Carregado - PTC

* Cálculo de N (tf)

- $g1 + g2 + g3 = 460.76$
 - carga móvel Pesq = 95.8
 - carga móvel Pdir = 38.2
 - p.p. pilar = 17.2
 - p.p. bloco = 63.9
- $N \text{ (tf)} = 675.8 \text{ tf}$

- $H_L \text{ (tf)} = 16.9$
- $M_L \text{ (tf)} = 147.4$
- $H_T \text{ (tf)} = 12.2$
- $M_T \text{ (tf)} = 86.5$

1 Vão Carregado - PMC

* Cálculo de N (tf)

$$\begin{aligned} g1 + g2 + g3 &= 460.76 \\ \text{carga móvel Pesq} &= 93.7 \\ \text{carga móvel Pdir} &= -5.6 \\ \text{p.p. pilar} &= 17.2 \\ \text{p.p. bloco} &= 63.9 \end{aligned} \quad N \text{ (tf)} = 629.9 \text{ tf}$$

$$\begin{aligned} H_L \text{ (tf)} &= 16.6 & M_L \text{ (tf)} &= 129.7 \\ H_T \text{ (tf)} &= 12.2 & M_T \text{ (tf)} &= 86.5 \end{aligned}$$

2 Vãos Carregados - PTC

* Cálculo de N (tf)

$$\begin{aligned} g1 + g2 + g3 &= 460.76 \\ \text{carga móvel Pesq} &= 142.2 \\ \text{carga móvel Pdir} &= 83.3 \\ \text{p.p. pilar} &= 17.2 \\ \text{p.p. bloco} &= 63.9 \end{aligned} \quad N \text{ (tf)} = 767.3 \text{ tf}$$

$$\begin{aligned} H_L \text{ (tf)} &= 16.9 & M_L \text{ (tf)} &= 100.9 \\ H_T \text{ (tf)} &= 12.2 & M_T \text{ (tf)} &= 86.5 \end{aligned}$$

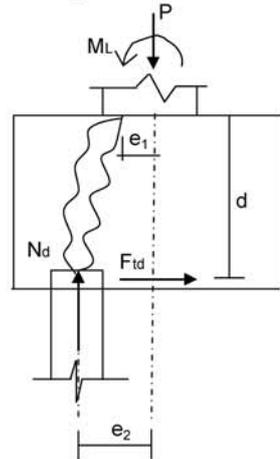
2 Vãos Carregados - PMC

* Cálculo de N (tf)

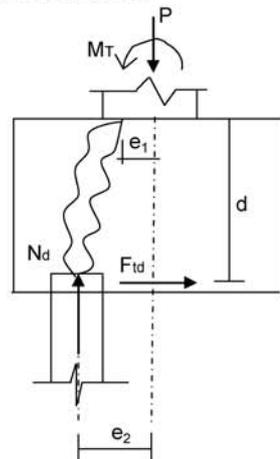
$$\begin{aligned} g1 + g2 + g3 &= 460.76 \\ \text{carga móvel Pesq} &= 138.0 \\ \text{carga móvel Pdir} &= -3.6 \\ \text{p.p. pilar} &= 17.2 \\ \text{p.p. bloco} &= 63.9 \end{aligned} \quad N \text{ (tf)} = 676.2 \text{ tf}$$

$$\begin{aligned} H_L \text{ (tf)} &= 16.6 & M_L \text{ (tf)} &= 99.1 \\ H_T \text{ (tf)} &= 12.2 & M_T \text{ (tf)} &= 86.5 \end{aligned}$$

Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco de P2 (Para 1/2 bloco)
Direção Longitudinal


$$\begin{aligned}
 d \text{ (m)} &= 1.20 & f_{yk} \text{ (MPa)} &= 500.0 \\
 e_1 \text{ (m)} &= 0.20 & N \text{ (tf)} &= 78.4 \\
 e_2 \text{ (m)} &= 1.00 \\
 F_{td} &= 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) & A_s &= F_{td} / f_{yd} \\
 F_{td} \text{ (tf)} &= 73.2 & A_s \text{ (cm}^2\text{)} &= 16.8
 \end{aligned}$$

Direção Transversal


$$\begin{aligned}
 d \text{ (m)} &= 1.20 & f_{yk} \text{ (MPa)} &= 500.0 \\
 e_1 \text{ (m)} &= 0.25 & N \text{ (tf)} &= 78.4 \\
 e_2 \text{ (m)} &= 1.20 \\
 F_{td} &= 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) & A_s &= F_{td} / f_{yd} \\
 F_{td} \text{ (tf)} &= 86.9 & A_s \text{ (cm}^2\text{)} &= 20.0
 \end{aligned}$$

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref:27x24x27_BR163b2
Data: 1/26/2006

Ponte 27x24x27 (Estaca Raiz) - BR-163 / B2

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|------------|-----------|----------|
| 12 | 4 | 2100000.00 | 810000.00 | 50.00 |

| COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------------------------|-------|------|-------|---------|------|------|
| N EST | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA |
| 1 | -4.50 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -3.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | -2.10 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 2.10 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 3.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 4.50 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -4.50 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | -3.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | -2.10 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 2.10 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 3.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 12 | 4.50 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 2 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 3 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 4 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 5 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 6 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 7 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 8 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 9 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 10 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 11 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 12 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref:27x24x27_BR163b2
Data: 1/26/2006

NRO CARREG 1

| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
|--------|---------|--------|---------|------|-------|
| -12.20 | -675.80 | -16.90 | -147.40 | 0.00 | 86.50 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.004444 | -0.002032 | -0.008242 | -0.000528 | 0.000000 | 0.000029 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 74.58 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 2 | 73.61 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 3 | 72.65 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 4 | 69.27 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 5 | 68.30 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 6 | 67.34 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 7 | 45.30 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 8 | 44.33 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 9 | 43.37 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 10 | 39.99 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 11 | 39.02 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 12 | 38.06 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento

Pag: 3
Ref:27x24x27_BR163b2

Programa ESTEL

Data: 1/26/2006

NRO CARREG 2

| | | | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-------|
| 1 | | | | | | |
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt | |
| -12.20 | -629.90 | -16.60 | -129.70 | 0.00 | 86.50 | |
| DESLOCAMENTOS DO BLOCO | | | | | | |
| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z | |
| -0.004444 | -0.001894 | -0.008009 | -0.000475 | 0.000000 | 0.000029 | |
| ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL) | | | | | | |
| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
| 1 | 69.27 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 2 | 68.30 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 3 | 67.34 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 4 | 63.96 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 5 | 62.99 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 6 | 62.03 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 7 | 42.96 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 8 | 41.99 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 9 | 41.02 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 10 | 37.65 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 11 | 36.68 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |
| 12 | 35.71 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.35 | -2.33 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 4
Ref:27x24x27_BR163b2
Data: 1/26/2006

NRO CARREG 3

| | | | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-------|
| 2 | | | | | | |
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt | |
| -12.20 | -767.30 | -16.90 | -100.90 | 0.00 | 86.50 | |
| DESLOCAMENTOS DO BLOCO | | | | | | |
| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z | |
| -0.004444 | -0.002307 | -0.007976 | -0.000392 | 0.000000 | 0.000029 | |
| ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL) | | | | | | |
| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
| 1 | 78.43 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 2 | 77.46 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 3 | 76.50 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 4 | 73.12 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 5 | 72.15 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 6 | 71.19 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 7 | 56.70 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 8 | 55.73 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 9 | 54.76 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 10 | 51.39 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 11 | 50.42 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 12 | 49.45 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 5
Ref:27x24x27_BR163b2
Data: 1/26/2006

NRO CARREG 4

| | | | | | | |
|------------------------|---------|--------|--------|------|-------|--|
| 2 | | | | | | |
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt | |
| -12.20 | -676.20 | -16.60 | -99.10 | 0.00 | 86.50 | |
| DESLOCAMENTOS DO BLOCO | | | | | | |

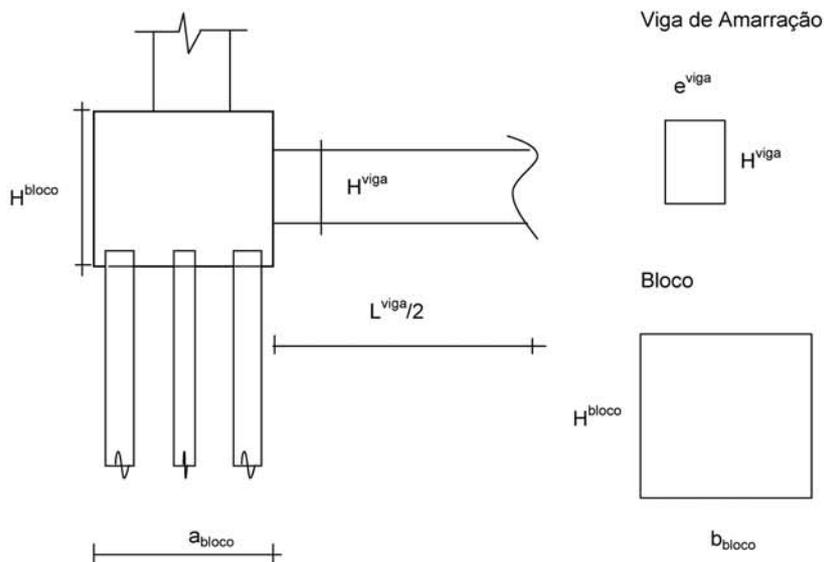
| | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
| -0.004444 | -0.002033 | -0.007834 | -0.000385 | 0.000000 | 0.000029 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 70.64 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 2 | 69.68 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 3 | 68.71 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 4 | 65.33 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 5 | 64.37 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 6 | 63.40 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 7 | 49.30 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 8 | 48.33 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 9 | 47.37 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 10 | 43.99 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 11 | 43.02 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |
| 12 | 42.06 | -1.02 | -1.38 | 0.00 | 2.42 | -2.33 |

17 - Apoio P3

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{Bloco} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{bloco} \text{ (m)} = 3.20$
- $b_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 3.40$
- $e_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$

- $p.p. \text{ bloco (tf)} = 29.12$
- $p.p. \text{ viga de amarração (tf)} = 5.61$

1 Vão Carregado - PTC

* Cálculo de N (tf)

- $g1 + g2 + g3 = 460.76$
- carga móvel Pesq = 95.8
- carga móvel Pdir = 38.2
- $N \text{ (tf)} = 675.8 \text{ tf}$
- p.p. pilar = 17.2
- p.p. bloco = 63.9

- $H_L \text{ (tf)} = 16.9$
- $M_L \text{ (tf)} = 147.4$
- $H_T \text{ (tf)} = 12.2$
- $M_T \text{ (tf)} = 86.5$

1 Vão Carregado - PMC

* Cálculo de N (tf)

$$\begin{aligned}
 g1 + g2 + g3 &= 460.76 \\
 \text{carga móvel Pesq} &= 93.7 \\
 \text{carga móvel Pdir} &= -5.6 \\
 \text{p.p. pilar} &= 17.2 \\
 \text{p.p. bloco} &= 63.9
 \end{aligned}
 \qquad
 N \text{ (tf)} = 629.9 \text{ tf}$$

$$\begin{aligned}
 H_L \text{ (tf)} &= 16.9 & M_L \text{ (tf)} &= 131.4 \\
 H_T \text{ (tf)} &= 12.2 & M_T \text{ (tf)} &= 86.5
 \end{aligned}$$

2 Vãos Carregados - PTC

* Cálculo de N (tf)

$$\begin{aligned}
 g1 + g2 + g3 &= 460.76 \\
 \text{carga móvel Pesq} &= 142.3 \\
 \text{carga móvel Pdir} &= 83.3 \\
 \text{p.p. pilar} &= 17.2 \\
 \text{p.p. bloco} &= 63.9
 \end{aligned}
 \qquad
 N \text{ (tf)} = 767.4 \text{ tf}$$

$$\begin{aligned}
 H_L \text{ (tf)} &= 16.9 & M_L \text{ (tf)} &= 100.9 \\
 H_T \text{ (tf)} &= 12.2 & M_T \text{ (tf)} &= 86.5
 \end{aligned}$$

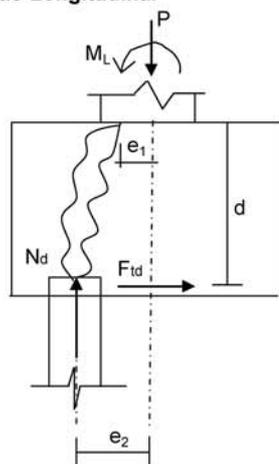
2 Vãos Carregados - PMC

* Cálculo de N (tf)

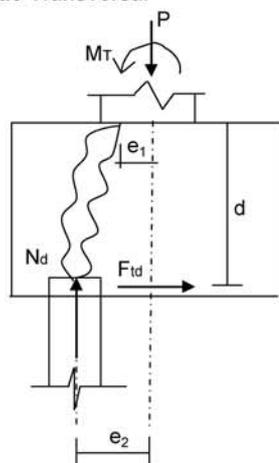
$$\begin{aligned}
 g1 + g2 + g3 &= 460.76 \\
 \text{carga móvel Pesq} &= 138.0 \\
 \text{carga móvel Pdir} &= -3.6 \\
 \text{p.p. pilar} &= 17.2 \\
 \text{p.p. bloco} &= 63.9
 \end{aligned}
 \qquad
 N \text{ (tf)} = 676.2 \text{ tf}$$

$$\begin{aligned}
 H_L \text{ (tf)} &= 16.9 & M_L \text{ (tf)} &= 100.7 \\
 H_T \text{ (tf)} &= 12.2 & M_T \text{ (tf)} &= 86.5
 \end{aligned}$$

Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco de P3 (Para 1/2 bloco)
Direção Longitudinal


$$\begin{aligned}
 d \text{ (m)} &= 1.20 & f_{yk} \text{ (MPa)} &= 500.0 \\
 e_1 \text{ (m)} &= 0.20 & N \text{ (tf)} &= 78.4 \\
 e_2 \text{ (m)} &= 1.00 & & \\
 F_{td} &= 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) & A_s &= F_{td} / f_{yd} \\
 F_{td} \text{ (tf)} &= 73.2 & A_s \text{ (cm}^2\text{)} &= 16.8
 \end{aligned}$$

Direção Transversal


$$\begin{aligned}
 d \text{ (m)} &= 1.20 & f_{yk} \text{ (MPa)} &= 500.0 \\
 e_1 \text{ (m)} &= 0.25 & N \text{ (tf)} &= 78.4 \\
 e_2 \text{ (m)} &= 1.20 & & \\
 F_{td} &= 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) & A_s &= F_{td} / f_{yd} \\
 F_{td} \text{ (tf)} &= 86.9 & A_s \text{ (cm}^2\text{)} &= 20.0
 \end{aligned}$$

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref:27x24x27_BR163b3
Data: 1/26/2006

Ponte 27x24x27 (Estaca Raiz) - BR-163 / B3

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|-----------|-----------|----------|
| 12 | 4 | 210000.00 | 810000.00 | 50.00 |

| COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------------------------|-------|------|-------|---------|------|------|
| N EST | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA |
| 1 | -4.50 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -3.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | -2.10 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 2.10 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 3.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 4.50 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -4.50 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | -3.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | -2.10 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 2.10 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 3.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 12 | 4.50 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 2 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 3 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 4 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 5 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 6 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 7 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 8 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 9 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 10 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 11 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 12 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref:27x24x27_BR163b3
Data: 1/26/2006

NRO CARREG 1

| 1 | Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
|---|--------|---------|--------|---------|------|-------|
| | -12.20 | -675.80 | -16.90 | -147.40 | 0.00 | 86.50 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.004444 | -0.002032 | -0.008242 | -0.000528 | 0.000000 | 0.000029 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 74.58 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 2 | 73.61 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 3 | 72.65 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 4 | 69.27 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 5 | 68.30 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 6 | 67.34 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 7 | 45.30 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 8 | 44.33 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 9 | 43.37 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 10 | 39.99 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 11 | 39.02 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |
| 12 | 38.06 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.36 | -2.33 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 3
Ref:27x24x27_BR163b3
Data: 1/26/2006

NRO CARREG 2

1

| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
|--------|---------|--------|---------|------|-------|
| -12.20 | -629.90 | -16.90 | -131.40 | 0.00 | 86.50 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.004444 | -0.001894 | -0.008150 | -0.000481 | 0.000000 | 0.000029 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 69.45 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 2 | 68.49 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 3 | 67.52 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 4 | 64.14 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 5 | 63.18 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 6 | 62.21 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 7 | 42.77 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 8 | 41.80 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 9 | 40.84 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 10 | 37.46 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 11 | 36.49 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |
| 12 | 35.53 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.39 | -2.33 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 4
Ref:27x24x27_BR163b3
Data: 1/26/2006

NRO CARREG 3

2

| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
|--------|---------|--------|---------|------|-------|
| -12.20 | -767.40 | -16.90 | -100.90 | 0.00 | 86.50 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.004444 | -0.002308 | -0.007976 | -0.000392 | 0.000000 | 0.000029 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 78.44 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 2 | 77.47 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 3 | 76.51 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 4 | 73.13 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 5 | 72.16 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 6 | 71.20 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 7 | 56.70 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 8 | 55.74 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 9 | 54.77 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 10 | 51.39 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 11 | 50.43 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 12 | 49.46 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 5
Ref:27x24x27_BR163b3
Data: 1/26/2006

NRO CARREG 4

2

| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
|--------|---------|--------|---------|------|-------|
| -12.20 | -676.20 | -16.90 | -100.70 | 0.00 | 86.50 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

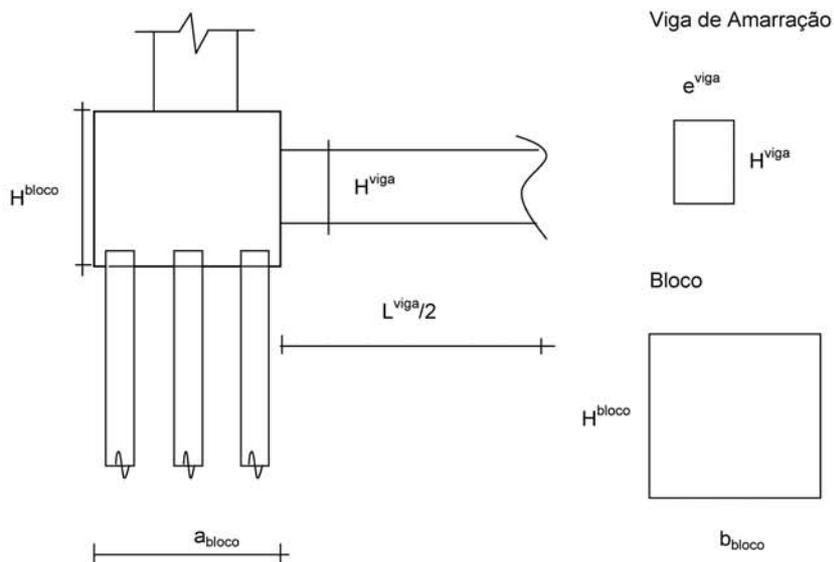
| | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
| -0.004444 | -0.002033 | -0.007975 | -0.000392 | 0.000000 | 0.000029 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 70.82 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 2 | 69.86 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 3 | 68.89 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 4 | 65.51 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 5 | 64.55 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 6 | 63.58 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 7 | 49.12 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 8 | 48.15 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 9 | 47.19 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 10 | 43.81 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 11 | 42.84 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |
| 12 | 41.88 | -1.02 | -1.41 | 0.00 | 2.46 | -2.33 |

18 - Apoio P4

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{\text{bloco}} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{\text{bloco}} \text{ (m)} = 2.80$
- $b_{\text{bloco}} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{\text{Viga de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{\text{Viga de Amarração}} \text{ (m)} = 3.40$
- $e_{\text{Viga de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$
- $p.p. \text{ bloco (tf)} = 25.48$
- $p.p. \text{ viga de amarração (tf)} = 5.61$

*** Cálculo de N (tf)**

- $g1 + g2 + g3 = 350.92$
- carga móvel Pesq = 117.0
- carga móvel Pdir = 56.0
- p.p. pilar = 10.2
- p.p. bloco = 56.6

$N = 590.7 \text{ tf}$

*** Cálculo de HL**

$HL \text{ (tf)} = 67.7$

* Cálculo de HT

$$HT (tf) = 10.2$$

* Cálculo de ML

$$ML (tf) = 260.2$$

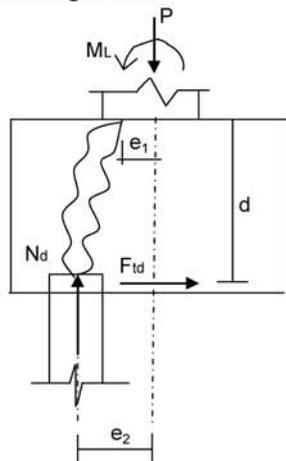
* Cálculo de MT

$$MT (tf) = 61.2$$

Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco de P4 (Para 1/2 bloco)

Direção Longitudinal



$$d (m) = 1.20 \quad f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$e_1 (m) = 0.20 \quad N (tf) = 109.7$$

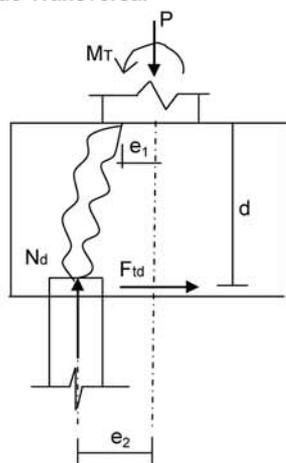
$$e_2 (m) = 1.00$$

$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) \quad A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 102.3$$

$$A_s (cm^2) = 23.5$$

Direção Transversal



$$d (m) = 1.20 \quad f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$e_1 (m) = 0.20 \quad N (tf) = 109.7$$

$$e_2 (m) = 1.00$$

$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) \quad A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 102.3$$

$$A_s (cm^2) = 23.5$$

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref:27x24x27_BR163b4
Data: 1/26/2006

Ponte 27x24x27 (Estaca Raiz) - BR-163 / B4

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|------------|-----------|----------|
| 10 | 1 | 2100000.00 | 810000.00 | 50.00 |

| COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------------------------|-------|------|-------|---------|------|------|
| N EST | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA |
| 1 | -4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | -3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | -2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 2 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 3 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 4 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 5 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 6 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 7 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 8 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 9 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 10 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref:27x24x27_BR163b4
Data: 1/26/2006

NRO CARREG 1

| Nmax | | | | | |
|--------|---------|--------|---------|------|-------|
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
| -10.20 | -590.80 | -67.70 | -260.20 | 0.00 | 61.20 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.004452 | -0.002132 | -0.038005 | -0.001713 | 0.000000 | 0.000026 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|--------|-------|-------|------|-------|-------|
| 1 | 109.65 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |
| 2 | 108.20 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |
| 3 | 104.88 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |
| 4 | 103.43 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |
| 5 | 61.47 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |
| 6 | 56.69 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |
| 7 | 14.73 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |
| 8 | 13.28 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |
| 9 | 9.96 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |
| 10 | 8.51 | -1.02 | -6.77 | 0.00 | 11.95 | -2.34 |

4 PONTE SOBRE O RIO SÃO JORGE I

4 PONTE SOBRE O RIO SÃO JORGE I

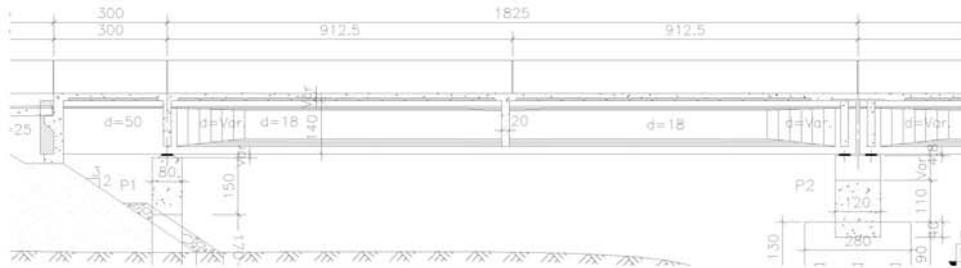
4.1 CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA

Vãos de 18,25 m com balanços de 3,00 m.

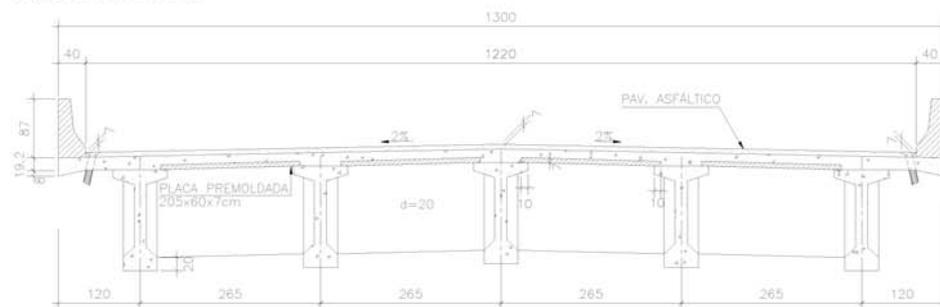
OBRA: Ponte sobre o Rio São Jorge I

1 – Cálculo da superestrutura

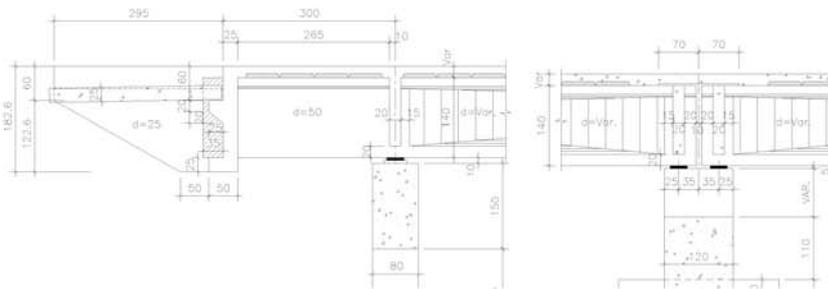
Perfil Longitudinal



Seção Transversal

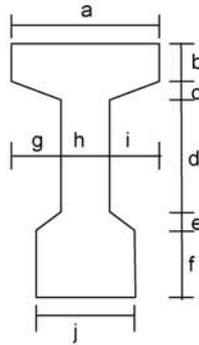


Detalhe das vigas nos apoios



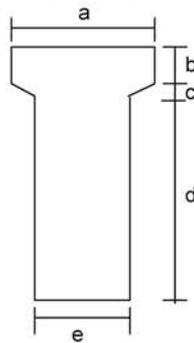
2 - Seção Transversal das Vigas

Seção Corrente



- a (m) = 0.800
- b (m) = 0.120
- c (m) = 0.100
- d (m) = 0.830
- e (m) = 0.150
- f (m) = 0.200
- g (m) = 0.310
- h (m) = 0.180
- i (m) = 0.310
- j (m) = 0.500

Seção no Apoio



- a (m) = 0.800
- b (m) = 0.120
- c (m) = 0.048
- d (m) = 1.232
- e (m) = 0.500

3 - Cálculo das cargas permanentes

3.1 - Características geométricas das vigas

| | Viga Isolada | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.445 | 0.743 |
| J (m ⁴) | 0.109 | 0.130 |
| Vs (m) | - | - |
| Vs' (m) | 0.666 | 0.664 |
| Vi (m) | 0.734 | 0.736 |
| Ws (m ³) | - | - |
| Ws' (m ³) | 0.163 | 0.197 |
| Wi (m ³) | 0.148 | 0.177 |

Viga de Bordo

bf (m) = 2.525

Viga Central

bf (m) = 2.65

bf é a largura efetiva da mesa de contribuição

| | Viga Conjunto | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.950 | 1.248 |
| J (m ⁴) | 0.249 | 0.307 |
| Vs (m) | 0.459 | 0.555 |
| Vs' (m) | 0.259 | 0.355 |
| Vi (m) | 1.141 | 1.045 |
| Ws (m ³) | 0.543 | 0.554 |
| Ws' (m ³) | 0.961 | 0.865 |
| Wi (m ³) | 0.218 | 0.294 |

| | Viga Conjunto | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.975 | 1.273 |
| J (m ⁴) | 0.252 | 0.313 |
| Vs (m) | 0.450 | 0.546 |
| Vs' (m) | 0.250 | 0.346 |
| Vi (m) | 1.150 | 1.054 |
| Ws (m ³) | 0.561 | 0.573 |
| Ws' (m ³) | 1.008 | 0.905 |
| Wi (m ³) | 0.219 | 0.296 |

3.2 - Peso próprio da viga (g₁)

Carga distribuída

$g_1 = S_{\text{corrente}} * 2,50$

$g_1 \text{ (tf/m)} = 1.113$

Trecho em balanço

$L_{\text{bal}} \text{ (m)} = 3.000$

$g_{\text{bal}} = S_{\text{apoio}} * 2,50$

$g_{\text{bal}} \text{ (tf/m)} = 1.858$

Carga Concentrada

Alargamento da Viga

$P_1 = (S_{\text{apoio}} - S_{\text{corrente}}) * (L_1 / 2) * 2,50$

$L_1 \text{ (m)} = 1.800$

$P_1 \text{ (tf)} = 0.67$

Alargamento no Apoio

$P_{\text{apoio}} = (S_{\text{apoio}} - S_{\text{corrente}}) * L_{\text{apoio}} * 2,5$

$L_{\text{esq}} \text{ (m)} = 0.250$

$P_{\text{esq}} \text{ (tf)} = 0.19$

$L_{\text{dir}} \text{ (m)} = 0.550$

$P_{\text{dir}} \text{ (tf)} = 0.41$

Placa de ancoragem

$$P_{pl} = L3 * h1 * L4 * 2,50$$

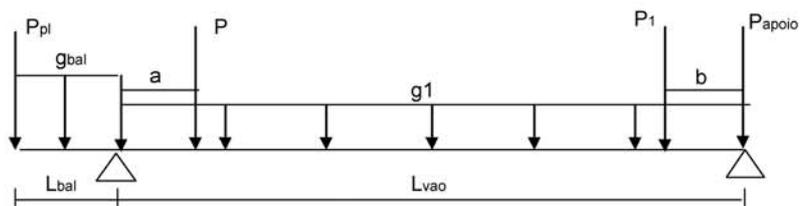
$$L3 \text{ (m)} = 0.350$$

$$L4 \text{ (m)} = 0.500$$

$$h1 \text{ (m)} = 1.400$$

$$P_{pl} \text{ (tf)} = 0.613$$

resumo do carregamento peso próprio



$$P = P1 + P_{esq}$$

$$P_{apoio} = P_{pl} + P_{dir}$$

$$L_{vao} \text{ (m)} = 17.90$$

$$L_{bal} \text{ (m)} = 3.000$$

$$a \text{ (m)} = 0.683$$

$$b \text{ (m)} = 0.600$$

$$g_{bal} \text{ (tf/m)} = 1.858$$

$$g1 \text{ (tf/m)} = 1.113$$

$$P_{pl} \text{ (tf)} = 0.61$$

$$P \text{ (tf)} = 0.86$$

$$P1 \text{ (tf)} = 0.67$$

$$P_{apoio} \text{ (tf)} = 1.02$$

Esforços Seccionais

Os esforços seccionais foram obtidos com o uso do programa "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Reações

$$R1 \text{ (tf)} = 17.56$$

$$R2 \text{ (tf)} = 11.09$$

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -0.61 | 0.00 |
| S1/2Bal | -3.40 | -3.01 |
| 0 esq | -6.18 | -10.19 |
| 0 dir | 11.38 | -10.19 |
| 1 | 8.53 | 7.44 |
| 2 | 6.54 | 20.93 |
| 3 | 4.54 | 30.84 |
| 4 | 2.55 | 37.19 |
| 5 | 0.56 | 39.98 |
| 6 | -1.43 | 39.19 |
| 7 | -3.43 | 34.85 |
| 8 | -5.42 | 26.93 |
| 9 | -7.41 | 15.45 |
| 10 | -10.07 | 0.00 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = - M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| S _{ExtBal} | - | 0 | 0 |
| S _{1/2Bal} | - | -15 | 17 |
| 0 | - | -52 | 58 |
| 1 | - | 46 | -50 |
| 2 | - | 128 | -141 |
| 3 | - | 189 | -208 |
| 4 | - | 228 | -251 |
| 5 | - | 245 | -270 |
| 6 | - | 240 | -265 |
| 7 | - | 214 | -235 |
| 8 | - | 165 | -182 |
| 9 | - | 95 | -104 |
| 10 | - | 0 | 0 |

3.3 - Laje + Transversina (g2)

Viga de Bordo

carga distribuída

$$g_2 = h * L * 2,50$$

$$h \text{ (m)} = 0.200 \quad g_2 \text{ (tf/m)} = 1.263$$

$$L \text{ (m)} = 2.525$$

carga concentrada

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{apoio} - j * f) / 2] \} * esp * 2,50$$

$$L \text{ (m)} = 1.325 \quad j \text{ (m)} = 0.50$$

$$h \text{ (m)} = 1.20 \quad esp \text{ (m)} = 0.20$$

$$f \text{ (m)} = 0.20$$

$$P1 \text{ (tf)} = 0.63$$

Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{corrent} - j * f) / 2] \} * esp * 2,50$$

$$L \text{ (m)} = 1.325 \quad j \text{ (m)} = 0.50$$

$$h \text{ (m)} = 1.20 \quad esp \text{ (m)} = 0.20$$

$$f \text{ (m)} = 0.20$$

$$P2 \text{ (tf)} = 0.71$$

Viga Central

carga distribuída

$$g_2 = h * L * 2,50$$

$$h \text{ (m)} = 0.200 \quad g_2 \text{ (tf/m)} = 1.325$$

$$L \text{ (m)} = 2.650$$

cargas concentradas

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{apoio} - j * f)] \} * esp * 2,50$$

$$L \text{ (m)} = 2.65 \quad j \text{ (m)} = 0.50$$

$$h \text{ (m)} = 1.20 \quad esp \text{ (m)} = 0.20$$

$$f \text{ (m)} = 0.20$$

$$P1 \text{ (tf)} = 1.27$$

Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{corrent} - j * f)] \} * esp * 2,50$$

$$L \text{ (m)} = 2.65 \quad j \text{ (m)} = 0.50$$

$$h \text{ (m)} = 1.20 \quad esp \text{ (m)} = 0.20$$

$$f \text{ (m)} = 0.20$$

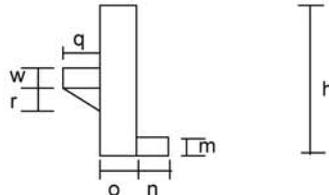
$$P2 \text{ (tf)} = 1.42$$

Seção fora do vão de cálculo

$$P3 = L * g2 \quad L (m) = 0.300$$

$$P3 (tf) = 0.38$$

Cortina



$$P_{cort} = [(m * n * L_{total}) + (w + r + w) * 0,5 * q * L_{cons} + o * h * L_{total}] * \gamma_{conc}$$

$$L_{total} (m) = 13.000$$

$$L_{cons} (m) = 9.700$$

$$h (m) = 1.850 \quad q (m) = 0.250$$

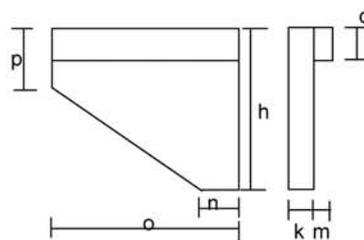
$$m (m) = 0.250 \quad w (m) = 0.200$$

$$n (m) = 0.250 \quad r (m) = 0.200$$

$$o (m) = 0.250$$

$$P4 = P_{cort} / 5 \text{ vigas} \quad P4 (tf) = 3.78$$

Abas das Cortinas



$$P5 = [d * o * (k + m) + (o + n) * 0,5 * (h - p) * k + (p - d) * k * o] * \gamma_{conc}$$

$$h (m) = 1.850 \quad n (m) = 0.750$$

$$k (m) = 0.250 \quad o (m) = 2.950$$

$$d (m) = 0.400 \quad p (m) = 0.600$$

$$m (m) = 0.150$$

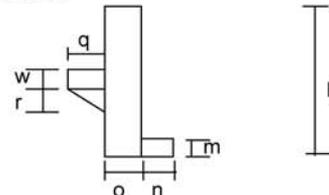
$$P5 (tf) = 2.99$$

Seção fora do vão de cálculo

$$P3 = L * g2 \quad L (m) = 0.300$$

$$P3 (tf) = 0.40$$

Cortina



$$P_{cort} = [(m * n * L_{total}) + (w + r + w) * 0,5 * q * L_{cons} + o * h * L_{total}] * \gamma_{conc}$$

$$L_{total} (m) = 13.000$$

$$L_{cons} (m) = 9.700$$

$$h (m) = 1.850 \quad q (m) = 0.250$$

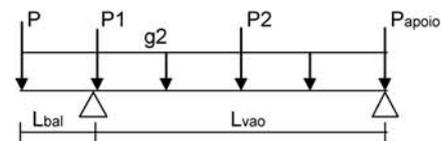
$$m (m) = 0.250 \quad w (m) = 0.200$$

$$n (m) = 0.250 \quad r (m) = 0.200$$

$$o (m) = 0.250$$

$$P4 = P_{cort} / 5 \text{ vigas} \quad P4 (tf) = 3.78$$

resumo dos esforços



$$P = P4 \quad P (tf) = 3.78$$

$$P_{apoio} = P1 + P3 \quad P_{apoio} (tf) = 1.67$$

$$g2 (tf/m) = 1.325$$

$$P (tf) = 3.78$$

$$P_{apoio} (tf) = 1.67$$

$$P1 (tf) = 1.27$$

$$P2 (tf) = 1.42$$

Esforços Seccionais

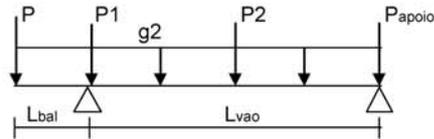
Os esforços seccionais foram obtidos com o uso do programa "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Reações

$$R1 (tf) = 22.56$$

$$R2 (tf) = 13.27$$

resumo dos esforços



$$P = P4 + P5 \quad P \text{ (tf)} = 6.77$$

$$P_{\text{apoio}} = P1 + P3 \quad P_{\text{apoio}} \text{ (tf)} = 1.01$$

$$g_2 \text{ (tf/m)} = 1.263$$

$$P \text{ (tf)} = 6.77$$

$$P_{\text{apoio}} \text{ (tf)} = 1.01$$

$$P1 \text{ (tf)} = 0.63$$

$$P2 \text{ (tf)} = 0.71$$

Esforços Seccionais

Os esforços seccionais foram obtidos com o uso do programa "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Reações

$$R1 \text{ (tf)} = 24.3$$

$$R2 \text{ (tf)} = 11.22$$

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -6.77 | 0.00 |
| S1/2Bal | -8.66 | -11.58 |
| 0 esq | -10.56 | -25.99 |
| 0 dir | 13.11 | -25.99 |
| 1 | 10.85 | -4.55 |
| 2 | 8.59 | 12.85 |
| 3 | 6.33 | 26.20 |
| 4 | 4.07 | 35.51 |
| 5 | 1.10 | 40.77 |
| 6 | -1.16 | 40.71 |
| 7 | -3.42 | 36.60 |
| 8 | -5.69 | 28.45 |
| 9 | -7.95 | 16.25 |
| 10 | -10.21 | 0.00 |

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -3.78 | 0.00 |
| S1/2Bal | -5.77 | -7.16 |
| 0 esq | -7.75 | -17.30 |
| 0 dir | 13.54 | -17.30 |
| 1 | 11.16 | 4.80 |
| 2 | 8.79 | 22.66 |
| 3 | 6.42 | 36.28 |
| 4 | 4.05 | 45.65 |
| 5 | 0.26 | 50.77 |
| 6 | -2.12 | 49.11 |
| 7 | -4.49 | 43.20 |
| 8 | -6.86 | 33.04 |
| 9 | -9.23 | 18.65 |
| 10 | -11.60 | 0.00 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{\text{isolada}}$$

$$\sigma_i = -M / W_{i \text{ isolada}}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -36 | 40 |
| 0 | - | -88 | 98 |
| 1 | - | 29 | -32 |
| 2 | - | 139 | -153 |
| 3 | - | 223 | -245 |
| 4 | - | 280 | -308 |
| 5 | - | 311 | -343 |
| 6 | - | 301 | -332 |
| 7 | - | 265 | -292 |
| 8 | - | 203 | -223 |
| 9 | - | 114 | -126 |
| 10 | - | 0 | 0 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = - M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -59 | 65 |
| 0 | - | -132 | 147 |
| 1 | - | -28 | 31 |
| 2 | - | 79 | -87 |
| 3 | - | 161 | -177 |
| 4 | - | 218 | -240 |
| 5 | - | 250 | -275 |
| 6 | - | 250 | -275 |
| 7 | - | 225 | -247 |
| 8 | - | 175 | -192 |
| 9 | - | 100 | -110 |
| 10 | - | 0 | 0 |

3.4 - Sobrecarga Permanente (g3)
Viga de Bordo

carga distribuída

Pavimentação asfáltica

$$g_a = L * h * 2,40$$

$$h \text{ (m)} = 0.07$$

$$L \text{ (m)} = 2.125$$

guarda-rodas

$$g_a \text{ (tf/m)} = 0.357$$

$$g_b \text{ (tf/m)} = 0.580$$

$$g_3 = g_a + g_b$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0.937$$

carga concentrada

Guarda rodas sobre a aba

$$P_1 = g_b * L$$

$$L \text{ (m)} = 2.950 \quad P_1 \text{ (tf)} = 1.71$$

Laje de acesso

$$P_2 = (k * h * L * 2,50 / 2) / 5 \text{ vigas}$$

$$k \text{ (m)} = 3.000$$

$$h \text{ (m)} = 0.250 \quad P_2 \text{ (tf)} = 1.86$$

Viga Central

carga distribuída

Pavimentação asfáltica

$$g_3 = L * h * 2,40$$

$$h \text{ (m)} = 0.07$$

$$L \text{ (m)} = 2.65$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0.445$$

carga concentrada

Laje de acesso

$$P_1 = (k * h * L * 2,50 / 2) / 5 \text{ vigas}$$

$$k \text{ (m)} = 3.000$$

$$h \text{ (m)} = 0.250$$

$$L \text{ (m)} = 9.900$$

$$P_1 \text{ (tf)} = 1.86$$

seção fora do vão de cálculo

$$P_2 = L * g_3$$

$$L \text{ (m)} = 0.300$$

$$P_3 \text{ (tf)} = 0.13$$

$L (m) = 9.900$

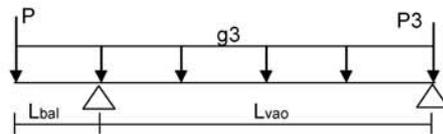
seção fora do vão de cálculo

$P3 = L * g_3$

$L (m) = 0.300$

$P3 (tf) = 0.28$

resumo dos esforços



$P = P1 + P2$

$g_3 (tf/m) = 0.937$

$P (tf) = 3.57$

$P3 (tf) = 0.28$

Reações

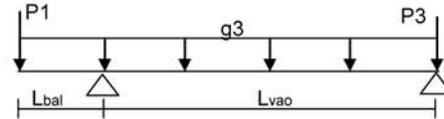
$R1 (tf) = 15.6$

$R2 (tf) = 7.83$

esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -3.57 | 0.00 |
| S1/2Bal | -4.98 | -6.41 |
| 0 esq | -6.38 | -14.93 |
| 0 dir | 9.22 | -14.93 |
| 1 | 7.54 | 0.08 |
| 2 | 5.87 | 12.08 |
| 3 | 4.19 | 21.07 |
| 4 | 2.51 | 27.07 |
| 5 | 0.83 | 30.06 |
| 6 | -0.84 | 30.06 |
| 7 | -2.52 | 27.05 |
| 8 | -4.20 | 21.03 |
| 9 | -5.88 | 12.02 |
| 10 | -7.55 | 0.00 |

resumo dos esforços



$g_3 (tf/m) = 0.445$

$P1 (tf) = 1.86$

$P3 (tf) = 0.13$

Reações

$R1 (tf) = 7.6$

$R2 (tf) = 3.69$

esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -1.86 | 0.00 |
| S1/2Bal | -2.53 | -3.29 |
| 0 esq | -3.19 | -7.58 |
| 0 dir | 4.41 | -7.58 |
| 1 | 3.61 | -0.41 |
| 2 | 2.81 | 5.34 |
| 3 | 2.02 | 9.66 |
| 4 | 1.22 | 12.56 |
| 5 | 0.42 | 14.03 |
| 6 | -0.37 | 14.08 |
| 7 | -1.17 | 12.70 |
| 8 | -1.97 | 9.89 |
| 9 | -2.76 | 5.66 |
| 10 | -3.56 | 0.00 |

Tensões

$$\sigma_s = M / Ws_{conjunto}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{conjunto}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{conjunto}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -12 | -7 | 22 |
| 0 | -27 | -17 | 51 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 22 | 13 | -55 |
| 3 | 39 | 22 | -97 |
| 4 | 50 | 28 | -124 |
| 5 | 55 | 31 | -138 |
| 6 | 55 | 31 | -138 |
| 7 | 50 | 28 | -124 |
| 8 | 39 | 22 | -96 |
| 9 | 22 | 13 | -55 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |

Tensões

$$\sigma_s = M / Ws_{conjunto}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{conjunto}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{conjunto}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -6 | -4 | 11 |
| 0 | -13 | -8 | 26 |
| 1 | -1 | 0 | 2 |
| 2 | 10 | 5 | -24 |
| 3 | 17 | 10 | -44 |
| 4 | 22 | 12 | -57 |
| 5 | 25 | 14 | -64 |
| 6 | 25 | 14 | -64 |
| 7 | 23 | 13 | -58 |
| 8 | 18 | 10 | -45 |
| 9 | 10 | 6 | -26 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |

```

Portico plano Ponte de 21.25 m - Viga Bordo - G1 e G2
coordenadas dos nos
1 0.000 0.00
2 1.500 0.00
3 3.000 0.00
4 4.790 0.00
5 6.580 0.00
6 8.370 0.00
7 10.160 0.00
8 11.950 0.00
9 13.740 0.00
10 15.530 0.00
11 17.320 0.00
12 19.110 0.00
13 20.900 0.00
0
condicoes de contorno
3 110
13 010
0
tipos de material
1 3.19e6 0.2 1.0e-5 2.5
0
tipos de secao
1 0.44500 0.44500 0.1090
0
propriedades dos elementos
1 1 2 1 1
2 2 3 1 1
3 3 4 1 1
4 4 5 1 1
5 5 6 1 1
6 6 7 1 1
7 7 8 1 1
8 8 9 1 1
9 9 10 1 1
10 10 11 1 1
11 11 12 1 1
12 12 13 1 1
0
numero de carregamentos 2
carregamento 1 Peso Proprio (G1) - Viga Bordo
cargas nodais
1 py -0.61
13 py -1.02
0
cargas nos elementos
1 u 0.0 0.0 wya -1.858
2 u 0.0 0.0 wya -1.858
3 u 0.0 0.0 wya -1.113 g 9 1
3 c 0.683 py -0.860
12 c 1.19 py -0.670
0
fim
carregamento 2 Laje + Transversina (g2) - Viga Bordo
cargas nodais
1 py -6.77
    
```

```
3 py -0.63
13 py -1.01
8 py -0.71
0
cargas nos elementos
1 u 0.0 0.0 wya -1.263 g 11 1
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Ponte de 21.25 m - Viga Bordo - G1 e G2

 DATA : 17/12/2005(sábado)
 HORA : 20:04:33
 ARQUIVO DE DADOS : vb_3,00+18,25_g1g2.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| c o o r d e n a d a s n o d a i s | | | | | |
|-----------------------------------|---------|------------|------------|------------|--|
| nó | sistema | coordenada | coordenada | coordenada | |
| | | x | y | z | |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 2 | global | 1.50E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 3 | global | 3.00E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 4 | global | 4.79E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 5 | global | 6.58E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 6 | global | 8.37E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 7 | global | 1.01E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 8 | global | 1.19E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 9 | global | 1.37E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 10 | global | 1.55E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 11 | global | 1.73E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 12 | global | 1.91E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 13 | global | 2.09E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |

número de nós 13

| r e s t r i ç õ e s n o d a i s | | | | |
|---------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| constante de mola | | | | |
| nó | código | transl. x | transl. y | rotação z |
| 3 | 110 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 13 | 010 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| p r o p r i e d a d e s d o s e l e m e n t o s | | | | | |
|---|----------|-------|------------|----------|-------------|
| barra | material | seção | nó inicial | nó final | comprimento |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1.50E+0000 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1.50E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1.79E+0000 |
| 4 | 1 | 1 | 4 | 5 | 1.79E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 5 | 6 | 1.79E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 6 | 7 | 1.79E+0000 |
| 7 | 1 | 1 | 7 | 8 | 1.79E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 8 | 9 | 1.79E+0000 |
| 9 | 1 | 1 | 9 | 10 | 1.79E+0000 |
| 10 | 1 | 1 | 10 | 11 | 1.79E+0000 |

```

11      1      1      11      12  1.79E+0000
12      1      1      12      13  1.79E+0000
    
```

número de elementos 12

propriedades dos materiais

material : 1

```

M. Elasticidade ..... 3.190E+0006
M. E. Transversal ... 1.329E+0006
C. Poisson ..... 2.000E-0001
C. D. Térmica ..... 1.000E-0005
P. Específico ..... 2.500E+0000
    
```

número de tipos de material 1

propriedades das seções

```

tipo   área x   área y   inércia z
1  4.45E-0001  4.45E-0001  1.09E-0001
    
```

módulos de flexão

```

tipo   wz
1  1.00E+0000
    
```

número de tipos seções 1

carregamento 1 - Peso Proprio (G1) - Viga Bordo

cargas nodais

```

nó   sistema   força x   força y   momento z
1    global    0.00    -0.61    0.00
13   global    0.00    -1.02    0.00
    
```

cargas aplicadas nas barras

```

barra sistema tipo   la   lb   px   py   mz
                t   f1   f2   wxa  wxb  wya  wyb
                p
1  local  U   0.00  1.50  0.0E+0000  -1.9E+0000
2  local  U   0.00  1.50  0.0E+0000  -1.9E+0000
3  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
4  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
5  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
6  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
7  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
8  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
9  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
10 local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
11 local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
12 local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -1.1E+0000
3  local  C   0.68  0.0E+0000  -8.6E-0001  0.0E+0000
12 local  C   1.19  0.0E+0000  -6.7E-0001  0.0E+0000
    
```

fim do carregamento 1

c a r r e g a m e n t o 2 - Laje + Transversina (g2) - Viga Bordo

| | | c a r g a s | | n o d a i s | | | |
|----|---------|-------------|-------|-------------|---|---------|--|
| nó | sistema | força | | força | | momento | |
| | | x | y | x | y | z | |
| 1 | global | 0.00 | -6.77 | | | 0.00 | |
| 3 | global | 0.00 | -0.63 | | | 0.00 | |
| 13 | global | 0.00 | -1.01 | | | 0.00 | |
| 8 | global | 0.00 | -0.71 | | | 0.00 | |

| | | c a r g a s | | a p l i c a d a s | | n a s | | b a r r a s | |
|-------|---------|-------------|------|-------------------|-----------|-------|------------|-------------|--|
| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | | |
| | | | t | f2 | wxa | wxb | wya | wyb | |
| | | | f1 | | f3 | p | | | |
| 1 | local | U | 0.00 | 1.50 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 2 | local | U | 0.00 | 1.50 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 3 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 4 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 5 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 6 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 7 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 8 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 9 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 10 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 11 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |
| 12 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.3E+0000 | | |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|---|
| fim do carregamento | | | | | | | | 2 |
| número de carregamentos | | | | | | | | 2 |

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 1.0E+0001
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 9

c a r r e g a m e n t o 1

Título : Peso Proprio (G1) - Viga Bordo

| | | d e s l o c a m e n t o s | | n o d a i s | | | |
|----|---------|---------------------------|----------------|----------------|---|---------|--|
| no | sistema | deslocamento | | deslocamento | | rotacao | |
| | | x | y | x | y | z | |
| 1 | global | 0.00000E+0000 | 1.71904E-0003 | -5.70113E-0004 | | | |
| 2 | global | 0.00000E+0000 | 8.66835E-0004 | -5.75092E-0004 | | | |
| 3 | global | 0.00000E+0000 | -1.98484E-0030 | -6.02053E-0004 | | | |
| 4 | global | 0.00000E+0000 | -1.12494E-0003 | -6.06657E-0004 | | | |
| 5 | global | 0.00000E+0000 | -2.17728E-0003 | -5.32100E-0004 | | | |
| 6 | global | 0.00000E+0000 | -3.03348E-0003 | -3.97316E-0004 | | | |
| 7 | global | 0.00000E+0000 | -3.60219E-0003 | -2.20664E-0004 | | | |
| 8 | global | 0.00000E+0000 | -3.82487E-0003 | -2.05026E-0005 | | | |
| 9 | global | 0.00000E+0000 | -3.67590E-0003 | 1.84809E-0004 | | | |
| 10 | global | 0.00000E+0000 | -3.16246E-0003 | 3.76914E-0004 | | | |
| 11 | global | 0.00000E+0000 | -2.32465E-0003 | 5.37452E-0004 | | | |
| 12 | global | 0.00000E+0000 | -1.23538E-0003 | 6.48066E-0004 | | | |

13 global 0.00000E+0000 -1.25348E-0030 6.90049E-0004

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|---------|-------|-------|---------|
| nó | sistema | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 3 | global | -0.00 | 17.56 | 0.00 |
| 13 | global | -0.00 | 11.09 | -0.00 |

| | | | | |
|------------|--|------|-------|--------|
| Resultante | | 0.00 | 28.66 | 284.52 |
|------------|--|------|-------|--------|

NOTA:

O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força | força | momento |
|--|-------|--------|---------|
| | x | y | z |
| | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | esforços | | nas barras | | momento fletor |
|-------|----------|----|--------------|----------------|----------------|
| | sistema | nó | força normal | força cortante | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | -0.61 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | 3.40 | -3.01 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -3.40 | 3.01 |
| | | 3 | 0.00 | 6.18 | -10.19 |
| 3 | local | 3 | 0.00 | 11.38 | 10.19 |
| | | 4 | 0.00 | -8.53 | 7.44 |
| 4 | local | 4 | 0.00 | 8.53 | -7.44 |
| | | 5 | 0.00 | -6.54 | 20.93 |
| 5 | local | 5 | 0.00 | 6.54 | -20.93 |
| | | 6 | 0.00 | -4.54 | 30.84 |
| 6 | local | 6 | 0.00 | 4.54 | -30.84 |
| | | 7 | 0.00 | -2.55 | 37.19 |
| 7 | local | 7 | 0.00 | 2.55 | -37.19 |
| | | 8 | 0.00 | -0.56 | 39.98 |
| 8 | local | 8 | 0.00 | 0.56 | -39.98 |
| | | 9 | 0.00 | 1.43 | 39.19 |
| 9 | local | 9 | 0.00 | -1.43 | -39.19 |
| | | 10 | 0.00 | 3.43 | 34.85 |
| 10 | local | 10 | 0.00 | -3.43 | -34.85 |
| | | 11 | 0.00 | 5.42 | 26.93 |
| 11 | local | 11 | 0.00 | -5.42 | -26.93 |
| | | 12 | 0.00 | 7.41 | 15.45 |
| 12 | local | 12 | 0.00 | -7.41 | -15.45 |
| | | 13 | 0.00 | 10.07 | -0.00 |

c a r r e g a m e n t o 2

 Título : Laje + Transversina (g2) - Viga Bordo

deslocamentos nodais

| no | sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao |
|----|---------|---------------|----------------|----------------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00000E+0000 | 1.12530E-0003 | -3.56457E-0004 |
| 2 | global | 0.00000E+0000 | 5.98467E-0004 | -3.80404E-0004 |
| 3 | global | 0.00000E+0000 | -2.74600E-0030 | -4.60419E-0004 |
| 4 | global | 0.00000E+0000 | -9.45680E-0004 | -5.37296E-0004 |
| 5 | global | 0.00000E+0000 | -1.92954E-0003 | -5.14191E-0004 |
| 6 | global | 0.00000E+0000 | -2.79125E-0003 | -4.11935E-0004 |
| 7 | global | 0.00000E+0000 | -3.40777E-0003 | -2.51360E-0004 |
| 8 | global | 0.00000E+0000 | -3.69337E-0003 | -5.33006E-0005 |
| 9 | global | 0.00000E+0000 | -3.59939E-0003 | 1.58140E-0004 |
| 10 | global | 0.00000E+0000 | -3.12658E-0003 | 3.58859E-0004 |
| 11 | global | 0.00000E+0000 | -2.31278E-0003 | 5.28022E-0004 |
| 12 | global | 0.00000E+0000 | -1.23311E-0003 | 6.44797E-0004 |
| 13 | global | 0.00000E+0000 | -1.26753E-0030 | 6.88352E-0004 |

reações nos apoios

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|-------|---------|
| | | x | y | z |
| 3 | global | -0.00 | 24.30 | 0.00 |
| 13 | global | -0.00 | 11.22 | -0.00 |

 Resultante 0.00 35.52 307.33

NOTA:

O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
 (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força | força | momento |
|--|-------|--------|---------|
| | x | y | z |
| | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

esforços nas barras

| barra | sistema | nó | força normal | força cortante | momento fletor |
|-------|---------|----|--------------|----------------|----------------|
| 1 | local | 1 | 0.00 | -6.77 | -0.00 |
| | | 2 | 0.00 | 8.66 | -11.58 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -8.66 | 11.58 |
| | | 3 | 0.00 | 10.56 | -25.99 |
| 3 | local | 3 | 0.00 | 13.11 | 25.99 |
| | | 4 | 0.00 | -10.85 | -4.55 |
| 4 | local | 4 | 0.00 | 10.85 | 4.55 |
| | | 5 | 0.00 | -8.59 | 12.85 |
| 5 | local | 5 | 0.00 | 8.59 | -12.85 |
| | | 6 | 0.00 | -6.33 | 26.20 |
| 6 | local | 6 | 0.00 | 6.33 | -26.20 |
| | | 7 | 0.00 | -4.07 | 35.51 |
| 7 | local | 7 | 0.00 | 4.07 | -35.51 |

| | | | | | |
|----|-------|----|------|-------|--------|
| | | 8 | 0.00 | -1.81 | 40.77 |
| 8 | local | 8 | 0.00 | 1.10 | -40.77 |
| | | 9 | 0.00 | 1.16 | 40.71 |
| 9 | local | 9 | 0.00 | -1.16 | -40.71 |
| | | 10 | 0.00 | 3.42 | 36.60 |
| 10 | local | 10 | 0.00 | -3.42 | -36.60 |
| | | 11 | 0.00 | 5.69 | 28.45 |
| 11 | local | 11 | 0.00 | -5.69 | -28.45 |
| | | 12 | 0.00 | 7.95 | 16.25 |
| 12 | local | 12 | 0.00 | -7.95 | -16.25 |
| | | 13 | 0.00 | 10.21 | 0.00 |

Fim Do Programa

```

Portico plano Ponte de 21,25 m - Viga Bordo - G3
coordenadas dos nos
1 0.000 0.00
2 1.500 0.00
3 3.000 0.00
4 4.790 0.00
5 6.580 0.00
6 8.370 0.00
7 10.160 0.00
8 11.950 0.00
9 13.740 0.00
10 15.530 0.00
11 17.320 0.00
12 19.110 0.00
13 20.900 0.00
0
condicoes de contorno
3 110
13 010
0
tipos de material
1 3.19e6 0.2 1.0e-5 2.5
0
tipos de secao
1 0.95000 0.95000 0.2490
0
propriedades dos elementos
1 1 2 1 1
2 2 3 1 1
3 3 4 1 1
4 4 5 1 1
5 5 6 1 1
6 6 7 1 1
7 7 8 1 1
8 8 9 1 1
9 9 10 1 1
10 10 11 1 1
11 11 12 1 1
12 12 13 1 1
0
numero de carregamentos 1
carregamento 1 Sobrecarga Permanente (G3) - Viga Bordo
cargas nodais
1 py -3.57
13 py -0.28
0
cargas nos elementos
1 u 0.0 0.0 wya -0.937 g 11 1
0
fim
    
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Ponte de 21,25 m - Viga Bordo - G3

 DATA : 17/12/2005(sábado)
 HORA : 20:04:39
 ARQUIVO DE DADOS : vb_3,00+18,25_g3.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| | | c o o r d e n a d a s n o d a i s | | |
|----|---------|-----------------------------------|------------|------------|
| nó | sistema | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 1.50E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 3.00E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 4.79E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 6.58E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 8.37E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 1.01E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 1.19E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 1.37E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.55E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.73E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 12 | global | 1.91E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 13 | global | 2.09E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 13

| | | r e s t r i ç õ e s n o d a i s | | |
|----|--------|---------------------------------|-----------|-----------|
| | | constante de mola | | |
| nó | código | transl. x | transl. y | rotação z |
| 3 | 110 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 13 | 010 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| | | p r o p r i e d a d e s d o s e l e m e n t o s | | | | |
|-------|----------|---|------------|----------|-------------|--|
| barra | material | seção | nó inicial | nó final | comprimento | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1.50E+0000 | |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1.50E+0000 | |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1.79E+0000 | |
| 4 | 1 | 1 | 4 | 5 | 1.79E+0000 | |
| 5 | 1 | 1 | 5 | 6 | 1.79E+0000 | |
| 6 | 1 | 1 | 6 | 7 | 1.79E+0000 | |
| 7 | 1 | 1 | 7 | 8 | 1.79E+0000 | |
| 8 | 1 | 1 | 8 | 9 | 1.79E+0000 | |
| 9 | 1 | 1 | 9 | 10 | 1.79E+0000 | |
| 10 | 1 | 1 | 10 | 11 | 1.79E+0000 | |

```

11      1      1      11      12      1.79E+0000
12      1      1      12      13      1.79E+0000
    
```

número de elementos 12

propriedades dos materiais

material : 1

```

M. Elasticidade ..... 3.190E+0006
M. E. Transversal ... 1.329E+0006
C. Poisson ..... 2.000E-0001
C. D. Térmica ..... 1.000E-0005
P. Específico ..... 2.500E+0000
    
```

número de tipos de material 1

propriedades das seções

```

tipo   área x   área y   inércia z
1      9.50E-0001 9.50E-0001 2.49E-0001
    
```

módulos de flexão

```

tipo   wz
1      1.00E+0000
    
```

número de tipos seções 1

carregamento 1 - Sobrecarga Permanente (G3) - Viga Bordo

```

cargas nodais
nó   sistema   força x   força y   momento z
1    global    0.00    -3.57    0.00
13   global    0.00    -0.28    0.00
    
```

cargas aplicadas nas barras

```

barra sistema tipo   la   lb   px   py   mz
          t     fl   f2   wxa  wxb  wya  wyb
1    local  U   0.00  1.50  0.0E+0000  -9.4E-0001
2    local  U   0.00  1.50  0.0E+0000  -9.4E-0001
3    local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
4    local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
5    local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
6    local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
7    local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
8    local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
9    local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
10   local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
11   local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
12   local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -9.4E-0001
    
```

fim do carregamento 1

número de carregamentos 1

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 1.0E+0001
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 10

c a r r e g a m e n t o 1
 =====

Título : Sobrecarga Permanente (G3) - Viga Bordo

| deslocamentos nodais | | | | | |
|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------|--|
| no | sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | | x | y | z | |
| 1 | global | 0.00000E+0000 | 4.43135E-0004 | -1.43583E-0004 | |
| 2 | global | 0.00000E+0000 | 2.30059E-0004 | -1.49303E-0004 | |
| 3 | global | 0.00000E+0000 | -8.13139E-0031 | -1.69117E-0004 | |
| 4 | global | 0.00000E+0000 | -3.34115E-0004 | -1.85286E-0004 | |
| 5 | global | 0.00000E+0000 | -6.66554E-0004 | -1.71028E-0004 | |
| 6 | global | 0.00000E+0000 | -9.48909E-0004 | -1.33110E-0004 | |
| 7 | global | 0.00000E+0000 | -1.14488E-0003 | -7.82975E-0005 | |
| 8 | global | 0.00000E+0000 | -1.23029E-0003 | -1.33551E-0005 | |
| 9 | global | 0.00000E+0000 | -1.19305E-0003 | 5.49509E-0005 | |
| 10 | global | 0.00000E+0000 | -1.03320E-0003 | 1.19855E-0004 | |
| 11 | global | 0.00000E+0000 | -7.62891E-0004 | 1.74592E-0004 | |
| 12 | global | 0.00000E+0000 | -4.06368E-0004 | 2.12395E-0004 | |
| 13 | global | 0.00000E+0000 | -4.08224E-0031 | 2.26500E-0004 | |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|---------|-------|-------|---------|
| nó | sistema | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 3 | global | -0.00 | 15.60 | 0.00 |
| 13 | global | -0.00 | 7.83 | -0.00 |
| Resultante | | 0.00 | 23.43 | 210.50 |

NOTA:

O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
 (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força | força | momento |
|--|-------|--------|---------|
| | x | y | z |
| | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| esforços nas barras | | | | | | |
|---------------------|---------|----|--------|----------|---------|--|
| barra | sistema | nó | força | força | momento | |
| | | | normal | cortante | fletor | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | -3.57 | 0.00 | |
| | | 2 | 0.00 | 4.98 | -6.41 | |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -4.98 | 6.41 | |
| | | 3 | 0.00 | 6.38 | -14.93 | |
| 3 | local | 3 | 0.00 | 9.22 | 14.93 | |
| | | 4 | 0.00 | -7.54 | 0.08 | |
| 4 | local | 4 | 0.00 | 7.54 | -0.08 | |

| | | | | | |
|----|-------|----|------|-------|--------|
| | | 5 | 0.00 | -5.87 | 12.08 |
| 5 | local | 5 | 0.00 | 5.87 | -12.08 |
| | | 6 | 0.00 | -4.19 | 21.07 |
| 6 | local | 6 | 0.00 | 4.19 | -21.07 |
| | | 7 | 0.00 | -2.51 | 27.07 |
| 7 | local | 7 | 0.00 | 2.51 | -27.07 |
| | | 8 | 0.00 | -0.83 | 30.06 |
| 8 | local | 8 | 0.00 | 0.83 | -30.06 |
| | | 9 | 0.00 | 0.84 | 30.06 |
| 9 | local | 9 | 0.00 | -0.84 | -30.06 |
| | | 10 | 0.00 | 2.52 | 27.05 |
| 10 | local | 10 | 0.00 | -2.52 | -27.05 |
| | | 11 | 0.00 | 4.20 | 21.03 |
| 11 | local | 11 | 0.00 | -4.20 | -21.03 |
| | | 12 | 0.00 | 5.88 | 12.02 |
| 12 | local | 12 | 0.00 | -5.88 | -12.02 |
| | | 13 | 0.00 | 7.55 | 0.00 |

Fim Do Programa

```

Portico plano Ponte de 21,25 m - Viga Central - G1 e G2
coordenadas dos nos
1 0.000 0.00
2 1.500 0.00
3 3.000 0.00
4 4.790 0.00
5 6.580 0.00
6 8.370 0.00
7 10.160 0.00
8 11.950 0.00
9 13.740 0.00
10 15.530 0.00
11 17.320 0.00
12 19.110 0.00
13 20.900 0.00
0
condicoes de contorno
3 110
13 010
0
tipos de material
1 3.19e6 0.2 1.0e-5 2.5
0
tipos de secao
1 0.44500 0.44500 0.1090
0
propriedades dos elementos
1 1 2 1 1
2 2 3 1 1
3 3 4 1 1
4 4 5 1 1
5 5 6 1 1
6 6 7 1 1
7 7 8 1 1
8 8 9 1 1
9 9 10 1 1
10 10 11 1 1
11 11 12 1 1
12 12 13 1 1
0
numero de carregamentos 2
carregamento 1 Peso Proprio - Viga Central
cargas nodais
1 py -0.61
13 py -1.02
0
cargas nos elementos
1 u 0.0 0.0 wya -1.858
2 u 0.0 0.0 wya -1.858
3 u 0.0 0.0 wya -1.113 g 9 1
3 c 0.683 py -0.860
12 c 1.19 py -0.670
0
fim
carregamento 2 Laje + Transversina (g2) - Viga Central
cargas nodais
1 py -3.78
    
```

```
3 py -1.27
13 py -1.67
8 py -1.42
0
cargas nos elementos
1 u 0.0 0.0 wya -1.325 g 11 1
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Ponte de 21,25 m - Viga Central - G1 e G2

 DATA : 17/12/2005(sábado)
 HORA : 20:04:43
 ARQUIVO DE DADOS : vc_3,00+18,25_glg2.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| | | c o o r d e n a d a s n o d a i s | | |
|----|---------|-------------------------------------|------------|------------|
| nó | sistema | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 1.50E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 3.00E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 4.79E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 6.58E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 8.37E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 1.01E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 1.19E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 1.37E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.55E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.73E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 12 | global | 1.91E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 13 | global | 2.09E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 13

| | | r e s t r i ç õ e s n o d a i s | | |
|----|--------|-----------------------------------|-----------|-----------|
| | | constante de mola | | |
| nó | código | transl. x | transl. y | rotação z |
| 3 | 110 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 13 | 010 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| | | p r o p r i e d a d e s d o s e l e m e n t o s | | | | |
|-------|----------|---|------------|----------|-------------|--|
| barra | material | seção | nó inicial | nó final | comprimento | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1.50E+0000 | |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1.50E+0000 | |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1.79E+0000 | |
| 4 | 1 | 1 | 4 | 5 | 1.79E+0000 | |
| 5 | 1 | 1 | 5 | 6 | 1.79E+0000 | |
| 6 | 1 | 1 | 6 | 7 | 1.79E+0000 | |
| 7 | 1 | 1 | 7 | 8 | 1.79E+0000 | |
| 8 | 1 | 1 | 8 | 9 | 1.79E+0000 | |
| 9 | 1 | 1 | 9 | 10 | 1.79E+0000 | |
| 10 | 1 | 1 | 10 | 11 | 1.79E+0000 | |

```

11      1      1      11      12      1.79E+0000
12      1      1      12      13      1.79E+0000
    
```

número de elementos 12

propriedades dos materiais

material : 1

```

M. Elasticidade ..... 3.190E+0006
M. E. Transversal ... 1.329E+0006
C. Poisson ..... 2.000E-0001
C. D. Térmica ..... 1.000E-0005
P. Específico ..... 2.500E+0000
    
```

número de tipos de material 1

propriedades das seções

| tipo | área x | área y | inércia z |
|------|------------|------------|------------|
| 1 | 4.45E-0001 | 4.45E-0001 | 1.09E-0001 |

módulos de flexão

| tipo | wz |
|------|------------|
| 1 | 1.00E+0000 |

número de tipos seções 1

carregamento 1 - Peso Proprio - Viga Central

cargas nodais

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 1 | global | 0.00 | -0.61 | 0.00 |
| 13 | global | 0.00 | -1.02 | 0.00 |

cargas aplicadas nas barras

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|------------|------------|-----|
| | | | t | f1 | wxa | wxb | wya | |
| | | | | f2 | f3 | p | | |
| 1 | local | U | 0.00 | 1.50 | 0.0E+0000 | | -1.9E+0000 | |
| 2 | local | U | 0.00 | 1.50 | 0.0E+0000 | | -1.9E+0000 | |
| 3 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 4 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 5 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 6 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 7 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 8 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 9 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 10 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 11 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 12 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | -1.1E+0000 | |
| 3 | local | C | 0.68 | | 0.0E+0000 | -8.6E-0001 | 0.0E+0000 | |
| 12 | local | C | 1.19 | | 0.0E+0000 | -6.7E-0001 | 0.0E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - Laje + Transversina (g2) - Viga Central

| nó | sistema | cargas nodais | | |
|----|---------|---------------|---------|-----------|
| | | força x | força y | momento z |
| 1 | global | 0.00 | -3.78 | 0.00 |
| 3 | global | 0.00 | -1.27 | 0.00 |
| 13 | global | 0.00 | -1.67 | 0.00 |
| 8 | global | 0.00 | -1.42 | 0.00 |

| barra | sistema | tipo | cargas aplicadas nas barras | | | | | |
|-------|---------|------|-----------------------------|------|-----------|-----|-----|------------|
| | | | la | lb | px | py | mz | wyb |
| | | | t | f2 | wxa | wxb | wya | |
| | | | f1 | f3 | p | | | |
| 1 | local | U | 0.00 | 1.50 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 2 | local | U | 0.00 | 1.50 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 3 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 4 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 5 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 6 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 7 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 8 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 9 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 10 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 11 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |
| 12 | local | U | 0.00 | 1.79 | 0.0E+0000 | | | -1.3E+0000 |

fim do carregamento 2
 número de carregamentos 2

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 1.0E+0001
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 9

carregamento 1

Título : Peso Proprio - Viga Central

| no | sistema | deslocamentos nodais | | |
|----|---------|----------------------|----------------|----------------|
| | | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
| 1 | global | 0.00000E+0000 | 1.71904E-0003 | -5.70113E-0004 |
| 2 | global | 0.00000E+0000 | 8.66835E-0004 | -5.75092E-0004 |
| 3 | global | 0.00000E+0000 | -1.98484E-0030 | -6.02053E-0004 |
| 4 | global | 0.00000E+0000 | -1.12494E-0003 | -6.06657E-0004 |
| 5 | global | 0.00000E+0000 | -2.17728E-0003 | -5.32100E-0004 |
| 6 | global | 0.00000E+0000 | -3.03348E-0003 | -3.97316E-0004 |
| 7 | global | 0.00000E+0000 | -3.60219E-0003 | -2.20664E-0004 |
| 8 | global | 0.00000E+0000 | -3.82487E-0003 | -2.05026E-0005 |
| 9 | global | 0.00000E+0000 | -3.67590E-0003 | 1.84809E-0004 |
| 10 | global | 0.00000E+0000 | -3.16246E-0003 | 3.76914E-0004 |
| 11 | global | 0.00000E+0000 | -2.32465E-0003 | 5.37452E-0004 |
| 12 | global | 0.00000E+0000 | -1.23538E-0003 | 6.48066E-0004 |

13 global 0.00000E+0000 -1.25348E-0030 6.90049E-0004

| | | reações nos apoios | | |
|----|---------|--------------------|-------|---------|
| nó | sistema | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 3 | global | -0.00 | 17.56 | 0.00 |
| 13 | global | -0.00 | 11.09 | -0.00 |

| | | | |
|------------|------|-------|--------|
| Resultante | 0.00 | 28.66 | 284.52 |
|------------|------|-------|--------|

NOTA:

O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força | força | momento |
|--|-------|--------|---------|
| | x | y | z |
| | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | esforços | | nas barras | | momento fletor |
|-------|----------|----|--------------|----------------|----------------|
| | sistema | nó | força normal | força cortante | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | -0.61 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | 3.40 | -3.01 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -3.40 | 3.01 |
| | | 3 | 0.00 | 6.18 | -10.19 |
| 3 | local | 3 | 0.00 | 11.38 | 10.19 |
| | | 4 | 0.00 | -8.53 | 7.44 |
| 4 | local | 4 | 0.00 | 8.53 | -7.44 |
| | | 5 | 0.00 | -6.54 | 20.93 |
| 5 | local | 5 | 0.00 | 6.54 | -20.93 |
| | | 6 | 0.00 | -4.54 | 30.84 |
| 6 | local | 6 | 0.00 | 4.54 | -30.84 |
| | | 7 | 0.00 | -2.55 | 37.19 |
| 7 | local | 7 | 0.00 | 2.55 | -37.19 |
| | | 8 | 0.00 | -0.56 | 39.98 |
| 8 | local | 8 | 0.00 | 0.56 | -39.98 |
| | | 9 | 0.00 | 1.43 | 39.19 |
| 9 | local | 9 | 0.00 | -1.43 | -39.19 |
| | | 10 | 0.00 | 3.43 | 34.85 |
| 10 | local | 10 | 0.00 | -3.43 | -34.85 |
| | | 11 | 0.00 | 5.42 | 26.93 |
| 11 | local | 11 | 0.00 | -5.42 | -26.93 |
| | | 12 | 0.00 | 7.41 | 15.45 |
| 12 | local | 12 | 0.00 | -7.41 | -15.45 |
| | | 13 | 0.00 | 10.07 | -0.00 |

c a r r e g a m e n t o 2

=====

Título : Laje + Transversina (g2) - Viga Central

| d e s l o c a m e n t o s n o d a i s | | | | |
|---------------------------------------|---------|---------------|----------------|----------------|
| no | sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00000E+0000 | 1.91596E-0003 | -6.27810E-0004 |
| 2 | global | 0.00000E+0000 | 9.79431E-0004 | -6.42184E-0004 |
| 3 | global | 0.00000E+0000 | -2.54941E-0030 | -6.93878E-0004 |
| 4 | global | 0.00000E+0000 | -1.32355E-0003 | -7.24230E-0004 |
| 5 | global | 0.00000E+0000 | -2.59893E-0003 | -6.51711E-0004 |
| 6 | global | 0.00000E+0000 | -3.66156E-0003 | -4.98176E-0004 |
| 7 | global | 0.00000E+0000 | -4.38596E-0003 | -2.85480E-0004 |
| 8 | global | 0.00000E+0000 | -4.68582E-0003 | -3.54794E-0005 |
| 9 | global | 0.00000E+0000 | -4.51351E-0003 | 2.23429E-0004 |
| 10 | global | 0.00000E+0000 | -3.88477E-0003 | 4.62846E-0004 |
| 11 | global | 0.00000E+0000 | -2.85404E-0003 | 6.60918E-0004 |
| 12 | global | 0.00000E+0000 | -1.51488E-0003 | 7.95788E-0004 |
| 13 | global | 0.00000E+0000 | -1.49980E-0030 | 8.45601E-0004 |

| r e a ç õ e s n o s a p o i o s | | | | |
|---------------------------------|---------|-------|-------|---------|
| nó | sistema | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 3 | global | -0.00 | 22.56 | 0.00 |
| 13 | global | -0.00 | 13.27 | -0.00 |

| | | | |
|------------|------|-------|--------|
| Resultante | 0.00 | 35.83 | 345.07 |
|------------|------|-------|--------|

NOTA:

O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| d i f e r e n ç a d e e q u i l í b r i o | | | |
|---|-------|--------|---------|
| (o e q u i l í b r i o d e m o m e n t o é f e i t o e m r e l a ç ã o à o r i g e m) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| e s f o r ç o s n a s b a r r a s | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|----|--------------|----------------|----------------|--|
| barra | sistema | nó | força normal | força cortante | momento fletor | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | -3.78 | -0.00 | |
| | | 2 | 0.00 | 5.77 | -7.16 | |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -5.77 | 7.16 | |
| | | 3 | 0.00 | 7.75 | -17.30 | |
| 3 | local | 3 | 0.00 | 13.54 | 17.30 | |
| | | 4 | 0.00 | -11.16 | 4.80 | |
| 4 | local | 4 | 0.00 | 11.16 | -4.80 | |
| | | 5 | 0.00 | -8.79 | 22.66 | |
| 5 | local | 5 | 0.00 | 8.79 | -22.66 | |
| | | 6 | 0.00 | -6.42 | 36.28 | |
| 6 | local | 6 | 0.00 | 6.42 | -36.28 | |
| | | 7 | 0.00 | -4.05 | 45.65 | |
| 7 | local | 7 | 0.00 | 4.05 | -45.65 | |

| | | | | | |
|----|-------|----|------|-------|--------|
| | | 8 | 0.00 | -1.68 | 50.77 |
| 8 | local | 8 | 0.00 | 0.26 | -50.77 |
| | | 9 | 0.00 | 2.12 | 49.11 |
| 9 | local | 9 | 0.00 | -2.12 | -49.11 |
| | | 10 | 0.00 | 4.49 | 43.20 |
| 10 | local | 10 | 0.00 | -4.49 | -43.20 |
| | | 11 | 0.00 | 6.86 | 33.04 |
| 11 | local | 11 | 0.00 | -6.86 | -33.04 |
| | | 12 | 0.00 | 9.23 | 18.65 |
| 12 | local | 12 | 0.00 | -9.23 | -18.65 |
| | | 13 | 0.00 | 11.60 | 0.00 |

Fim Do Programa

```

Portico plano Ponte de 21,25 m - Viga Central - G3
coordenadas dos nos
1  0.000 0.00
2  1.500 0.00
3  3.000 0.00
4  4.790 0.00
5  6.580 0.00
6  8.370 0.00
7  10.160 0.00
8  11.950 0.00
9  13.740 0.00
10 15.530 0.00
11 17.320 0.00
12 19.110 0.00
13 20.900 0.00
0
condicoes de contorno
3  110
13 010
0
tipos de material
1  3.19e6  0.2  1.0e-5  2.5
0
tipos de secao
1  0.97500  0.97500  0.2520
0
propriedades dos elementos
1  1  2  1  1
2  2  3  1  1
3  3  4  1  1
4  4  5  1  1
5  5  6  1  1
6  6  7  1  1
7  7  8  1  1
8  8  9  1  1
9  9  10 1  1
10 10 11 1  1
11 11 12 1  1
12 12 13 1  1
0
numero de carregamentos 1
carregamento 1 Sobrecarga Permanente (G3) - Viga Central
cargas nodais
1 py -1.86
13 py -0.13
0
cargas nos elementos
1 u 0.0 0.0 wya -0.445 g 11 1
0
fim
    
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Ponte de 21,25 m - Viga Central - G3

 DATA : 17/12/2005(sábado)
 HORA : 20:04:49
 ARQUIVO DE DADOS : vc_3,00+18,25_g3.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| c o o r d e n a d a s n o d a i s | | | | | |
|-----------------------------------|---------|------------|------------|------------|--|
| nó | sistema | coordenada | coordenada | coordenada | |
| | | x | y | z | |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 2 | global | 1.50E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 3 | global | 3.00E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 4 | global | 4.79E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 5 | global | 6.58E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 6 | global | 8.37E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 7 | global | 1.01E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 8 | global | 1.19E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 9 | global | 1.37E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 10 | global | 1.55E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 11 | global | 1.73E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 12 | global | 1.91E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |
| 13 | global | 2.09E+0001 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 | |

número de nós 13

| r e s t r i ç õ e s n o d a i s | | | | |
|---------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| constante de mola | | | | |
| nó | código | transl. x | transl. y | rotação z |
| 3 | 110 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 13 | 010 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| p r o p r i e d a d e s d o s e l e m e n t o s | | | | | |
|---|----------|-------|------------|----------|-------------|
| barra | material | seção | nó inicial | nó final | comprimento |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1.50E+0000 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1.50E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1.79E+0000 |
| 4 | 1 | 1 | 4 | 5 | 1.79E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 5 | 6 | 1.79E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 6 | 7 | 1.79E+0000 |
| 7 | 1 | 1 | 7 | 8 | 1.79E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 8 | 9 | 1.79E+0000 |
| 9 | 1 | 1 | 9 | 10 | 1.79E+0000 |
| 10 | 1 | 1 | 10 | 11 | 1.79E+0000 |

```

11      1      1      11      12  1.79E+0000
12      1      1      12      13  1.79E+0000
    
```

número de elementos 12

propriedades dos materiais

material : 1

```

M. Elasticidade ..... 3.190E+0006
M. E. Transversal ... 1.329E+0006
C. Poisson ..... 2.000E-0001
C. D. Térmica ..... 1.000E-0005
P. Específico ..... 2.500E+0000
    
```

número de tipos de material 1

propriedades das seções

```

tipo   área x   área y   inércia z
1  9.75E-0001  9.75E-0001  2.52E-0001
    
```

módulos de flexão

```

tipo   wz
1  1.00E+0000
    
```

número de tipos seções 1

carregamento 1 - Sobrecarga Permanente (G3) - Viga Centra

```

cargas nodais
nó   sistema   força x   força y   momento z
1    global    0.00    -1.86    0.00
13   global    0.00    -0.13    0.00
    
```

cargas aplicadas nas barras

```

barra sistema tipo   la   lb   px   py   mz   wyb
      t      fl   f2   wxa  wxb  wya
      f3   p
1  local  U   0.00  1.50  0.0E+0000  -4.5E-0001
2  local  U   0.00  1.50  0.0E+0000  -4.5E-0001
3  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
4  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
5  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
6  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
7  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
8  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
9  local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
10 local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
11 local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
12 local  U   0.00  1.79  0.0E+0000  -4.5E-0001
    
```

fim do carregamento 1
número de carregamentos 1

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 1.0E+0001
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 9

c a r r e g a m e n t o 1
 =====

Título : Sobrecarga Permanente (G3) - Viga Central

| deslocamentos nodais | | | | | |
|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------|--|
| no | sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | | x | y | z | |
| 1 | global | 0.00000E+0000 | 1.94761E-0004 | -6.27771E-0005 | |
| 2 | global | 0.00000E+0000 | 1.01715E-0004 | -6.56914E-0005 | |
| 3 | global | 0.00000E+0000 | -3.87275E-0031 | -7.56801E-0005 | |
| 4 | global | 0.00000E+0000 | -1.51112E-0004 | -8.43118E-0005 | |
| 5 | global | 0.00000E+0000 | -3.03223E-0004 | -7.85556E-0005 | |
| 6 | global | 0.00000E+0000 | -4.33422E-0004 | -6.15863E-0005 | |
| 7 | global | 0.00000E+0000 | -5.24477E-0004 | -3.65788E-0005 | |
| 8 | global | 0.00000E+0000 | -5.64843E-0004 | -6.70811E-0006 | |
| 9 | global | 0.00000E+0000 | -5.48655E-0004 | 2.48510E-0005 | |
| 10 | global | 0.00000E+0000 | -4.75733E-0004 | 5.49236E-0005 | |
| 11 | global | 0.00000E+0000 | -3.51579E-0004 | 8.03349E-0005 | |
| 12 | global | 0.00000E+0000 | -1.87379E-0004 | 9.79099E-0005 | |
| 13 | global | 0.00000E+0000 | -1.87955E-0031 | 1.04473E-0004 | |

| reações nos apoios | | | | |
|--------------------|---------|-------|-------|---------|
| nó | sistema | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 3 | global | -0.00 | 7.60 | 0.00 |
| 13 | global | -0.00 | 3.69 | -0.00 |
| Resultante | | 0.00 | 11.29 | 99.91 |

NOTA:

O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio | | | |
|---|-------|-------|---------|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

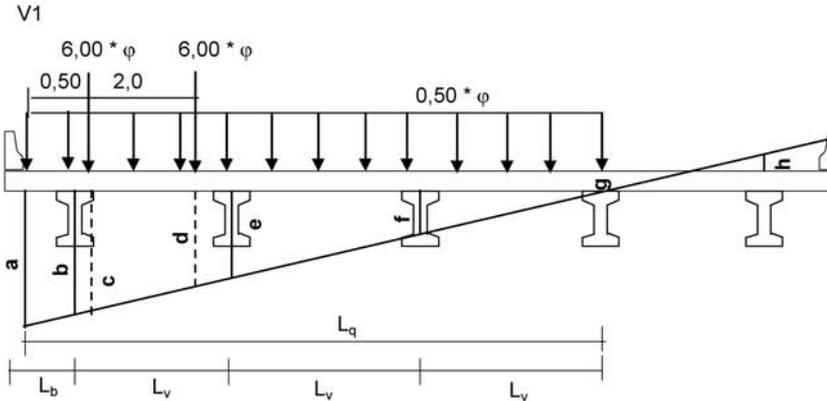
| esforços nas barras | | | | | | |
|---------------------|---------|----|--------|----------|---------|--|
| barra | sistema | nó | força | força | momento | |
| | | | normal | cortante | fletor | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | -1.86 | 0.00 | |
| | | 2 | 0.00 | 2.53 | -3.29 | |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -2.53 | 3.29 | |
| | | 3 | 0.00 | 3.19 | -7.58 | |
| 3 | local | 3 | 0.00 | 4.41 | 7.58 | |
| | | 4 | 0.00 | -3.61 | -0.41 | |
| 4 | local | 4 | 0.00 | 3.61 | 0.41 | |

| | | | | | |
|----|-------|----|------|-------|--------|
| | | 5 | 0.00 | -2.81 | 5.34 |
| 5 | local | 5 | 0.00 | 2.81 | -5.34 |
| | | 6 | 0.00 | -2.02 | 9.66 |
| 6 | local | 6 | 0.00 | 2.02 | -9.66 |
| | | 7 | 0.00 | -1.22 | 12.56 |
| 7 | local | 7 | 0.00 | 1.22 | -12.56 |
| | | 8 | 0.00 | -0.42 | 14.03 |
| 8 | local | 8 | 0.00 | 0.42 | -14.03 |
| | | 9 | 0.00 | 0.37 | 14.08 |
| 9 | local | 9 | 0.00 | -0.37 | -14.08 |
| | | 10 | 0.00 | 1.17 | 12.70 |
| 10 | local | 10 | 0.00 | -1.17 | -12.70 |
| | | 11 | 0.00 | 1.97 | 9.89 |
| 11 | local | 11 | 0.00 | -1.97 | -9.89 |
| | | 12 | 0.00 | 2.76 | 5.66 |
| 12 | local | 12 | 0.00 | -2.76 | -5.66 |
| | | 13 | 0.00 | 3.56 | -0.00 |

Fim Do Programa

4 - Cálculo Esforços de Carga Móvel

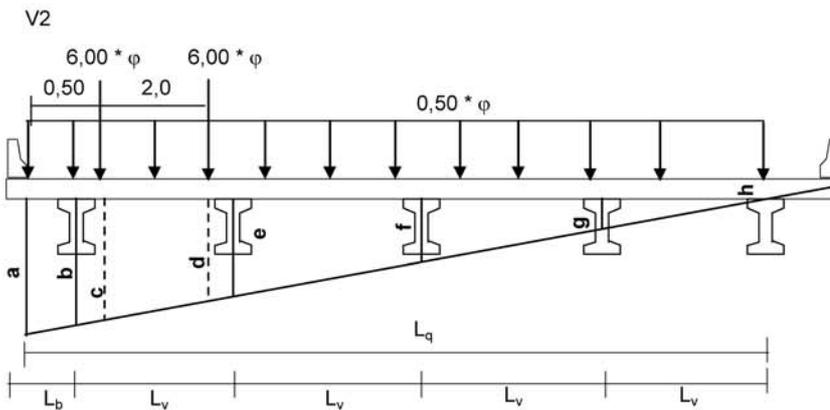
4.1 - Distribuição transversal do trem-tipo para obtenção do trem-tipo longitudinal



L_b (m) = 1.20 Vão (m) = 17.9
 L_v (m) = 2.65 φ = 1.275

a = 0.660 c = 0.623 e = 0.400 g = 0.000
 b = 0.600 d = 0.472 f = 0.200 L_q (m) = 8.750

$P = 6 * \varphi * (c + d)$ P (tf) = 8.370
 $q = 0,50 * \varphi * (a * L_q) / 2$ q (tf/m) = 1.841



a = 0.430 c = 0.411 e = 0.300 g = 0.100
 b = 0.400 d = 0.336 f = 0.200 h = 0.000

L_q (m) = 11.40

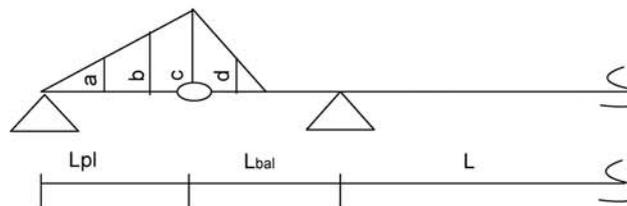
$P = 6 * \varphi * (c + d)$ P (tf) = 5.715
 $q = 0,50 * \varphi * (a * L_q) / 2$ q (tf/m) = 1.563

4.2 - Esforços internos devido ao carregamento do trem-tipo longitudinal

$L_{pl} \text{ (m)} = 3.000$ $L \text{ (m)} = 17.900$
 $L_{bal} \text{ (m)} = 3.000$

Linha de Influência Momento Fletor

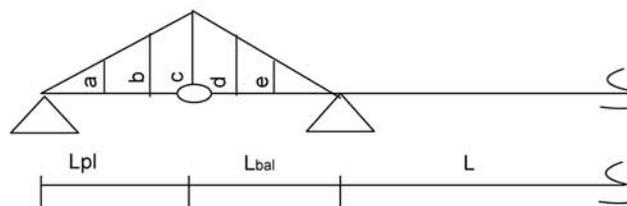
LI Momento S1/2 balanço



| | |
|---|-------------|
| $a = (L_{pl} - 3,00) * (c / L_{pl})$ | $a = 0,000$ |
| $b = (L_{pl} - 1,50) * (c / L_{pl})$ | $b = 0,750$ |
| $c = 0,50 * L_{bal}$ | $c = 1,500$ |
| $d = (0,5 * L_{bal} - 1,50) * [c / (0,50 * L_{bal})]$ | $d = 0,000$ |

$M_{1/2_min} = -p * [c * (L_{pl} + 0,50 * L_{bal}) * 0,50] - P * \text{maior} (a + b + c; b + c + d)$
 $M_{1/2_max} = 0$

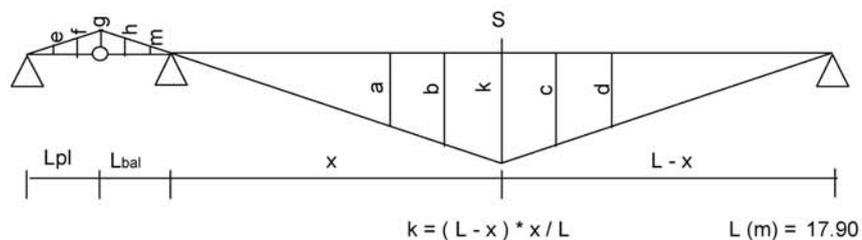
LI Momento S0



| | |
|--|-------------|
| $a = (L_{pl} - 3,00) * (c / L_{pl})$ | $a = 0,000$ |
| $b = (L_{pl} - 1,50) * (c / L_{pl})$ | $b = 1,500$ |
| $c = L_{bal}$ | $c = 3,000$ |
| $d = (L_{bal} - 1,50) * (c / L_{bal})$ | $d = 1,500$ |
| $e = (L_{bal} - 3,00) * (c / L_{bal})$ | $e = 0,000$ |

$M_{S0_min} = -p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) * 0,50] - P * [c + \text{maior} (a + b; b + d; d + e)]$
 $M_{S0_max} = 0$

LI Momento S1 a S10



$$a = (x - 3,0) * (L - x) / L$$

$$b = (x - 1,5) * (L - x) / L$$

$$c = [(L - x) - 1,5] * k / (L - x)$$

$$d = [(L - x) - 3,0] * k / (L - x)$$

$$e = (L_{pl} - 3,00) * (g / L_{pl})$$

$$f = (L_{pl} - 1,50) * (g / L_{pl})$$

$$g = L_{bal} * (k / x)$$

$$h = (L_{bal} - 1,50) * (g / L_{bal})$$

$$m = (L_{bal} - 3,00) * (g / L_{bal})$$

| Seção | x (m) | k | a | b | c | d |
|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| S1 | 1.79 | 1.611 | -1.089 | 0.261 | 1.461 | 1.311 |
| S2 | 3.58 | 2.864 | 0.464 | 1.664 | 2.564 | 2.264 |
| S3 | 5.37 | 3.759 | 1.659 | 2.709 | 3.309 | 2.859 |
| S4 | 7.16 | 4.296 | 2.496 | 3.396 | 3.696 | 3.096 |
| S5 | 8.95 | 4.475 | 2.975 | 3.725 | 3.725 | 2.975 |
| S6 | 10.74 | 4.296 | 3.096 | 3.696 | 3.396 | 2.496 |
| S7 | 12.53 | 3.759 | 2.859 | 3.309 | 2.709 | 1.659 |
| S8 | 14.32 | 2.864 | 2.264 | 2.564 | 1.664 | 0.464 |
| S9 | 16.11 | 1.611 | 1.311 | 1.461 | 0.261 | -1.089 |
| S10 | 17.90 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

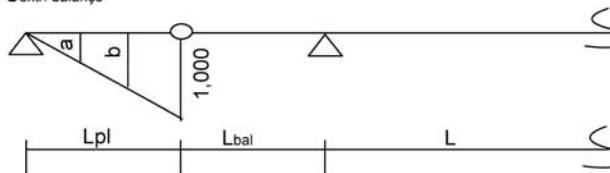
$$M_{max} = P * [k + \text{maior}(a + b; b + c; c + d)] + p * (L * k / 2)$$

| Seção | x (m) | e | f | g | h | m |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 1.79 | 0.000 | 1.350 | 2.700 | 1.350 | 0.000 |
| S2 | 3.58 | 0.000 | 1.200 | 2.400 | 1.200 | 0.000 |
| S3 | 5.37 | 0.000 | 1.050 | 2.100 | 1.050 | 0.000 |
| S4 | 7.16 | 0.000 | 0.900 | 1.800 | 0.900 | 0.000 |
| S5 | 8.95 | 0.000 | 0.750 | 1.500 | 0.750 | 0.000 |
| S6 | 10.74 | 0.000 | 0.600 | 1.200 | 0.600 | 0.000 |
| S7 | 12.53 | 0.000 | 0.450 | 0.900 | 0.450 | 0.000 |
| S8 | 14.32 | 0.000 | 0.300 | 0.600 | 0.300 | 0.000 |
| S9 | 16.11 | 0.000 | 0.150 | 0.300 | 0.150 | 0.000 |
| S10 | 17.90 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

$$M_{min} = - P * [\text{maior}(e + f + g; f + g + h; g + h + m)] - p * [(L_{pl} + L_{bal}) * g / 2]$$

Linha de Influência de Esforço Cortante

LI Cortante $S_{extr. balanço}$



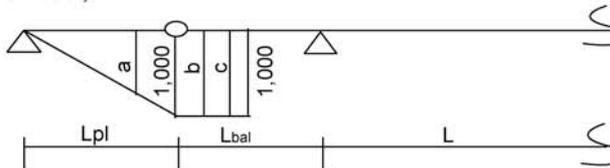
$$a = (L_{pl} - 3,00) / L_{pl} \quad a = 0,000$$

$$b = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl} \quad b = 0,500$$

$$Q_{extr_max} = p * L_{pl} / 2 + P * (a + b + 1,000)$$

$$Q_{extr_min} = 0$$

LI Cortante S_{1/2}. balanço



$$a = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl}$$

$$a = 0.500$$

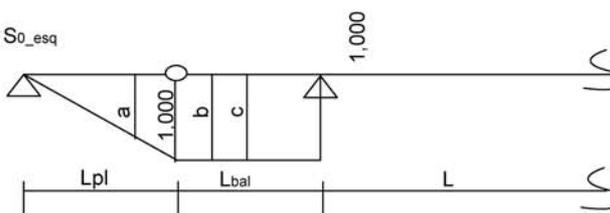
$$b = 0.000$$

$$c = 0.000$$

$$Q_{1/2bal_max} = p * (L_{pl} / 2 + L_{bal} / 2) + P * [1,000 + \text{maior}(a + b; b + c)]$$

$$Q_{1/2bal_min} = 0$$

LI Cortante S₀_esq



$$a = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl}$$

$$a = 0.500$$

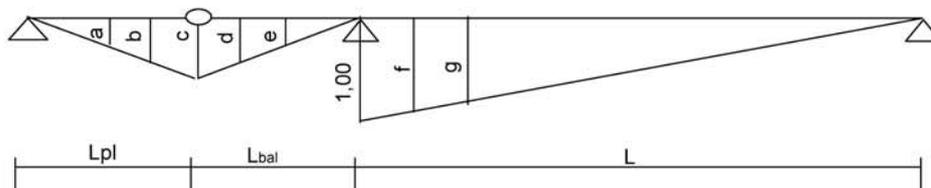
$$b = 0.000$$

$$c = 0.000$$

$$QS_{0esq_max} = p * (L_{pl} / 2 + L_{bal}) + P * [1,000 + \text{maior}(a + b; b + c)]$$

$$QS_{0esq_min} = 0$$

LI Cortante S₀_dir



$$a = (L_{pl} - 3,00) * c / L_{pl}$$

$$a = 0.000$$

$$b = (L_{pl} - 1,50) * c / L_{pl}$$

$$b = 0.084$$

$$c = L_{bal} * (1 / L)$$

$$c = 0.168$$

$$d = (L_{bal} - 1,50) * (c / L_{bal})$$

$$d = 0.084$$

$$e = (L_{bal} - 3,00) * (c / L_{bal})$$

$$e = 0.000$$

$$f = (L - 1,50) * (1,000 / L)$$

$$f = 0.916$$

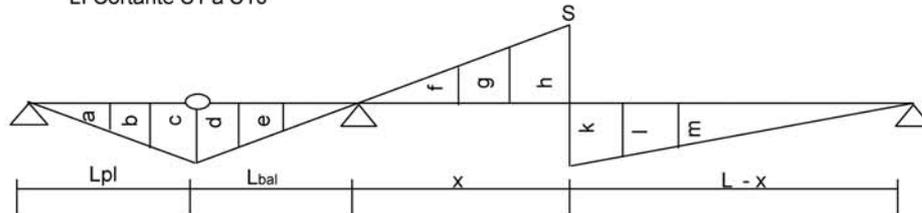
$$g = (L - 3,00) * (1,000 / L)$$

$$g = 0.832$$

$$QS_{0dir_max} = p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + 1,000 * L / 2] + P * [\text{maior}(a + b + c; b + c + d; c + d + e; 1,000 + f + g)]$$

$$QS_{0dir_min} = 0$$

LI Cortante S1 a S10



$$\begin{aligned}
 a &= (L_{pl} - 3,00) * c / L_{pl} & e &= (L_{bal} - 3,00) * c / L_{bal} & k &= (L - x) / L \\
 b &= (L_{pl} - 1,50) * c / L_{pl} & f &= (x - 3,00) * h / x & l &= (L - x - 1,50) * k / (L - x) \\
 c &= L_{bal} * h / x & g &= (x - 1,5) * h / x & m &= (L - x - 3,00) * k / (L - x) \\
 d &= (L_{bal} - 1,50) * c / L_{bal} & h &= x / L
 \end{aligned}$$

$L (m) = 17.900$

$L_{pl} (m) = 3.000$
 $L_{bal} (m) = 3.000$

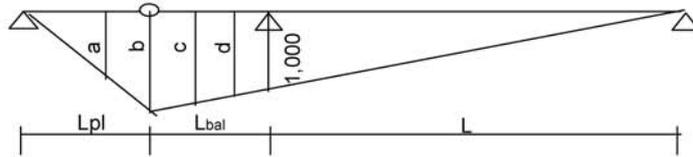
| Seção | x (m) | a | b | c | d | e | k | l | m |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| S1 | 1.79 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.900 | 0.816 | 0.732 |
| S2 | 3.58 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.800 | 0.716 | 0.632 |
| S3 | 5.37 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.700 | 0.616 | 0.532 |
| S4 | 7.16 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.600 | 0.516 | 0.432 |
| S5 | 8.95 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.500 | 0.416 | 0.332 |
| S6 | 10.74 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.400 | 0.316 | 0.232 |
| S7 | 12.53 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.300 | 0.216 | 0.132 |
| S8 | 14.32 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.200 | 0.116 | 0.032 |
| S9 | 16.11 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.100 | 0.016 | -0.068 |
| S10 | 17.90 | 0.000 | 0.084 | 0.168 | 0.084 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

$Q_{max} = P * [maior (a + b + c ; b + c + d ; c + d + e ; k + l + m)] + p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + k * (L - x) / 2]$

| Seção | x (m) | f | g | h |
|-------|-------|--------|-------|-------|
| S1 | 1.79 | -0.068 | 0.016 | 0.100 |
| S2 | 3.58 | 0.032 | 0.116 | 0.200 |
| S3 | 5.37 | 0.132 | 0.216 | 0.300 |
| S4 | 7.16 | 0.232 | 0.316 | 0.400 |
| S5 | 8.95 | 0.332 | 0.416 | 0.500 |
| S6 | 10.74 | 0.432 | 0.516 | 0.600 |
| S7 | 12.53 | 0.532 | 0.616 | 0.700 |
| S8 | 14.32 | 0.632 | 0.716 | 0.800 |
| S9 | 16.11 | 0.732 | 0.816 | 0.900 |
| S10 | 17.90 | 0.832 | 0.916 | 1.000 |

$Q_{min} = - P * (f + g + h) - p * h * x / 2$

LI Reação de apoio



$$a = (L_{pl} - 1,50) * b / L_{pl} \quad a = 0.584$$

$$b = (L_{bal} + L) * (1 / L) \quad b = 1.168$$

$$c = (L_{bal} + L - 1,50) * (1 / L) \quad c = 1.084$$

$$d = (L_{bal} + L - 3,00) * (1 / L) \quad d = 1.000$$

$$R_{max} = p * [b * (L_{pl} + L_{bal} + L) / 2] + P * [\text{maior} (a + b + c ; b + c + d)]$$

$$R_{min} = 0$$

Esforços Viga V1

$$P \text{ (tf)} = 8.370$$

$$p \text{ (tf/m)} = 1.841$$

$$R_{max} \text{ (tf)} = 52.9$$

$$R_{min} \text{ (tf)} = 0.0$$

| Seção | Cortante | | Momento | |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Q+ (tf.m) | Q- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| SExtBal | 15.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 18.1 | 0.0 | 0.0 | -25.0 |
| S0 esq | 20.8 | 0.0 | 0.0 | -66.8 |
| S0 dir | 40.4 | 0.0 | 0.0 | -66.8 |
| S1 | 34.8 | -0.6 | 63.2 | -60.1 |
| S2 | 29.5 | -3.6 | 111.6 | -53.4 |
| S3 | 24.5 | -6.9 | 145.0 | -46.8 |
| S4 | 19.8 | -10.6 | 166.1 | -40.1 |
| S5 | 15.5 | -14.6 | 173.6 | -33.4 |
| S6 | 11.5 | -18.9 | 166.1 | -26.7 |
| S7 | 7.8 | -23.5 | 145.0 | -20.0 |
| S8 | 4.5 | -28.5 | 111.6 | -13.4 |
| S9 | 3.9 | -33.8 | 63.2 | -6.7 |
| S10 | 3.7 | -39.5 | 0.0 | 0.0 |

Tensões normais

$$\sigma_s = M / Ws_{corrente}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{corrente}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{corrente}$$

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Momento Máximo | | | Momento Mínimo | | |
|---------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 | -45 | -29 | 85 |
| 0 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 | -121 | -77 | 227 |
| 1 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 116 | 66 | -290 | -111 | -63 | 276 |
| 2 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 205 | 116 | -512 | -98 | -56 | 245 |
| 3 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 267 | 151 | -665 | -86 | -49 | 214 |
| 4 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 306 | 173 | -762 | -74 | -42 | 184 |
| 5 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 320 | 181 | -796 | -62 | -35 | 153 |
| 6 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 306 | 173 | -762 | -49 | -28 | 123 |
| 7 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 267 | 151 | -665 | -37 | -21 | 92 |
| 8 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 205 | 116 | -512 | -25 | -14 | 61 |
| 9 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 116 | 66 | -290 | -12 | -7 | 31 |
| 10 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Esforços Viga V2

$$P \text{ (tf)} = 5.715$$

$$p \text{ (tf/m)} = 1.563$$

$$R_{\max} \text{ (tf)} = 40.4$$

$$R_{\min} \text{ (tf)} = 0.0$$

| Seção | Cortante | | Momento | |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Q+ (tf.m) | Q- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| SExtBal | 10.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 13.3 | 0.0 | 0.0 | -18.1 |
| S0 esq | 15.6 | 0.0 | 0.0 | -48.4 |
| S0 dir | 30.5 | 0.0 | 0.0 | -48.4 |
| S1 | 26.1 | -0.4 | 47.6 | -43.5 |
| S2 | 22.0 | -2.6 | 84.0 | -38.7 |
| S3 | 18.2 | -5.0 | 109.3 | -33.8 |
| S4 | 14.7 | -7.7 | 125.2 | -29.0 |
| S5 | 11.4 | -10.6 | 130.7 | -24.2 |
| S6 | 8.4 | -13.9 | 125.2 | -19.3 |
| S7 | 5.8 | -17.4 | 109.3 | -14.5 |
| S8 | 3.3 | -21.2 | 84.0 | -9.7 |
| S9 | 2.8 | -25.3 | 47.6 | -4.8 |
| S10 | 2.7 | -29.7 | 0.0 | 0.0 |

Tensões normais

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Momento Máximo | | | Momento Mínimo | | |
|---------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0.573 | 0.905 | 0.296 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.573 | 0.905 | 0.296 | 0 | 0 | 0 | -32 | -20 | 61 |
| 0 | 0.573 | 0.905 | 0.296 | 0 | 0 | 0 | -84 | -53 | 163 |
| 1 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 85 | 47 | -217 | -78 | -43 | 199 |
| 2 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 150 | 83 | -384 | -69 | -38 | 177 |
| 3 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 195 | 108 | -499 | -60 | -34 | 155 |
| 4 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 223 | 124 | -572 | -52 | -29 | 132 |
| 5 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 233 | 130 | -597 | -43 | -24 | 110 |
| 6 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 223 | 124 | -572 | -34 | -19 | 88 |
| 7 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 195 | 108 | -499 | -26 | -14 | 66 |
| 8 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 150 | 83 | -384 | -17 | -10 | 44 |
| 9 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 85 | 47 | -217 | -9 | -5 | 22 |
| 10 | 0.561 | 1.008 | 0.219 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Esforços de Protensão

Os esforços de protensão foram obtidos com o uso do programa "VEPRO" cuja listagem encontra-se anexa. Os resumos dos esforços em cada etapa de protensão estão resumidos a seguir.

Primeira etapa de protensão

| Tempo T = 0 | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 188.6 | 24.7 | 13.4 |
| 0 esq | 198.2 | 3.5 | 43.3 |
| 0 dir | 198.2 | 0.0 | 43.3 |
| 1 | 203.2 | -20.7 | 29.7 |
| 2 | 206.8 | -41.5 | -37.0 |
| 3 | 215.1 | -23.3 | -107.1 |
| 4 | 215.6 | -7.7 | -137.2 |
| 5 | 213.1 | 0.0 | -139.9 |
| 6 | 212.2 | 0.0 | -139.3 |
| 7 | 211.2 | 0.0 | -138.7 |
| 8 | 204.6 | 17.8 | -124.2 |
| 9 | 201.6 | 23.5 | -82.4 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| Tempo T = ∞ | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 162.3 | 21.3 | 11.5 |
| 0 esq | 171.6 | 3.0 | 37.5 |
| 0 dir | 171.6 | 0.0 | 37.5 |
| 1 | 171.2 | -17.5 | 25.1 |
| 2 | 176.5 | -35.4 | -31.6 |
| 3 | 181.6 | -19.7 | -90.4 |
| 4 | 180.6 | -6.5 | -114.9 |
| 5 | 179.2 | 0.0 | -117.7 |
| 6 | 178.3 | 0.0 | -117.0 |
| 7 | 175.9 | 0.0 | -115.5 |
| 8 | 169.0 | 14.7 | -102.6 |
| 9 | 168.0 | 19.6 | -68.7 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

$$\sigma_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma'_s = N / S + M / W'_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Tempo T = 0 | | | | | | | |
|-------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 322 | 178 |
| 0 | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 487 | 22 |
| 1 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 639 | 256 |
| 2 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 238 | 715 |
| 3 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -174 | 1207 |
| 4 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -357 | 1412 |
| 5 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -379 | 1424 |
| 6 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -378 | 1418 |
| 7 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -376 | 1412 |
| 8 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -302 | 1299 |
| 9 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -52 | 1010 |
| 10 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 0 | 0 |

| Seção | S (m2) | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Tempo T = oo | | |
|---------|--------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m2) | σ'_s (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 277 | 153 |
| 0 | 0.743 | - | 0.197 | 0.177 | - | 421 | 19 |
| 1 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 539 | 215 |
| 2 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 203 | 610 |
| 3 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -147 | 1019 |
| 4 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -299 | 1182 |
| 5 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -319 | 1198 |
| 6 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -317 | 1191 |
| 7 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -313 | 1176 |
| 8 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -250 | 1073 |
| 9 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | -44 | 842 |
| 10 | 0.445 | - | 0.163 | 0.148 | - | 0 | 0 |

Segunda etapa de protensão

| Seção | Tempo T = 0 | | |
|---------|-------------|--------|----------|
| | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 68.4 | 3.6 | 12.7 |
| 0 esq | 69.7 | 0.6 | 17.8 |
| 0 dir | 69.7 | 0.0 | 17.8 |
| 1 | 70.2 | -1.2 | 9.7 |
| 2 | 72.5 | -11.5 | -0.2 |
| 3 | 73.2 | -21.0 | -31.6 |
| 4 | 71.2 | -2.5 | -59.3 |
| 5 | 70.4 | 0.0 | -66.3 |
| 6 | 70.0 | 0.0 | -66.0 |
| 7 | 69.7 | 0.0 | -65.7 |
| 8 | 65.9 | 10.4 | -54.9 |
| 9 | 63.1 | 15.7 | -27.9 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| Seção | Tempo T = oo | | |
|---------|--------------|--------|----------|
| | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 61.4 | 3.2 | 11.4 |
| 0 esq | 62.8 | 0.5 | 16.1 |
| 0 dir | 62.8 | 0.0 | 16.1 |
| 1 | 63.0 | -1.1 | 8.7 |
| 2 | 65.1 | -10.3 | -0.1 |
| 3 | 63.2 | -18.2 | -27.3 |
| 4 | 57.3 | -2.0 | -47.7 |
| 5 | 55.7 | 0.0 | -52.5 |
| 6 | 55.5 | 0.0 | -52.3 |
| 7 | 54.7 | 0.0 | -51.5 |
| 8 | 52.1 | 8.3 | -43.3 |
| 9 | 53.1 | 13.2 | -23.5 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

$$\sigma'_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Seção | S (m2) | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Tempo T = 0 | | |
|---------|--------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 78 | 69 | 12 |
| 0 | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 88 | 76 | -5 |
| 1 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 92 | 84 | 29 |
| 2 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 76 | 76 | 77 |
| 3 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 19 | 44 | 222 |
| 4 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -34 | 13 | 347 |
| 5 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -48 | 5 | 378 |
| 6 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -48 | 5 | 376 |
| 7 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -48 | 5 | 375 |
| 8 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -32 | 12 | 321 |
| 9 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 15 | 37 | 194 |
| 10 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 0 | 0 | 0 |

| Seção | S (m2) | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Tempo T = oo | | |
|---------|--------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 70 | 62 | 10 |
| 0 | 1.248 | 0.554 | 0.865 | 0.294 | 79 | 69 | -4 |
| 1 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 82 | 75 | 26 |
| 2 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 68 | 68 | 69 |
| 3 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 16 | 38 | 192 |
| 4 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -28 | 11 | 279 |
| 5 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -38 | 4 | 299 |
| 6 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -38 | 4 | 298 |
| 7 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -37 | 4 | 294 |
| 8 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | -25 | 10 | 253 |
| 9 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 13 | 31 | 164 |
| 10 | 0.95 | 0.543 | 0.961 | 0.218 | 0 | 0 | 0 |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

Viga de 21,25 m - Viga de Bordo - Primeira Protensao

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

17.90 3.00 .01

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 5.92 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| -1 | .743 | .130 | .197 | .177 | .734 |
| 0 | .743 | .130 | .197 | .177 | .734 |
| 1 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 2 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 3 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 4 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 5 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 6 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 7 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 8 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |
| 9 | .445 | .109 | .163 | .148 | .736 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C2

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.79 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .50 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | PERDAS APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|-------------------|
| -1 | 1.03 | 6.00 | 14153. | 11232. |
| 0 | 1.15 | 1.00 | 13796. | 11590. |
| 1 | 1.12 | -4.50 | 13526. | 11859. |
| 2 | .84 | -11.00 | 13089. | 12296. |
| 3 | .46 | -11.00 | 13031. | 12355. |

| | | | | |
|---|-----|-------|--------|--------|
| 4 | .14 | -6.00 | 12693. | 12693. |
| 5 | .08 | .00 | 12310. | 12310. |
| 6 | .08 | .00 | 12255. | 12255. |
| 7 | .08 | .00 | 12200. | 12200. |
| 8 | .19 | 9.00 | 11678. | 11678. |
| 9 | .51 | 10.00 | 11575. | 11575. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)

CABOS NUM. C3

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.79 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| -1 | .79 | 7.00 | 14122. | 10936. |
| 0 | .95 | 1.00 | 13706. | 11352. |
| 1 | .88 | -6.00 | 13350. | 11708. |
| 2 | .55 | -13.00 | 12891. | 12167. |
| 3 | .18 | -7.50 | 12529. | 12529. |
| 4 | .08 | .00 | 12072. | 12072. |
| 5 | .08 | .00 | 12018. | 12018. |
| 6 | .08 | .00 | 11964. | 11964. |
| 7 | .08 | .00 | 11911. | 11911. |
| 8 | .11 | 5.00 | 11602. | 11602. |
| 9 | .32 | 7.00 | 11449. | 11449. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 3 (1 CABOS)

CABOS NUM. C4

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.79 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .50 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| -1 | .58 | 9.50 | 14153. | 10525. |
| 0 | .75 | 1.00 | 13587. | 11091. |
| 1 | .64 | -7.00 | 13177. | 11502. |
| 2 | .27 | -10.00 | 12947. | 11731. |
| 3 | .08 | .00 | 12339. | 12339. |
| 4 | .08 | .00 | 12284. | 12284. |
| 5 | .08 | .00 | 12229. | 12229. |
| 6 | .08 | .00 | 12175. | 12175. |
| 7 | .08 | .00 | 12120. | 12120. |
| 8 | .09 | 1.00 | 12014. | 12014. |
| 9 | .16 | 3.00 | 11856. | 11856. |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSAO SUCESSIVA = 184.5 KG/CM2

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSAO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| -1 | .07 | 2.97 | 10714.2 |
| 0 | .22 | 3.00 | 11159.9 |
| 1 | .15 | 2.98 | 11505.4 |
| 2 | -.18 | 2.94 | 11879.7 |
| 3 | -.50 | 2.97 | 12223.1 |

1

| | | | |
|---|-------|------|---------|
| 4 | - .64 | 2.99 | 12164.4 |
| 5 | - .66 | 3.00 | 12001.0 |
| 6 | - .66 | 3.00 | 11946.6 |
| 7 | - .66 | 3.00 | 11892.5 |
| 8 | - .61 | 2.98 | 11580.4 |
| 9 | - .41 | 2.98 | 11442.9 |

ESFORÇOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 188.6 | 24.7 | 13.4 | 321.8 | 178.2 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 198.2 | 3.5 | 43.3 | 486.5 | 22.1 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | 203.2 | -20.7 | 29.7 | 639.2 | 255.8 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 206.8 | -41.5 | -37.0 | 237.6 | 714.9 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 215.1 | -23.3 | -107.1 | -173.7 | 1207.2 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 215.6 | -7.7 | -137.2 | -356.8 | 1411.3 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 213.1 | .0 | -139.9 | -379.5 | 1424.4 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 212.2 | .0 | -139.3 | -377.7 | 1417.9 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 211.2 | .0 | -138.7 | -376.0 | 1411.5 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | 204.6 | 17.8 | -124.2 | -302.1 | 1298.7 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | 201.6 | 23.5 | -82.4 | -52.4 | 1009.7 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | -15.0 | 17.0 | -59.0 | 65.0 | -7.0 | 22.0 | .0 | .0 | -29.0 | 85.0 |
| 0 | -52.0 | 58.0 | -132.0 | 147.0 | -17.0 | 51.0 | .0 | .0 | -77.0 | 227.0 |
| 1 | 46.0 | -50.0 | -28.0 | 31.0 | .0 | .0 | 66.0 | -290.0 | -63.0 | 276.0 |
| 2 | 128.0 | -141.0 | 79.0 | -87.0 | 13.0 | -55.0 | 116.0 | -512.0 | -56.0 | 245.0 |
| 3 | 189.0 | -208.0 | 161.0 | -177.0 | 22.0 | -97.0 | 151.0 | -665.0 | -49.0 | 214.0 |
| 4 | 228.0 | -251.0 | 218.0 | -240.0 | 28.0 | -124.0 | 173.0 | -762.0 | -42.0 | 184.0 |
| 5 | 245.0 | -270.0 | 250.0 | -275.0 | 31.0 | -138.0 | 181.0 | -796.0 | -35.0 | 153.0 |
| 6 | 240.0 | -265.0 | 250.0 | -275.0 | 31.0 | -138.0 | 173.0 | -762.0 | -28.0 | 123.0 |
| 7 | 214.0 | -235.0 | 225.0 | -247.0 | 28.0 | -124.0 | 151.0 | -665.0 | -21.0 | 92.0 |
| 8 | 165.0 | -182.0 | 175.0 | -192.0 | 22.0 | -96.0 | 116.0 | -512.0 | -14.0 | 61.0 |
| 9 | 95.0 | -104.0 | 100.0 | -110.0 | 13.0 | -55.0 | 66.0 | -290.0 | -7.0 | 31.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=0

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3)F1=P+G1
- F2=F1+G2
- F3=F2+G3
- F4=F3+I.QMAX
- F5=F3+I.QMIN

| SECAO | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|-------|---|--------|-------|-------|-------|-------|
| -1 | S | 306.8 | 247.8 | 240.8 | 240.8 | 211.8 |
| -1 | I | 195.2 | 260.2 | 282.2 | 282.2 | 367.2 |
| 0 | S | 434.5 | 302.5 | 285.5 | 285.5 | 208.5 |
| 0 | I | 80.1 | 227.1 | 278.1 | 278.1 | 505.1 |
| 1 | S | 685.2 | 657.2 | 657.2 | 723.2 | 594.2 |
| 1 | I | 205.8 | 236.8 | 236.8 | -53.2 | 512.8 |
| 2 | S | 365.6 | 444.6 | 457.6 | 573.6 | 401.6 |
| 2 | I | 573.9 | 486.9 | 431.9 | -80.1 | 676.9 |
| 3 | S | 15.3 | 176.3 | 198.3 | 349.3 | 149.3 |
| 3 | I | 999.2 | 822.2 | 725.2 | 60.2 | 939.2 |
| 4 | S | -128.8 | 89.2 | 117.2 | 290.2 | 75.2 |
| 4 | I | 1160.3 | 920.3 | 796.3 | 34.3 | 980.3 |
| 5 | S | -134.5 | 115.5 | 146.5 | 327.5 | 111.5 |

| | | | | | | |
|---|---|--------|-------|-------|-------|-------|
| 5 | I | 1154.4 | 879.4 | 741.4 | -54.6 | 894.4 |
| 6 | S | -137.7 | 112.3 | 143.3 | 316.3 | 115.3 |
| 6 | I | 1152.9 | 877.9 | 739.9 | -22.1 | 862.9 |
| 7 | S | -162.0 | 63.0 | 91.0 | 242.0 | 70.0 |
| 7 | I | 1176.5 | 929.5 | 805.5 | 140.5 | 897.5 |
| 8 | S | -137.1 | 37.9 | 59.9 | 175.9 | 45.9 |
| 8 | I | 1116.7 | 924.7 | 828.7 | 316.7 | 889.7 |
| 9 | S | 42.6 | 142.6 | 155.6 | 221.6 | 148.6 |
| 9 | I | 905.7 | 795.7 | 740.7 | 450.7 | 771.7 |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
| -1 | 503.5 | 360.2 | 630.0 | 1493.7 | 9220.6 |
| 0 | 498.1 | 373.7 | 630.0 | 1501.8 | 9658.1 |
| 1 | 487.1 | 694.4 | 630.0 | 1811.5 | 9693.8 |
| 2 | 486.2 | 632.7 | 630.0 | 1748.9 | 10130.9 |
| 3 | 458.1 | 844.3 | 630.0 | 1932.5 | 10290.7 |
| 4 | 439.5 | 943.7 | 630.0 | 2013.2 | 10151.2 |
| 5 | 436.4 | 886.3 | 630.0 | 1952.7 | 10048.3 |
| 6 | 436.4 | 884.4 | 630.0 | 1950.8 | 9995.8 |
| 7 | 436.4 | 956.8 | 630.0 | 2023.2 | 9869.3 |
| 8 | 443.8 | 965.7 | 630.0 | 2039.5 | 9540.9 |
| 9 | 468.1 | 817.0 | 630.0 | 1915.0 | 9527.9 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 162.3 | 21.3 | 11.5 | 276.9 | 153.3 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 171.5 | 3.0 | 37.5 | 421.0 | 19.1 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 171.2 | -17.5 | 25.1 | 538.5 | 215.5 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 176.4 | -35.4 | -31.6 | 202.7 | 609.7 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 181.1 | -19.6 | -90.2 | -146.2 | 1016.3 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 180.0 | -6.5 | -114.5 | -297.8 | 1177.7 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 178.5 | .0 | -117.2 | -317.7 | 1192.6 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 177.5 | .0 | -116.5 | -316.1 | 1186.4 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 175.3 | .0 | -115.1 | -312.1 | 1171.4 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | 168.5 | 14.6 | -102.3 | -248.9 | 1070.0 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | 167.9 | 19.5 | -68.6 | -43.6 | 840.7 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | -15.0 | 17.0 | -59.0 | 65.0 | -7.0 | 22.0 | .0 | .0 | -29.0 | 85.0 |
| 0 | -52.0 | 58.0 | -132.0 | 147.0 | -17.0 | 51.0 | .0 | .0 | -77.0 | 227.0 |
| 1 | 46.0 | -50.0 | -28.0 | 31.0 | .0 | .0 | 66.0 | -290.0 | -63.0 | 276.0 |
| 2 | 128.0 | -141.0 | 79.0 | -87.0 | 13.0 | -55.0 | 116.0 | -512.0 | -56.0 | 245.0 |
| 3 | 189.0 | -208.0 | 161.0 | -177.0 | 22.0 | -97.0 | 151.0 | -665.0 | -49.0 | 214.0 |
| 4 | 228.0 | -251.0 | 218.0 | -240.0 | 28.0 | -124.0 | 173.0 | -762.0 | -42.0 | 184.0 |
| 5 | 245.0 | -270.0 | 250.0 | -275.0 | 31.0 | -138.0 | 181.0 | -796.0 | -35.0 | 153.0 |
| 6 | 240.0 | -265.0 | 250.0 | -275.0 | 31.0 | -138.0 | 173.0 | -762.0 | -28.0 | 123.0 |
| 7 | 214.0 | -235.0 | 225.0 | -247.0 | 28.0 | -124.0 | 151.0 | -665.0 | -21.0 | 92.0 |
| 8 | 165.0 | -182.0 | 175.0 | -192.0 | 22.0 | -96.0 | 116.0 | -512.0 | -14.0 | 61.0 |
| 9 | 95.0 | -104.0 | 100.0 | -110.0 | 13.0 | -55.0 | 66.0 | -290.0 | -7.0 | 31.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

=====

TEMPO T=INFINITO

NOTAS :

1) TENSÕES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
 2) COMPRESSÃO = + / TRACÃO = -
 3) F1=P+G1
 F2=F1+G2
 F3=F2+G3
 F4=F3+I.QMAX
 F5=F3+I.QMIN

| SECAO | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|-------|---|-------|-------|-------|--------|-------|
| -1 | S | 261.9 | 202.9 | 195.9 | 195.9 | 166.9 |
| -1 | I | 170.3 | 235.3 | 257.3 | 257.3 | 342.3 |
| 0 | S | 369.0 | 237.0 | 220.0 | 220.0 | 143.0 |
| 0 | I | 77.1 | 224.1 | 275.1 | 275.1 | 502.1 |
| 1 | S | 584.5 | 556.5 | 556.5 | 622.5 | 493.5 |
| 1 | I | 165.5 | 196.5 | 196.5 | -93.5 | 472.5 |
| 2 | S | 330.7 | 409.7 | 422.7 | 538.7 | 366.7 |
| 2 | I | 468.7 | 381.7 | 326.7 | -185.3 | 571.7 |
| 3 | S | 42.8 | 203.8 | 225.8 | 376.8 | 176.8 |
| 3 | I | 808.3 | 631.3 | 534.3 | -130.7 | 748.3 |
| 4 | S | -69.8 | 148.2 | 176.2 | 349.2 | 134.2 |
| 4 | I | 926.7 | 686.7 | 562.7 | -199.3 | 746.7 |
| 5 | S | -72.7 | 177.3 | 208.3 | 389.3 | 173.3 |
| 5 | I | 922.6 | 647.6 | 509.6 | -286.4 | 662.6 |
| 6 | S | -76.1 | 173.9 | 204.9 | 377.9 | 176.9 |
| 6 | I | 921.4 | 646.4 | 508.4 | -253.6 | 631.4 |
| 7 | S | -98.1 | 126.9 | 154.9 | 305.9 | 133.9 |
| 7 | I | 936.4 | 689.4 | 565.4 | -99.6 | 657.4 |
| 8 | S | -83.9 | 91.1 | 113.1 | 229.1 | 99.1 |
| 8 | I | 888.0 | 696.0 | 600.0 | 88.0 | 661.0 |
| 9 | S | 51.4 | 151.4 | 164.4 | 230.4 | 157.4 |
| 9 | I | 736.7 | 626.7 | 571.7 | 281.7 | 602.7 |

1

ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)

=====

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 133. | 0. | 133. |
| 2 | 130. | 0. | 130. |
| 3 | 132. | 0. | 132. |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

Viga de 21,25 m - Viga de Bordo - Segunda Protensao

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

17.90 3.00 .01

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 2.96 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| -1 | 1.248 | .307 | .865 | .294 | 1.044 |
| 0 | 1.248 | .307 | .865 | .294 | 1.044 |
| 1 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 2 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 3 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 4 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 5 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 6 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 7 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 8 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |
| 9 | .950 | .249 | .961 | .218 | 1.142 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C1-A

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.79 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| -1 | 1.23 | 3.00 | 14184. | 11595. |
| 0 | 1.30 | .50 | 13978. | 11801. |
| 1 | 1.28 | -1.00 | 13885. | 11894. |
| 2 | 1.14 | -9.00 | 13349. | 12430. |
| 3 | .71 | -16.00 | 12890. | 12890. |

| | | | | |
|---|-----|-------|--------|--------|
| 4 | .31 | -2.00 | 12072. | 12072. |
| 5 | .20 | .00 | 11913. | 11913. |
| 6 | .20 | .00 | 11860. | 11860. |
| 7 | .20 | .00 | 11807. | 11807. |
| 8 | .31 | 9.00 | 11302. | 11302. |
| 9 | .70 | 14.00 | 11008. | 11008. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)

CABOS NUM. C1-B

ANCORAGENS VIVA-MORTA (CODIGO-1)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.79 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 9

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS ANTES DA CRAV. | P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|------------------------------------|---------------------|
| -1 | 1.23 | 3.00 | 14184. | 11595. |
| 0 | 1.30 | .50 | 13978. | 11801. |
| 1 | 1.28 | -1.00 | 13885. | 11894. |
| 2 | 1.14 | -9.00 | 13349. | 12430. |
| 3 | .71 | -16.00 | 12890. | 12890. |
| 4 | .31 | -2.00 | 12072. | 12072. |
| 5 | .20 | .00 | 11913. | 11913. |
| 6 | .20 | .00 | 11860. | 11860. |
| 7 | .20 | .00 | 11807. | 11807. |
| 8 | .31 | 9.00 | 11302. | 11302. |
| 9 | .70 | 14.00 | 11008. | 11008. |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSAO SUCESSIVA = 29.1 KG/CM2

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSAO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| -1 | .19 | 2.00 | 11565.7 |
| 0 | .26 | 2.00 | 11772.1 |
| 1 | .14 | 2.00 | 11864.9 |
| 2 | -.00 | 1.98 | 12401.0 |
| 3 | -.43 | 1.92 | 12860.4 |
| 4 | -.83 | 2.00 | 12042.5 |
| 5 | -.94 | 2.00 | 11884.1 |
| 6 | -.94 | 2.00 | 11830.9 |
| 7 | -.94 | 2.00 | 11778.0 |
| 8 | -.83 | 1.98 | 11272.6 |
| 9 | -.44 | 1.94 | 10979.4 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 68.4 | 3.6 | 12.7 | 69.5 | 11.6 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 69.7 | .6 | 17.8 | 76.4 | -4.8 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | | .0 | | | | | | |
| 1 | 70.2 | -1.2 | 9.7 | 84.0 | 29.5 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 72.5 | -11.5 | -.2 | 76.2 | 77.1 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 73.2 | -21.0 | -31.6 | 44.1 | 222.1 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 71.2 | -2.5 | -59.3 | 13.3 | 347.0 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 70.4 | .0 | -66.3 | 5.1 | 378.1 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 70.0 | .0 | -66.0 | 5.1 | 376.4 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 69.7 | .0 | -65.7 | 5.0 | 374.8 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | 65.9 | 10.4 | -54.9 | 12.3 | 321.0 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | 63.1 | 15.7 | -27.9 | 37.4 | 194.3 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

APOIO REACAO

(T)
.00

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|------|------------------|--------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | 247.8 | 260.2 | -7.0 | 22.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | -29.0 | 85.0 |
| 0 | 302.5 | 227.1 | -17.0 | 51.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | -77.0 | 227.0 |
| 1 | 657.2 | 236.8 | .0 | .0 | .0 | .0 | 66.0 | -290.0 | -63.0 | 276.0 |
| 2 | 444.6 | 486.9 | 13.0 | -55.0 | .0 | .0 | 116.0 | -512.0 | -56.0 | 245.0 |
| 3 | 176.3 | 822.2 | 22.0 | -97.0 | .0 | .0 | 151.0 | -665.0 | -49.0 | 214.0 |
| 4 | 89.2 | 920.3 | 28.0 | -124.0 | .0 | .0 | 173.0 | -762.0 | -42.0 | 184.0 |
| 5 | 115.5 | 879.4 | 31.0 | -138.0 | .0 | .0 | 181.0 | -796.0 | -35.0 | 153.0 |
| 6 | 112.3 | 877.9 | 31.0 | -138.0 | .0 | .0 | 173.0 | -762.0 | -28.0 | 123.0 |
| 7 | 63.0 | 929.5 | 28.0 | -124.0 | .0 | .0 | 151.0 | -665.0 | -21.0 | 92.0 |
| 8 | 37.9 | 924.7 | 22.0 | -96.0 | .0 | .0 | 116.0 | -512.0 | -14.0 | 61.0 |
| 9 | 142.6 | 795.7 | 13.0 | -55.0 | .0 | .0 | 66.0 | -290.0 | -7.0 | 31.0 |

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

=====

TEMPO T=0

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3)F1=P+G1
F2=F1+G2
F3=F2+G3
F4=F3+I.QMAX
F5=F3+I.QMIN

| SECAO | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|-------|---|--------|--------|--------|-------|--------|
| -1 | S | 317.3 | 310.3 | 310.3 | 310.3 | 281.3 |
| -1 | I | 271.8 | 293.8 | 293.8 | 293.8 | 378.8 |
| 0 | S | 378.9 | 361.9 | 361.9 | 361.9 | 284.9 |
| 0 | I | 222.3 | 273.3 | 273.3 | 273.3 | 500.3 |
| 1 | S | 741.2 | 741.2 | 741.2 | 807.2 | 678.2 |
| 1 | I | 266.3 | 266.3 | 266.3 | -23.7 | 542.3 |
| 2 | S | 520.8 | 533.8 | 533.8 | 649.8 | 477.8 |
| 2 | I | 564.0 | 509.0 | 509.0 | -3.0 | 754.0 |
| 3 | S | 220.4 | 242.4 | 242.4 | 393.4 | 193.4 |
| 3 | I | 1044.3 | 947.3 | 947.3 | 282.3 | 1161.3 |
| 4 | S | 102.5 | 130.5 | 130.5 | 303.5 | 88.5 |
| 4 | I | 1267.3 | 1143.3 | 1143.3 | 381.3 | 1327.3 |
| 5 | S | 120.6 | 151.6 | 151.6 | 332.6 | 116.6 |
| 5 | I | 1257.5 | 1119.5 | 1119.5 | 323.5 | 1272.5 |
| 6 | S | 117.4 | 148.4 | 148.4 | 321.4 | 120.4 |
| 6 | I | 1254.3 | 1116.3 | 1116.3 | 354.3 | 1239.3 |
| 7 | S | 68.0 | 96.0 | 96.0 | 247.0 | 75.0 |
| 7 | I | 1304.3 | 1180.3 | 1180.3 | 515.3 | 1272.3 |
| 8 | S | 50.2 | 72.2 | 72.2 | 188.2 | 58.2 |
| 8 | I | 1245.7 | 1149.7 | 1149.7 | 637.7 | 1210.7 |
| 9 | S | 180.0 | 193.0 | 193.0 | 259.0 | 186.0 |
| 9 | I | 990.0 | 935.0 | 935.0 | 645.0 | 966.0 |

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
| -1 | 521.2 | 18.2 | 630.0 | 1169.4 | 10396.3 |
| 0 | 520.6 | 3.8 | 630.0 | 1154.5 | 10617.7 |
| 1 | 520.0 | 75.1 | 630.0 | 1225.1 | 10639.7 |
| 2 | 520.5 | 114.4 | 630.0 | 1264.9 | 11136.1 |
| 3 | 516.6 | 598.0 | 630.0 | 1744.6 | 11115.8 |
| 4 | 505.0 | 1227.8 | 630.0 | 2362.8 | 9679.6 |
| 5 | 500.8 | 1336.2 | 630.0 | 2467.0 | 9417.1 |
| 6 | 500.8 | 1332.4 | 630.0 | 2463.2 | 9367.7 |
| 7 | 500.8 | 1407.5 | 630.0 | 2538.3 | 9239.6 |
| 8 | 505.3 | 1232.9 | 630.0 | 2368.2 | 8904.4 |

1 9 516.3 592.3 630.0 1738.6 9240.8

ESFORÇOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 61.5 | 3.2 | 11.4 | 62.4 | 10.4 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 62.9 | .5 | 16.1 | 69.0 | -4.3 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | 63.0 | -1.1 | 8.7 | 75.3 | 26.5 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 65.1 | -10.3 | -1.1 | 68.4 | 69.2 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 63.3 | -18.1 | -27.3 | 38.1 | 192.0 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 57.3 | -2.0 | -47.7 | 10.7 | 278.9 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 55.7 | .0 | -52.5 | 4.0 | 299.6 | .0 | .0 | .0 |
| 6 | 55.5 | .0 | -52.3 | 4.0 | 298.1 | .0 | .0 | .0 |
| 7 | 54.7 | .0 | -51.5 | 3.9 | 294.0 | .0 | .0 | .0 |
| 8 | 52.1 | 8.2 | -43.3 | 9.7 | 253.6 | .0 | .0 | .0 |
| 9 | 53.1 | 13.2 | -23.5 | 31.4 | 163.5 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|------|------------------|--------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | 202.9 | 235.3 | -7.0 | 22.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | -29.0 | 85.0 |
| 0 | 237.0 | 224.1 | -17.0 | 51.0 | .0 | .0 | .0 | .0 | -77.0 | 227.0 |
| 1 | 556.5 | 196.5 | .0 | .0 | .0 | .0 | 66.0 | -290.0 | -63.0 | 276.0 |
| 2 | 409.7 | 381.7 | 13.0 | -55.0 | .0 | .0 | 116.0 | -512.0 | -56.0 | 245.0 |
| 3 | 203.8 | 631.3 | 22.0 | -97.0 | .0 | .0 | 151.0 | -665.0 | -49.0 | 214.0 |
| 4 | 148.2 | 686.7 | 28.0 | -124.0 | .0 | .0 | 173.0 | -762.0 | -42.0 | 184.0 |
| 5 | 177.3 | 647.6 | 31.0 | -138.0 | .0 | .0 | 181.0 | -796.0 | -35.0 | 153.0 |
| 6 | 173.9 | 646.4 | 31.0 | -138.0 | .0 | .0 | 173.0 | -762.0 | -28.0 | 123.0 |
| 7 | 126.9 | 689.4 | 28.0 | -124.0 | .0 | .0 | 151.0 | -665.0 | -21.0 | 92.0 |
| 8 | 91.1 | 696.0 | 22.0 | -96.0 | .0 | .0 | 116.0 | -512.0 | -14.0 | 61.0 |
| 9 | 151.4 | 626.7 | 13.0 | -55.0 | .0 | .0 | 66.0 | -290.0 | -7.0 | 31.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=INFINITO

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3)F1=P+G1
- F2=F1+G2
- F3=F2+G3
- F4=F3+I.QMAX
- F5=F3+I.QMIN

| SECAO | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| -1 S | 265.3 | 258.3 | 258.3 | 258.3 | 229.3 |
| -1 I | 245.7 | 267.7 | 267.7 | 267.7 | 352.7 |
| 0 S | 306.0 | 289.0 | 289.0 | 289.0 | 212.0 |
| 0 I | 219.8 | 270.8 | 270.8 | 270.8 | 497.8 |
| 1 S | 631.8 | 631.8 | 631.8 | 697.8 | 568.8 |
| 1 I | 223.0 | 223.0 | 223.0 | -67.0 | 499.0 |
| 2 S | 478.1 | 491.1 | 491.1 | 607.1 | 435.1 |
| 2 I | 450.9 | 395.9 | 395.9 | -116.1 | 640.9 |
| 3 S | 241.9 | 263.9 | 263.9 | 414.9 | 214.9 |
| 3 I | 823.3 | 726.3 | 726.3 | 61.3 | 940.3 |
| 4 S | 158.9 | 186.9 | 186.9 | 359.9 | 144.9 |
| 4 I | 965.6 | 841.6 | 841.6 | 79.6 | 1025.6 |
| 5 S | 181.3 | 212.3 | 212.3 | 393.3 | 177.3 |
| 5 I | 947.2 | 809.2 | 809.2 | 13.2 | 962.2 |
| 6 S | 177.9 | 208.9 | 208.9 | 381.9 | 180.9 |
| 6 I | 944.5 | 806.5 | 806.5 | 44.5 | 929.5 |

| | | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 7 | S | 130.8 | 158.8 | 158.8 | 309.8 | 137.8 |
| 7 | I | 983.4 | 859.4 | 859.4 | 194.4 | 951.4 |
| 8 | S | 100.8 | 122.8 | 122.8 | 238.8 | 108.8 |
| 8 | I | 949.6 | 853.6 | 853.6 | 341.6 | 914.6 |
| 9 | S | 182.8 | 195.8 | 195.8 | 261.8 | 188.8 |
| 9 | I | 790.2 | 735.2 | 735.2 | 445.2 | 766.2 |

1

ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)
 =====

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 131. | 0. | 131. |
| 2 | 131. | 0. | 131. |

Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga de bordo
Fases de verificação das tensões

$$F1 = G1 + 1^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F2 = F1 + G2$$

$$F3 = F2 + 2^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F4 = F3 + G3$$

$$F5 = F4 + CM_{\text{mínima}}$$

$$F6 = F4 + CM_{\text{máxima}}$$

Tempo T = 0

| Seção | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|---------------------|---|---------|--------|-------------|--------|------------|------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 78 | 78 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -15 | 322 | 307 | -59 | 248 | 69 |
| | σ_i (tf/m ²) | 17 | 178 | 195 | 65 | 261 | 12 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 88 | 88 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -52 | 487 | 435 | -132 | 303 | 76 |
| | σ_i (tf/m ²) | 58 | 22 | 80 | 147 | 227 | -5 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 92 | 92 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 46 | 639 | 684 | -28 | 657 | 84 |
| | σ_i (tf/m ²) | -50 | 256 | 206 | 31 | 236 | 29 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 76 | 76 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 128 | 238 | 366 | 79 | 445 | 76 |
| | σ_i (tf/m ²) | -141 | 715 | 573 | -87 | 486 | 77 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 19 | 19 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 189 | -174 | 16 | 161 | 176 | 44 |
| | σ_i (tf/m ²) | -208 | 1207 | 999 | -177 | 822 | 222 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -34 | -34 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 228 | -357 | -129 | 218 | 89 | 13 |
| | σ_i (tf/m ²) | -251 | 1412 | 1160 | -240 | 920 | 347 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -48 | -48 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 245 | -379 | -134 | 250 | 116 | 5 |
| | σ_i (tf/m ²) | -270 | 1424 | 1154 | -275 | 879 | 378 |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -48 | -48 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 240 | -378 | -137 | 250 | 112 | 5 |
| | σ_i (tf/m ²) | -265 | 1418 | 1153 | -275 | 878 | 376 |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -48 | -48 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 214 | -376 | -163 | 225 | 62 | 5 |
| | σ_i (tf/m ²) | -235 | 1412 | 1176 | -247 | 929 | 375 |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -32 | -32 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 165 | -302 | -137 | 175 | 38 | 12 |
| | σ_i (tf/m ²) | -182 | 1299 | 1117 | -192 | 925 | 321 |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 15 | 15 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 95 | -52 | 42 | 100 | 142 | 37 |
| | σ_i (tf/m ²) | -104 | 1010 | 905 | -110 | 796 | 194 |

| Seção | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 | |
|---------------------|--|--------|----------------------|----------------------|--------|-------------|------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -12 | 66 | -45 | 0 | 21 | 66 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | -7 | 310 | -29 | 0 | 281 | 310 |
| | σ_i (tf/m ²) | 22 | 294 | 85 | 0 | 379 | 294 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -27 | 61 | -121 | 0 | -60 | 61 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | -17 | 362 | -77 | 0 | 285 | 362 |
| | σ_i (tf/m ²) | 51 | 273 | 227 | 0 | 500 | 273 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 0 | 92 | -111 | 116 | -19 | 208 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 0 | 741 | -63 | 66 | 678 | 806 |
| | σ_i (tf/m ²) | 0 | 265 | 276 | -290 | 541 | -25 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 22 | 98 | -98 | 205 | 0 | 304 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 13 | 534 | -56 | 116 | 478 | 650 |
| | σ_i (tf/m ²) | -55 | 508 | 245 | -512 | 753 | -4 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 39 | 58 | -86 | 267 | -28 | 325 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 22 | 242 | -49 | 151 | 194 | 393 |
| | σ_i (tf/m ²) | -97 | 947 | 214 | -665 | 1161 | 282 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 50 | 16 | -74 | 306 | -58 | 322 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 28 | 130 | -42 | 173 | 89 | 303 |
| | σ_i (tf/m ²) | -124 | 1143 | 184 | -762 | 1327 | 381 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 55 | 7 | -62 | 320 | -54 | 327 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 31 | 152 | -35 | 181 | 118 | 333 |
| | σ_i (tf/m ²) | -138 | 1119 | 153 | -796 | 1272 | 323 |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | 55 | 7 | -49 | 306 | -42 | 313 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 31 | 149 | -28 | 173 | 121 | 322 |
| | σ_i (tf/m ²) | -138 | 1117 | 123 | -762 | 1239 | 355 |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | 50 | 2 | -37 | 267 | -35 | 269 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 28 | 95 | -21 | 151 | 74 | 246 |
| | σ_i (tf/m ²) | -124 | 1180 | 92 | -665 | 1272 | 514 |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | 39 | 7 | -25 | 205 | -18 | 212 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 22 | 72 | -14 | 116 | 58 | 188 |
| | σ_i (tf/m ²) | -96 | 1150 | 61 | -512 | 1211 | 638 |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | 22 | 37 | -12 | 116 | 25 | 154 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 13 | 192 | -7 | 66 | 185 | 258 |
| | σ_i (tf/m ²) | -55 | 935 | 31 | -290 | 966 | 645 |

Tempo T = 00

Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$
 F8 = F7 + CM_{mínima}

F9 = F7 + CM_{máxima}
 $\Delta\sigma = \sigma_{t=\infty} - \sigma_{t=0}$

1ª prot

| Seção | Tempo T = ∞ | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | 277 | 153 | - | 322 | 178 | - | -45 | -25 |
| 0 | - | 421 | 19 | - | 487 | 22 | - | -65 | -3 |
| 1 | - | 539 | 215 | - | 639 | 256 | - | -100 | -41 |
| 2 | - | 203 | 610 | - | 238 | 715 | - | -35 | -105 |
| 3 | - | -147 | 1019 | - | -174 | 1207 | - | 27 | -188 |
| 4 | - | -299 | 1182 | - | -357 | 1412 | - | 58 | -229 |
| 5 | - | -319 | 1198 | - | -379 | 1424 | - | 60 | -226 |
| 6 | - | -317 | 1191 | - | -378 | 1418 | - | 61 | -227 |
| 7 | - | -313 | 1176 | - | -376 | 1412 | - | 63 | -236 |
| 8 | - | -250 | 1073 | - | -302 | 1299 | - | 53 | -226 |
| 9 | - | -44 | 842 | - | -52 | 1010 | - | 9 | -168 |
| 10 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |

2ª prot

| Seção | Tempo T = ∞ | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 70 | 62 | 10 | 78 | 69 | 12 | -8 | -7 | -1 |
| 0 | 79 | 69 | -4 | 88 | 76 | -5 | -9 | -7 | 0 |
| 1 | 82 | 75 | 26 | 92 | 84 | 29 | -9 | -9 | -3 |
| 2 | 68 | 68 | 69 | 76 | 76 | 77 | -8 | -8 | -8 |
| 3 | 16 | 38 | 192 | 19 | 44 | 222 | -3 | -6 | -30 |
| 4 | -28 | 11 | 279 | -34 | 13 | 347 | 7 | -3 | -68 |
| 5 | -38 | 4 | 299 | -48 | 5 | 378 | 10 | -1 | -79 |
| 6 | -38 | 4 | 298 | -48 | 5 | 376 | 10 | -1 | -78 |
| 7 | -37 | 4 | 294 | -48 | 5 | 375 | 10 | -1 | -81 |
| 8 | -25 | 10 | 253 | -32 | 12 | 321 | 7 | -2 | -68 |
| 9 | 13 | 31 | 164 | 15 | 37 | 194 | -2 | -6 | -31 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Perda total de protensão

| Seção | $\Delta\sigma_{total}$ | | |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -8 | -52 | -26 |
| 0 | -9 | -73 | -3 |
| 1 | -9 | -109 | -44 |
| 2 | -8 | -43 | -113 |
| 3 | -3 | 21 | -218 |
| 4 | 7 | 56 | -297 |
| 5 | 10 | 59 | -305 |
| 6 | 10 | 60 | -305 |
| 7 | 10 | 62 | -317 |
| 8 | 7 | 50 | -294 |
| 9 | -2 | 3 | -199 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |

Tempo T = 00

| Seção | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 8 | Fase 9 | |
|---------------------|--|------------------------|--------|----------------------|----------------------|--------|--------|------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | 66 | -8 | 58 | -45 | 0 | 13 | 58 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 310 | -52 | 258 | -29 | 0 | 229 | 258 |
| | σ_i (tf/m ²) | 294 | -26 | 268 | 85 | 0 | 353 | 268 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | 61 | -9 | 52 | -121 | 0 | -68 | 52 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 362 | -73 | 289 | -77 | 0 | 212 | 289 |
| | σ_i (tf/m ²) | 273 | -3 | 270 | 227 | 0 | 497 | 270 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 92 | -9 | 82 | -111 | 116 | -28 | 199 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 741 | -109 | 632 | -63 | 66 | 569 | 698 |
| | σ_i (tf/m ²) | 265 | -44 | 222 | 276 | -290 | 497 | -68 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 98 | -8 | 91 | -98 | 205 | -8 | 296 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 534 | -43 | 491 | -56 | 116 | 435 | 607 |
| | σ_i (tf/m ²) | 508 | -113 | 395 | 245 | -512 | 641 | -116 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 58 | -3 | 55 | -86 | 267 | -31 | 322 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 242 | 21 | 263 | -49 | 151 | 215 | 414 |
| | σ_i (tf/m ²) | 947 | -218 | 729 | 214 | -665 | 943 | 63 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 16 | 7 | 22 | -74 | 306 | -51 | 328 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 130 | 56 | 186 | -42 | 173 | 144 | 359 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1143 | -297 | 846 | 184 | -762 | 1030 | 84 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 7 | 10 | 17 | -62 | 320 | -44 | 337 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 152 | 59 | 211 | -35 | 181 | 177 | 392 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1119 | -305 | 814 | 153 | -796 | 967 | 18 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | 7 | 10 | 17 | -49 | 306 | -32 | 323 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 149 | 60 | 208 | -28 | 173 | 181 | 381 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1117 | -305 | 812 | 123 | -762 | 934 | 50 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | 2 | 10 | 13 | -37 | 267 | -24 | 280 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 95 | 62 | 157 | -21 | 151 | 136 | 308 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1180 | -317 | 863 | 92 | -665 | 955 | 197 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | 7 | 7 | 14 | -25 | 205 | -11 | 219 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 72 | 50 | 122 | -14 | 116 | 108 | 238 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1150 | -294 | 856 | 61 | -512 | 917 | 344 |
| | 0 | | | | | | | |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | 37 | -2 | 35 | -12 | 116 | 22 | 151 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 192 | 3 | 194 | -7 | 66 | 188 | 260 |
| | σ_i (tf/m ²) | 935 | -199 | 736 | 31 | -290 | 767 | 446 |

Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga central

Fases de verificação das tensões

F1 = G1 + 1ª Protensão
F2 = F1 + G2

F3 = F2 + 2ª Protensão
F4 = F3 + G3

F5 = F4 + CM_{mínima}
F6 = F4 + CM_{máxima}

Tempo T = 0

| Seção | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|---------------------|--|---------|--------|-------------|--------|------------|-------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 78 | 78 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | -15 | 322 | 307 | -36 | 270 | 340 |
| | σ_i (tf/m ²) | 17 | 178 | 195 | 40 | 236 | 247 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 88 | 88 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | -52 | 487 | 435 | -88 | 347 | 423 |
| | σ_i (tf/m ²) | 58 | 22 | 80 | 98 | 177 | 173 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 92 | 92 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 46 | 639 | 684 | 29 | 714 | 798 |
| | σ_i (tf/m ²) | -50 | 256 | 206 | -32 | 173 | 203 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 76 | 76 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 128 | 238 | 366 | 139 | 505 | 581 |
| | σ_i (tf/m ²) | -141 | 715 | 573 | -153 | 420 | 497 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 19 | 19 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 189 | -174 | 16 | 223 | 238 | 282 |
| | σ_i (tf/m ²) | -208 | 1207 | 999 | -245 | 754 | 976 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -34 | -34 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 228 | -357 | -129 | 280 | 151 | 164 |
| | σ_i (tf/m ²) | -251 | 1412 | 1160 | -308 | 852 | 1199 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -48 | -48 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 245 | -379 | -134 | 311 | 177 | 182 |
| | σ_i (tf/m ²) | -270 | 1424 | 1154 | -343 | 811 | 1189 |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -48 | -48 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 240 | -378 | -137 | 301 | 164 | 169 |
| | σ_i (tf/m ²) | -265 | 1418 | 1153 | -332 | 821 | 1198 |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -48 | -48 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 214 | -376 | -163 | 265 | 103 | 108 |
| | σ_i (tf/m ²) | -235 | 1412 | 1176 | -292 | 884 | 1259 |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | -32 | -32 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 165 | -302 | -137 | 203 | 66 | 78 |
| | σ_i (tf/m ²) | -182 | 1299 | 1117 | -223 | 894 | 1215 |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | 15 | 15 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 95 | -52 | 42 | 114 | 157 | 194 |
| | σ_i (tf/m ²) | -104 | 1010 | 905 | -126 | 779 | 974 |

| Seção | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 | |
|---------------------|--|----------|----------------------|----------------------|----------|-------------|------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -6 | 72 | -32 | 0 | 40 | 72 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | -4 | 336 | -20 | 0 | 316 | 336 |
| | σ_i (tf/m ²) | 11 | 258 | 61 | 0 | 320 | 258 |
| | | | | | 0 | 0 | |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -13 | 75 | -84 | 0 | -10 | 75 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | -8 | 415 | -53 | 0 | 362 | 415 |
| | σ_i (tf/m ²) | 26 | 198 | 163 | 0 | 362 | 198 |
| | | | | | 0 | 0 | |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | -1 | 91 | -78 | 85 | 13 | 176 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 0 | 798 | -43 | 47 | 754 | 845 |
| | σ_i (tf/m ²) | 2 | 205 | 199 | -217 | 403 | -13 |
| | | | | | 0 | 0 | |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 10 | 85 | -78 | 150 | 8 | 235 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 5 | 587 | -43 | 83 | 543 | 670 |
| | σ_i (tf/m ²) | -24 | 473 | 199 | -384 | 672 | 89 |
| | | | | | 0 | 0 | |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 17 | 36 | -60 | 195 | -24 | 231 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 10 | 292 | -34 | 108 | 258 | 400 |
| | σ_i (tf/m ²) | -44 | 931 | 155 | -499 | 1086 | 432 |
| | | | | | 0 | 0 | |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 22 | -12 | -52 | 223 | -64 | 211 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 12 | 177 | -29 | 124 | 148 | 301 |
| | σ_i (tf/m ²) | -57 | 1141 | 132 | -572 | 1274 | 570 |
| | | | | | 0 | 0 | |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 25 | -23 | -43 | 233 | -66 | 210 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 14 | 196 | -24 | 130 | 172 | 326 |
| | σ_i (tf/m ²) | -64 | 1125 | 110 | -597 | 1236 | 528 |
| | | 0 | | | 0 | 0 | |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | 25 | -23 | -34 | 223 | -57 | 200 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 14 | 183 | -19 | 124 | 164 | 307 |
| | σ_i (tf/m ²) | -64 | 1134 | 88 | -572 | 1222 | 562 |
| | | 0 | | | 0 | 0 | |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | 23 | -25 | -26 | 195 | -51 | 170 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 13 | 120 | -14 | 108 | 106 | 229 |
| | σ_i (tf/m ²) | -58 | 1201 | 66 | -499 | 1267 | 702 |
| | | 0 | | | 0 | 0 | |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | 18 | -14 | -17 | 150 | -31 | 136 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 10 | 88 | -10 | 83 | 78 | 171 |
| | σ_i (tf/m ²) | -45 | 1170 | 44 | -384 | 1214 | 786 |
| | | 0 | | | 0 | 0 | |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | 10 | 25 | -9 | 85 | 17 | 110 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 6 | 200 | -5 | 47 | 195 | 247 |
| | σ_i (tf/m ²) | -26 | 948 | 22 | -217 | 970 | 731 |

Tempo T = 00

 Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$
 $\Delta\sigma = \sigma_{t=00} - \sigma_{t=0}$

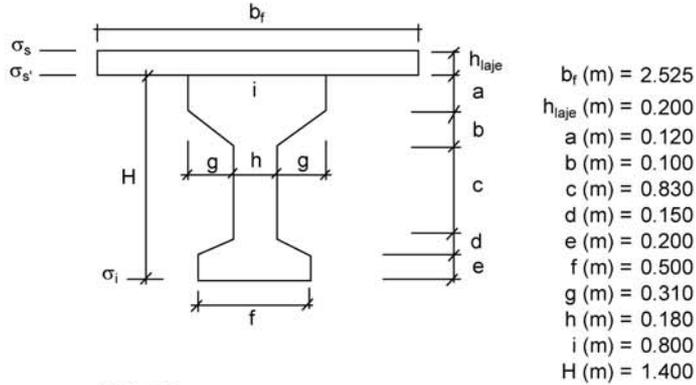
 F8 = F7 + CM_{mínima}

 F9 = F7 + CM_{máxima}

| Seção | | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 8 | Fase 9 |
|---------------------|--|-------------|------------------------|------------|----------------------|----------------------|------------|------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | 72 | -8 | 64 | -32 | 0 | 32 | 64 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 336 | -52 | 284 | -20 | 0 | 264 | 284 |
| | σ_i (tf/m ²) | 258 | -26 | 232 | 61 | 0 | 294 | 232 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | 75 | -9 | 66 | -84 | 0 | -18 | 66 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 415 | -73 | 342 | -53 | 0 | 289 | 342 |
| | σ_i (tf/m ²) | 198 | -3 | 196 | 163 | 0 | 359 | 196 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 91 | -9 | 82 | -78 | 85 | 4 | 166 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 798 | -109 | 689 | -43 | 47 | 646 | 736 |
| | σ_i (tf/m ²) | 205 | -44 | 161 | 199 | -217 | 359 | -57 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 85 | -8 | 78 | -78 | 150 | 0 | 228 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 587 | -43 | 544 | -43 | 83 | 501 | 627 |
| | σ_i (tf/m ²) | 473 | -113 | 360 | 199 | -384 | 559 | -23 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 36 | -3 | 33 | -60 | 195 | -27 | 228 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 292 | 21 | 313 | -34 | 108 | 279 | 421 |
| | σ_i (tf/m ²) | 931 | -218 | 713 | 155 | -499 | 868 | 214 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | -12 | 7 | -5 | -52 | 223 | -57 | 218 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 177 | 56 | 232 | -29 | 124 | 204 | 356 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1141 | -297 | 844 | 132 | -572 | 977 | 273 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | -23 | 10 | -13 | -43 | 233 | -56 | 220 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 196 | 59 | 255 | -24 | 130 | 231 | 385 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1125 | -305 | 820 | 110 | -597 | 931 | 223 |
| S ₆ | σ_s (tf/m ²) | -23 | 10 | -13 | -34 | 223 | -47 | 210 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 183 | 60 | 243 | -19 | 124 | 223 | 367 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1134 | -305 | 829 | 88 | -572 | 917 | 257 |
| S ₇ | σ_s (tf/m ²) | -25 | 10 | -15 | -26 | 195 | -40 | 180 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 120 | 62 | 182 | -14 | 108 | 168 | 291 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1201 | -317 | 884 | 66 | -499 | 950 | 385 |
| S ₈ | σ_s (tf/m ²) | -14 | 7 | -7 | -17 | 150 | -25 | 142 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 88 | 50 | 138 | -10 | 83 | 128 | 221 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1170 | -294 | 876 | 44 | -384 | 920 | 492 |
| S ₉ | σ_s (tf/m ²) | 25 | -2 | 23 | -9 | 85 | 14 | 108 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 200 | 3 | 202 | -5 | 47 | 198 | 250 |
| | σ_i (tf/m ²) | 948 | -199 | 749 | 22 | -217 | 771 | 532 |

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à Ruptura da Seção S₅)

Verificação da Seção do Meio do Vão (S₅)



Materialis:

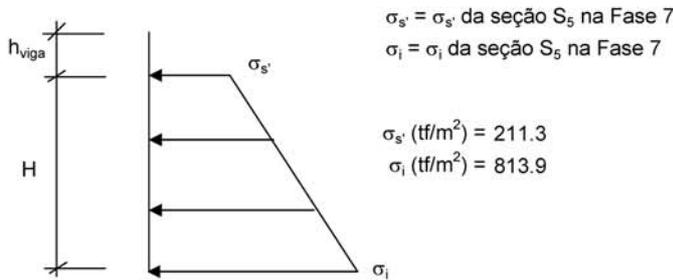
Concreto: f_{ck} (MPa) = 35.0

E_c (kgf/cm²) = 330,000

Aço: CP-190-RB

E_{sp} (kgf/cm²) = 1,950,000

Tensões de peso próprio + protensão em t = ∞



Tensões no aço de protensão após as perdas (t = ∞)

$$\sigma_{sp}^{t=\infty} = \sigma_{sp}^{t=\infty 1^{prot.}} + \sigma_{sp}^{t=\infty 2^{prot.}} \quad \sigma_{sp}^{t=\infty} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 99,198$$

Solicitações atuantes na seção S₅

M_{g1} (tf.m) = 40.0

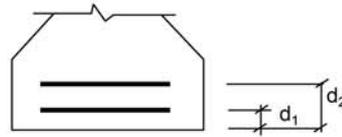
M_{g2} (tf.m) = 40.8

M_{g3} (tf.m) = 30.1

M_p (tf.m) = 173.6

Cálculo do C.G. da armadura de protensão





1ª camada: n° cabos = 3
 d_1 (m) = 0.08

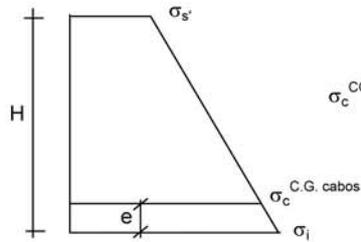
2ª camada: n° cabos = 1
 d_2 (m) = 0.2

C.G (cm) = 0.110

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$\epsilon_{sp}^{pré-along.} = \sigma_{sp}^{t=00} / E_{sp}$ $\epsilon_{sp}^{pré-along.} = 0.0051$

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



$$\sigma_c^{C.G. cabos} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\sigma_c^{C.G. cabos} (tf/m^2) = 766.6$$

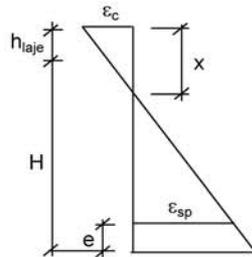
$$\epsilon_{sp}^{descomp.} = \sigma_c^{C.G. cabos} / E_c$$

$$\epsilon_{sp}^{descomp.} = 0.00023$$

e (m) = 0.110

1ª Tentativa:

Deformada admitida para a seção S_s ϵ_c (‰) = 3.5
 ϵ_{sp} (‰) = 10.0



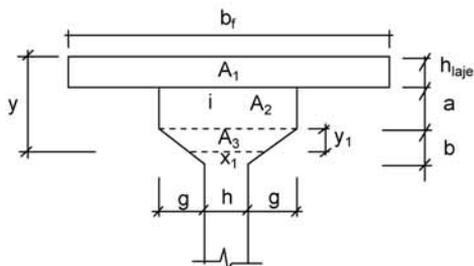
$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

x (m) = 0.386

$$y = 0,8 * x$$

y (m) = 0.309

Cálculo da resultante de compressão



- b_f (m) = 2.525
- h_{laje} (m) = 0.200
- a (m) = 0.120
- b (m) = 0.100
- g (m) = 0.310
- h (m) = 0.180
- i (m) = 0.800
- y_1 (m) = -0.011
- x_1 (m) = 0.868
- y (m) = 0.309

$$R_{cc} = 0,85 * f_{cd} * (A_1 + A_2 + A_3) / 1,4$$

- A_1 (m²) = 0.505
- A_2 (m²) = 0.087
- A_3 (m²) = 0.000

$$R_{cc} (tf) = 1258.5$$

Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

$$\epsilon_{sp}^{total} (\%) = 15.32$$

Da tabela do livro de concreto protendido do Prof. Walter do Couto Pfeil tem-se:

$$\sigma_{sp} (kgf/cm^2) = 15,732$$

$$A_{sp}^{1cabo\ 6\phi\ 12,7} (cm^2) = 5.92$$

$$A_{sp}^{total} (cm^2) = 23.7$$

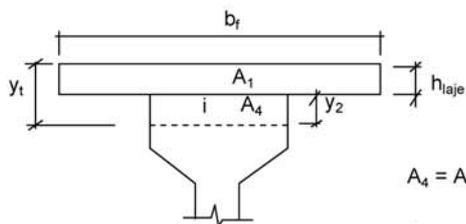
$$R_{st} = A_{sp}^{total} * s_{sp}$$

$$R_{st} (tf) = 372.5$$

Como $R_{st} < R_{cc}$, devemos diminuir o valor de x para reduzir a mesa de compressão e conseqüentemente R_{cc} .

Logo devemos ter:

$$R_{cc} = R_{st} (tf) = 372.5$$



$$A_c^{total} = A_1 + A_4 = R_{cc} / (0,85 * f_{cd})$$

$$A_1 (m^2) = 0.505$$

$$A_c^{total} (m^2) = 0.175$$

$$A_4 = A_c^{total} - A_1 \quad A_4 (m^2) = 0.000 \quad (y_t < h_{laje})$$

$$\text{logo:} \quad y_2 (m) = 0.000$$

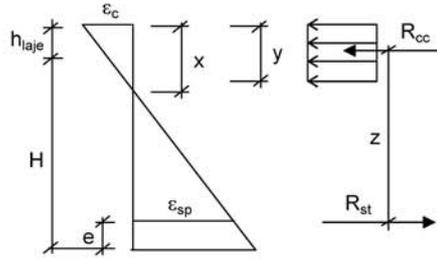
$$y_t (m) = 0.0694 \quad y_t < h_{laje}$$

$$x = y_t / 0,8$$

$$x (m) = 0.087$$

Cálculo do C.G da mesa comprimida

$$y_{C.G.} = \frac{\sum(A_i \cdot y_i)}{\sum A_i} \quad y_{C.G.} \text{ (m)} = 0.0347$$



$$z = H + h_{laje} - y_{C.G.} - e \quad z \text{ (m)} = 1.455$$

Assim temos:

$$M_u = R_{cc} \cdot z \quad M_u \text{ (tf.m)} = 542.1$$

$$M_d = 1.4 \cdot (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3} + M_p) \quad M_d \text{ (tf.m)} = 398.1$$

Então: $M_u / M_d = 1.36 > 1.00$ (Atende)
Ruptura unicamente pelo escoamento do aço

Os quadros a seguir apresentam o cálculo do cisalhamento

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,max}$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,min}$$

onde: $V_{p,k} = V_p^{1^{prot}} + V_p^{2^{prot}}$ em tempo $t = \infty$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 35,0$$

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

| Seção | $V_{g1,k}$ (tf) | $V_{g2,k}$ (tf) | $V_{g3,k}$ (tf) | $V_{p,k}$ (tf) | $V_{q,max,k}$ (tf) | $V_{q,min,k}$ (tf) | V_k^{max} (tf) | V_k^{min} (tf) |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 1/2 bal | -3.4 | -8.7 | -5.0 | 24.5 | 18.1 | 0.0 | 16.5 | 7.5 |
| 0 esq | -6.2 | -10.6 | -6.4 | 3.5 | 20.8 | 0.0 | -19.6 | -9.2 |
| 0 dir | 11.4 | 13.1 | 9.2 | 0.0 | 40.4 | 0.0 | 53.9 | 33.7 |
| 1 | 8.5 | 10.9 | 7.5 | -18.6 | 34.8 | -0.6 | 25.7 | 8.0 |
| 2 | 6.5 | 8.6 | 5.9 | -45.7 | 29.5 | -3.6 | -26.5 | -10.0 |
| 3 | 4.5 | 6.3 | 4.2 | -37.9 | 24.5 | -6.9 | -26.3 | -10.6 |
| 4 | 2.6 | 4.1 | 2.5 | -8.5 | 19.8 | -10.6 | 10.5 | -4.7 |
| 5 | 0.6 | 1.1 | 0.8 | 0.0 | 15.5 | -14.6 | 10.2 | -4.8 |

Verificação do concreto

$$\phi_{bainha} \text{ (m)} = 0,055$$

$$V_{sd} = 1,40 * (V_{g1} + V_{g2} + V_{g3}) + 0,90 * V_p + 1,40 * V_q$$

$$V_{rd2} = 0,3 * f_{cd} * b_w * d$$

$$d = H_{viga} + h_{laje} - 0,15$$

| Seção | V_{sd} (tf) | b_w (m) | $\Sigma \phi/2$ (m) | b_w^{nom} (m) | d (m) | V_{rd2} (tf) |
|---------|---------------|-----------|---------------------|-----------------|---------|----------------|
| 1/2 bal | 23.5 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.45 | 507.5 |
| 0 esq | -29.2 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.45 | 507.5 |
| 0 dir | 103.8 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.45 | 507.5 |
| 1 | 69.6 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |
| 2 | 29.5 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |
| 3 | -22.7 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |
| 4 | 32.9 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |
| 5 | 25.2 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.45 | 154.8 |

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

Parcela do esforço cortante absorvida pelo concreto

$$M_{sdu} = 1,40 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,40 * M_q$$

| Seção | $M_{g1,k}$ | $M_{g2,k}$ | $M_{g3,k}$ | $M_{q,k}$ | M_{sdu} (tf.m) |
|---------|------------|------------|------------|-----------|------------------|
| 1/2 bal | -3.0 | -11.6 | -6.4 | -25.0 | -64.5 |
| 0 esq | -10.2 | -26.0 | -14.9 | -66.8 | -165.1 |
| 0 dir | -10.2 | -26.0 | -14.9 | -66.8 | -165.1 |
| 1 | 7.4 | -4.6 | 0.1 | 63.2 | 92.7 |
| 2 | 20.9 | 12.9 | 12.1 | 111.6 | 220.4 |
| 3 | 30.8 | 26.2 | 21.1 | 145.0 | 312.4 |
| 4 | 37.2 | 35.5 | 27.1 | 166.1 | 372.2 |
| 5 | 40.0 | 40.8 | 30.1 | 173.6 | 398.1 |

$$V_{cd} = 2,5 * \beta_1 * \tau_{rd} * b_w * d$$

$$\tau_{rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 1 + (M_o / M_{sdu}) \leq 2$$

$$M_o = 0,90 * (\sigma_p^{1^{prot}} * W^{isol} + \sigma_p^{2^{prot}} * W^{conj})$$

$$\tau_{rd} \text{ (MPa)} = 0.376$$

| Seção | $\sigma_p^{1^{\text{prot.00}}}$ (tf/m ²) | $W^{\text{isol.}}$ (m ³) | $\sigma_p^{2^{\text{prot.00}}}$ (tf/m ²) | $W^{\text{conj.}}$ (m ³) | Mo (tf.m) | β_1 |
|---------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-----------|-----------|
| 1/2 bal | 277 | 0.197 | 62 | 0.865 | 97.63 | 2.000 |
| 0 esq | 421 | 0.197 | 69 | 0.865 | 128.35 | 1.778 |
| 0 dir | 421 | 0.197 | 69 | 0.865 | 128.35 | 1.778 |
| 1 | 610 | 0.148 | 26 | 0.218 | 86.45 | 1.933 |
| 2 | 1019 | 0.148 | 69 | 0.218 | 149.25 | 1.677 |
| 3 | 1182 | 0.148 | 192 | 0.218 | 195.09 | 1.624 |
| 4 | 1198 | 0.148 | 279 | 0.218 | 214.33 | 1.576 |
| 5 | 1191 | 0.148 | 299 | 0.218 | 217.42 | 1.546 |

| Seção | b_w^{nom} (m) | d (m) | V_{cd} (tf) |
|---------|------------------------|-------|---------------|
| 1/2 bal | 0.500 | 1.450 | 136.1 |
| 0 esq | 0.500 | 1.450 | 121.0 |
| 0 dir | 0.500 | 1.450 | 121.0 |
| 1 | 0.153 | 1.450 | 40.1 |
| 2 | 0.153 | 1.450 | 34.8 |
| 3 | 0.153 | 1.450 | 33.7 |
| 4 | 0.153 | 1.450 | 32.7 |
| 5 | 0.153 | 1.450 | 32.1 |

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

| Seção | V_{sd} (tf) | V_{cd} (tf) | V_{wd} (tf) |
|---------|---------------|---------------|---------------|
| 1/2 bal | 23.5 | 136.1 | 0.00 |
| 0 esq | 29.2 | 121.0 | 0.00 |
| 0 dir | 103.8 | 121.0 | 0.00 |
| 1 | 69.6 | 40.1 | 29.50 |
| 2 | 29.5 | 34.8 | 0.00 |
| 3 | 22.7 | 33.7 | 0.00 |
| 4 | 32.9 | 32.7 | 0.16 |
| 5 | 25.2 | 32.1 | 0.00 |

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0.90 * d * f_{ywd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w)$$

| Seção | b_w (m) | V_{wd} (tf) | A_{sw}/s (cm^2/m) | ρ_{wu} (cm^2/m^2) |
|---------|-----------|---------------|-------------------------|----------------------------|
| 1/2 bal | 0.50 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 0 esq | 0.50 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 0 dir | 0.50 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 1 | 0.18 | 29.5 | 5.20 | 28.88 |
| 2 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.18 | 0.2 | 0.03 | 0.16 |
| 5 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\Delta\sigma_w = (V_{max} - V_c) / (b_w * d * \rho_{wu}) - (V_{min} - V_c) / (b_w * d * \rho_{wu})$$

$$\Delta f_{sd}^{fad} = 850 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f.f. = \Delta\sigma_w / \Delta f_{sd}$$

| Seção | V^{max} (tf) | V^{min} (tf) | V_c (tf) | ρ_{wu} (cm^2/cm^2) | σ_{wmax} (tf/m^2) | σ_{wmin} (tf/m^2) |
|---------|----------------|----------------|------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1/2 bal | 16.50 | 7.46 | 90.76 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 0 esq | -19.62 | -9.20 | 80.67 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 0 dir | 53.92 | 33.71 | 80.67 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 1 | 25.70 | 8.03 | 26.75 | 0.00289 | 0 | 0 |
| 2 | -26.49 | -9.97 | 23.21 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 3 | -26.30 | -10.60 | 22.48 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 4 | 10.54 | -4.66 | 21.81 | 0.00002 | 0 | 0 |
| 5 | 10.24 | -4.80 | 21.40 | 0.00000 | 0 | 0 |

| $\Delta\sigma_w$ (tf/m^2) | f.f. |
|-------------------------------|------|
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |

Cálculo dos estribos e seus espaçamentos

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w) \geq 15 \text{ (cm}^2/m^2\text{)}$$

$$s = 2 * A_{S1perna} / (\rho_w * f.f. * b_w)$$

$$\phi \text{ (mm)} = 10.00$$

$$A_{S1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 0.785$$

| Seção | b_w (m) | ρ_{wu} | $\rho_{wu} \times f.f.$ | $\rho_{wu} \times f.f.$ Médio | Espaçam. (m) |
|---------|-----------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1/2 bal | 0.50 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | | | 15.0 | 20.9 |
| 0 esq | 0.50 | 0.00 | 0.00 | | |
| 0 dir | 0.50 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | | | 15.0 | 30.8 |
| 1 | 0.18 | 28.88 | 28.88 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 2 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 3 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 4 | 0.18 | 0.16 | 0.16 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 5 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | | |

Verificação dos Aparelhos de Apoio
Apoio1
Viga de Bordo
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.40$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 17.6$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 24.3$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 15.6$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 52.9$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = 0.0$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 110.4$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 919.7 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 57.5$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 478.8 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

Viga Central
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.40$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 17.6$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 22.6$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 7.6$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 40.4$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = 0.0$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 88.1$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 734.2 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 47.7$$

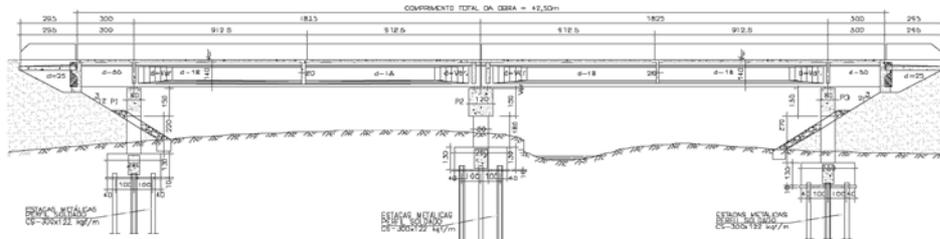
$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 397.7 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

4.2 CÁLCULO DA INFRA-ESTRUTURA

Duas linhas de apoio com pilares de respectivamente 0,70 m e 1,20 m de altura, para as obras de 42,50 m constituídas por dois vãos de 18,25 m com balanços de 3,00 m.

Cálculo da Infraestrutura - (2 vãos de 18,25m com balanços de 3,00)

1 - Sistema estrutural



$$L^{\text{vão1}} \text{ (m)} = 18.25$$

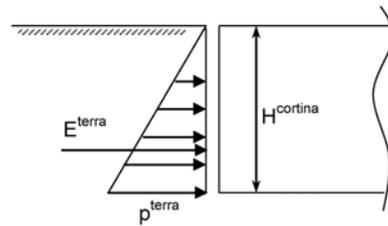
$$L^{\text{vão2}} \text{ (m)} = 18.25$$

$$L^{\text{bal}} \text{ (m)} = 3.00$$

2 - Cálculo dos esforços solicitantes horizontais

2.1 - Direção longitudinal

2.1.1 - Empuxo de terra unilateral nas cortinas



$$K_a = 0.333$$

$$\gamma^{\text{solo}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 1.80$$

$$H^{\text{cortina}} \text{ (m)} = 1.85$$

$$L^{\text{obra}} \text{ (m)} = 13.00$$

$$p^{\text{terra}} = K_a \times \gamma^{\text{solo}} \times H^{\text{cortina}}$$

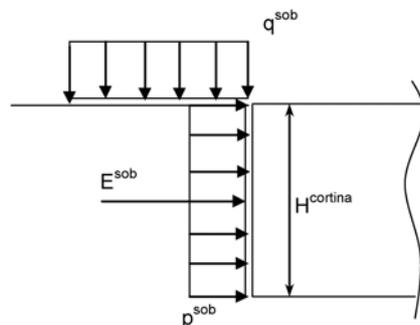
$$p^{\text{terra}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1.110$$

$$E^{\text{terra}} = ((p^{\text{terra}} \times H^{\text{cortina}})/2) \times L^{\text{obra}}$$

$$E^{\text{terra}} \text{ (tf)} = 13.3$$

2.1.2 - Empuxo de sobrecarga unilateral nas cortinas

$$q^{mult} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.50$$



$$q^{sob} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.50$$

$$L^{obra} \text{ (m)} = 13.00$$

$$H^{cortina} \text{ (m)} = 1.85$$

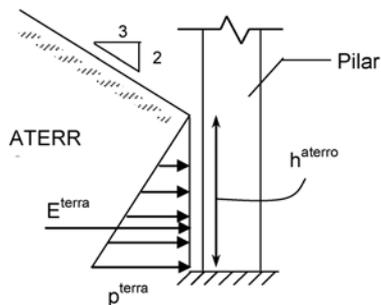
$$p^{sob} = K_a \times q^{sob}$$

$$p^{sob} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.167$$

$$E_{sob} = p^{sob} \times L^{obra} \times H^{cortina}$$

$$E_{sob} \text{ (tf)} = 4.0$$

2.1.3 - Empuxo de terra nos pilares extremos



$$K_a = 0.75$$

$$\gamma_{solo} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 1.80$$

$$h^{aterro P1} \text{ (m)} = 2.00$$

$$b^{pilar} \text{ (m)} = 0.80$$

$$h^{aterro P3} \text{ (m)} = 2.50$$

$$b^{pilar} \text{ (m)} = 0.80$$

$$p^{terra} = K_a \times \gamma^{solo} \times h^{aterro}$$

$$p^{terra P1} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 2.70$$

$$p^{terra P3} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 3.38$$

$$E_{terra} = ((p^{terra} \times h^{aterro})/2) \times 3b^{pilar}$$

$$E_{terra P1} \text{ (tf)} = 6.48$$

$$E_{terra P3} \text{ (tf)} = 10.13$$

2.1.4 - Deformações impostas

Para simular os efeitos de retração do concreto, deformação imediata e lenta do concreto devidas à protensão e variação ambiental de temperatura assumiremos queda de temperatura e coeficiente de dilatação térmica respectivamente de:

$$\Delta\theta \text{ (}^\circ\text{C)} = -65$$

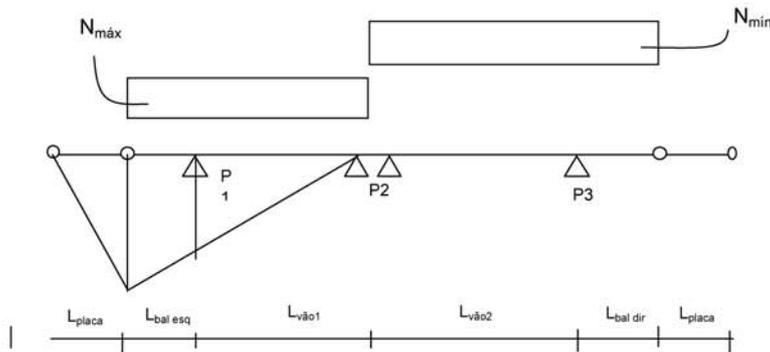
$$\alpha = 0.00001$$

2.1.5 - Frenagem e aceleração

$$F^{fren} \geq \begin{cases} 30\% \text{ do peso do veículo tipo} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} P^{concentrado} \text{ (tf)} &= 45.0 & L^{bal \text{ esq}} \text{ (m)} &= 3.00 & L^{vão1} \text{ (m)} &= 18.25 \\ q^{mult} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 0.50 & L^{bal \text{ dir}} \text{ (m)} &= 3.00 & L^{vão2} \text{ (m)} &= 18.25 \\ Larg^{obra} \text{ (m)} &= 13.00 & & & & \end{aligned}$$

Linha de influência de reação em P1 e P3



1ª Hipótese - N_{máx}

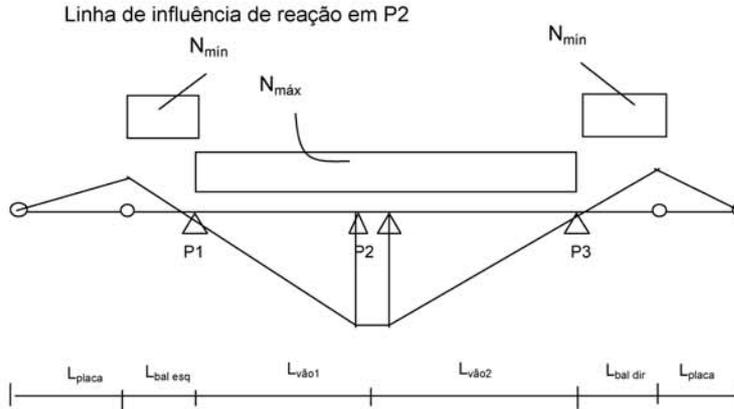
$$\begin{aligned} 30\% \text{ do peso do veículo tipo} &= 0,30 \times P^{concentrado} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} &= 0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80) \times L^{bal \text{ esq} +vão1} \text{ para PTC} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} &= 0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80)/2 \times L^{bal \text{ esq} +vão1} \text{ para PMC} \end{aligned}$$

$$F^{fren} \text{ (tf)} \geq \begin{cases} 13.50 \\ 6.48 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 3.24 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$

2ª Hipótese - N_{min}

$$\begin{aligned} 30\% \text{ do peso do veículo tipo} &= 0,30 \times P^{concentrado} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} &= 0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80) \times L^{bal \text{ dir} +vão2} \text{ para PTC} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} &= 0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80)/2 \times L^{bal \text{ dir} +vão2} \text{ para PMC} \end{aligned}$$

$$F^{fren} \text{ (tf)} \geq \begin{cases} 13.50 \\ 6.48 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 3.24 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$



1ª Hipótese - N_{máx}

30% do peso do veículo tipo = $0,30 \times P^{\text{concentrado}}$
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80) \times L^{\text{vão1} + \text{vão2}}$ para PTC
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80)/2 \times L^{\text{vão1} + \text{vão2}}$ para PMC

$$F^{\text{fren}}(\text{tf}) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 11.13 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 5.57 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$

2ª Hipótese - N_{min}

30% do peso do veículo tipo = $0,30 \times P^{\text{concentrado}}$
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80) \times L^{\text{bal esq} + \text{bal dir}}$ para PTC
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80)/2 \times L^{\text{bal esq} + \text{bal dir}}$ para PMC

$$F^{\text{fren}}(\text{tf}) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 1.83 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 0.92 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$

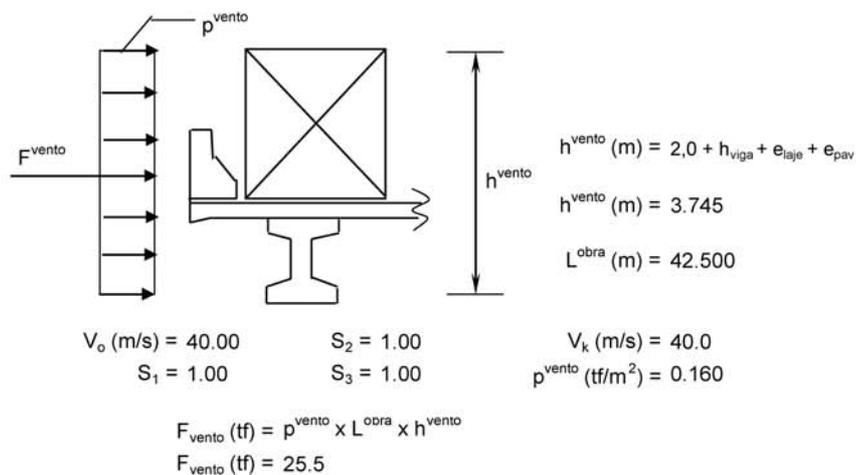
2.2 Direção transversal

2.2.1 - Vento na superestrutura

o cálculo da pressão do vento será feito de acordo com o prescreve a NBR-6123

$$p^{\text{vento}} = C_x \cdot (V_k^2) / 16$$

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \qquad C_x = 1.60$$



3 - Cálculo das rizezas dos apoios

3.1 - Linha de apoio 1

3.1.1 - Aparelhos de apoio (50x30)

$n^\circ \text{ de aparelhos de apoio (n)} = 5$
 $S_{1 \text{ apar}} \text{ (m}^2\text{)} = 0,15$
 $G \text{ (tf/m}^2\text{)} = 100,0$ $k_{\text{transv}}^{\text{neop}} = k_{\text{long}}^{\text{neop}} = (n * G * S) / h_{\text{borr}}$
 $h_{\text{borr}} \text{ (m)} = 0,03$
 $K^{\text{neop}} \text{ (tf/m)} = 2500,0$

3.1.2 - Pilares

$f_{ck \text{ pilar}} \text{ (MPa)} = 20$
 $h_{\text{total}} = h_{\text{travessa}} + H_{\text{pilar}} + h_{\text{bloco}}/2$
 $h_{\text{total}} \text{ (m)} = 4,35$
 $n^\circ \text{ de pilares (n)} = 2$

- longitudinal

$K = n * 3 * E * J / (H^3)$
 $J_{1 \text{ pilar}}^{\text{long}} \text{ (m}^4\text{)} = 0,0341$
 $E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} = 9,5 * (f_{ckj} + 8)^{1/3}$
 $E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} = 2,884,760$
 $K_{1 \text{ pilar}}^{\text{long}} \text{ (tf/m)} = 7177,5$

- transversal

$K = n * 3 * E * J / (H^3)$
 $J_{1 \text{ pilar}}^{\text{transv}} \text{ (m}^4\text{)} = 0,0341$
 $E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} = 2,884,760$
 $K_{1 \text{ pilar}}^{\text{transv}} \text{ (tf/m)} = 7177,5$

3.1.3 - Rigidez do conjunto

$$K^{conj} = 1 / ((1/k_{neop}) + (1/k_{pilar}))$$

- longitudinal

$$K^{long - conj}_1 (tf/m) = 1854.2$$

- transversal

$$K^{transv - conj}_1 (tf/m) = 1854.2$$

3.2 - Linha de apoio 2

3.2.1 - Aparelhos de apoio (40x30)

nº de aparelhos de apoio (n) = 10

 $S_{1 \text{ apar}} (m^2) = 0.12$
 $G (tf/m^2) = 100$
 $h (m) = 0.03$

$$k_{transv}^{neop} = k_{long}^{neop} = (n * G * S) / h_{borr}$$

$$K^{neop} (tf/m) = 4000.0$$

3.2.2 - Pilares

 $fck_{pilar} (MPa) = 20$

$$h_{total} = h_{travessa} + H_{pilar} + h_{bloco}/2$$

 $h_{total} (m) = 3.95$

nº de pilares (n) = 2

- longitudinal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$J_{2 \text{ pilar}}^{long} (m^4) = 0.0476$$

$$Ec (tf/m^2) = 9,5 * (fck_j + 8)^{1/3}$$

$$Ec (tf/m^2) = 2,884,760$$

$$K_{2}^{long} (tf/m) = 13382.0$$

- transversal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$J_{2 \text{ pilar}}^{transv} (m^4) = 0.0667$$

$$Ec (tf/m^2) = 2,884,760$$

$$K_{2}^{transv} (tf/m) = 18723.1$$

3.2.3 - Rigidez do conjunto

$$K^{conj} = 1 / ((1/k_{neop}) + (1/k_{pilar}))$$

- longitudinal

$$K^{long - conj}_2 (tf/m) = 3079.5$$

- transversal

$$K^{transv - conj}_2 (tf/m) = 3295.9$$

3.3 - Linha de apoio 3

3.3.1 - Aparelhos de apoio (50x30)

$$\begin{aligned}
 \text{n}^\circ \text{ de aparelhos de apoio (n)} &= 5 \\
 S_{1 \text{ apar}} \text{ (m}^2\text{)} &= 0.15 \\
 G \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 100 \\
 h \text{ (m)} &= 0.03 \\
 k_{\text{transv}}^{\text{neop}} &= k_{\text{long}}^{\text{neop}} = (n * G * S) / h_{\text{borr}} \\
 K^{\text{neop}} \text{ (tf/m)} &= 2500.0
 \end{aligned}$$

3.3.2 - Pilares

$$\begin{aligned}
 f_{ck}^{\text{pilar}} \text{ (MPa)} &= 20 \\
 h_{\text{total}} &= h_{\text{travessa}} + H_{\text{pilar}} + h_{\text{bloco}}/2 \\
 h_{\text{total}} \text{ (m)} &= 4.85 \\
 \text{n}^\circ \text{ de pilares (n)} &= 2
 \end{aligned}$$

- longitudinal

$$\begin{aligned}
 K &= n * 3 * E * J / (H^3) \\
 J_{3 \text{ pilar}}^{\text{long}} \text{ (m}^4\text{)} &= 0.0341 \\
 E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 9,5 * (f_{ck} + 8)^{1/3} \\
 E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 2,884,760 \\
 K_{3}^{\text{long}} \text{ (tf/m)} &= 5178.6
 \end{aligned}$$

- transversal

$$\begin{aligned}
 K &= n * 3 * E * J / (H^3) \\
 J_{3 \text{ pilar}}^{\text{transv}} \text{ (m}^4\text{)} &= 0.0341 \\
 E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 2,884,760 \\
 K_{3}^{\text{transv}} \text{ (tf/m)} &= 5178.6
 \end{aligned}$$

3.3.3 - Rigidez do conjunto

$$K^{\text{conj}} = 1 / ((1/k_{\text{neop}}) + (1/k_{\text{pilar}}))$$

- longitudinal

$$K^{\text{long - conj}}_{3} \text{ (tf/m)} = 1686.1$$

- transversal

$$K^{\text{transv - conj}}_{3} \text{ (tf/m)} = 1686.1$$

3.4 - Cálculo dos coeficientes de distribuição

$$\mu = k_i / \sum k_i$$

- longitudinal

$$\sum K^{\text{long}}_{\text{conj}} = 6619.7$$

$$\mu^{\text{long}}_1 = 0.2801$$

$$\mu^{\text{long}}_2 = 0.4652$$

$$\mu^{\text{long}}_3 = 0.2547$$

- transversal

$$\Sigma K_{conj}^{transv} = 6836.1$$

$$\mu_1^{transv} = 0.2712$$

$$\mu_2^{transv} = 0.4821$$

$$\mu_3^{transv} = 0.2466$$

| Resumo | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Linha Apoio | Rigidez | | Coef. de distribuição | |
| | longitudinal | transversal | longitudinal | transversal |
| 1 | 1854.2 | 1854.2 | 0.2801 | 0.2712 |
| 2 | 3079.5 | 3295.9 | 0.4652 | 0.4821 |
| 3 | 1686.1 | 1686.1 | 0.2547 | 0.2466 |
| Total | 6619.7 | 6836.1 | 1.0 | 1.0 |

4 - Distribuição dos esforços longitudinais

$$F^1 (tf) = \text{Esforço} \times \mu_{long}^{Apoio1}$$

$$F^2 (tf) = \text{Esforço} \times \mu_{long}^{Apoio2}$$

$$F^3 (tf) = \text{Esforço} \times \mu_{long}^{Apoio3}$$

4.1 - Empuxo de terra unilateral nas cortinas por linha de apoio

$$F^1 (tf) = 3.74$$

$$F^2 (tf) = 6.21$$

$$F^3 (tf) = 3.40$$

4.2 - Empuxo de sobrecarga unilateral nas cortinas por linha de apoio

$$F^1 (tf) = 1.12$$

$$F^2 (tf) = 1.86$$

$$F^3 (tf) = 1.02$$

4.3 - Empuxo de terra nos pilares extremos (para cada pilar) (aplicado diretamente sobre os pilares)

$$\text{Pilar}^{apoi1} (tf) = 6.48$$

$$\text{Pilar}^{apoi3} (tf) = 10.13$$

4.4 - Deformações impostas por linha de apoio

centro elástico longitudinal

$$X_{c.e.} = \frac{\sum K_i \cdot X_i}{\sum K_i} \quad F = K_i \cdot X_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

$$X_{c.e. \text{ Longitudinal}} (m) = 20.79$$

| Apoio | $K_{long} (tf/m)$ | $X_i (m)$ | F (tf) |
|-------|-------------------|-----------|--------|
| 1 | 1854.2 | 17.79 | 21.4 |
| 2 | 3079.5 | 0.46 | 0.9 |
| 3 | 1686.1 | 18.71 | 20.5 |

4.4 - Frenagem e aceleração por linha de apoio

 Hipótese de $N_{máx}$

- PTC

$$F^1 \text{ (tf)} = 3.8$$

$$F^2 \text{ (tf)} = 6.3$$

$$F^3 \text{ (tf)} = 3.4$$

- PMC

$$F^1 \text{ (tf)} = 3.8$$

$$F^2 \text{ (tf)} = 6.3$$

$$F^3 \text{ (tf)} = 3.4$$

 Hipótese de $N_{mín}$

- PTC

$$F^1 \text{ (tf)} = 3.8$$

$$F^2 \text{ (tf)} = 6.3$$

$$F^3 \text{ (tf)} = 3.4$$

- PMC

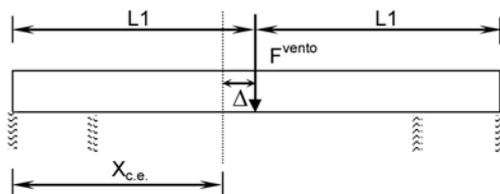
$$F^1 \text{ (tf)} = 3.8$$

$$F^2 \text{ (tf)} = 6.3$$

$$F^3 \text{ (tf)} = 3.4$$

5 - Distribuição dos esforços transversais por linha de apoio

5.1 - Vento na superestrutura



$$L1 \text{ (m)} = 21.25$$

$$X_{c.e. \text{ Transversal}} \text{ (m)} = 20.80$$

$$\Delta \text{ (m)} = 0.449$$

$$F_{\text{vento}} \text{ (tf)} = 25.5$$

$$F_i^T = F_{\text{vento}} * K_{i \text{ Trans}} * [(1 / \sum k_{i \text{ Trans}}) \pm (\Delta * X_i) / (\sum (k_{i \text{ Trans}} * X_i^2))]$$

| Linha | $k_{i \text{ Trans}} \text{ (tf/m)}$ | $X_i \text{ (m)}$ | $k_{i \text{ Trans}} * X_i$ | $F_i^T \text{ (tf)}$ |
|--------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 | 1854.2 | -17.80 | 587553 | 6.59 |
| 2 | 3295.9 | 0.45 | 663.912 | 12.29 |
| 3 | 1686.1 | 18.70 | 589521 | 6.59 |
| TOTAL | 6836.1 | | 1177738 | 25.47 |

Cálculo das Travessas dos apoios P1 e P3

1 - Reação das vigas devido aos carregamentos permanentes e peso próprio da travessa

Obtidos diretamente do programa "SALT"

Vigas de Bordo ($V_1 = V_5$)

| | | | | |
|---------|-------|------|------|---------|
| | g1 | g2 | g3 | Rg (tf) |
| Rv (tf) | 17.56 | 24.3 | 15.6 | 57.46 |

Vigas Centrais ($V_2 = V_3 = V_4$)

| | | | | |
|---------|-------|-------|-----|---------|
| | g1 | g2 | g3 | Rg (tf) |
| Rv (tf) | 17.56 | 22.56 | 7.6 | 47.72 |

Peso próprio da Travessa

$$\gamma_{conc} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2.50$$

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 1.2$$

$$g_{trav} = S * \gamma_{conc}$$

$$g_{trav} \text{ (tf/m)} = 3.00$$

2 - Distribuição transversal da carga móvel para obtenção do trem-tipo longitudinal por Courbon

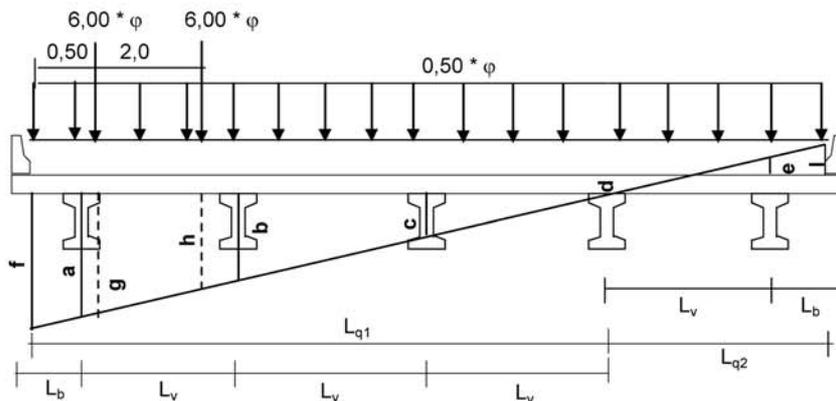
Cálculo do coeficiente de impacto

$$\varphi = 1,40 - 0,007 * L_{teórico}$$

$$L_{teórico} \text{ (m)} = 17.90$$

$$\varphi = 1.275$$

2.1 - Para Ponte Total Carregada - V1



$$L_b \text{ (m)} = 1.2$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65$$

$$L_{q1} \text{ (m)} = 8.75$$

$$L_{q2} \text{ (m)} = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V1:

$$\begin{aligned} a &= 0.600 & d &= 0.000 \\ b &= 0.400 & e &= -0.200 \\ c &= 0.200 \end{aligned}$$

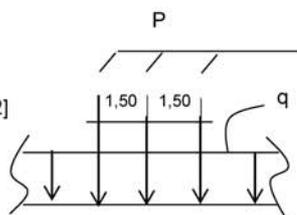
Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$\begin{aligned} f &= 0.660 & h &= 0.472 \\ g &= 0.623 & i &= -0.260 \end{aligned}$$

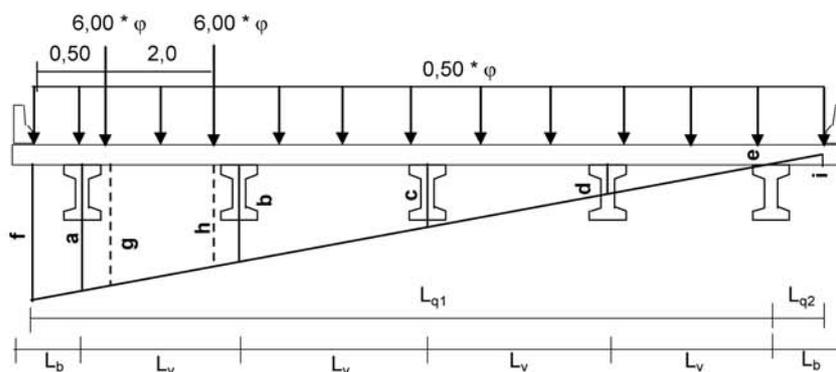
Cálculo do trem-tipo

$$\begin{aligned} P &= 6 * \varphi * (g + h) \\ q &= 0,50 * \varphi * [(f * L_{q1})/2 + (i * L_{q2})/2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ (tf)} &= 8.370 \\ q \text{ (tf/m)} &= 1.555 \end{aligned}$$



2.2 - Para Ponte Total Carregada - V2



$$\begin{aligned} L_b \text{ (m)} &= 1.2 & L_{q1} \text{ (m)} &= 11.40 \\ L_v \text{ (m)} &= 2.65 & L_{q2} \text{ (m)} &= 0.80 \end{aligned}$$

Ordenadas de Courbon para V2:

$$\begin{aligned} a &= 0.400 & d &= 0.100 \\ b &= 0.300 & e &= 0.000 \\ c &= 0.200 \end{aligned}$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$\begin{aligned} f &= 0.430 & h &= 0.336 \\ g &= 0.411 & i &= -0.030 \end{aligned}$$

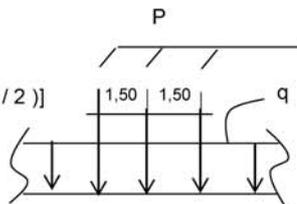
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

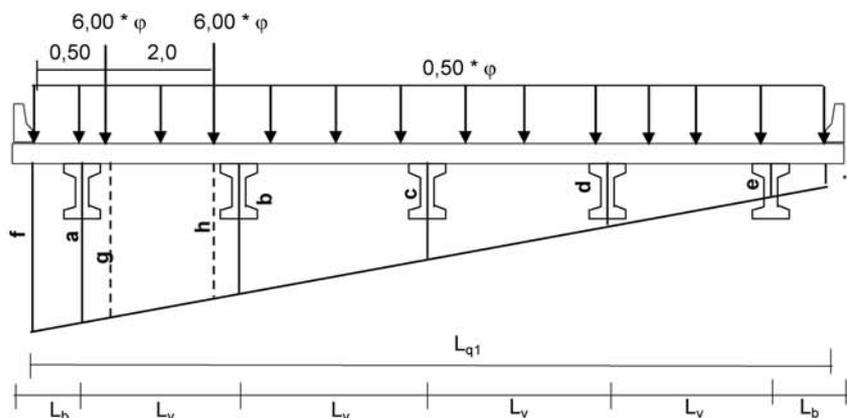
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q1} / 2) + (i * L_{q2} / 2)]$$

$$P (tf) = 5.715$$

$$q (tf/m) = 1.555$$



2.3 - Para Ponte Total Carregada - V3



$$L_b (m) = 1.2 \quad L_{q1} (m) = 12.20$$

$$L_v (m) = 2.65$$

Ordenadas de Courbon para V3:

$$a = 0.200 \quad d = 0.200$$

$$b = 0.200 \quad e = 0.200$$

$$c = 0.200$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = 0.200 \quad h = 0.200$$

$$g = 0.200 \quad i = 0.200$$

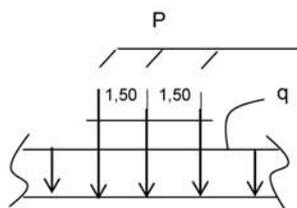
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

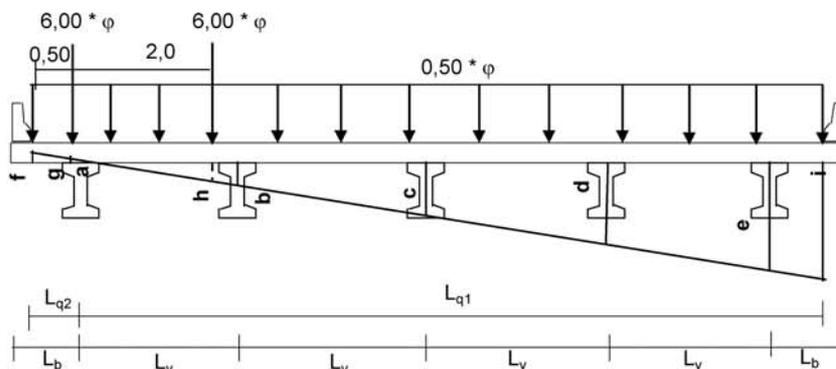
$$q = 0,50 * \varphi * [(f + i) * L_{q1} / 2]$$

$$P (tf) = 3.059$$

$$q (tf/m) = 1.555$$



2.4 - Para Ponte Total Carregada - V4



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 11.40$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 0.80$$

Ordenadas de Courbon para V4:

$$a = 0.000 \qquad d = 0.300$$

$$b = 0.100 \qquad e = 0.400$$

$$c = 0.200$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.030 \qquad h = 0.064$$

$$g = -0.011 \qquad i = 0.430$$

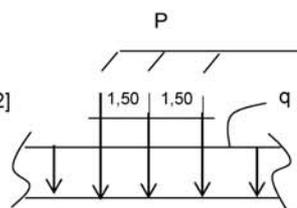
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \phi * (g + h)$$

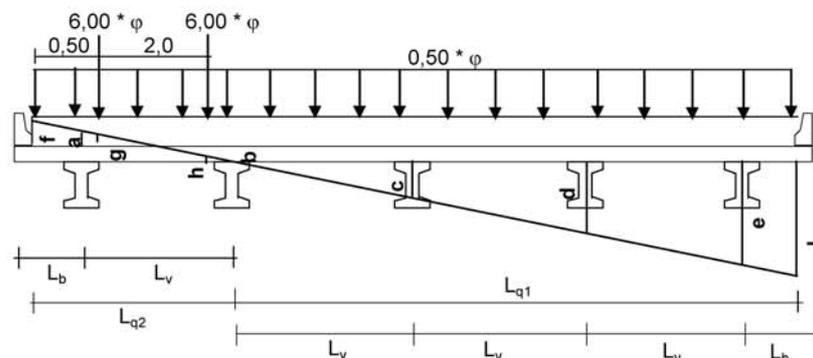
$$q = 0,50 * \phi * [(i * L_{q1})/2 + (f * L_{q2})/2]$$

$$P \text{ (tf)} = 0.404$$

$$q \text{ (tf/m)} = 1.555$$



2.5 - Para Ponte Total Carregada - V5



$$L_b (m) = 1.2 \qquad L_{q1} (m) = 8.75$$

$$L_v (m) = 2.65 \qquad L_{q2} (m) = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V1:

$$a = -0.200$$

$$b = 0.000$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.400$$

$$e = 0.600$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.260 \qquad i = 0.660$$

$$g = -0.223$$

$$h = -0.072$$

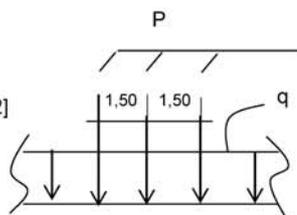
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

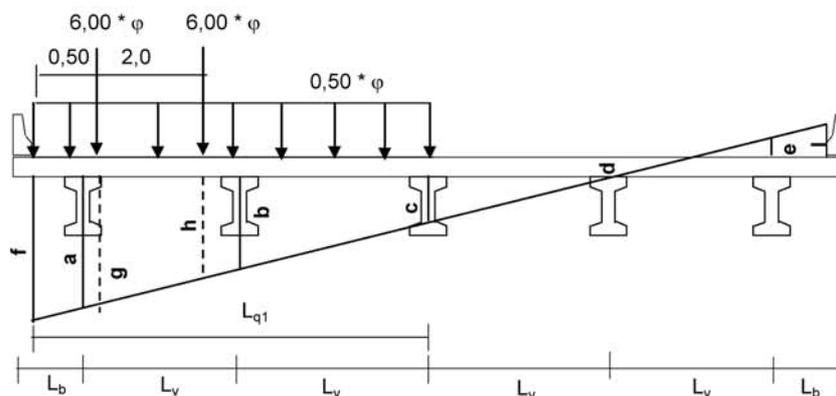
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q2})/2 + (i * L_{q1})/2]$$

$$P (tf) = -2.251$$

$$q (tf/m) = 1.555$$



2.6 - Para Ponte Metade Carregada - V1



$$L_b (m) = 1.2 \qquad L_{q1} (m) = 6.10$$

$$L_v (m) = 2.65$$

$$a = 0.600$$

$$b = 0.400$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.000$$

$$e = -0.200$$

$$f = 0.460$$

$$g = 0.423$$

$$h = 0.272$$

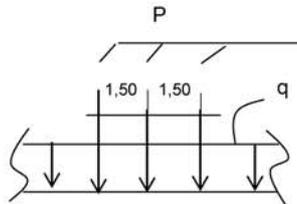
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

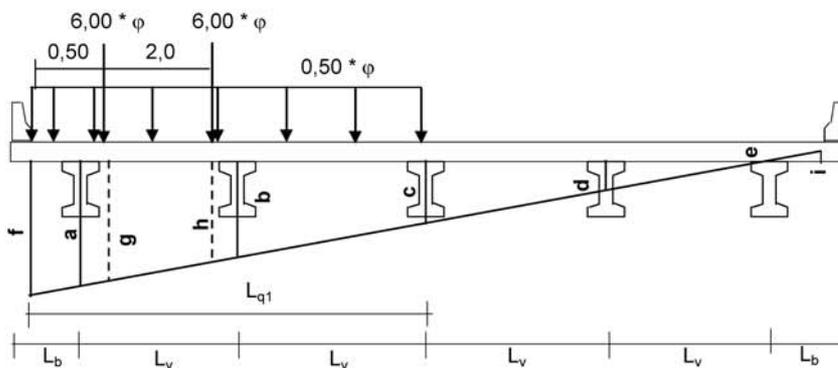
$$q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$$

$$P (tf) = 8.370$$

$$q (tf/m) = 1.284$$



2.7 - Para Ponte Metade Carregada - V2



$$L_b (m) = 1.2$$

$$L_{q1} (m) = 6.10$$

$$L_v (m) = 2.65$$

- a = 0.400
- b = 0.300
- c = 0.200
- d = 0.100
- e = 0.000
- f = 0.230
- g = 0.211
- h = 0.136

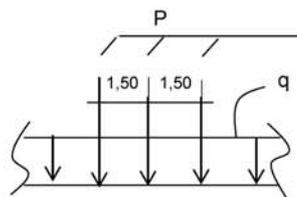
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

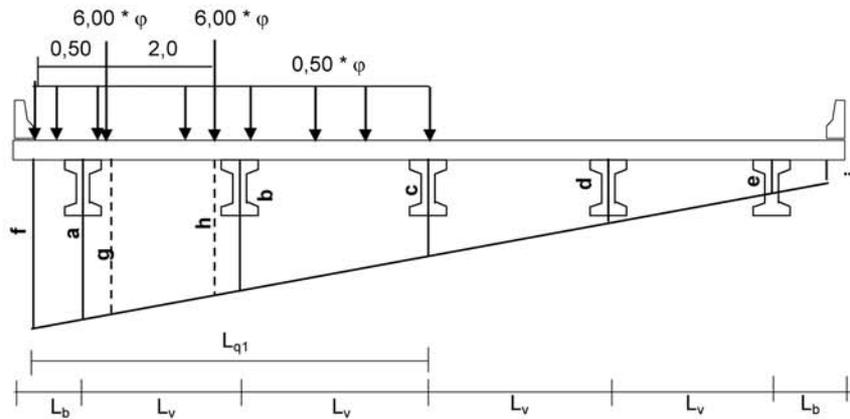
$$q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$$

$$P (tf) = 5.715$$

$$q (tf/m) = 0.836$$



2.8 - Para Ponte Metade Carregada - V3



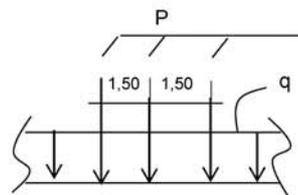
$L_b \text{ (m)} = 1.2$ $L_{q1} \text{ (m)} = 6.10$
 $L_v \text{ (m)} = 2.65$

- a = 0.200
- b = 0.200
- c = 0.200
- d = 0.200
- e = 0.200
- f = 0.200
- g = 0.200
- h = 0.200

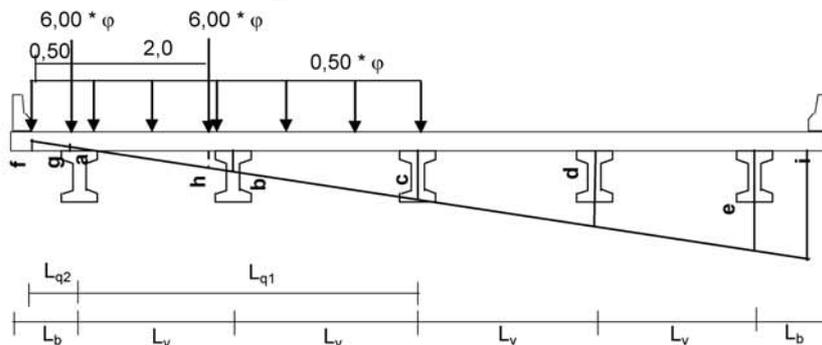
Cálculo do trem-tipo

$P = 6 * \phi * (g + h)$
 $q = 0,50 * \phi * ((f + c) * L_{q1}) / 2$

$P \text{ (tf)} = 3.059$
 $q \text{ (tf/m)} = 0.778$



2.9 - Para Ponte Metade Carregada - V4



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 5.30$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 0.80$$

$$a = 0.000$$

$$b = 0.100$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.300$$

$$e = 0.400$$

$$f = -0.030$$

$$g = -0.011$$

$$h = 0.064$$

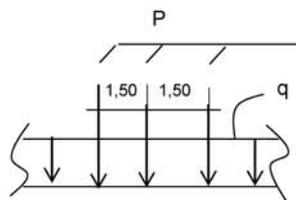
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

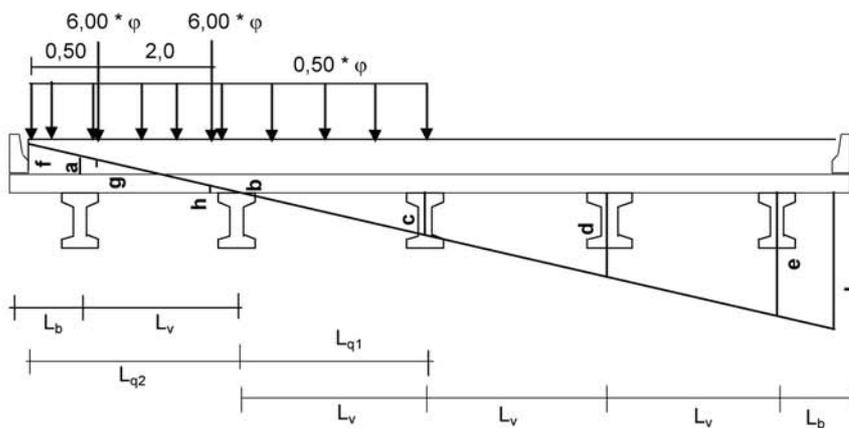
$$q = 0,50 * \varphi * ((f * L_{q2})/2 + (c * L_{q1})/2)$$

$$P \text{ (tf)} = 0.404$$

$$q \text{ (tf/m)} = 0.330$$



2.10 - Para Ponte Metade Carregada - V5



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 2.65$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V5:

$$a = -0.200$$

$$b = 0.000$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.400$$

$$e = 0.600$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.260 \qquad i = 0.660$$

$$g = -0.223$$

$$h = -0.072$$

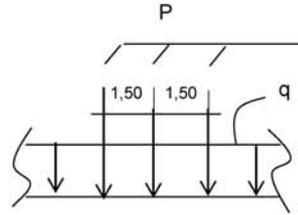
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

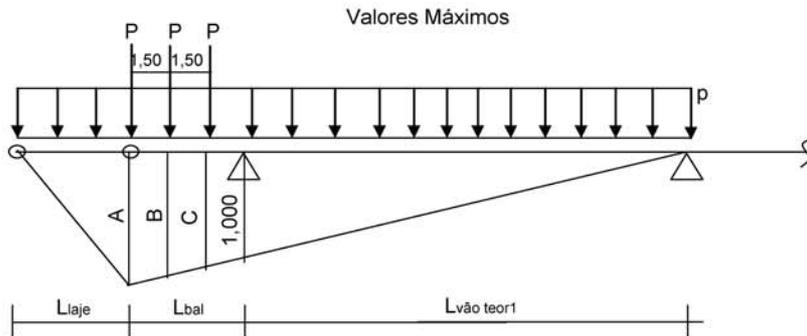
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q2})/2 + (c * L_{q1})/2]$$

$$P \text{ (tf)} = -2.251$$

$$q \text{ (tf/m)} = -0.117$$



2 - Cálculo das reações das vigas na travessa devido à Carga Móvel



$$L_{laje} \text{ (m)} = 2.950 \quad A = (L_{bal} + L_{vão teor1}) * (1,0 / L_{vão teor1}) \quad A = 1.168$$

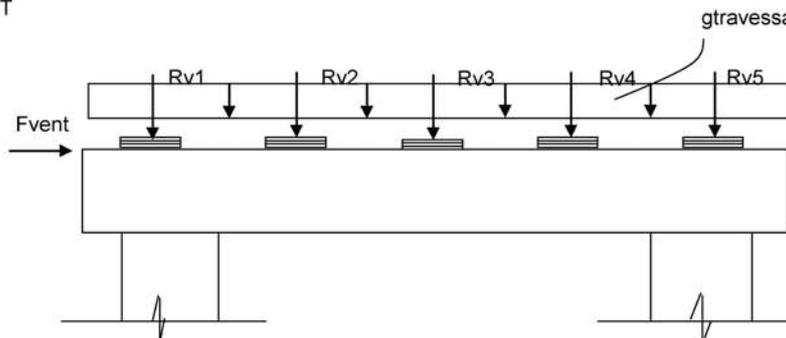
$$L_{bal} \text{ (m)} = 3.000 \quad B = (L_{bal} + L_{vão teor1} - 1,50) * (1,0 / L_{vão teor1}) \quad B = 1.084$$

$$L_{vão teor1} \text{ (m)} = 17.900 \quad C = (L_{bal} + L_{vão teor1} - 3,00) * (1,0 / L_{vão teor1}) \quad C = 1.000$$

$$R_v = P * (A + B + C) + p * [(A * L_{laje} / 2) + A * (L_{bal} + L_{vão1}) / 2]$$

| Ponte Totalmente Carregada | | | | Ponte Metade Carregada | | | |
|----------------------------|--------|----------|--------------|------------------------|--------|----------|--------------|
| Viga | P (tf) | p (tf/m) | Rv (tf) | Viga | P (tf) | p (tf/m) | Rv (tf) |
| V1 | 8.370 | 1.555 | 48.87 | V1 | 8.370 | 1.284 | 45.09 |
| V2 | 5.715 | 1.555 | 40.23 | V2 | 5.715 | 0.836 | 30.22 |
| V3 | 3.059 | 1.555 | 31.60 | V3 | 3.059 | 0.778 | 20.77 |
| V4 | 0.404 | 1.555 | 22.97 | V4 | 0.404 | 0.330 | 5.91 |
| V5 | -2.251 | 1.555 | 14.33 | V5 | -2.251 | -0.117 | -8.95 |

O Cálculo dos esforços para o dimensionamento da travessa e dos pilares será feito pelo programa SALT



*** Para o apoio 1:**

- Peso Próprio

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 57.460$$

$$g_{\text{travessa}} \text{ (tf/m)} = 3.000$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 57.460$$

- Carga Móvel - PTC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 48.87$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 40.23$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 31.60$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 22.97$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 14.33$$

- Carga Móvel - PMC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 45.09$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 30.22$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 20.77$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 5.91$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = -8.95$$

- Vento

$$F_{\text{vento}} \text{ (tf)} = 6.59$$

*** Para o apoio 3:**

- Peso Próprio

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 57.460$$

$$g_{\text{travessa}} \text{ (tf/m)} = 3.000$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 57.460$$

- Carga Móvel - PTC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 48.866$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 40.233$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 31.600$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 22.967$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 14.334$$

- Carga Móvel - PMC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 45.087$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 30.224$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 20.773$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 5.910$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = -8.954$$

- Vento

$$F_{\text{vento}} \text{ (tf)} = 6.587$$

Cálculo da Travessa do apoio P2

1 - Reação das vigas devido aos carregamentos permanentes e peso próprio da travessa

Obtidos diretamente do programa "SALT"

Vigas de Bordo ($V_1 = V_4$)

| | g1 | g2 | g3 | R_g (tf) |
|-------------------------|-------|-------|------|------------|
| RV viga21,25m(esq) (tf) | 11.09 | 11.22 | 7.83 | 60.28 |
| RV viga21,25m(dir) (tf) | 11.09 | 11.22 | 7.83 | |

Vigas Centrais ($V_2 = V_3$)

| | g1 | g2 | g3 | R_g (tf) |
|-------------------------|-------|-------|------|------------|
| RV viga21,25m(esq) (tf) | 11.09 | 13.27 | 3.69 | 58.07 |
| RV viga21,25m(dir) (tf) | 11.09 | 13.27 | 5.66 | |

Peso próprio da Travessa

$$\gamma_{conc} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2.50$$

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 1.8$$

$$g_{trav} = S * \gamma_{conc}$$

$$g_{trav} \text{ (tf/m)} = 4.50$$

2 - Distribuição transversal da carga móvel para obtenção do trem-tipo longitudinal por Courbon

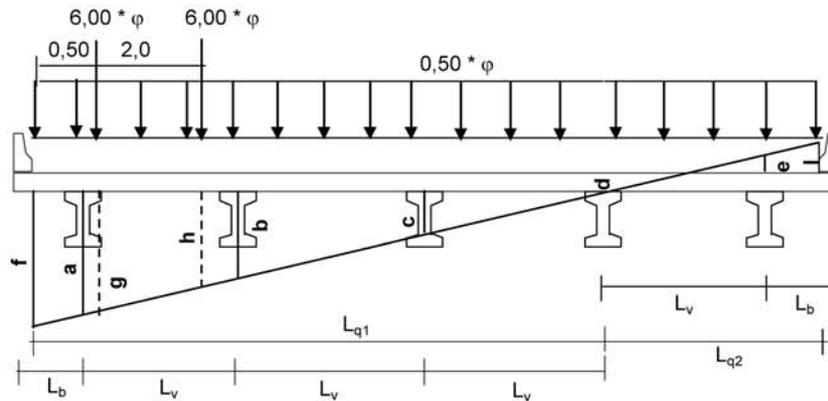
Cálculo do coeficiente de impacto

$$\varphi = 1,40 - 0,007 * L_{teórico}$$

$$L_{teórico} \text{ (m)} = 17.90$$

$$\varphi = 1.275$$

2.1 - Para Ponte Total Carregada - V1



$$L_b \text{ (m)} = 1.2$$

$$L_{q1} \text{ (m)} = 8.75$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65$$

$$L_{q2} \text{ (m)} = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V1:

$$a = 0.600$$

$$d = 0.000$$

$$b = 0.400$$

$$e = -0.200$$

$$c = 0.200$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = 0.660 \quad h = 0.472$$

$$g = 0.623 \quad i = -0.260$$

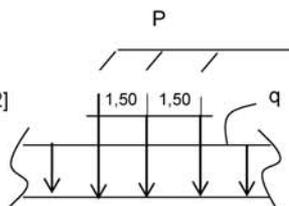
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

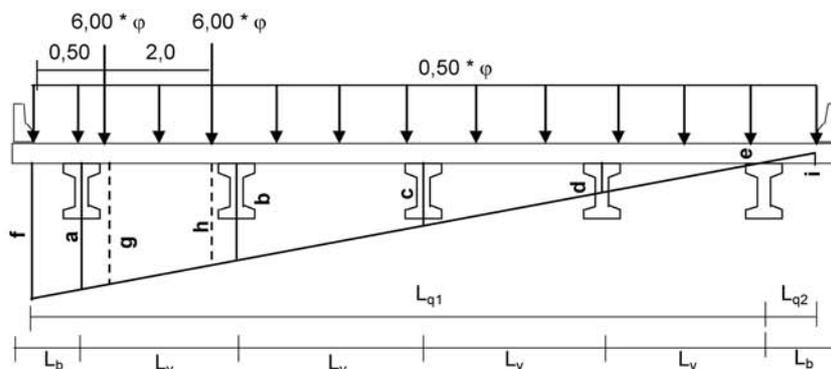
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q1})/2 + (i * L_{q2})/2]$$

$$P (tf) = 8.370$$

$$q (tf/m) = 1.555$$



2.2 - Para Ponte Total Carregada - V2



$$L_b (m) = 1.2 \quad L_{q1} (m) = 11.40$$

$$L_v (m) = 2.65 \quad L_{q2} (m) = 0.80$$

Ordenadas de Courbon para V2:

$$a = 0.400 \quad d = 0.100$$

$$b = 0.300 \quad e = 0.000$$

$$c = 0.200$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = 0.430 \quad h = 0.336$$

$$g = 0.411 \quad i = -0.030$$

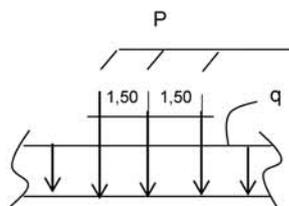
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

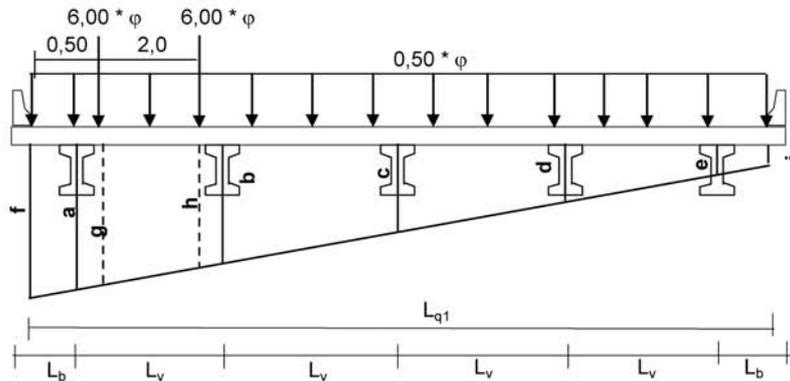
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q1})/2 + (i * L_{q2})/2]$$

$$P (tf) = 5.715$$

$$q (tf/m) = 1.555$$



2.3 - Para Ponte Total Carregada - V3



$L_b (m) = 1.2$ $L_{q1} (m) = 12.20$
 $L_v (m) = 2.65$

Ordenadas de Courbon para V3:

$a = 0.200$ $d = 0.200$
 $b = 0.200$ $e = 0.200$
 $c = 0.200$

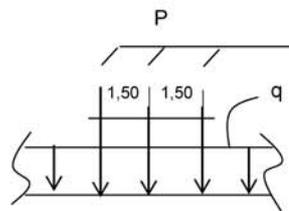
Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$f = 0.200$ $h = 0.200$
 $g = 0.200$ $i = 0.200$

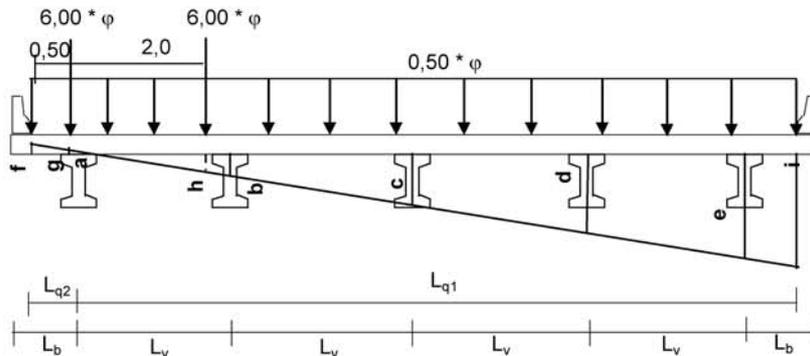
Cálculo do trem-tipo

$P = 6 * \phi * (g + h)$
 $q = 0,50 * \phi * [(f + i) * L_{q1}] / 2$

$P (tf) = 3.059$
 $q (tf/m) = 1.555$



2.4 - Para Ponte Total Carregada - V4



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 11.40$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 0.80$$

Ordenadas de Courbon para V4:

$$a = 0.000$$

$$b = 0.100 \qquad d = 0.300$$

$$c = 0.200 \qquad e = 0.400$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.030 \qquad h = 0.064$$

$$g = -0.011 \qquad i = 0.430$$

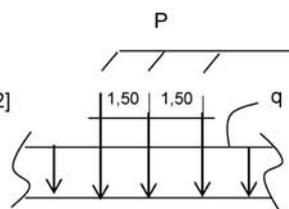
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

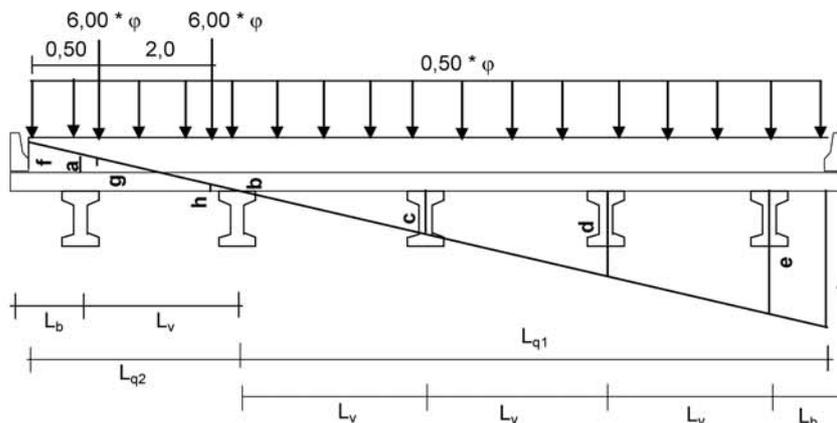
$$q = 0,50 * \varphi * [(i * L_{q1})/2 + (f * L_{q2})/2]$$

$$P \text{ (tf)} = 0.404$$

$$q \text{ (tf/m)} = 1.555$$



2.5 - Para Ponte Total Carregada - V5



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 8.75$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V1:

$$a = -0.200$$

$$b = 0.000$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.400$$

$$e = 0.600$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.260 \qquad i = 0.660$$

$$g = -0.223$$

$$h = -0.072$$

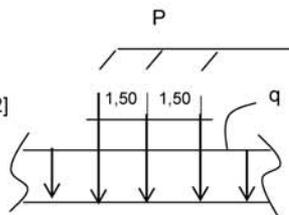
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

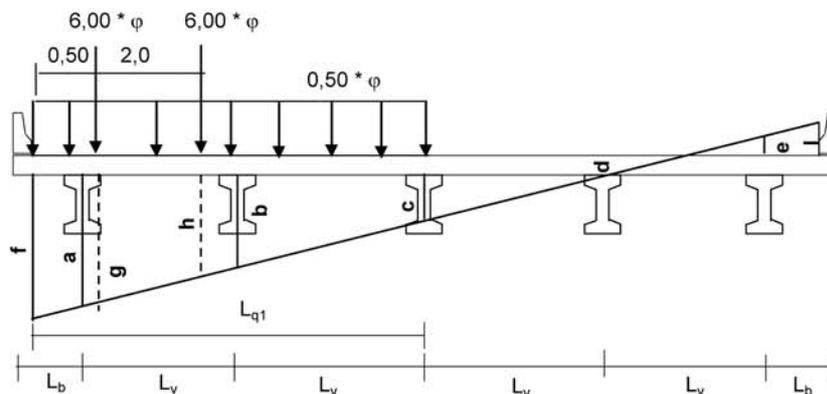
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q2})/2 + (i * L_{q1})/2]$$

$$P (tf) = -2.251$$

$$q (tf/m) = 1.555$$



2.6 - Para Ponte Metade Carregada - V1



$$L_b (m) = 1.2 \qquad L_{q1} (m) = 6.10$$

$$L_v (m) = 2.65$$

$$a = 0.600$$

$$b = 0.400$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.000$$

$$e = -0.200$$

$$f = 0.460$$

$$g = 0.423$$

$$h = 0.272$$

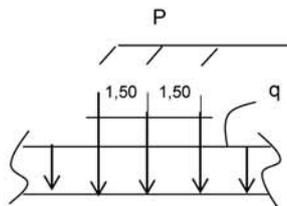
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

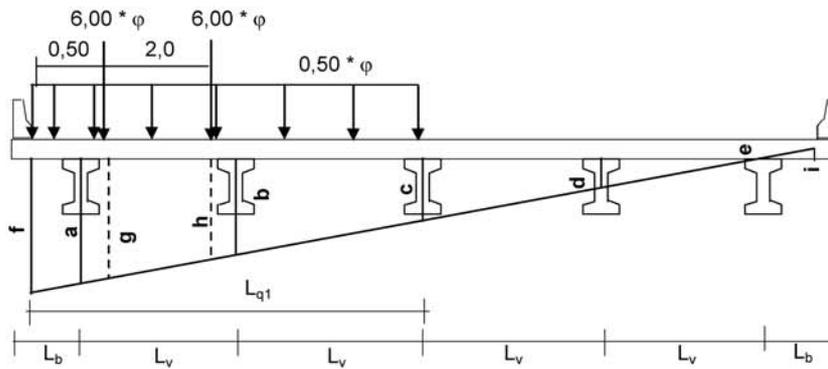
$$q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$$

$$P (tf) = 8.370$$

$$q (tf/m) = 1.284$$



2.7 - Para Ponte Metade Carregada - V2



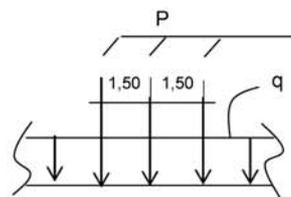
$L_b (m) = 1.2$ $L_{q1} (m) = 6.10$
 $L_v (m) = 2.65$

- a = 0.400
- b = 0.300
- c = 0.200
- d = 0.100
- e = 0.000
- f = 0.230
- g = 0.211
- h = 0.136

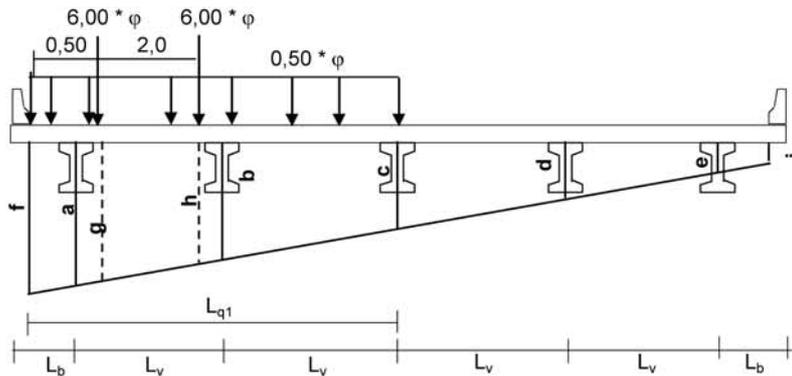
Cálculo do trem-tipo

$P = 6 * \varphi * (g + h)$
 $q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$

$P (tf) = 5.715$
 $q (tf/m) = 0.836$



2.8 - Para Ponte Metade Carregada - V3



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 6.10$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65$$

$$a = 0.200$$

$$b = 0.200$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.200$$

$$e = 0.200$$

$$f = 0.200$$

$$g = 0.200$$

$$h = 0.200$$

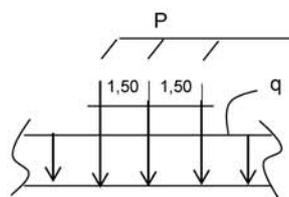
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

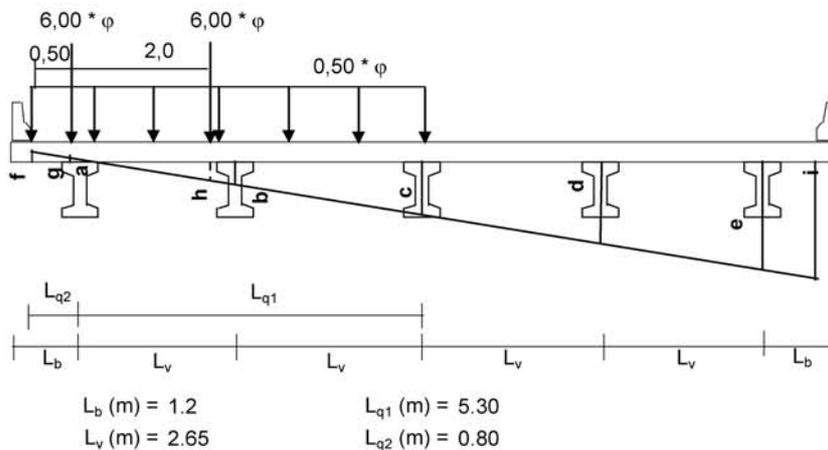
$$q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$$

$$P \text{ (tf)} = 3.059$$

$$q \text{ (tf/m)} = 0.778$$



2.9 - Para Ponte Metade Carregada - V4



$$a = 0.000$$

$$b = 0.100$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.300$$

$$e = 0.400$$

$$f = -0.030$$

$$g = -0.011$$

$$h = 0.064$$

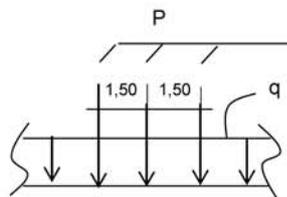
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

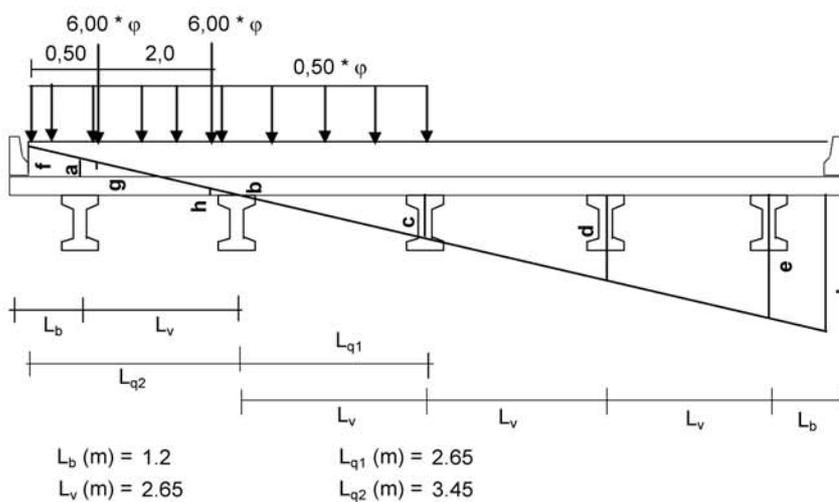
$$q = 0,50 * \varphi * ((f * L_{q2})/2 + (c * L_{q1})/2)$$

$$P \text{ (tf)} = 0.404$$

$$q \text{ (tf/m)} = 0.330$$



2.10 - Para Ponte Metade Carregada - V5



Ordenadas de Courbon para V5:

- a = -0.200
- b = 0.000
- c = 0.200
- d = 0.400
- e = 0.600

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.260 \qquad i = 0.660$$

$$g = -0.223$$

$$h = -0.072$$

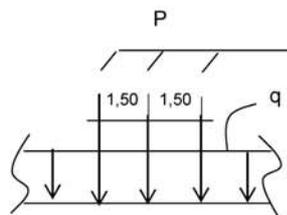
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

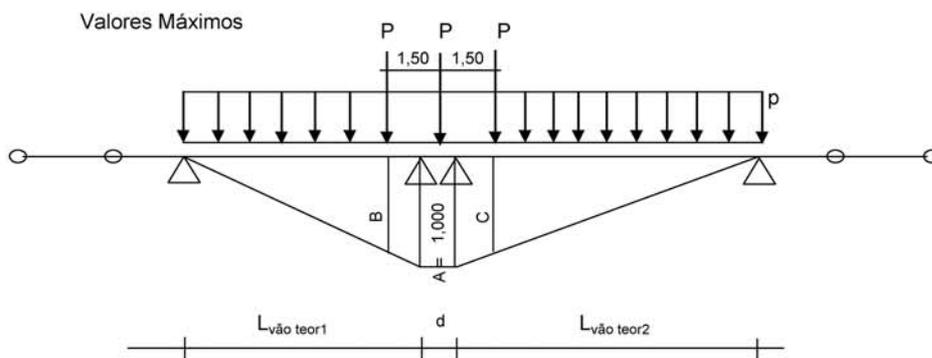
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q2})/2 + (c * L_{q1})/2]$$

$$P \text{ (tf)} = -2.251$$

$$q \text{ (tf/m)} = -0.117$$



2 - Cálculo das reações das vigas na travessa devido à Carga Móvel

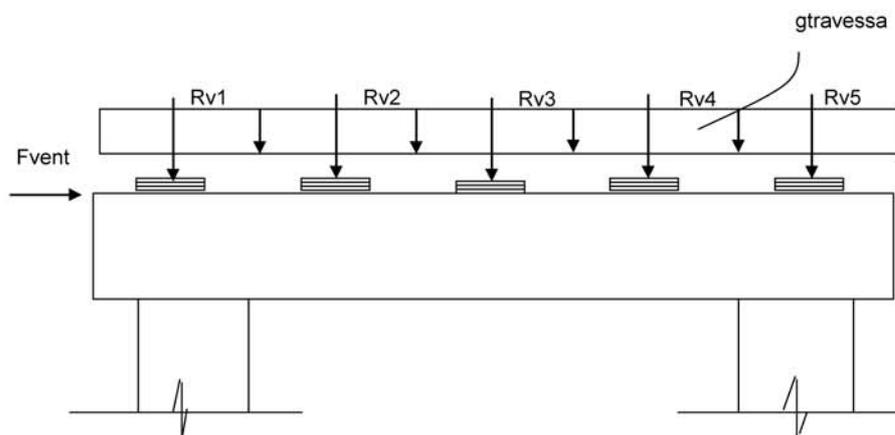


$L_{vão teor1} (m) = 17.900$ $B = (L_{vão teor1} - 1,15) * (1,000 / L_{vão teor1})$ $A = 1.000$
 $L_{vão teor2} (m) = 17.900$ $C = (L_{vão teor2} - 1,15) * (1,000 / L_{vão teor2})$ $B = 0.936$
 $d = 0.700$ $C = 0.936$

$R_v = P * (A + B + C) + p * [(A * d) + (A * L_{vão teor1}/2) + (A * L_{vão teor2}/2)]$

| Ponte Totalmente Carregada | | | | Ponte Metade Carregada | | | |
|----------------------------|--------|----------|--------------|------------------------|--------|----------|--------------|
| Viga | P (tf) | p (tf/m) | Rv (tf) | Viga | P (tf) | p (tf/m) | Rv (tf) |
| V1 | 8.370 | 1.555 | 52.96 | V1 | 8.370 | 1.284 | 47.91 |
| V2 | 5.715 | 1.555 | 45.33 | V2 | 5.715 | 0.836 | 31.96 |
| V3 | 3.059 | 1.555 | 37.71 | V3 | 3.059 | 0.778 | 23.25 |
| V4 | 0.404 | 1.555 | 30.09 | V4 | 0.404 | 0.330 | 7.30 |
| V5 | -2.251 | 1.555 | 22.46 | V5 | -2.251 | -0.117 | -8.65 |

O Cálculo dos esforços para o dimensionamento da travessa e dos pilares será feito pelo programa SALT



*** Para o apoio 2:**

- Peso Próprio

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 60.280$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 58.070$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 58.070$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 58.070$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 60.280$$

$$g_{travessa} \text{ (tf/m)} = 4.500$$

- Carga Móvel - PTC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 52.96$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 45.33$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 37.71$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 30.09$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 22.46$$

- Carga Móvel - PMC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 47.91$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 31.96$$

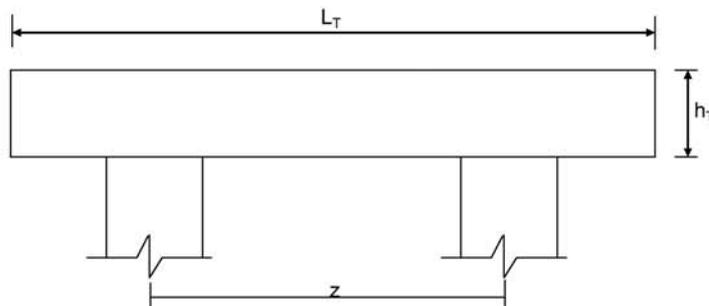
$$R_{v3} \text{ (tf)} = 23.25$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 7.30$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = -8.65$$

- Vento

$$F_{\text{vento}} \text{ (tf)} = 12.29$$

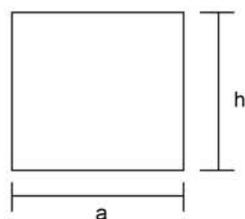
Dimensionamento da Travessa de P1


$$L_T \text{ (m)} = 11.80$$

$$h_T \text{ (m)} = 1.50$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0$$

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500.0$$



$$a \text{ (m)} = 0.800$$

$$h \text{ (m)} = 1.500$$

$$d \text{ (m)} = 1.40 \quad \text{d é a altura efetiva da seção}$$

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 1.2$$

$$g = S * 2.50$$

$$N_{trav} = g * L_T$$

$$g \text{ (tf/m)} = 3$$

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio $b_w \text{ (m)} = 0.80$

$$M_g \text{ (tf.m)} = -125.1 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} \text{ (tf.m)} = -97.7 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} \text{ (tf.m)} = -5.7 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 315.9$$

| | | | | | |
|-----------------------------|-------------------|---------|----------|-------|----------|
| $a = fcd * b_w * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * b_w * d * fcd$ | | 290.133 | -1015.47 | 315.9 | 664573 |
| $c = M_d$ | | | | | |

$$x \text{ (m)} = 0.345$$

$$z \text{ (m)} = 1.262$$

$$x / d = 0.247$$

$$kmd = 0.151$$

$$A_s^- \text{ (cm}^2\text{)} = \mathbf{57.57}$$

b) Seção do vão

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$M_g \text{ (tf.m)} = 16.7 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} \text{ (tf.m)} = 15.7 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} \text{ (tf.m)} = 0.1 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 45.5$$

| | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|---------|--------------------------------------|------|----------|
| $a = f_{cd} * b_w * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * b_w * d * f_{cd}$ | | 290.133 | -1015.47 | 45.5 | 978417 |
| $c = M_d$ | | | | | |
| | $x \text{ (m)} = 0.045$ | | $k_{md} = 0.022$ | | |
| | $z \text{ (m)} = 1.382$ | | $A_s^- \text{ (cm}^2\text{)} = 7.57$ | | |
| | $x / d = 0.032$ | | | | |

c) Armadura mínima

$$A_s^{min} = \frac{0.15}{100} \cdot b_w \cdot h_r$$

$$A_s^{min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18.0$$

Dimensionamento ao Cisalhamento

a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$V_g \text{ (tf)} = 65.3 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 48.9 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{sd} = 1,4 * V_g + 1,4 * V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 159.8$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad \text{onde :}$$

$$V_{Rd2} = 0,30 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd2} \text{ (tf)} = 448.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2.5 \cdot \beta_1 \cdot \tau_{rd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \quad (\text{concreto armado})$$

$$V_{cd} \text{ (tf)} = 72.4$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{wd} (tf) = 87.4$$

$$A_{sw}/s = 15.9 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 19.94 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

b) Seção do apoio à direita

$$V_g (tf) = 81.5 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_{q1} (tf) = 64.2 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{q2} (tf) = 3.4 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$V_{sd} = 1,4 \cdot V_g + 1,4 \cdot V_{q1} + 0,7 \cdot V_{q2}$$

$$V_{sd} (tf) = 206.3$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{cd} (tf) = 72.4$$

$$V_{wd} (tf) = 133.8$$

$$A_{sw}/s = 24.4 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 30.54 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

```

Portico Plano Travessa P1 Ponte 42,5m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      3.6000
  2      0.6000      3.6000
  3      2.6000      3.6000
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      3.6000
  6      5.9000      3.6000
  7      8.5500      3.6000
  8      9.2000      3.6000
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      3.6000
 11     11.8000      3.6000
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.200E+0000 1.200E+0000 2.250E-0001 1.0
  2 6.400E-0001 6.400E-0001 3.410E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 4
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2 PY -57.460
  5 PY -47.720
  6 PY -47.720
  7 PY -47.720
 10 PY -57.460
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  2 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  3 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  4 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  5 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  6 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  7 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  8 U 0.000 0.000 WYA -3.000
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC
cargas nodais
2 PY -48.870
5 PY -40.230
6 PY -31.600
7 PY -22.970
10 PY -14.330
0
fim
carregamento 3 PMC
cargas nodais
2 PY -45.090
5 PY -30.220
6 PY -20.770
7 PY -5.910
10 PY 8.950
0
fim
carregamento 4 Vento
cargas nodais
1 PX 6.590
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa Pl Ponte 42,5m

 DATA : 1/1/2006(domingo)
 HORA : 22:34:41
 ARQUIVO DE DADOS : travessapl_42,5m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | transl. x | transl. y | rotação z |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | nó final | comprimento |
|-------|----------------------------|-------|------------|----------|-------------|
| | material | seção | nó inicial | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6.00E-0001 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2.00E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6.50E-0001 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 | 2.65E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 | 2.65E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 | 6.50E-0001 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 | 2.00E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 | 6.00E-0001 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3.60E+0000 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 | 3.60E+0000 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.20E+0000 | 1.20E+0000 | 2.25E-0001 |
| 2 | 6.40E-0001 | 6.40E-0001 | 3.41E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 2 | global | 0.00 | -57.46 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -57.46 | 0.00 |

cargas aplicadas nas barras

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | f1 | f2 | wxa | wyb | wya | |
| 1 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | p | -3.0E+0000 | |
| 2 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 3 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 4 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 5 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 6 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 7 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 8 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 2 | global | 0.00 | -48.87 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -40.23 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -31.60 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -22.97 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -14.33 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 2 | global | 0.00 | -45.09 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -30.22 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -20.77 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -5.91 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 8.95 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - Vento

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 1 | global | 6.59 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 4
número de carregamentos 4

DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 1.5E+0002
Existe probabilidade de que o número de algarismos
corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1

Título : Peso Proprio

| no | sistema | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
|----|---------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | global | -6.01758E-0006 | -1.15328E-0003 | 3.48955E-0004 |
| 2 | global | -6.01758E-0006 | -9.43558E-0004 | 3.48789E-0004 |
| 3 | global | -6.01758E-0006 | -2.86129E-0004 | 1.58363E-0004 |
| 4 | global | 2.20381E-0031 | -5.12298E-0030 | -2.45611E-0031 |
| 5 | global | -4.83230E-0006 | -2.49357E-0004 | 7.51433E-0005 |
| 6 | global | 2.62567E-0018 | -2.67437E-0004 | 2.09377E-0019 |
| 7 | global | 4.83230E-0006 | -2.49357E-0004 | -7.51433E-0005 |
| 8 | global | 6.01758E-0006 | -2.86129E-0004 | -1.58363E-0004 |
| 9 | global | -2.20381E-0031 | -5.12298E-0030 | 2.45611E-0031 |
| 10 | global | 6.01758E-0006 | -9.43558E-0004 | -3.48789E-0004 |

11 global 6.01758E-0006 -1.15328E-0003 -3.48955E-0004

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|---------|-----------|
| nó sistema | | força x | força y | momento z |
| 4 | global | -6.31 | 146.74 | 7.04 |
| 9 | global | 6.31 | 146.74 | -7.04 |
| Resultante | | 0.00 | 293.48 | 1731.53 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força x | força y | momento z |
|--|---------|---------|-----------|
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| barra | esforços | nó | força normal | força cortante | momento fletor |
|-------|----------|----|--------------|----------------|----------------|
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | 1.80 | -0.54 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -59.26 | 0.54 |
| | | 3 | 0.00 | 65.26 | -125.06 |
| 3 | local | 3 | -6.31 | 81.48 | 109.37 |
| | | 5 | 6.31 | -79.53 | -57.04 |
| 4 | local | 5 | -6.31 | 31.81 | 57.04 |
| | | 6 | 6.31 | -23.86 | 16.72 |
| 5 | local | 6 | -6.31 | -23.86 | -16.72 |
| | | 7 | 6.31 | 31.81 | -57.04 |
| 6 | local | 7 | -6.31 | -79.53 | 57.04 |
| | | 8 | 6.31 | 81.48 | -109.37 |
| 7 | local | 8 | 0.00 | 65.26 | 125.06 |
| | | 10 | -0.00 | -59.26 | -0.54 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 1.80 | 0.54 |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 146.74 | 6.31 | 15.69 |
| | | 4 | -146.74 | -6.31 | 7.04 |
| 10 | local | 8 | 146.74 | -6.31 | -15.69 |
| | | 9 | -146.74 | 6.31 | -7.04 |

carregamento 2

Título : PTC

| | | deslocamentos nodais | | |
|------------|--------|----------------------|----------------|----------------|
| no sistema | | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
| 1 | global | -1.37602E-0004 | -9.38246E-0004 | 2.88633E-0004 |
| 2 | global | -1.37602E-0004 | -7.65066E-0004 | 2.88633E-0004 |
| 3 | global | -1.37602E-0004 | -2.20426E-0004 | 1.38049E-0004 |
| 4 | global | 8.75771E-0032 | -3.94662E-0030 | -2.59441E-0032 |
| 5 | global | -1.37131E-0004 | -1.84203E-0004 | 6.93548E-0005 |
| 6 | global | -1.35210E-0004 | -1.88235E-0004 | 3.98186E-0006 |
| 7 | global | -1.33290E-0004 | -1.15186E-0004 | 2.67303E-0005 |
| 8 | global | -1.32819E-0004 | -8.76582E-0005 | 1.21850E-0005 |
| 9 | global | -8.75771E-0032 | -1.56947E-0030 | 1.69263E-0031 |
| 10 | global | -1.32819E-0004 | -1.42032E-0004 | -3.19704E-0005 |
| 11 | global | -1.32819E-0004 | -1.61214E-0004 | -3.19704E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|---------|-----------|
| nó sistema | | força x | força y | momento z |
| 4 | global | -2.51 | 113.04 | 0.74 |
| 9 | global | 2.51 | 44.96 | -4.85 |
| Resultante | | -0.00 | 158.00 | 703.40 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | | | força | | | momento | | |
|-------|---------|----|--------------|----------------|----------------|---------|--|--|
| | | | x | y | z | | | |
| | | | -0.000 | -0.000 | 0.000 | | | |
| barra | esforço | nó | força normal | força cortante | momento fletor | | | |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | | | |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | | | |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -48.87 | -0.00 | | | |
| | | 3 | 0.00 | 48.87 | -97.74 | | | |
| 3 | local | 3 | -2.51 | 64.17 | 89.45 | | | |
| | | 5 | 2.51 | -64.17 | -47.74 | | | |
| 4 | local | 5 | -2.51 | 23.94 | 47.74 | | | |
| | | 6 | 2.51 | -23.94 | 15.71 | | | |
| 5 | local | 6 | -2.51 | -7.66 | -15.71 | | | |
| | | 7 | 2.51 | 7.66 | -4.57 | | | |
| 6 | local | 7 | -2.51 | -30.63 | 4.57 | | | |
| | | 8 | 2.51 | 30.63 | -24.48 | | | |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 14.33 | 28.66 | | | |
| | | 10 | 0.00 | -14.33 | 0.00 | | | |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | | | |
| | | 11 | 0.00 | 0.00 | -0.00 | | | |
| 9 | local | 3 | 113.04 | 2.51 | 8.29 | | | |
| | | 4 | -113.04 | -2.51 | 0.74 | | | |
| 10 | local | 8 | 44.96 | -2.51 | -4.18 | | | |
| | | 9 | -44.96 | 2.51 | -4.85 | | | |

carregamento 3

Título : PMC

deslocamentos nodais

| no sistema | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
|------------|----------------|----------------|---------------|
| 1 global | -2.13368E-0004 | -9.04234E-0004 | 2.85339E-0004 |
| 2 global | -2.13368E-0004 | -7.33030E-0004 | 2.85339E-0004 |
| 3 global | -2.13368E-0004 | -1.92455E-0004 | 1.46402E-0004 |
| 4 global | 3.96127E-0032 | -3.44581E-0030 | 6.83607E-0032 |
| 5 global | -2.13155E-0004 | -1.45057E-0004 | 7.95925E-0005 |
| 6 global | -2.12286E-0004 | -1.31985E-0004 | 4.88258E-0006 |
| 7 global | -2.11418E-0004 | -4.26758E-0005 | 7.08782E-0005 |
| 8 global | -2.11204E-0004 | 1.10365E-0005 | 8.94716E-0005 |
| 9 global | -3.96127E-0032 | 1.97603E-0031 | 1.56656E-0031 |
| 10 global | -2.11204E-0004 | 2.39160E-0004 | 1.17049E-0004 |
| 11 global | -2.11204E-0004 | 3.09390E-0004 | 1.17049E-0004 |

reações nos apoios

| nó sistema | força x | força y | momento z |
|------------|---------|---------|-----------|
| 4 global | -1.13 | 98.70 | -1.96 |
| 9 global | 1.13 | -5.66 | -4.49 |
| Resultante | -0.00 | 93.04 | 198.10 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | | | força | | | momento | | |
|-------|---------|----|--------------|----------------|----------------|---------|--|--|
| | | | x | y | z | | | |
| | | | -0.000 | -0.000 | 0.000 | | | |
| barra | esforço | nó | força normal | força cortante | momento fletor | | | |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | | | |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | | | |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -45.09 | -0.00 | | | |
| | | 3 | 0.00 | 45.09 | -90.18 | | | |
| 3 | local | 3 | -1.13 | 53.61 | 84.14 | | | |
| | | 5 | 1.13 | -53.61 | -49.29 | | | |
| 4 | local | 5 | -1.13 | 23.39 | 49.29 | | | |
| | | 6 | 1.13 | -23.39 | 12.69 | | | |
| 5 | local | 6 | -1.13 | 2.62 | -12.69 | | | |
| | | 7 | 1.13 | -2.62 | 19.64 | | | |
| 6 | local | 7 | -1.13 | -3.29 | -19.64 | | | |
| | | 8 | 1.13 | 3.29 | 17.50 | | | |
| 7 | local | 8 | -0.00 | -8.95 | -17.90 | | | |
| | | 10 | 0.00 | 8.95 | -0.00 | | | |

| | | | | | |
|----|-------|----|--------|-------|-------|
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| | | 11 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 98.70 | 1.13 | 6.04 |
| | | 4 | -98.70 | -1.13 | -1.96 |
| 10 | local | 8 | -5.66 | -1.13 | 0.40 |
| | | 9 | 5.66 | 1.13 | -4.49 |

carregamento 4

Título : Vento

| | | deslocamentos nodais | | |
|------------|--------|----------------------|----------------|----------------|
| no sistema | | deslocamento | deslocamento | rotacao |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 1.74741E-0004 | 3.48197E-0005 | -1.21169E-0005 |
| 2 | global | 1.73598E-0004 | 2.75496E-0005 | -1.21169E-0005 |
| 3 | global | 1.69791E-0004 | 3.31570E-0006 | -1.21169E-0005 |
| 4 | global | 1.16874E-0031 | 5.93659E-0032 | -2.21933E-0031 |
| 5 | global | 1.69182E-0004 | -2.06048E-0006 | -6.96748E-0006 |
| 6 | global | 1.66700E-0004 | -6.98497E-0007 | 2.57129E-0006 |
| 7 | global | 1.64218E-0004 | 1.56435E-0006 | -6.28759E-0006 |
| 8 | global | 1.63609E-0004 | -3.31570E-0006 | -1.12702E-0005 |
| 9 | global | 1.13195E-0031 | -5.93659E-0032 | -2.14504E-0031 |
| 10 | global | 1.63609E-0004 | -2.58562E-0005 | -1.12702E-0005 |
| 11 | global | 1.63609E-0004 | -3.26184E-0005 | -1.12702E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|-------|---------|
| nó sistema | | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 4 | global | -3.35 | -1.70 | 6.36 |
| 9 | global | -3.24 | 1.70 | 6.14 |
| Resultante | | -6.59 | 0.00 | 23.72 |

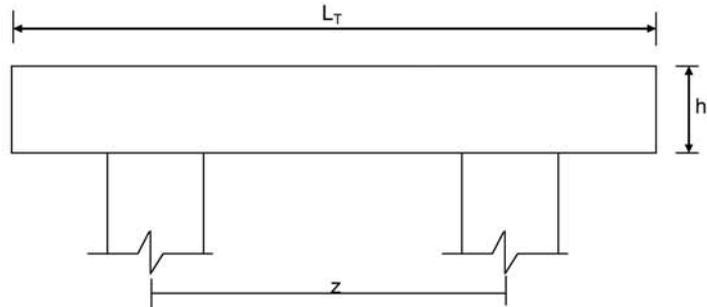
NOTA:
o(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio | | | |
|---|-------|-------|---------|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | 0.000 | -0.000 |

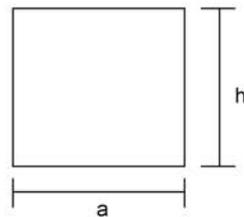
| barra | esforços | nas | barra | momento |
|---------|----------|--------------|----------------|---------|
| sistema | nó | força normal | força cortante | fletor |
| 1 | local | 1 | 6.59 | -0.00 |
| | | 2 | -6.59 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | 6.59 | 0.00 |
| | | 3 | -6.59 | 0.00 |
| 3 | local | 3 | 3.24 | -1.70 |
| | | 5 | -3.24 | 1.70 |
| 4 | local | 5 | 3.24 | -1.70 |
| | | 6 | -3.24 | 1.70 |
| 5 | local | 6 | 3.24 | -1.70 |
| | | 7 | -3.24 | 1.70 |
| 6 | local | 7 | 3.24 | -1.70 |
| | | 8 | -3.24 | 1.70 |
| 7 | local | 8 | 0.00 | 0.00 |
| | | 10 | -0.00 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | -1.70 | 3.35 |
| | | 4 | 1.70 | -3.35 |
| 10 | local | 8 | 1.70 | 3.24 |
| | | 9 | -1.70 | -3.24 |

Fim Do Programa

Dimensionamento da Travessa de P2



L_T (m) = 11.80
 h_T (m) = 1.50
 f_{ck} (MPa) = 20.0
 f_{yk} (MPa) = 500.0



a (m) = 1.200
 h (m) = 1.500

d (m) = 1.40 d é a altura efetiva da seção

S (m²) = 1.8
 $g = S * 2,50$
 $N_{trav} = g * L_T$

g (tf/m) = 4.5

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio b_w (m) = 1.20

M_g (tf.m) = -135.8 (reação de carga permanente das vigas)

M_{q1} (tf.m) = -105.9 (reação de carga móvel das vigas)

M_{q2} (tf.m) = -9.5 (vento na superestrutura)

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d$$
 (tf.m) = 345.0

| | | | | | |
|----------------------------|-------------------|-------|---------|-------|----------|
| $a = fcd * bw * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * bw * d * fcd$ | | 435.2 | -1523.2 | 345.0 | 1719547 |
| $c = M_d$ | | | | | |

$$x$$
 (m) = 0.243
 z (m) = 1.303
 x / d = 0.174

$$kmd = 0.110$$

$$A_s$$
 (cm²) = 60.92

b) Seção do vão

$$b_w \text{ (m)} = 1.20$$

$$M_g \text{ (tf.m)} = 34.1 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} \text{ (tf.m)} = 18.3 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} \text{ (tf.m)} = 0.2 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 73.6$$

| | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-------|---------------------------------------|------|----------|
| $a = f_{cd} * b_w * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * b_w * d * f_{cd}$ | | 435.2 | -1523.2 | 73.6 | 2192068 |
| $c = M_d$ | | | | | |
| | $x \text{ (m)} = 0.049$ | | $k_{md} = 0.023$ | | |
| | $z \text{ (m)} = 1.380$ | | $A_s^- \text{ (cm}^2\text{)} = 12.26$ | | |
| | $x / d = 0.035$ | | | | |

c) Armadura mínima

$$A_s^{min} = \frac{0.15}{100} \cdot b_w \cdot h_f$$

$$A_s^{min} \text{ (cm}^2\text{)} = 27.0$$

Dimensionamento ao Cisalhamento
a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 1.20$$

$$V_g \text{ (tf)} = 72.0 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 53.0 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{sd} = 1,4 * V_g + 1,4 * V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 174.9$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad \text{onde :}$$

$$V_{Rd2} = 0,30 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd2} \text{ (tf)} = 672.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2.5 \cdot \beta_1 \cdot \tau_{rd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 \cdot (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \quad (\text{concreto armado})$$

$$V_{cd} \text{ (tf)} = 108.6$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{wd} (tf) = 66.3$$

$$A_{sw}/s = 12.1 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 15.00 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

b) Seção do apoio à direita

$$V_g (tf) = 102.0 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_{q1} (tf) = 71.4 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{q2} (tf) = 2.8 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$V_{sd} = 1,4 \cdot V_g + 1,4 \cdot V_{q1} + 0,7 \cdot V_{q2}$$

$$V_{sd} (tf) = 244.7$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{cd} (tf) = 108.6$$

$$V_{wd} (tf) = 136.1$$

$$A_{sw}/s = 24.8 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 20.70 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

```

Portico Plano Travessa P2 Ponte 42,5m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      3.2000
  2      0.6000      3.2000
  3      2.6000      3.2000
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      3.2000
  6      5.9000      3.2000
  7      8.5500      3.2000
  8      9.2000      3.2000
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      3.2000
 11     11.8000      3.2000
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.800E+0000 1.800E+0000 3.380E-0001 1.0
  2 8.000E-0001 8.000E-0001 4.267E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 4
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2  PY -60.280
  5  PY -58.070
  6  PY -58.070
  7  PY -58.070
 10  PY -60.280
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  2 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  3 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  4 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  5 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  6 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  7 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  8 U 0.000 0.000 WYA -4.500
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC
cargas nodais
2 PY -52.960
5 PY -45.330
6 PY -37.710
7 PY -30.090
10 PY -22.460
0
fim
carregamento 3 PMC
cargas nodais
2 PY -47.910
5 PY -31.960
6 PY -23.250
7 PY -7.300
10 PY 8.650
0
fim
carregamento 4 Vento
cargas nodais
1 PX 12.290
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa P2 Ponte 42,5m

 DATA : 1/1/2006(domingo)
 HORA : 22:34:46
 ARQUIVO DE DADOS : travessap2_42,5m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | transl. x | transl. y | rotação z |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | nó final | comprimento |
|-------|----------------------------|-------|------------|----------|-------------|
| | material | seção | nó inicial | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6.00E-0001 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2.00E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6.50E-0001 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 | 2.65E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 | 2.65E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 | 6.50E-0001 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 | 2.00E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 | 6.00E-0001 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3.20E+0000 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 | 3.20E+0000 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.80E+0000 | 1.80E+0000 | 3.38E-0001 |
| 2 | 8.00E-0001 | 8.00E-0001 | 4.27E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 2 | global | 0.00 | -60.28 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -58.07 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -58.07 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -58.07 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -60.28 | 0.00 |

cargas aplicadas nas barras

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | fi | f2 | wxa | wxb | wya | |
| 1 | local | U | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 2 | local | U | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 3 | local | U | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 4 | local | U | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 5 | local | U | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 6 | local | U | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 7 | local | U | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 8 | local | U | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC

| nó | sistema | cargas | noda is | momento |
|----|---------|---------|---------|---------|
| | | força x | força y | z |
| 2 | global | 0.00 | -52.96 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -45.33 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -37.71 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -30.09 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -22.46 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC

| nó | sistema | cargas | noda is | momento |
|----|---------|---------|---------|---------|
| | | força x | força y | z |
| 2 | global | 0.00 | -47.91 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -31.96 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -23.25 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -7.30 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 8.65 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - Vento

| nó | sistema | cargas | noda is | momento |
|----|---------|---------|---------|---------|
| | | força x | força y | z |
| 1 | global | 12.29 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 4
número de carregamentos 4

DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 1.2E+0002
Existe probabilidade de que o número de algarismos
corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1

Título : Peso Proprio

| no | sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao |
|----|---------|----------------|----------------|----------------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | -3.37693E-0006 | -7.95111E-0004 | 2.23999E-0004 |
| 2 | global | -3.37693E-0006 | -6.60362E-0004 | 2.23833E-0004 |
| 3 | global | -3.37693E-0006 | -2.41178E-0004 | 8.68350E-0005 |
| 4 | global | 1.23835E-0031 | -4.05362E-0030 | -1.20291E-0031 |
| 5 | global | -2.71178E-0006 | -2.37024E-0004 | 2.60984E-0005 |
| 6 | global | 1.45764E-0018 | -3.00973E-0004 | 1.89311E-0019 |
| 7 | global | 2.71178E-0006 | -2.37024E-0004 | -2.60984E-0005 |
| 8 | global | 3.37693E-0006 | -2.41178E-0004 | -8.68350E-0005 |
| 9 | global | -1.23835E-0031 | -4.05362E-0030 | 1.20291E-0031 |
| 10 | global | 3.37693E-0006 | -6.60362E-0004 | -2.23833E-0004 |

11 global 3.37693E-0006 -7.95111E-0004 -2.23999E-0004

| | | reações nos apoios | | |
|------------|---------|--------------------|--------|---------|
| nó | sistema | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 4 | global | -5.31 | 173.93 | 5.16 |
| 9 | global | 5.31 | 173.94 | -5.16 |
| Resultante | | -0.00 | 347.87 | 2052.43 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força | força | momento |
|--|--------|-------|---------|
| | x | y | z |
| | -0.000 | 0.000 | 0.000 |

| barra | esforços | nó | força normal | força cortante | momento fletor |
|-------|----------|----|--------------|----------------|----------------|
| 1 | local | 1 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| | | 2 | -0.00 | 2.70 | -0.81 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -62.98 | 0.81 |
| | | 3 | 0.00 | 71.98 | -135.77 |
| 3 | local | 3 | -5.31 | 101.95 | 123.93 |
| | | 5 | 5.31 | -99.03 | -58.61 |
| 4 | local | 5 | -5.31 | 40.96 | 58.61 |
| | | 6 | 5.31 | -29.03 | 34.14 |
| 5 | local | 6 | -5.31 | -29.04 | -34.14 |
| | | 7 | 5.31 | 40.96 | -58.61 |
| 6 | local | 7 | -5.31 | -99.03 | 58.61 |
| | | 8 | 5.31 | 101.96 | -123.93 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 71.98 | 135.77 |
| | | 10 | 0.00 | -62.98 | -0.81 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | 2.70 | 0.81 |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 173.93 | 5.31 | 11.84 |
| | | 4 | -173.93 | -5.31 | 5.16 |
| 10 | local | 8 | 173.94 | -5.31 | -11.84 |
| | | 9 | -173.94 | 5.31 | -5.16 |

carregamento 2

Título : PTC

deslocamentos nodais

| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| | x | y | z |
| 1 global | -7.41246E-0005 | -6.82346E-0004 | 2.05143E-0004 |
| 2 global | -7.41246E-0005 | -5.59260E-0004 | 2.05143E-0004 |
| 3 global | -7.41246E-0005 | -1.72439E-0004 | 9.65125E-0005 |
| 4 global | 7.33514E-0032 | -2.89828E-0030 | -3.08411E-0032 |
| 5 global | -7.37306E-0005 | -1.48858E-0004 | 4.72041E-0005 |
| 6 global | -7.21243E-0005 | -1.55563E-0004 | 3.12986E-0006 |
| 7 global | -7.05181E-0005 | -1.04038E-0004 | 1.10272E-0005 |
| 8 global | -7.01241E-0005 | -8.90042E-0005 | -6.35707E-0006 |
| 9 global | -7.33514E-0032 | -1.49594E-0030 | 1.11663E-0031 |
| 10 global | -7.01241E-0005 | -1.83906E-0004 | -5.24266E-0005 |
| 11 global | -7.01241E-0005 | -2.15362E-0004 | -5.24266E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|---------|--------------------|--------|---------|
| nó | sistema | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 4 | global | -3.15 | 124.36 | 1.32 |
| 9 | global | 3.15 | 64.19 | -4.79 |
| Resultante | | 0.00 | 188.55 | 910.41 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| barra | e s f o r ç o s sistema | n ó | força | | | momento fletor |
|-------|----------------------------|-----|--------------|----------------|-------------|-------------------|
| | | | x | y | z | |
| | | | 0.000 | -0.000 | -0.000 | |
| | | | n a s | | b a r r a s | |
| | | | força normal | força cortante | | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | | 2 | -0.00 | -0.00 | 0.00 | |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -52.96 | -0.00 | |
| | | 3 | 0.00 | 52.96 | -105.92 | |
| 3 | local | 3 | -3.15 | 71.40 | 97.17 | |
| | | 5 | 3.15 | -71.40 | -50.76 | |
| 4 | local | 5 | -3.15 | 26.07 | 50.76 | |
| | | 6 | 3.15 | -26.07 | 18.33 | |
| 5 | local | 6 | -3.15 | -11.64 | -18.33 | |
| | | 7 | 3.15 | 11.64 | -12.52 | |
| 6 | local | 7 | -3.15 | -41.73 | 12.52 | |
| | | 8 | 3.15 | 41.73 | -39.64 | |
| 7 | local | 8 | 0.00 | 22.46 | 44.92 | |
| | | 10 | -0.00 | -22.46 | -0.00 | |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | |
| 9 | local | 3 | 124.36 | 3.15 | 8.75 | |
| | | 4 | -124.36 | -3.15 | 1.32 | |
| 10 | local | 8 | 64.19 | -3.15 | -5.28 | |
| | | 9 | -64.19 | 3.15 | -4.79 | |

carregamento 3

Título : PMC

deslocamentos nodais

| no sistema | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
|------------|----------------|----------------|---------------|
| 1 global | -1.35051E-0004 | -6.50023E-0004 | 2.02055E-0004 |
| 2 global | -1.35051E-0004 | -5.28791E-0004 | 2.02055E-0004 |
| 3 global | -1.35051E-0004 | -1.45908E-0004 | 1.03782E-0004 |
| 4 global | 2.83207E-0032 | -2.45237E-0030 | 4.77256E-0032 |
| 5 global | -1.34898E-0004 | -1.12452E-0004 | 5.62815E-0005 |
| 6 global | -1.34278E-0004 | -1.03219E-0004 | 4.56566E-0006 |
| 7 global | -1.33658E-0004 | -3.45289E-0005 | 5.17541E-0005 |
| 8 global | -1.33506E-0004 | 4.79416E-0006 | 6.40651E-0005 |
| 9 global | -2.83207E-0032 | 8.05783E-0032 | 1.02745E-0031 |
| 10 global | -1.33506E-0004 | 1.64577E-0004 | 8.18078E-0005 |
| 11 global | -1.33506E-0004 | 2.13662E-0004 | 8.18078E-0005 |

reações nos apoios

| nó sistema | força x | força y | momento z |
|------------|---------|---------|-----------|
| 4 global | -1.22 | 105.23 | -2.05 |
| 9 global | 1.22 | -3.46 | -4.41 |
| Resultante | 0.00 | 101.77 | 235.33 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| barra | e s f o r ç o s sistema | n ó | força | | | momento fletor |
|-------|----------------------------|-----|--------------|----------------|-------------|-------------------|
| | | | x | y | z | |
| | | | 0.000 | -0.000 | -0.000 | |
| | | | n a s | | b a r r a s | |
| | | | força normal | força cortante | | |
| 1 | local | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | | 2 | -0.00 | -0.00 | 0.00 | |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -47.91 | -0.00 | |
| | | 3 | 0.00 | 47.91 | -95.82 | |
| 3 | local | 3 | -1.22 | 57.32 | 89.88 | |
| | | 5 | 1.22 | -57.32 | -52.63 | |
| 4 | local | 5 | -1.22 | 25.36 | 52.63 | |
| | | 6 | 1.22 | -25.36 | 14.57 | |
| 5 | local | 6 | -1.22 | 2.11 | -14.57 | |
| | | 7 | 1.22 | -2.11 | 20.16 | |
| 6 | local | 7 | -1.22 | -5.19 | -20.16 | |
| | | 8 | 1.22 | 5.19 | 16.78 | |
| 7 | local | 8 | 0.00 | -8.65 | -17.30 | |
| | | 10 | -0.00 | 8.65 | 0.00 | |

| | | | | | |
|----|-------|----|---------|-------|-------|
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 105.23 | 1.22 | 5.94 |
| | | 4 | -105.23 | -1.22 | -2.05 |
| 10 | local | 8 | -3.46 | -1.22 | 0.52 |
| | | 9 | 3.46 | 1.22 | -4.41 |

carregamento 4

Título : Vento

| | | deslocamentos nodais | | |
|------------|--------|----------------------|----------------|----------------|
| no sistema | | deslocamento | deslocamento | rotacao |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 1.87590E-0004 | 3.92164E-0005 | -1.35752E-0005 |
| 2 | global | 1.86170E-0004 | 3.10713E-0005 | -1.35752E-0005 |
| 3 | global | 1.81436E-0004 | 3.92075E-0006 | -1.35752E-0005 |
| 4 | global | 1.45903E-0031 | 6.58984E-0032 | -2.45615E-0031 |
| 5 | global | 1.80681E-0004 | -2.12935E-0006 | -7.85846E-0006 |
| 6 | global | 1.77604E-0004 | -9.13076E-0007 | 2.76841E-0006 |
| 7 | global | 1.74527E-0004 | 1.48080E-0006 | -6.96970E-0006 |
| 8 | global | 1.73772E-0004 | -3.92075E-0006 | -1.24685E-0005 |
| 9 | global | 1.40519E-0031 | -6.58984E-0032 | -2.36010E-0031 |
| 10 | global | 1.73772E-0004 | -2.88578E-0005 | -1.24685E-0005 |
| 11 | global | 1.73772E-0004 | -3.63389E-0005 | -1.24685E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|-------|---------|
| nó sistema | | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 4 | global | -6.26 | -2.83 | 10.54 |
| 9 | global | -6.03 | 2.83 | 10.13 |
| Resultante | | -12.29 | 0.00 | 39.33 |

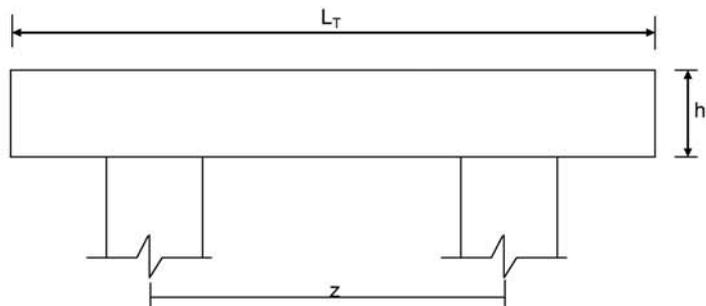
NOTA:
o(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio | | | |
|---|--------|-------|---------|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | -0.000 | 0.000 | 0.000 |

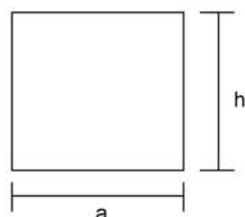
| barra | esforços | nas | barra | momento |
|---------|----------|--------|----------|---------|
| sistema | nó | força | força | fletor |
| | | normal | cortante | |
| 1 | local | 1 | 12.29 | 0.00 |
| | | 2 | -12.29 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | 12.29 | 0.00 |
| | | 3 | -12.29 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | 6.03 | -9.49 |
| | | 5 | -6.03 | 7.66 |
| 4 | local | 5 | 6.03 | -7.66 |
| | | 6 | -6.03 | 0.16 |
| 5 | local | 6 | 6.03 | -0.16 |
| | | 7 | -6.03 | -7.33 |
| 6 | local | 7 | 6.03 | 7.33 |
| | | 8 | -6.03 | -9.17 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 0.00 |
| | | 10 | 0.00 | -0.00 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | -2.83 | 9.49 |
| | | 4 | 2.83 | 10.54 |
| 10 | local | 8 | 2.83 | 9.17 |
| | | 9 | -2.83 | 10.13 |

Fim Do Programa

Dimensionamento da Travessa de P3



L_T (m) = 11.80
 h_T (m) = 1.50
 f_{ck} (MPa) = 20.0
 f_{yk} (MPa) = 500.0



a (m) = 0.800
 h (m) = 1.500

d (m) = 1.40 **d** é a altura efetiva da seção

S (m²) = 1.2
 $g = S * 2,50$ g (tf/m) = 3
 $N_{trav} = g * L_T$

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio b_w (m) = 0.80

M_g (tf.m) = -125.1 (reação de carga permanente das vigas)

M_{q1} (tf.m) = -97.7 (reação de carga móvel das vigas)

M_{q2} (tf.m) = -6.5 (vento na superestrutura)

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d$$
 (tf.m) = 316.5

| | | | | | |
|----------------------------|-------------------|---------|----------|-------|----------|
| $a = fcd * bw * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * bw * d * fcd$ | | 290.133 | -1015.47 | 316.5 | 663915 |
| $c = M_d$ | | | | | |

x (m) = 0.346 $kmd = 0.151$
 z (m) = 1.262
 $x / d = 0.247$

$$A_s$$
 (cm²) = 57.69

b) Seção do vão

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$M_g \text{ (tf.m)} = 15.6 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} \text{ (tf.m)} = 15.3 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} \text{ (tf.m)} = 0.1 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 43.3$$

| | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|---------|-------------------------------------|------|----------|
| $a = fcd * bw * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * bw * d * fcd$ | | 290.133 | -1015.47 | 43.3 | 980911 |
| $c = M_d$ | | | | | |
| | $x \text{ (m)} = 0.043$ | | $kmd = 0.021$ | | |
| | $z \text{ (m)} = 1.383$ | | $As^- \text{ (cm}^2\text{)} = 7.20$ | | |
| | $x / d = 0.031$ | | | | |

c) Armadura mínima

$$A_s^{min} = \frac{0.15}{100} \cdot b_w \cdot h_r$$

$$As^{min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18.0$$

Dimensionamento ao Cisalhamento
a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$V_g \text{ (tf)} = 65.3 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 48.9 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{sd} = 1,4 * V_g + 1,4 * V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 159.8$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad \text{onde :}$$

$$V_{Rd2} = 0,30 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd2} \text{ (tf)} = 448.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2.5 \cdot \beta_1 \cdot \tau_{rd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \quad (\text{concreto armado})$$

$$V_{cd} \text{ (tf)} = 72.4$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{wd} (tf) = 87.4$$

$$A_{sw}/s = 15.9 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 19.94 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

b) Seção do apoio à direita

$$V_g (tf) = 81.5 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_{q1} (tf) = 64.2 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{q2} (tf) = 2.0 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$V_{sd} = 1,4 \cdot V_g + 1,4 \cdot V_{q1} + 0,7 \cdot V_{q2}$$

$$V_{sd} (tf) = 205.4$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{cd} (tf) = 72.4$$

$$V_{wd} (tf) = 132.9$$

$$A_{sw}/s = 24.3 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 30.33 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

```

Portico Plano Travessa P3 Ponte 42,5m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      4.1000
  2      0.6000      4.1000
  3      2.6000      4.1000
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      4.1000
  6      5.9000      4.1000
  7      8.5500      4.1000
  8      9.2000      4.1000
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      4.1000
 11     11.8000      4.1000
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.200E+0000 1.200E+0000 2.250E-0001 1.0
  2 6.400E-0001 6.400E-0001 3.410E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 4
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2  PY -57.460
  5  PY -47.720
  6  PY -47.720
  7  PY -47.720
 10  PY -57.460
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  2 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  3 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  4 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  5 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  6 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  7 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  8 U 0.000 0.000 WYA -3.000
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC
cargas nodais
2 PY -48.870
5 PY -40.230
6 PY -31.600
7 PY -22.970
10 PY -14.330
0
fim
carregamento 3 PMC
cargas nodais
2 PY -45.090
5 PY -30.220
6 PY -20.770
7 PY -5.910
10 PY 8.950
0
fim
carregamento 4 Vento
cargas nodais
1 PX 6.590
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa P3 Ponte 42,5m

 DATA : 1/1/2006(domingo)
 HORA : 22:34:52
 ARQUIVO DE DADOS : travessap3_42,5m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | transl. x | transl. y | rotação z |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | nó final | comprimento |
|-------|----------------------------|-------|------------|----------|-------------|
| | material | seção | nó inicial | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6.00E-0001 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2.00E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6.50E-0001 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 | 2.65E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 | 2.65E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 | 6.50E-0001 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 | 2.00E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 | 6.00E-0001 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4.10E+0000 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 | 4.10E+0000 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.20E+0000 | 1.20E+0000 | 2.25E-0001 |
| 2 | 6.40E-0001 | 6.40E-0001 | 3.41E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -57.46 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -57.46 | 0.00 |

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | fi | f2 | wxa | wyb | wya | |
| | | | | | f3 | p | | |
| 1 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 2 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 3 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 4 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 5 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 6 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 7 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 8 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -48.87 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -40.23 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -31.60 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -22.97 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -14.33 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -45.09 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -30.22 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -20.77 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -5.91 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 8.95 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - Vento

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|-------|---------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | 6.59 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 4
 número de carregamentos 4

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 2.1E+0002
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1

Título : Peso Proprio

| no | sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao |
|----|---------|----------------|----------------|----------------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | -4.95474E-0006 | -1.20757E-0003 | 3.54552E-0004 |
| 2 | global | -4.95474E-0006 | -9.94492E-0004 | 3.54386E-0004 |
| 3 | global | -4.95474E-0006 | -3.25869E-0004 | 1.63960E-0004 |
| 4 | global | 1.82074E-0031 | -5.14042E-0030 | -2.35445E-0031 |
| 5 | global | -3.97881E-0006 | -2.85817E-0004 | 7.96380E-0005 |
| 6 | global | 2.09226E-0018 | -2.97941E-0004 | 4.73678E-0020 |
| 7 | global | 3.97881E-0006 | -2.85817E-0004 | -7.96380E-0005 |
| 8 | global | 4.95474E-0006 | -3.25869E-0004 | -1.63960E-0004 |
| 9 | global | -1.82074E-0031 | -5.14042E-0030 | 2.35445E-0031 |
| 10 | global | 4.95474E-0006 | -9.94492E-0004 | -3.54386E-0004 |

11 global 4.95474E-0006 -1.20757E-0003 -3.54552E-0004

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|---------|-----------|
| nó sistema | | força x | força y | momento z |
| 4 | global | -5.20 | 146.74 | 6.72 |
| 9 | global | 5.20 | 146.74 | -6.72 |
| Resultante | | 0.00 | 293.48 | 1731.53 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | | força | | momento z |
|-------|---------------------|--------------|----------------|----------------|
| | | x | y | |
| | | 0.000 | -0.000 | 0.000 |
| barra | esforços nas barras | força normal | força cortante | momento fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | -0.54 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | 0.54 |
| | | 3 | 0.00 | -125.06 |
| 3 | local | 3 | -5.20 | 110.47 |
| | | 5 | 5.20 | -58.14 |
| 4 | local | 5 | -5.20 | 58.14 |
| | | 6 | 5.20 | -15.62 |
| 5 | local | 6 | -5.20 | 15.62 |
| | | 7 | 5.20 | -58.14 |
| 6 | local | 7 | -5.20 | 58.14 |
| | | 8 | 5.20 | -110.47 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 125.06 |
| | | 10 | 0.00 | -0.54 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 0.54 |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 146.74 | 14.59 |
| | | 4 | -146.74 | 6.72 |
| 10 | local | 8 | 146.74 | -14.59 |
| | | 9 | -146.74 | -6.72 |

carregamento 2

Título : PTC

| | | deslocamentos nodais | | rotacao |
|------------|--------|----------------------|----------------|----------------|
| no sistema | | deslocamento x | deslocamento y | z |
| 1 | global | -1.62440E-0004 | -9.82982E-0004 | 2.94019E-0004 |
| 2 | global | -1.62440E-0004 | -8.06570E-0004 | 2.94019E-0004 |
| 3 | global | -1.62440E-0004 | -2.51159E-0004 | 1.43435E-0004 |
| 4 | global | 7.23544E-0032 | -3.96190E-0030 | -2.77716E-0032 |
| 5 | global | -1.62052E-0004 | -2.11653E-0004 | 7.41453E-0005 |
| 6 | global | -1.60471E-0004 | -2.05959E-0004 | 6.70021E-0006 |
| 7 | global | -1.58890E-0004 | -1.27919E-0004 | 2.79485E-0005 |
| 8 | global | -1.58502E-0004 | -9.97155E-0005 | 1.31226E-0005 |
| 9 | global | -7.23544E-0032 | -1.57296E-0030 | 1.59355E-0031 |
| 10 | global | -1.58502E-0004 | -1.52214E-0004 | -3.10328E-0005 |
| 11 | global | -1.58502E-0004 | -1.70834E-0004 | -3.10328E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|---------|-----------|
| nó sistema | | força x | força y | momento z |
| 4 | global | -2.07 | 113.10 | 0.79 |
| 9 | global | 2.07 | 44.90 | -4.55 |
| Resultante | | -0.00 | 158.00 | 703.40 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | | força | | | momento | |
|-------|-----------------|--------|--------------|----------------|---------|--|
| | | x | y | z | | |
| | | -0.000 | -0.000 | 0.000 | | |
| barra | e s f o r ç o s | n ó | n a s | b a r r a s | momento | |
| | sistema | | força normal | força cortante | fletor | |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -48.87 | -0.00 | |
| | | 3 | 0.00 | 48.87 | -97.74 | |
| 3 | local | 3 | -2.07 | 64.23 | 90.06 | |
| | | 5 | 2.07 | -64.23 | -48.32 | |
| 4 | local | 5 | -2.07 | 24.00 | 48.32 | |
| | | 6 | 2.07 | -24.00 | 15.28 | |
| 5 | local | 6 | -2.07 | -7.60 | -15.28 | |
| | | 7 | 2.07 | 7.60 | -4.87 | |
| 6 | local | 7 | -2.07 | -30.57 | 4.87 | |
| | | 8 | 2.07 | 30.57 | -24.74 | |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 14.33 | 28.66 | |
| | | 10 | 0.00 | -14.33 | 0.00 | |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | |
| 9 | local | 3 | 113.10 | 2.07 | 7.68 | |
| | | 4 | -113.10 | -2.07 | 0.79 | |
| 10 | local | 8 | 44.90 | -2.07 | -3.92 | |
| | | 9 | -44.90 | 2.07 | -4.55 | |

carregamento 3

Título : PMC

deslocamentos nodais

| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao |
|------------|----------------|----------------|---------------|
| | x | y | z |
| 1 global | -2.52634E-0004 | -9.46414E-0004 | 2.91210E-0004 |
| 2 global | -2.52634E-0004 | -7.71688E-0004 | 2.91210E-0004 |
| 3 global | -2.52634E-0004 | -2.19371E-0004 | 1.52273E-0004 |
| 4 global | 3.27272E-0032 | -3.46047E-0030 | 6.08924E-0032 |
| 5 global | -2.52458E-0004 | -1.68342E-0004 | 8.50158E-0005 |
| 6 global | -2.51743E-0004 | -1.42924E-0004 | 9.04509E-0006 |
| 7 global | -2.51028E-0004 | -4.34078E-0005 | 7.46857E-0005 |
| 8 global | -2.50853E-0004 | 1.27552E-0005 | 9.33303E-0005 |
| 9 global | -3.27272E-0032 | 2.01208E-0031 | 1.45533E-0031 |
| 10 global | -2.50853E-0004 | 2.48596E-0004 | 1.20908E-0004 |
| 11 global | -2.50853E-0004 | 3.21141E-0004 | 1.20908E-0004 |

reações nos apoios

| nó sistema | força | força | momento |
|------------|-------|-------|---------|
| | x | y | z |
| 4 global | -0.93 | 98.78 | -1.74 |
| 9 global | 0.93 | -5.74 | -4.15 |
| Resultante | -0.00 | 93.04 | 198.10 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | | força | | | momento | |
|-------|-----------------|--------|--------------|----------------|---------|--|
| | | x | y | z | | |
| | | -0.000 | -0.000 | -0.000 | | |
| barra | e s f o r ç o s | n ó | n a s | b a r r a s | momento | |
| | sistema | | força normal | força cortante | fletor | |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -45.09 | -0.00 | |
| | | 3 | 0.00 | 45.09 | -90.18 | |
| 3 | local | 3 | -0.93 | 53.69 | 84.61 | |
| | | 5 | 0.93 | -53.69 | -49.71 | |
| 4 | local | 5 | -0.93 | 23.47 | 49.71 | |
| | | 6 | 0.93 | -23.47 | 12.50 | |
| 5 | local | 6 | -0.93 | 2.70 | -12.50 | |
| | | 7 | 0.93 | -2.70 | 19.66 | |
| 6 | local | 7 | -0.93 | -3.21 | -19.66 | |
| | | 8 | 0.93 | 3.21 | 17.58 | |
| 7 | local | 8 | -0.00 | -8.95 | -17.90 | |
| | | 10 | 0.00 | 8.95 | -0.00 | |

| | | | | | |
|----|-------|----|--------|-------|-------|
| 8 | local | 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 11 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 98.78 | 0.93 | 5.57 |
| | | 4 | -98.78 | -0.93 | -1.74 |
| 10 | local | 8 | -5.74 | -0.93 | 0.32 |
| | | 9 | 5.74 | 0.93 | -4.15 |

carregamento 4

Título : Vento

| | | deslocamentos nodais | | |
|------------|--------|----------------------|----------------|----------------|
| no sistema | | deslocamento | deslocamento | rotacao |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 2.45791E-0004 | 4.04839E-0005 | -1.39066E-0005 |
| 2 | global | 2.44649E-0004 | 3.21399E-0005 | -1.39066E-0005 |
| 3 | global | 2.40842E-0004 | 4.32668E-0006 | -1.39066E-0005 |
| 4 | global | 1.16740E-0031 | 6.82512E-0032 | -2.51007E-0031 |
| 5 | global | 2.40230E-0004 | -1.85715E-0006 | -8.03343E-0006 |
| 6 | global | 2.37736E-0004 | -5.75127E-0007 | 2.78621E-0006 |
| 7 | global | 2.35243E-0004 | 1.44864E-0006 | -7.47362E-0006 |
| 8 | global | 2.34631E-0004 | -4.32668E-0006 | -1.32095E-0005 |
| 9 | global | 1.14112E-0031 | -6.82512E-0032 | -2.45032E-0031 |
| 10 | global | 2.34631E-0004 | -3.07457E-0005 | -1.32095E-0005 |
| 11 | global | 2.34631E-0004 | -3.86714E-0005 | -1.32095E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|-------|---------|
| nó sistema | | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| 4 | global | -3.33 | -1.95 | 7.17 |
| 9 | global | -3.26 | 1.95 | 6.99 |
| Resultante | | -6.59 | 0.00 | 27.02 |

NOTA:
o(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

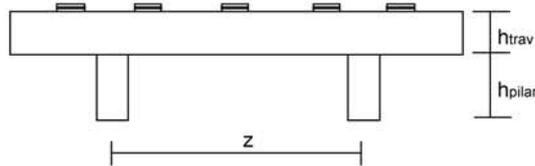
| diferença de equilíbrio | | | |
|---|-------|-------|---------|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | 0.000 | -0.000 |

| | | e s f o r ç o s | | n a s | | b a r r a s | |
|-------|---------|-----------------|--------------|----------------|----------------|-------------|--|
| barra | sistema | nó | força normal | força cortante | momento fletor | | |
| 1 | local | 1 | 6.59 | -0.00 | -0.00 | | |
| | | 2 | -6.59 | 0.00 | -0.00 | | |
| 2 | local | 2 | 6.59 | -0.00 | 0.00 | | |
| | | 3 | -6.59 | 0.00 | -0.00 | | |
| 3 | local | 3 | 3.26 | -1.95 | -6.50 | | |
| | | 5 | -3.26 | 1.95 | -5.23 | | |
| 4 | local | 5 | 3.26 | -1.95 | -5.23 | | |
| | | 6 | -3.26 | 1.95 | 0.07 | | |
| 5 | local | 6 | 3.26 | -1.95 | -0.07 | | |
| | | 7 | -3.26 | 1.95 | -5.09 | | |
| 6 | local | 7 | 3.26 | -1.95 | 5.09 | | |
| | | 8 | -3.26 | 1.95 | -6.36 | | |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | 10 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | | |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | | |
| 9 | local | 3 | -1.95 | 3.33 | 6.50 | | |
| | | 4 | 1.95 | -3.33 | 7.17 | | |
| 10 | local | 8 | 1.95 | 3.26 | 6.36 | | |
| | | 9 | -1.95 | -3.26 | 6.99 | | |

Fim Do Programa

Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar

Apoio 1



z (m) = 6.60
nº de pilares = 2

P.P. do pilar (tf) = 4.56

h^{Pilar} (m) = 2.85

$h^{Traves.}$ (m) = 1.50

h^{aterro} (m) = 2.00

Esforços na base do pilar

- * $g_1 + g_2 + g_3$
 - * Carga móvel
 - * Peso próprio do pilar
- } - N e M_T provenientes do SALT
- * Temperatura
 - * Empuxo de terra sobre as cortinas
 - * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- $M_L = H_L * (h_{pilar} + h_{travessa})$
- * Vento
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- N e M_T provenientes do SALT
- * Empuxo de terra sobre os pilares
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços já calculado por pilar
- $M_L = H_L * (h_{aterro}/3)$

1ª Hipótese : $N_{máx}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 146.7 | 113.0 | 9.1 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 270.6 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.7 | 1.9 | 0.0 | 1.9 | 0.6 | 6.5 | 21.5 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 46.6 | 8.2 | 0.0 | 8.1 | 2.4 | 4.3 | 69.7 |
| M_T (tf.m) | 7.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.1 |

2ª Hipótese : $N_{mín}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 146.7 | -5.7 | 9.1 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 151.9 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.7 | 1.9 | 0.0 | 1.9 | 0.6 | 6.5 | 21.5 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 46.6 | 8.2 | 0.0 | 8.1 | 2.4 | 4.3 | 69.7 |
| M_T (tf.m) | 7.0 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 2.85$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0190 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0217$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.042 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 2.85$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0190 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0217$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.042 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N_d = 1,40 * (N_{g1+g2+g3} + N_{p.p.Pilar} + N_{p.p.Travessa}) + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{vento}}$$

$$H_{Ld} = 1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}$$

$$M_{Ld} = (1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}) * h_{\text{pil+trav}} + N_d * e_{\text{Total_Long.}}$$

$$H_{Td} = (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{Tvento}}$$

$$M_{Td} = (1,40 * M_{T(g1+g2+g3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{T\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{T\text{vento}}) + N_d * e_{\text{Total_Transv.}}$$

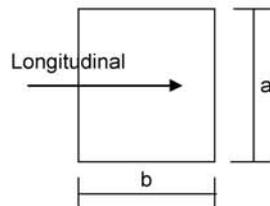
1ª Hipótese : N_{máx}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-----------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N_d (tf) | 205.4 | 158.3 | 12.8 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 377.7 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.7 | 2.8 | 0.0 | 2.6 | 0.4 | 9.1 | 25.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 |
| M_{dL}(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 46.6 | 11.5 | 0.0 | 11.4 | 1.7 | 6.0 | 93.0 |
| M_{dT}(tf.m) | 9.9 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 31.1 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-----------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N_d (tf) | 205.4 | -7.9 | 12.8 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 211.5 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.7 | 2.8 | 0.0 | 2.6 | 0.4 | 9.1 | 25.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 |
| M_{dL}(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 46.6 | 11.5 | 0.0 | 11.4 | 1.7 | 6.0 | 86.1 |
| M_{dT}(tf.m) | 9.9 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 29.4 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



a (m) = 0.80
b (m) = 0.80

Ac (m²) = 0.64
f_{ck} (MPa) = 20.0
f_{yk} (MPa) = 500

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

N_d (tf) = 377.65
M_d^{long} (tf.m) = 93.01
M_d^{transv} (tf.m) = 31.08

v = 0.413
μ_{long} = 0.127
μ_{transv} = 0.042

Ábaco → ω = 0.200

A_s (cm²) = 39.25

2ª Hipótese

$$\left. \begin{array}{l} N_d \text{ (tf)} = 211.47 \\ M_d^{\text{long}} \text{ (tf.m)} = 86.09 \\ M_d^{\text{transv}} \text{ (tf.m)} = 29.40 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v = 0.231 \\ \mu_{\text{long}} = 0.118 \\ \mu_{\text{transv}} = 0.040 \end{array} \xrightarrow{\text{Abaco}} \omega = 0.145$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 28.46$$

Compressão pela NB-1/78

$$\begin{array}{l} N_d \text{ (tf)} = 377.65 \\ E \text{ (MPa)} = 288476 \\ \epsilon_o = 0.002 \\ f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0 \end{array} \quad A_c^{\text{nec}} = N_d / (0,85 * f_{cd} + 0,8\% * E * \epsilon_o)$$

$$A_c^{\text{nec}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2368$$

$$A_c^{\text{exist}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.6400$$

$$A_{s1}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 18.94$$

$$A_{s2}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 32.00$$

$$A_s^{\text{min}} = 0,8\% * A_c^{\text{nec}}$$

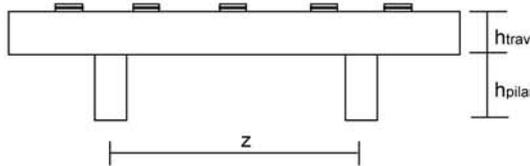
$$A_s^{\text{min}} = 0,5\% * A_c^{\text{exist}}$$

logo será adotado :

$$A_s^{\text{total}} \text{ (cm}^2\text{)} = 39.25$$

Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar

Apoio 2



z (m) = 6.60
 n° de pilares = 2

P.P. do pilar (tf) = 3.92

h^{Pilar} (m) = 2.45

h^{Traves} (m) = 1.50

h^{aterro} (m) = 0.00

Esforços na base do pilar

- * $g_1 + g_2 + g_3$
 - * Carga móvel
 - * Peso próprio do pilar
 -
 - * Temperatura
 - * Empuxo de terra sobre as cortinas
 - * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas
 -
 - * Vento
 -
 - * Empuxo de terra sobre os pilares
- } - N e M_T provenientes do SALT
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- } - $M_L = H_L * (h_{pilar} + h_{travessa})$
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- } - N e M_T provenientes do SALT
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços já calculado por pilar
- } - $M_L = H_L * (h_{aterro}/3)$

1ª Hipótese : $N_{máx}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 173.9 | 124.4 | 7.8 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 309.0 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 3.1 | 0.0 | 3.1 | 0.9 | 0.0 | 7.6 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 12.4 | 0.0 | 12.3 | 3.7 | 0.0 | 30.2 |
| M_T (tf.m) | 5.2 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.0 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 173.9 | -3.5 | 7.8 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 181.1 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 3.1 | 0.0 | 3.1 | 0.9 | 0.0 | 7.6 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 12.4 | 0.0 | 12.3 | 3.7 | 0.0 | 30.2 |
| M_T (tf.m) | 5.2 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.1 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 2.45$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x/300 = 0.0163 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2/10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3})/d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0160$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.036 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 2.45$$

$$d \text{ (m)} = 0.95$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x/300 = 0.0163 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2/10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3})/d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0126$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.033 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N_d = 1,40 * (N_{g1+g2+g3} + N_{p.p.Pilar} + N_{p.p.Travessa}) + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{vento}}$$

$$H_{Ld} = 1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}$$

$$M_{Ld} = (1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}) * h_{\text{pil+trav}} + N_d * e_{\text{Total_Long.}}$$

$$H_{Td} = (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{Tvento}}$$

$$M_{Td} = (1,40 * M_{T(g1+g2+g3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{\text{Tcargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{\text{Tvento}}) + N_d * e_{\text{Total_Transv.}}$$

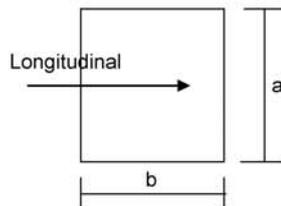
1ª Hipótese : N_{máx}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N _d (tf) | 243.5 | 174.1 | 11.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 430.6 |
| H _{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 4.7 | 0.0 | 4.3 | 0.7 | 0.0 | 10.2 |
| H _{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M _{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 17.4 | 0.0 | 17.2 | 2.6 | 0.0 | 38.9 |
| M _{dT} (tf.m) | 7.2 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.5 |

2ª Hipótese : N_{mín}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N _d (tf) | 243.5 | -4.8 | 11.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 251.6 |
| H _{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 4.7 | 0.0 | 4.3 | 0.7 | 0.0 | 10.2 |
| H _{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 |
| M _{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 17.4 | 0.0 | 17.2 | 2.6 | 0.0 | 38.9 |
| M _{dT} (tf.m) | 7.2 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.8 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



a (m) = 1.00
b (m) = 0.80

A_c (m²) = 0.80
f_{ck} (MPa) = 20.0
f_{yk} (MPa) = 500

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

N_d (tf) = 430.56
M_{d^{long}} (tf.m) = 38.94
M_{d^{transv}} (tf.m) = 16.45

v = 0.377
μ_{long} = 0.043
μ_{transv} = 0.014

} Ábaco → ω = 0.000

A_s (cm²) = 0.00

2ª Hipótese

$$\left. \begin{array}{ll} N_d \text{ (tf)} = 251.62 & v = 0.220 \\ M_d^{\text{long}} \text{ (tf.m)} = 38.94 & \mu_{\text{long}} = 0.043 \\ M_d^{\text{transv}} \text{ (tf.m)} = 20.78 & \mu_{\text{transv}} = 0.018 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Ábaco}} \omega = 0.100$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 24.53$$

Compressão pela NB-1/78

$$\begin{array}{ll} N_d \text{ (tf)} = 430.56 & \\ E \text{ (MPa)} = 288476 & A_c^{\text{nec}} = N_d / (0,85 * f_{cd} + 0,8\% * E * \epsilon_o) \\ \epsilon_o = 0.002 & \\ f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0 & \end{array}$$

$$A_c^{\text{nec}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2700$$

$$A_c^{\text{exist}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.8000$$

$$A_{s1}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 21.60$$

$$A_{s2}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 40.00$$

$$A_s^{\text{min}} = 0,8\% * A_c^{\text{nec}}$$

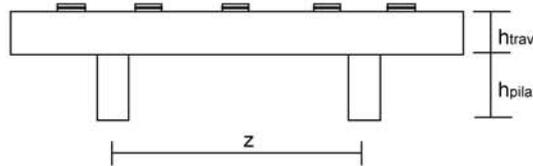
$$A_s^{\text{min}} = 0,5\% * A_c^{\text{exist}}$$

logo será adotado :

$$A_s^{\text{total}} \text{ (cm}^2\text{)} = 40.00$$

Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar

Apoio 3



z (m) = 6.60
nº de pilares = 2

P.P. do pilar (tf) = 5.36

h^{Pilar} (m) = 3.35

$h^{Traves.}$ (m) = 1.50

h^{aterro} (m) = 2.50

Esforços na base do pilar

- * $g_1 + g_2 + g_3$
 - * Carga móvel
 - * Peso próprio do pilar
- } - N e M_T provenientes do SALT
-
- * Temperatura
 - * Empuxo de terra sobre as cortinas
 - * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- } - $M_L = H_L * (h_{pilar} + h_{travessa})$
-
- * Vento
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- } - N e M_T provenientes do SALT
-
- * Empuxo de terra sobre os pilares
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços já calculado por pilar
- } - $M_L = H_L * (h_{aterro}/3)$

1ª Hipótese : $N_{máx}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 146.7 | 113.1 | 10.7 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 272.5 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.3 | 1.7 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 10.1 | 24.3 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 |
| M_L(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 49.7 | 8.3 | 0.0 | 8.2 | 2.5 | 8.4 | 77.2 |
| M_T(tf.m) | 6.7 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.7 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 146.7 | -5.7 | 10.7 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 153.7 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.3 | 1.7 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 10.1 | 24.3 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 |
| M_L(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 49.7 | 8.3 | 0.0 | 8.2 | 2.5 | 8.4 | 77.2 |
| M_T(tf.m) | 6.7 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.0 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 3.35$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0223 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0299$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.052 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 3.35$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0223 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0299$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.052 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N_d = 1,40 * (N_{g1+g2+g3} + N_{p.p.Pilar} + N_{p.p.Travessa}) + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{vento}}$$

$$H_{Ld} = 1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}$$

$$M_{Ld} = (1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}) * h_{\text{pil+trav}} + N_d * e_{\text{Total_Long.}}$$

$$H_{Td} = (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{Tvento}}$$

$$M_{Td} = (1,40 * M_{T(g1+g2+g3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{\text{Tcargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{\text{Tvento}}) + N_d * e_{\text{Total_Transv.}}$$

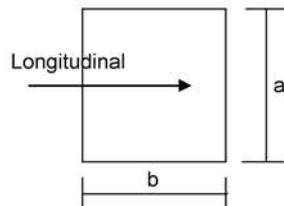
1ª Hipótese : N_{máx}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepar} | Total |
|------------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| N_d (tf) | 205.4 | 158.3 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 380.1 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.3 | 2.6 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 14.2 | 29.7 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 |
| M_{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 49.7 | 11.7 | 0.0 | 11.5 | 1.7 | 11.8 | 106.4 |
| M_{dT} (tf.m) | 9.4 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 35.4 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepar} | Total |
|------------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| N_d (tf) | 205.4 | -8.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 213.8 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.3 | 2.6 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 14.2 | 29.7 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 |
| M_{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 49.7 | 11.7 | 0.0 | 11.5 | 1.7 | 11.8 | 97.7 |
| M_{dT} (tf.m) | 9.4 | 5.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 31.4 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



a (m) = 0.80
b (m) = 0.80

Ac (m²) = 0.64
f_{ck} (MPa) = 20.0
f_{yk} (MPa) = 500

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

N_d (tf) = 380.15
M^{long}_d (tf.m) = 106.36
M^{transv}_d (tf.m) = 35.40

v = 0.416
μ_{long} = 0.145
μ_{transv} = 0.048

Ábaco → ω = 0.260

A_s (cm²) = 51.03

2ª Hipótese

$$\left. \begin{array}{l} N_d \text{ (tf)} = 213.77 \\ M_d^{\text{long}} \text{ (tf.m)} = 97.67 \\ M_d^{\text{transv}} \text{ (tf.m)} = 31.41 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v = 0.234 \\ \mu_{\text{long}} = 0.134 \\ \mu_{\text{transv}} = 0.043 \end{array} \xrightarrow{\text{Ábaco}} \omega = 0.210$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 41.22$$

Compressão pela NB-1/78

$$\begin{array}{l} N_d \text{ (tf)} = 380.15 \\ E \text{ (MPa)} = 288476 \\ \epsilon_o = 0.002 \\ f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0 \end{array} \quad A_c^{\text{neq}} = N_d / (0,85 * f_{cd} + 0,8\% * E * \epsilon_o)$$

$$A_c^{\text{neq}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2384$$

$$A_c^{\text{exist}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.6400$$

$$A_{s1}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 19.07$$

$$A_{s2}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 32.00$$

$$A_s^{\text{min}} = 0,8\% * A_c^{\text{neq}}$$

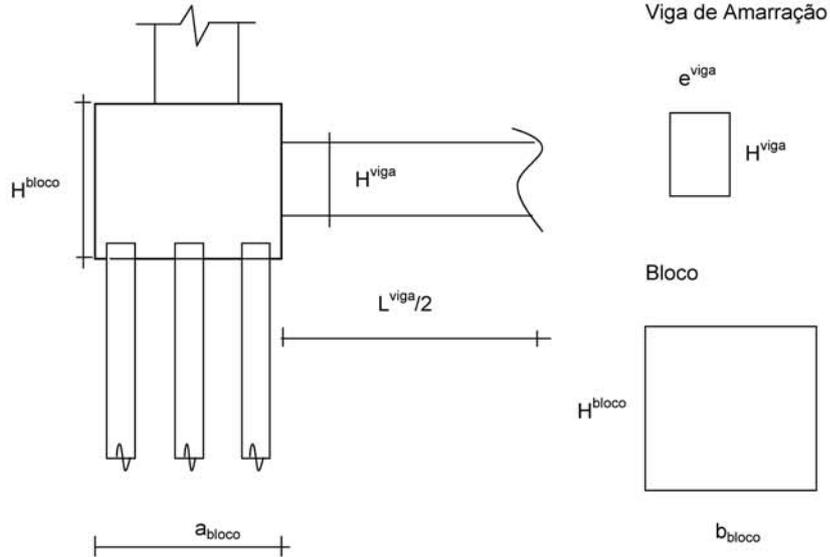
$$A_s^{\text{min}} = 0,5\% * A_c^{\text{exist}}$$

logo será adotado :

$$A_s^{\text{total}} \text{ (cm}^2\text{)} = 51.03$$

Apoio P1

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{Bloco} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $b_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 3.80$
- $e_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$
- $p.p. \text{ bloco (tf)} = 25.48$
- $p.p. \text{ viga de amarração (tf)} = 6.27$

*** Cálculo de N (tf)**

- $g1 + g2 + g3 = 293.48$
 - carga móvel Pesq = 113.0
 - carga móvel Pdir = 45.0
 - p.p. pilar = 9.1
 - p.p. bloco = 57.2
- $N = 517.8 \text{ tf}$

*** Cálculo de HL**

$HL \text{ (tf)} = 43.0$

* Cálculo de HT

$$HT (tf) = 6.6$$

* Cálculo de ML

$$ML (tf) = 139.5$$

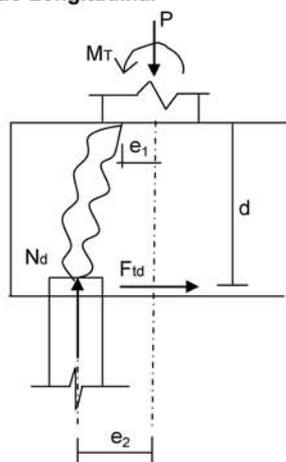
* Cálculo de MT

$$MT (tf) = 37.2$$

Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco de P1 (Para 1/2 bloco)

Direção Longitudinal



$$d (m) = 1.20$$

$$e_1 (m) = 0.20$$

$$e_2 (m) = 0.85$$

$$f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$N (tf) = 80.7$$

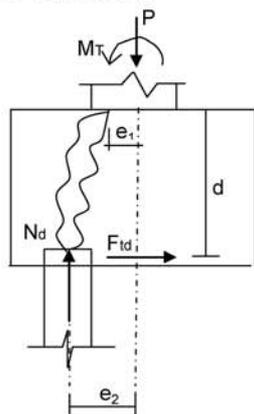
$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$$

$$A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 61.2$$

$$A_s (cm^2) = 14.1$$

Direção Transversal



$$d (m) = 1.20$$

$$e_1 (m) = 0.200$$

$$e_2 (m) = 0.85$$

$$f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$N (tf) = 80.7$$

$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$$

$$A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 61.2$$

$$A_s (cm^2) = 14.1$$

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref: 42_5_BR163b1
Data: 1/1/2006

Ponte 42,5 - BR-163 / B1

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|------------|-----------|----------|
| 10 | 1 | 2100000,00 | 810000,00 | 50,00 |

| N EST | COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------|-------------------------|------|-------|------|---------|------|--|
| | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA | |
| 1 | -4,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 2 | -2,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 3 | 2,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 4 | 4,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 5 | -3,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 6 | 3,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 7 | -4,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 8 | -2,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 9 | 2,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 10 | 4,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 2 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 3 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 4 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 5 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 6 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 7 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 8 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 9 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 10 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref: 42_5_BR163b1
Data: 1/1/2006

NRO CARREG 1

| Nmax | | | | | |
|-------|---------|--------|---------|------|-------|
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
| -6,60 | -517,80 | -43,00 | -139,50 | 0,00 | 37,20 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

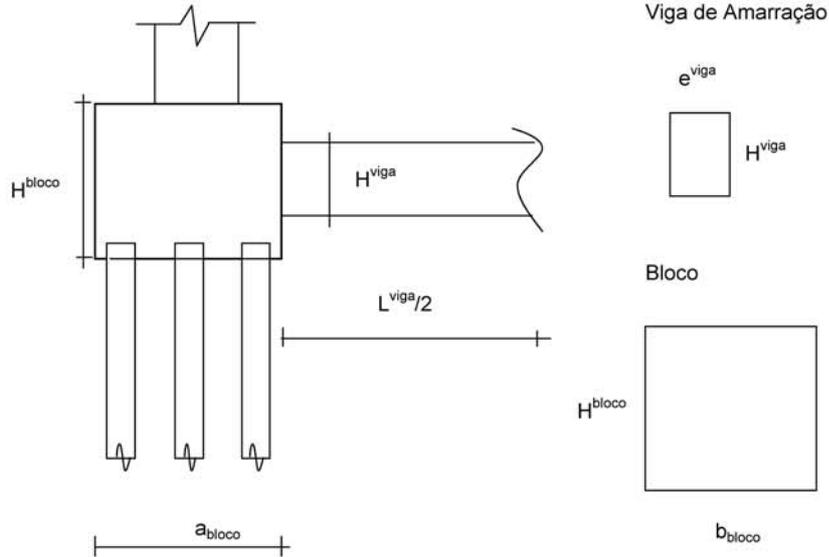
| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0,002880 | -0,001868 | -0,023906 | -0,000975 | 0,000000 | 0,000016 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 80,74 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |
| 2 | 79,84 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |
| 3 | 77,78 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |
| 4 | 76,89 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |
| 5 | 53,26 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |
| 6 | 50,30 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |
| 7 | 26,67 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |
| 8 | 25,78 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |
| 9 | 23,72 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |
| 10 | 22,82 | -0,66 | -4,30 | 0,00 | 7,68 | -1,51 |

Apoio P2

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{Bloco} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $b_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 3.80$
- $e_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$
- $p.p.bloco \text{ (tf)} = 25.48$
- $p.p.viga \text{ de amarração} \text{ (tf)} = 6.27$

*** Cálculo de N (tf)**

- $g1 + g2 + g3 = 347.86$
 - carga móvel Pesq = 124.4
 - carga móvel Pdir = 64.2
 - p.p. pilar = 15.7
 - p.p. bloco = 57.2
- $N = 609.3 \text{ tf}$

*** Cálculo de HL**

$HL \text{ (tf)} = 15.3$

* Cálculo de HT

$$HT (tf) = 12.3$$

* Cálculo de ML

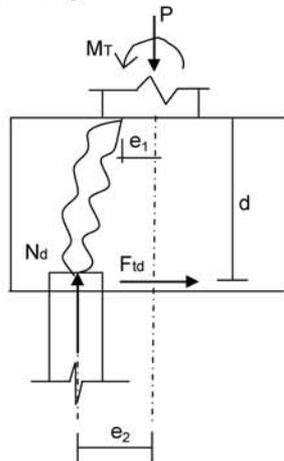
$$ML (tf) = 60.4$$

* Cálculo de MT

$$MT (tf) = 64.5$$

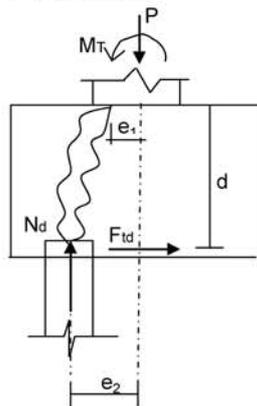
Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco Para P2 (Para 1/2 bloco)
Direção Longitudinal



| | |
|---|-------------------------|
| $d (m) = 1.20$ | $f_{yk} (MPa) = 500.0$ |
| $e_1 (m) = 0.20$ | $N (tf) = 75.3$ |
| $e_2 (m) = 0.85$ | |
| $F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$ | $A_s = F_{td} / f_{yd}$ |
| $F_{td} (tf) = 57.1$ | $A_s (cm^2) = 13.1$ |

Direção Transversal



| | |
|---|-------------------------|
| $d (m) = 1.20$ | $f_{yk} (MPa) = 500.0$ |
| $e_1 (m) = 0.200$ | $N (tf) = 75.3$ |
| $e_2 (m) = 0.85$ | |
| $F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$ | $A_s = F_{td} / f_{yd}$ |
| $F_{td} (tf) = 57.1$ | $A_s (cm^2) = 13.1$ |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref: 42_5_BR163b2
Data: 1/1/2006

Ponte 42,5 - BR-163 / B2

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|------------|-----------|----------|
| 10 | 1 | 2100000,00 | 810000,00 | 50,00 |

| N EST | COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------|-------------------------|------|-------|------|---------|------|--|
| | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA | |
| 1 | -4,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 2 | -2,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 3 | 2,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 4 | 4,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 5 | -3,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 6 | 3,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 7 | -4,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 8 | -2,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 9 | 2,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 10 | 4,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 2 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 3 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 4 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 5 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 6 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 7 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 8 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 9 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 10 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref: 42_5_BR163b2
Data: 1/1/2006

NRO CARREG 1

| Nmax | | | | | |
|--------|---------|--------|--------|------|-------|
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
| -12,30 | -609,30 | -15,30 | -60,40 | 0,00 | 64,50 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

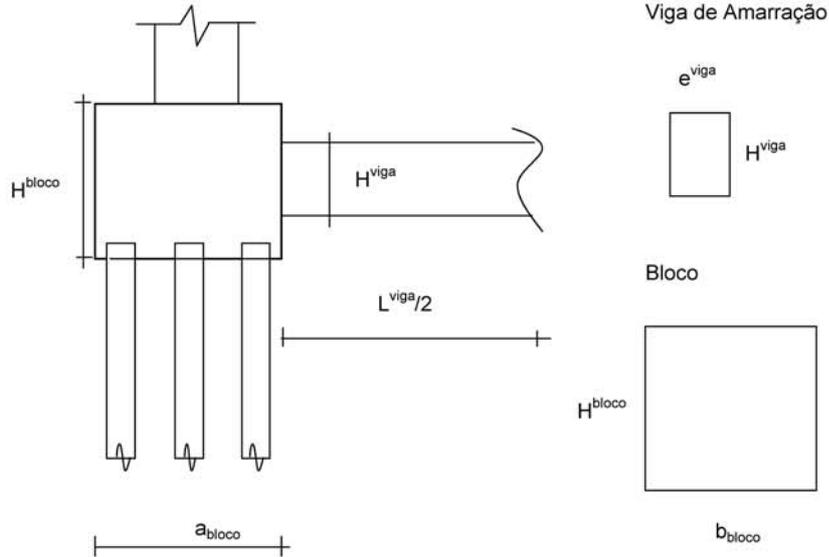
| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0,005363 | -0,002198 | -0,008598 | -0,000394 | 0,000000 | 0,000029 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 75,26 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |
| 2 | 73,67 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |
| 3 | 70,03 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |
| 4 | 68,44 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |
| 5 | 63,55 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |
| 6 | 58,31 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |
| 7 | 53,42 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |
| 8 | 51,83 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |
| 9 | 48,19 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |
| 10 | 46,60 | -1,23 | -1,53 | 0,00 | 2,70 | -2,82 |

Apoio P3

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{Bloco} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $b_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 3.80$
- $e_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$
- $p.p. \text{ bloco (tf)} = 25.48$
- $p.p. \text{ viga de amarração (tf)} = 6.27$

*** Cálculo de N (tf)**

- $g1 + g2 + g3 = 293.48$
 - carga móvel Pesq = 113.1
 - carga móvel Pdir = 44.9
 - p.p. pilar = 10.7
 - p.p. bloco = 57.2
- $N = 519.4 \text{ tf}$

*** Cálculo de HL**

$HL \text{ (tf)} = 48.6$

* Cálculo de HT

$$HT (tf) = 6.6$$

* Cálculo de ML

$$ML (tf) = 154.5$$

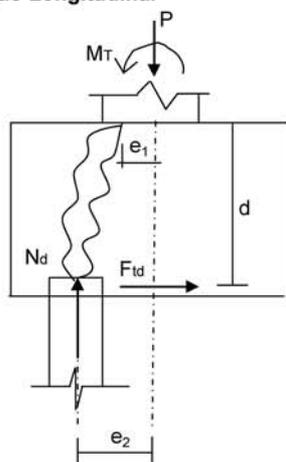
* Cálculo de MT

$$MT (tf) = 40.5$$

Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco de P3 (Para 1/2 bloco)

Direção Longitudinal



$$d (m) = 1.20$$

$$e_1 (m) = 0.20$$

$$e_2 (m) = 0.85$$

$$f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$N (tf) = 84.2$$

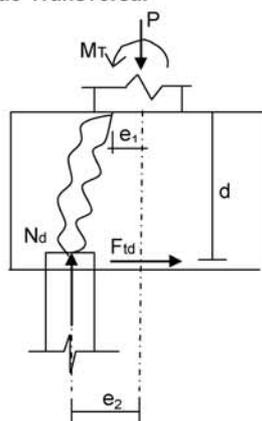
$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$$

$$A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 63.8$$

$$A_s (cm^2) = 14.7$$

Direção Transversal



$$d (m) = 1.20$$

$$e_1 (m) = 0.200$$

$$e_2 (m) = 0.85$$

$$f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$N (tf) = 84.2$$

$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$$

$$A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 63.8$$

$$A_s (cm^2) = 14.7$$

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref: 42_5_BR163b3
Data: 1/1/2006

Ponte 42,5 - BR-163 / B3

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|------------|-----------|----------|
| 10 | 1 | 2100000,00 | 810000,00 | 50,00 |

| N EST | COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------|-------------------------|------|-------|------|---------|------|--|
| | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA | |
| 1 | -4,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 2 | -2,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 3 | 2,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 4 | 4,30 | 0,00 | -1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 5 | -3,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 6 | 3,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 7 | -4,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 8 | -2,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 9 | 2,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 10 | 4,30 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 2 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 3 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 4 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 5 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 6 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 7 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 8 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 9 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |
| 10 | 10,00 | 0,132 | 0,00139 | 0,00139 | 0,00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref: 42_5_BR163b3
Data: 1/1/2006

NRO CARREG 1

| Nmax | | | | | | |
|-------|---------|--------|---------|------|-------|--|
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt | |
| -6,60 | -519,40 | -48,60 | -154,50 | 0,00 | 40,50 | |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0,002882 | -0,001874 | -0,026992 | -0,001088 | 0,000000 | 0,000017 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 84,16 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |
| 2 | 83,20 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |
| 3 | 81,02 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |
| 4 | 80,06 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |
| 5 | 53,51 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |
| 6 | 50,37 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |
| 7 | 23,82 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |
| 8 | 22,86 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |
| 9 | 20,68 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |
| 10 | 19,72 | -0,66 | -4,86 | 0,00 | 8,69 | -1,51 |

5 PONTE SOBRE O RIO ARRAIAS

5 PONTE SOBRE O RIO ARRAIAS

5.1 CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA

Nos dispensamos de apresentar o cálculo das vigas e da laje do alargamento tendo em vista que as mesmas possuem as mesmas características das dimensionadas no projeto original implantado e atualmente em tráfego.

5.2 CÁLCULO DA INFRA-ESTRUTURA

Nos dispensamos em apresentar o cálculo da Infra-estrutura tendo em vista que a viga acrescentada na seção transversal para materialização dos treze metros de largura descarrega diretamente sobre o novo tubulão, não solicitando por tanto o acréscimo da travessa. Por sua vez o tubulão que possui armadura mínima da norma está folgado em relação as solicitações atuantes no mesmo.

6 PONTE SOBRE O RIO BONITINHO

6 PONTE SOBRE O RIO BONITINHO

6.1 CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA

Vão de 28,00 m com balanços de 4,25 m.

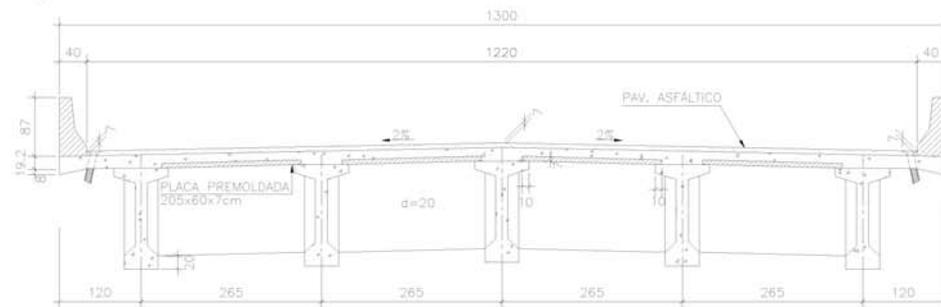
OBRA: Ponte sobre o Rio Bonitinho

1 – Cálculo da superestrutura

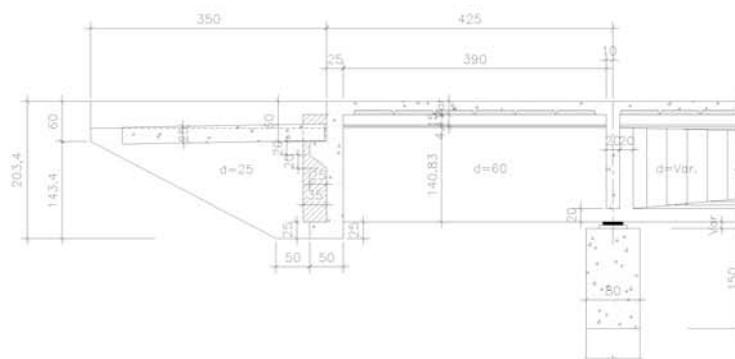
Perfil Longitudinal



Seção Transversal

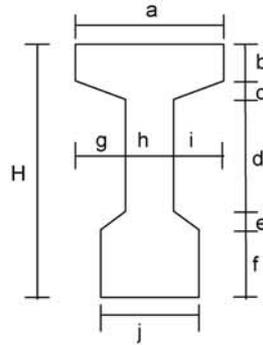


Detalhe das vigas nos apoios



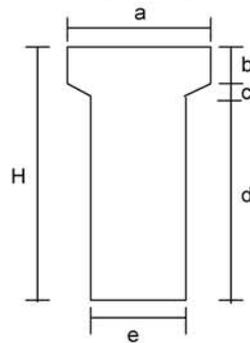
2 - Características das seções transversais

Seção Corrente



- a (m) = 0.900
- b (m) = 0.150
- c (m) = 0.100
- d (m) = 0.950
- e (m) = 0.200
- f (m) = 0.200
- g (m) = 0.360
- h (m) = 0.180
- i (m) = 0.360
- j (m) = 0.600
- H (m) = 1.600

Seção no Apoio



- a (m) = 0.900
- b (m) = 0.150
- c (m) = 0.042
- d (m) = 1.408
- e (m) = 0.600
- H (m) = 1.600

3 - Cálculo das cargas permanentes

3.1 - Características geométricas das vigas

| | Viga Isolada | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.558 | 1.011 |
| J (m ⁴) | 0.185 | 0.230 |
| Vs (m) | - | - |
| Vs' (m) | 0.765 | 0.764 |
| Vi (m) | 0.835 | 0.836 |
| Ws (m ³) | - | - |
| Ws' (m ³) | 0.242 | 0.301 |
| Wi (m ³) | 0.222 | 0.275 |

Viga de Bordo

$bf (m) = 2.525$

Viga Central

$bf (m) = 2.65$

bf é a largura efetiva da mesa de contribuição

$h_{laje} (m) = 0.20$

| | Viga Conj. t = ∞ | |
|-----------------------|------------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 1.063 | 1.516 |
| J (m ⁴) | 0.382 | 0.483 |
| Vs (m) | 0.554 | 0.676 |
| Vs' (m) | 0.354 | 0.476 |
| Vi (m) | 1.246 | 1.124 |
| Ws (m ³) | 0.691 | 0.714 |
| Ws' (m ³) | 1.080 | 1.014 |
| Wi (m ³) | 0.307 | 0.430 |

| | Viga Conj. t = ∞ | |
|-----------------------|------------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 1.088 | 1.541 |
| J (m ⁴) | 0.387 | 0.491 |
| Vs (m) | 0.543 | 0.667 |
| Vs' (m) | 0.343 | 0.467 |
| Vi (m) | 1.257 | 1.133 |
| Ws (m ³) | 0.713 | 0.736 |
| Ws' (m ³) | 1.129 | 1.051 |
| Wi (m ³) | 0.308 | 0.433 |

3.2 - Peso próprio da viga (g₁)

Carga distribuída

$g_1 = S_{corrente} * 2,50$

$g_1 (tf/m) = 1.395$

Trecho em balanço

$L_{bal} (m) = 4.250$

$g_{bal} = S_{apoi} * 2,50$

$g_{bal} (tf/m) = 2.528$

Carga Concentrada

Alargamento da Viga

$P_1 = (S_{apoi} - S_{corrente}) * (L_1 / 2) * 2,50$

$L_1 (m) = 2.400$

$P_1 (tf) = 1.36$

Alargamento no Apoio

$P_2 = (S_{apoi} - S_{corrente}) * L_2 * 2,5$

$L_2 (m) = 0.250$

$P_2 (tf) = 0.28$

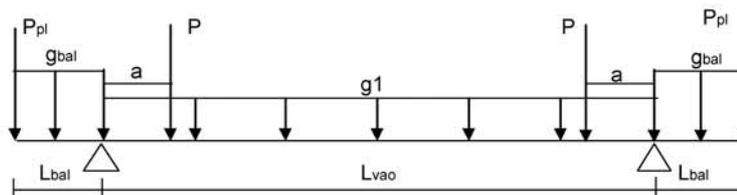
Placa de ancoragem

 $L3 \text{ (m)} = 0.350$
 $L4 \text{ (m)} = 0.600$
 $h1 \text{ (m)} = 1.600$

$$P_{pl} = L3 * h1 * L4 * 2,50$$

$$P_{pl} \text{ (tf)} = 0.840$$

$$P = P1 + P2$$


 $L_{vao} \text{ (m)} = 28.00$
 $L_{bal} \text{ (m)} = 4.250$
 $a \text{ (m)} = 0.883$
 $g_{bal} \text{ (tf/m)} = 2.528$
 $g1 \text{ (tf/m)} = 1.395$
 $P \text{ (tf)} = 1.64$
 $P_{pl} \text{ (tf)} = 0.84$

Esforços Seccionais

Reações

$$R1 \text{ (tf)} = 32.75$$

$$R2 \text{ (tf)} = 32.75$$

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -0.8 | 0 |
| S1/2Bal | -6.2 | -7.5 |
| 0 esq | -11.6 | -26.4 |
| 0 dir | 21.2 | -26.4 |
| 1 | 15.6 | 24.3 |
| 2 | 11.7 | 62.5 |
| 3 | 7.8 | 89.9 |
| 4 | 3.9 | 106.3 |
| 5 | 0.0 | 111.8 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = - M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -25 | 27 |
| 0 | - | -88 | 96 |
| 1 | - | 100 | -109 |
| 2 | - | 258 | -282 |
| 3 | - | 371 | -405 |
| 4 | - | 439 | -479 |
| 5 | - | 462 | -503 |

3.3 - Laje + Transversina (g2)

Viga de Bordo

carga distribuída

$$g2 = h * L * 2,50$$

h (m) = 0.200 g₂ (tf/m) = 1.263
L (m) = 2.525

carga concentrada

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{\text{apoio}} - j * f)] / 2 \} * \text{esp} * 2,50$$

L (m) = 1.33 j (m) = 0.60
h (m) = 1.40 esp (m) = 0.20
f (m) = 0.20

P1 (tf) = 0.70

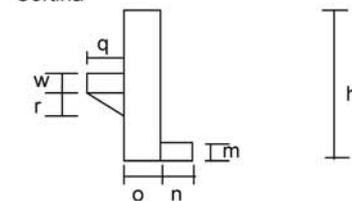
Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{\text{corrent}} - j * f) / 2] \} * \text{esp} * 2,50$$

L (m) = 1.33 j (m) = 0.60
h (m) = 1.40 esp (m) = 0.20
f (m) = 0.20

P2 (tf) = 0.82

Cortina



$$P_{\text{cort}} = [(m * n * L_{\text{total}}) + (w + r + w) * 0,5 * q * L_{\text{cons}} + o * h * L_{\text{total}}] * \gamma_{\text{conc}}$$

L_{total} (m) = 13.00
L_{cons} (m) = 9.400

h (m) = 2.050 q (m) = 0.250
m (m) = 0.250 w (m) = 0.200
n (m) = 0.250 r (m) = 0.200
o (m) = 0.250

P₃ = P_{cort} / 5 vigas P₃ (tf) = 4.09

Viga Central

carga distribuída

$$g2 = h * L * 2,50$$

h (m) = 0.200 g₂ (tf/m) = 1.325
L (m) = 2.650

cargas concentradas

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{\text{apoio}} - j * f)] \} * \text{esp} * 2,50$$

L (m) = 2.65 j (m) = 0.60
h (m) = 1.40 esp (m) = 0.20
f (m) = 0.20

P1 (tf) = 1.41

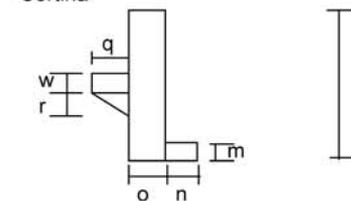
Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{\text{corrent}} - j * f)] \} * \text{esp} * 2,50$$

L (m) = 2.65 j (m) = 0.60
h (m) = 1.40 esp (m) = 0.20
f (m) = 0.20

P2 (tf) = 1.64

Cortina



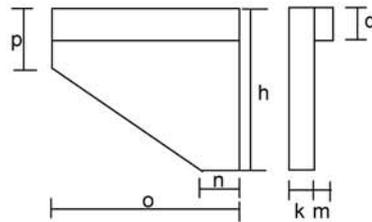
$$P_{\text{cort}} = [(m * n * L_{\text{total}}) + (w + r + w) * 0,5 * q * L_{\text{cons}} + o * h * L_{\text{total}}] * \gamma_{\text{conc}}$$

L_{total} (m) = 13.00
L_{cons} (m) = 9.400

h (m) = 2.050 q (m) = 0.250
m (m) = 0.250 w (m) = 0.200
n (m) = 0.250 r (m) = 0.200
o (m) = 0.250

P₃ = P_{cort} / 5 vigas P₃ (tf) = 4.09

Abas das Cortinas

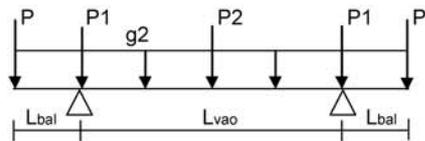


$$P_4 = [d \cdot o \cdot (k + m) + (o + n) \cdot 0,5 \cdot (h - p) \cdot k + (p - d) \cdot k \cdot o] \cdot \gamma_{conc}$$

h (m) = 2.050 n (m) = 0.750
 k (m) = 0.250 o (m) = 3.500
 d (m) = 0.400 p (m) = 0.600
 m (m) = 0.150

P_4 (tf) = 3.76

resumo dos esforços



$P = P_3 + P_4$ P (tf) = 7.85

g_2 (tf/m) = 1.263
 P (tf) = 7.85
 P_1 (tf) = 0.70
 P_2 (tf) = 0.82

Esforços Seccionais

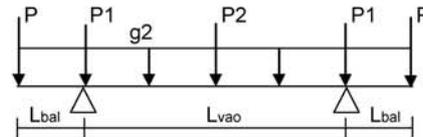
Reações

R_1 (tf) = 32.01
 R_2 (tf) = 32.01

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -7.9 | 0.0 |
| S1/2Bal | -10.5 | -19.5 |
| 0 esq | -13.2 | -44.8 |
| 0 dir | 18.1 | -44.8 |
| 1 | 14.5 | 0.9 |
| 2 | 11.0 | 36.7 |
| 3 | 7.5 | 62.6 |
| 4 | 3.9 | 78.6 |
| 5 | 0.4 | 84.7 |

resumo dos esforços



$P = P_3$ P (tf) = 4.09

g_2 (tf/m) = 1.325
 P (tf) = 4.09
 P_1 (tf) = 1.41
 P_2 (tf) = 1.64

Esforços Seccionais

Reações

R_1 (tf) = 30.50
 R_2 (tf) = 30.50

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -4.1 | 0.0 |
| S1/2Bal | -6.9 | -11.7 |
| 0 esq | -9.7 | -29.3 |
| 0 dir | 19.4 | -29.3 |
| 1 | 15.7 | 19.7 |
| 2 | 11.9 | 58.3 |
| 3 | 8.2 | 86.6 |
| 4 | 4.5 | 104.5 |
| 5 | 0.8 | 112.0 |

Tensões

$\sigma_s = M / W_{s\text{isolada}}$
 $\sigma_i = -M / W_{i\text{isolada}}$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -39 | 42 |
| 0 | - | -98 | 107 |
| 1 | - | 81 | -89 |
| 2 | - | 241 | -263 |
| 3 | - | 358 | -390 |
| 4 | - | 432 | -471 |
| 5 | - | 463 | -504 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = - M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -65 | 71 |
| 0 | - | -149 | 163 |
| 1 | - | 4 | -4 |
| 2 | - | 152 | -165 |
| 3 | - | 259 | -282 |
| 4 | - | 325 | -354 |
| 5 | - | 350 | -381 |

3.4 - Sobrecarga Permanente (g3)

Viga de Bordo

carga distribuída

Pavimentação asfáltica

$$g_a = L * h * 2,40$$

$$h \text{ (m)} = 0.10$$

$$L \text{ (m)} = 2.13$$

$$g_a \text{ (tf/m)} = 0.510$$

guarda-rodas

$$g_b \text{ (tf/m)} = 0.580$$

$$g_3 = g_a + g_b$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1.090$$

carga concentrada

Guarda rodas sobre a aba

$$P_1 = g_b * L$$

$$L \text{ (m)} = 3.500 \quad P \text{ (tf)} = 2.03$$

Laje de acesso

$$P_2 = (k * h * L * 2,50 / 2) / 5 \text{ vigas}$$

$$k \text{ (m)} = 3.000$$

$$h \text{ (m)} = 0.250$$

$$L \text{ (m)} = 12.150$$

$$P_2 \text{ (tf)} = 2.28$$

Viga Central

carga distribuída

Pavimentação asfáltica

$$g_3 = L * h * 2,40$$

$$h \text{ (m)} = 0.10$$

$$L \text{ (m)} = 2.65$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0.636$$

carga concentrada

Laje de acesso

$$P = (k * h * L * 2,50 / 2) / 5 \text{ vigas}$$

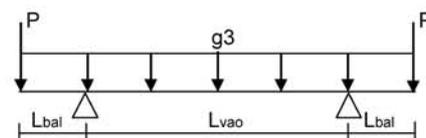
$$k \text{ (m)} = 3.000$$

$$h \text{ (m)} = 0.250$$

$$L \text{ (m)} = 12.150$$

$$P \text{ (tf)} = 2.28$$

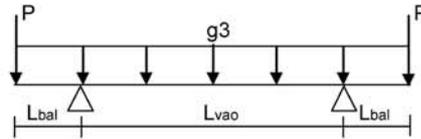
resumo dos esforços



$$P \text{ (tf)} = 2.28$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0.636$$

resumo dos esforços



$$P = P1 + P2$$

$$P \text{ (tf)} = 4.31$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1.090$$

Reações

$$R1 \text{ (tf)} = 24.20$$

$$R2 \text{ (tf)} = 24.20$$

esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -4.3 | 0.0 |
| S1/2Bal | -6.6 | -11.6 |
| 0 esq | -8.9 | -28.2 |
| 0 dir | 15.3 | -28.2 |
| 1 | 12.2 | 10.3 |
| 2 | 9.2 | 40.2 |
| 3 | 6.1 | 61.6 |
| 4 | 3.1 | 74.4 |
| 5 | 0.0 | 78.7 |

Tensões

$$\sigma_s = M / Ws_{conjunto}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{conjunto}$$

$$\sigma_i = -M / Wi_{conjunto}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -16 | -11 | 27 |
| 0 | -39 | -28 | 65 |
| 1 | 15 | 10 | -34 |
| 2 | 58 | 37 | -131 |
| 3 | 89 | 57 | -201 |
| 4 | 108 | 69 | -242 |
| 5 | 114 | 73 | -256 |

Reações

$$R1 \text{ (tf)} = 13.89$$

$$R2 \text{ (tf)} = 13.89$$

esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -2.3 | 0.0 |
| S1/2Bal | -3.63 | -6.3 |
| 0 esq | -5.0 | -15.4 |
| 0 dir | 8.9 | -15.4 |
| 1 | 7.1 | 7.0 |
| 2 | 5.3 | 24.5 |
| 3 | 3.6 | 36.9 |
| 4 | 1.8 | 44.4 |
| 5 | 0.0 | 46.9 |

Tensões

$$\sigma_s = M / Ws_{conjunto}$$

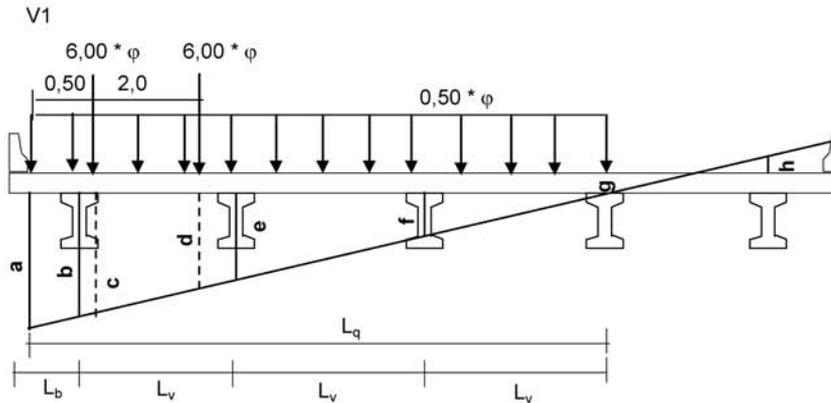
$$\sigma_s' = M / Ws'_{conjunto}$$

$$\sigma_i = -M / Wi_{conjunto}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -9 | -6 | 14 |
| 0 | -21 | -15 | 36 |
| 1 | 10 | 6 | -23 |
| 2 | 34 | 22 | -79 |
| 3 | 52 | 33 | -120 |
| 4 | 62 | 39 | -144 |
| 5 | 66 | 42 | -152 |

4 - Cálculo Esforços de Carga Móvel

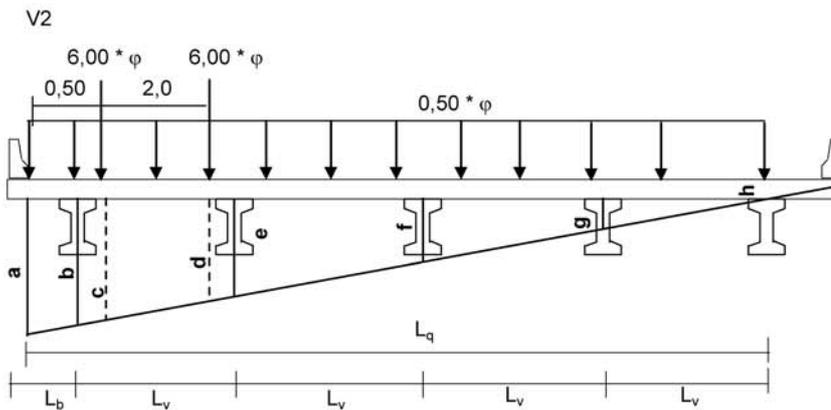
4.1 - Distribuição transversal do trem-tipo para obtenção do trem-tipo longitudinal



$L_b (m) = 1.20$ Vão (m) = 28.0
 $L_v (m) = 2.65$ $\phi = 1.204$

$a = 0.660$ $c = 0.623$ $e = 0.400$ $g = 0.000$
 $b = 0.600$ $d = 0.472$ $f = 0.200$ $L_q (m) = 8.750$

$P = 6 * \phi * (c + d)$ $P (tf) = 7.906$
 $q = 0,50 * \phi * (a * L_q) / 2$ $q (tf/m) = 1.739$



$a = 0.430$ $c = 0.411$ $e = 0.300$ $g = 0.100$
 $b = 0.400$ $d = 0.336$ $f = 0.200$ $h = 0.000$

$L_q (m) = 11.40$

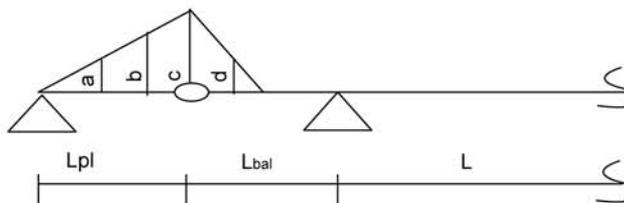
$P = 6 * \phi * (c + d)$ $P (tf) = 5.398$
 $q = 0,50 * \phi * (a * L_q) / 2$ $q (tf/m) = 1.476$

4.2 - Esforços internos devido ao carregamento do trem-tipo longitudinal

$$\begin{aligned} L_{pl} \text{ (m)} &= 3.000 \\ L_{bal} \text{ (m)} &= 4.250 \\ L \text{ (m)} &= 28.000 \end{aligned}$$

Linha de Influência Momento Fletor

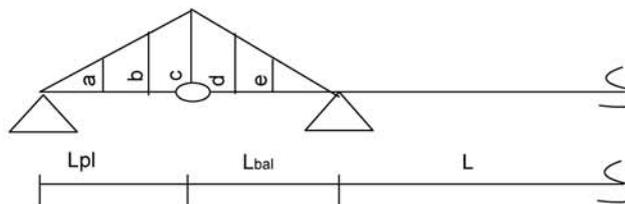
LI Momento S_{1/2} balanço



$$\begin{aligned} a &= (L_{pl} - 3,00) * (c / L_{pl}) & a &= 0.000 \\ b &= (L_{pl} - 1,50) * (c / L_{pl}) & b &= 1.063 \\ c &= 0,50 * L_{bal} & c &= 2.125 \\ d &= (0,5 * L_{bal} - 1,50) * [c / (0,50 * L_{bal})] & d &= 0.625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{1/2_min} &= -p * [c * (L_{pl} + 0,50 * L_{bal}) * 0,50] - P * \text{maior} (a + b + c; b + c + d) \\ M_{1/2_max} &= 0 \end{aligned}$$

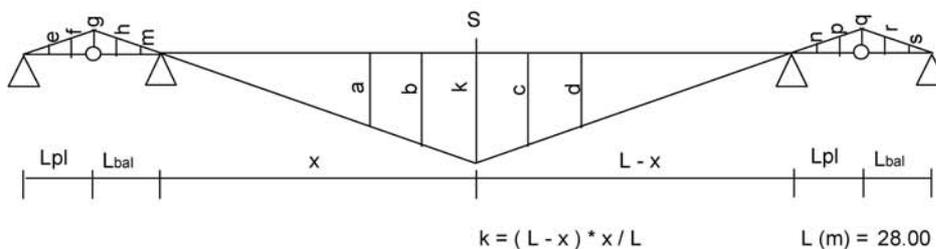
LI Momento S₀



$$\begin{aligned} a &= (L_{pl} - 3,00) * (c / L_{pl}) & a &= 0.000 \\ b &= (L_{pl} - 1,50) * (c / L_{pl}) & b &= 2.125 \\ c &= L_{bal} & c &= 4.250 \\ d &= (L_{bal} - 1,50) * (c / L_{bal}) & d &= 2.750 \\ e &= (L_{bal} - 3,00) * (c / L_{bal}) & e &= 1.250 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{S0_min} &= -p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) * 0,50] - P * [c + \text{maior} (a + b; b + d; d + e)] \\ M_{S0_max} &= 0 \end{aligned}$$

LI Momento S₁ a S₅



$$k = (L - x) * x / L \quad L \text{ (m)} = 28.00$$

$$\begin{aligned}
 a &= (x - 3,0) * (L - x) / L & f &= (L_{pl} - 1,50) * (g / L_{pl}) & p &= (L_{bal} - 1,50) * (q / L_{bal}) \\
 b &= (x - 1,5) * (L - x) / L & g &= L_{bal} * (k / x) & q &= L_{bal} * [k / (L - x)] \\
 c &= [(L - x) - 1,5] * x / L & h &= (L_{bal} - 1,50) * (g / L_{bal}) & r &= (L_{pl} - 1,50) * (q / L_{pl}) \\
 d &= [(L - x) - 3,0] * x / L & m &= (L_{bal} - 3,00) * (m / L_{bal}) & s &= (L_{pl} - 3,00) * (q / L_{pl}) \\
 e &= (L_{pl} - 3,00) * (g / L_{pl}) & n &= (L_{bal} - 3,00) * (q / L_{bal})
 \end{aligned}$$

| Seção | x (m) | k | a | b | c | d |
|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.8 | 2.520 | -0.180 | 1.170 | 2.370 | 2.220 |
| S2 | 5.60 | 4.480 | 2.080 | 3.280 | 4.180 | 3.880 |
| S3 | 8.40 | 5.880 | 3.780 | 4.830 | 5.430 | 4.980 |
| S4 | 11.20 | 6.720 | 4.920 | 5.820 | 6.120 | 5.520 |
| S5 | 14.00 | 7.000 | 5.500 | 6.250 | 6.250 | 5.500 |

$$M_{max} = P * [k + \text{maior}(a + b; b + c; c + d)] + p * (L * k / 2)$$

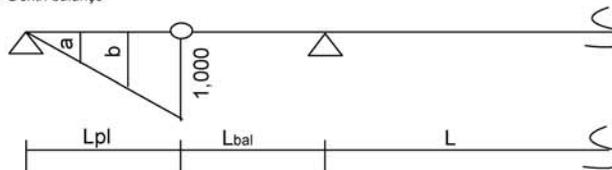
| Seção | x (m) | e | f | g | h | m |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.80 | 0.000 | 1.913 | 3.825 | 2.475 | 1.125 |
| S2 | 5.60 | 0.000 | 1.700 | 3.400 | 2.200 | 1.000 |
| S3 | 8.40 | 0.000 | 1.488 | 2.975 | 1.925 | 0.875 |
| S4 | 11.20 | 0.000 | 1.275 | 2.550 | 1.650 | 0.750 |
| S5 | 14.00 | 0.000 | 1.063 | 2.125 | 1.375 | 0.625 |

| Seção | x (m) | n | p | q | r | s |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.80 | 0.125 | 0.275 | 0.425 | 0.213 | 0.000 |
| S2 | 5.60 | 0.250 | 0.550 | 0.850 | 0.425 | 0.000 |
| S3 | 8.40 | 0.375 | 0.825 | 1.275 | 0.638 | 0.000 |
| S4 | 11.20 | 0.500 | 1.100 | 1.700 | 0.850 | 0.000 |
| S5 | 14.00 | 0.625 | 1.375 | 2.125 | 1.063 | 0.000 |

$$M_{min} = -P * [\text{maior}(e + f + g; f + g + h; g + h + m; n + p + q; p + q + r; q + r + s)] - p * [(L + L_{bal}) * (g + q) / 2]$$

Linha de Influência de Esforço Cortante

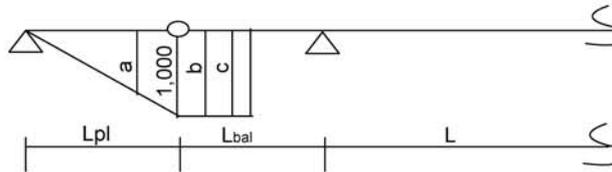
LI Cortante $S_{extr. \text{ balanço}}$



$$\begin{aligned}
 a &= (L_{pl} - 3,00) / L_{pl} & a &= 0,000 \\
 b &= (L_{pl} - 1,50) / L_{pl} & b &= 0,500
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{extr_max} &= p * L_{pl} / 2 + P * (a + b + 1,000) \\
 Q_{extr_min} &= 0
 \end{aligned}$$

LI Cortante S_{1/2}. balanço



$$a = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl} \qquad a = 0,500$$

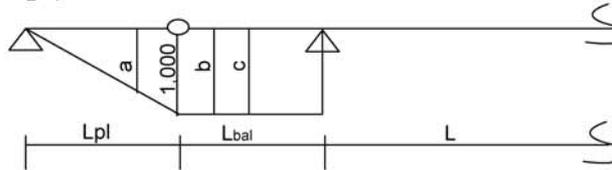
$$b = 1,000$$

$$c = 1,000$$

$$Q_{1/2bal_max} = p * (L_{pl} / 2 + L_{bal} / 2) + P * [1,000 + \text{maior}(a + b ; b + c)]$$

$$Q_{1/2bal_min} = 0$$

LI Cortante S₀.esq



$$a = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl} \qquad a = 0,500$$

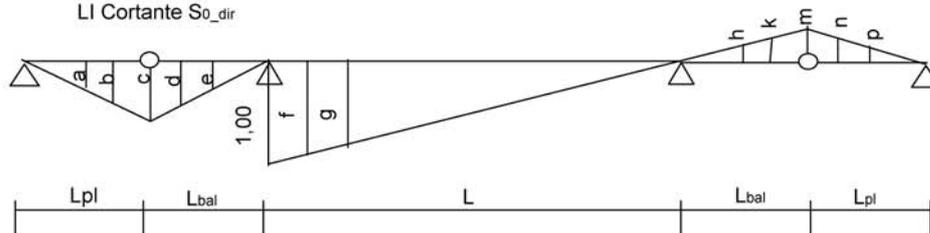
$$b = 1,000$$

$$c = 1,000$$

$$Q_{S0esq_max} = p * (L_{pl} / 2 + L_{bal}) + P * [1,000 + \text{maior}(a + b ; b + c)]$$

$$Q_{S0esq_min} = 0$$

LI Cortante S₀.dir



$$a = (L_{pl} - 3,00) * c / L_{pl} \qquad g = (L - 3,00) * (1,000 / L)$$

$$b = (L_{pl} - 1,50) * c / L_{pl} \qquad h = (L_{bal} - 3,00) * m / L_{bal}$$

$$c = L_{bal} * (1 / L) \qquad k = (L_{bal} - 1,50) * m / L_{bal}$$

$$d = (L_{bal} - 1,50) * (c / L_{bal}) \qquad m = L_{bal} * (1 / L)$$

$$e = (L_{bal} - 3,00) * (c / L_{bal}) \qquad n = (L_{pl} - 1,50) * m / L_{pl}$$

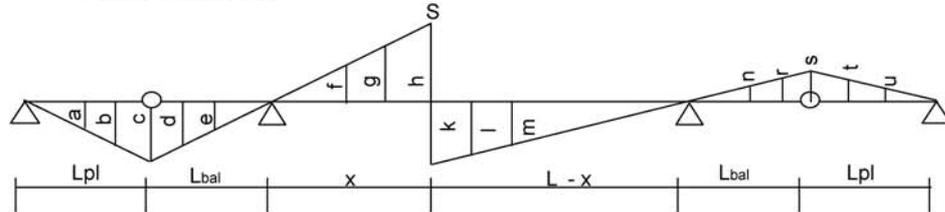
$$f = (L - 1,50) * (1,000 / L) \qquad p = (L_{pl} - 3,00) * m / L_{pl}$$

| | | |
|-----------|-----------|-----------|
| a = 0,000 | e = 1,250 | k = 0,015 |
| b = 0,076 | f = 0,946 | m = 0,152 |
| c = 0,152 | g = 0,893 | n = 0,008 |
| d = 0,098 | h = 0,007 | p = 0,000 |

$$Q_{S0dir_max} = p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + 1,000 * L / 2] + P * [\text{maior}(a + b + c ; b + c + d ; c + d + e ; 1,000 + f + g)]$$

$$Q_{S0dir_min} = - p * m * (L_{bal} + L_{pl}) / 2 - P * \text{maior}(h + k + m ; k + n + m ; m + n + p)$$

LI Cortante S1 a S5



$$\begin{aligned}
 a &= (L_{pl} - 3,00) * c / L_{pl} & f &= (x - 3,00) * h / x & m &= (L - x - 3,00) * k / (L - x) \\
 b &= (L_{pl} - 1,50) * c / L_{pl} & g &= (x - 1,5) * h / x & n &= (L_{bal} - 3,00) * s / L_{bal} \\
 c &= L_{bal} * h / x & h &= x / L & r &= (L_{bal} - 1,50) * s / L_{bal} \\
 d &= (L_{bal} - 1,50) * c / L_{bal} & k &= (L - x) / L & s &= L_{bal} * k / (L - x) \\
 e &= (L_{bal} - 3,00) * c / L_{bal} & l &= (L - x - 1,50) * k / (L - x) & t &= (L_{pl} - 1,50) * s / L_{pl} \\
 & & & & u &= (L_{pl} - 3,00) * s / L_{pl}
 \end{aligned}$$

$L (m) = 28.000$

$L_{pl} (m) = 3.000$
 $L_{bal} (m) = 4.250$

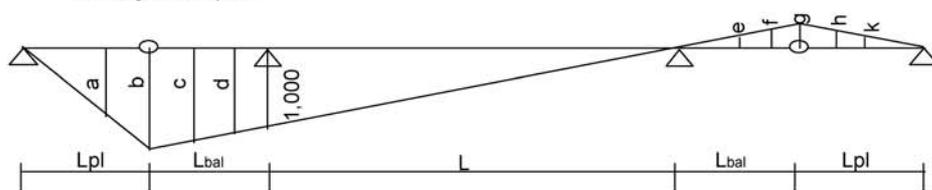
| Seção | x (m) | a | b | c | d | e | k | l | m |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.80 | 0.000 | 0.076 | 0.152 | 0.098 | 0.045 | 0.900 | 0.846 | 0.793 |
| S2 | 5.60 | 0.000 | 0.076 | 0.152 | 0.098 | 0.045 | 0.800 | 0.746 | 0.693 |
| S3 | 8.40 | 0.000 | 0.076 | 0.152 | 0.098 | 0.045 | 0.700 | 0.646 | 0.593 |
| S4 | 11.20 | 0.000 | 0.076 | 0.152 | 0.098 | 0.045 | 0.600 | 0.546 | 0.493 |
| S5 | 14.00 | 0.000 | 0.076 | 0.152 | 0.098 | 0.045 | 0.500 | 0.446 | 0.393 |

$e ; k + l + m) + p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + k * (L - x) / 2]$

| Seção | x (m) | f | g | h | n | r | s | t | u |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.80 | -0.007 | 0.046 | 0.100 | 0.045 | 0.098 | 0.152 | 0.076 | 0.000 |
| S2 | 5.60 | 0.093 | 0.146 | 0.200 | 0.045 | 0.098 | 0.152 | 0.076 | 0.000 |
| S3 | 8.40 | 0.193 | 0.246 | 0.300 | 0.045 | 0.098 | 0.152 | 0.076 | 0.000 |
| S4 | 11.20 | 0.293 | 0.346 | 0.400 | 0.045 | 0.098 | 0.152 | 0.076 | 0.000 |
| S5 | 14.00 | 0.393 | 0.446 | 0.500 | 0.045 | 0.098 | 0.152 | 0.076 | 0.000 |

$s + t ; s + t + u) - p * [s * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + h * x / 2]$

LI Reação de apoio



$$\begin{aligned}
 a &= (L_{pl} - 1,50) * b / L_{pl} & f &= (L_{bal} - 1,50) * g / L_{bal} & a &= 0.576 & f &= 0.098 \\
 b &= (L_{bal} + L) * (1 / L) & g &= L_{bal} * (1 / L) & b &= 1.152 & g &= 0.152 \\
 c &= (L_{bal} + L - 1,50) * (1 / L) & h &= (L_{pl} - 1,50) * g / L_{pl} & c &= 1.098 & h &= 0.076 \\
 d &= (L_{bal} + L - 3,00) * (1 / L) & k &= (L_{pl} - 3,00) * g / L_{pl} & d &= 1.045 & k &= 0.000 \\
 e &= (L_{bal} - 3,00) * g / L_{bal} & & & e &= 0.045 & &
 \end{aligned}$$

$R_{max} = p * [b * (L_{pl} + L_{bal} + L) / 2] + P * [maior(a + b + c ; b + c + d)]$
 $R_{min} = -p * [g * (L_{pl} + L_{bal}) / 2] - P * [maior(e + f + g ; f + g + h ; g + h + k)]$

Esforços Viga V1

$$P \text{ (tf)} = 7.906$$

$$p \text{ (tf/m)} = 1.739$$

$$R_{\max} \text{ (tf)} = 61.35$$

$$R_{\min} \text{ (tf)} = -3.5$$

| Seção | Cortante | | Momento | |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Q+ (tf.m) | Q- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| SExtBal | 14.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 30.0 | 0.0 | 0.0 | -39.6 |
| S0 esq | 33.7 | 0.0 | 0.0 | -98.9 |
| S0 dir | 47.8 | -2.3 | 0.0 | -98.9 |
| S1 | 40.8 | -3.8 | 117.6 | -91.7 |
| S2 | 34.2 | -5.4 | 208.2 | -84.5 |
| S3 | 28.2 | -9.0 | 272.0 | -77.3 |
| S4 | 22.7 | -13.1 | 311.1 | -70.1 |
| S5 | 17.6 | -17.6 | 324.6 | -62.9 |

Tensões normais

$$\sigma_s = M / Ws_{\text{corrente}}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{\text{corrente}}$$

$$\sigma_i = -M / Wi_{\text{corrente}}$$

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Momento Máximo | | | Momento Mínimo | | |
|---------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0.714 | 1.014 | 0.43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.714 | 1.014 | 0.43 | 0 | 0 | 0 | -55 | -39 | 92 |
| 0 | 0.714 | 1.014 | 0.43 | 0 | 0 | 0 | -139 | -98 | 230 |
| 1 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | 170 | 109 | -383 | -133 | -85 | 299 |
| 2 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | 301 | 193 | -678 | -122 | -78 | 275 |
| 3 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | 394 | 252 | -886 | -112 | -72 | 252 |
| 4 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | 450 | 288 | -1014 | -101 | -65 | 228 |
| 5 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | 470 | 301 | -1057 | -91 | -58 | 205 |

Esforços Viga V2

$$P \text{ (tf)} = 5.398$$

$$p \text{ (tf/m)} = 1.476$$

$$R_{\max} \text{ (tf)} = 47.7$$

$$R_{\min} \text{ (tf)} = -2.6$$

| Seção | Cortante | | Momento | |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Q+ (tf.m) | Q- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| SExtBal | 10.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 21.5 | 0.0 | 0.0 | -21.2 |
| S0 esq | 24.7 | 0.0 | 0.0 | -72.0 |
| S0 dir | 36.8 | -1.8 | 0.0 | -72.0 |
| S1 | 31.3 | -2.8 | 90.5 | -67.1 |
| S2 | 26.1 | -4.0 | 160.3 | -62.1 |
| S3 | 21.4 | -6.7 | 209.4 | -57.2 |
| S4 | 17.1 | -9.7 | 239.6 | -52.3 |
| S5 | 13.2 | -13.2 | 249.9 | -47.4 |

Tensões normais

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Momento Máximo | | | Momento Mínimo | | |
|---------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0.736 | 1.051 | 0.433 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.736 | 1.051 | 0.433 | 0 | 0 | 0 | -29 | -20 | 49 |
| 0 | 0.736 | 1.051 | 0.433 | 0 | 0 | 0 | -98 | -68 | 166 |
| 1 | 0.713 | 1.129 | 0.308 | 127 | 80 | -294 | -94 | -59 | 218 |
| 2 | 0.713 | 1.129 | 0.308 | 225 | 142 | -520 | -87 | -55 | 202 |
| 3 | 0.713 | 1.129 | 0.308 | 294 | 185 | -680 | -80 | -51 | 186 |
| 4 | 0.713 | 1.129 | 0.308 | 336 | 212 | -778 | -73 | -46 | 170 |
| 5 | 0.713 | 1.129 | 0.308 | 351 | 221 | -811 | -66 | -42 | 154 |

5 - Esforços de Protensão

Os esforços de protensão foram obtidos com o uso do programa "VEPRO" cuja listagem encontra-se anexa. Os resumos dos esforços em cada etapa de protensão estão resumidos a seguir.

Primeira etapa de protensão

| Tempo T = 0 | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 266.5 | 33.8 | 29.9 |
| 0 esq | 281.2 | 0.0 | 81.4 |
| 0 dir | 281.2 | 0.0 | 81.4 |
| 1 | 293.2 | -61.8 | 8.8 |
| 2 | 290.9 | -41.9 | -171.9 |
| 3 | 283.2 | -1.9 | -213.3 |
| 4 | 280.7 | 0.0 | -211.5 |
| 5 | 278.7 | 0.0 | -210.0 |

| Tempo T = ∞ | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 230.2 | 29.2 | 25.8 |
| 0 esq | 244.0 | 0.0 | 70.6 |
| 0 dir | 244.0 | 0.0 | 70.6 |
| 1 | 249.3 | -52.5 | 7.5 |
| 2 | 242.1 | -34.8 | -143.1 |
| 3 | 235.4 | -1.5 | -177.3 |
| 4 | 237.3 | 0.0 | -178.7 |
| 5 | 237.0 | 0.0 | -178.5 |

$$\sigma_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma'_s = N / S + M / W'_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | Tempo T = 0 | | |
|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 1.011 | - | 0.301 | 0.275 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 1.011 | - | 0.301 | 0.275 | - | 363 | 155 |
| 0 | 1.011 | - | 0.301 | 0.275 | - | 549 | -18 |
| 1 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | 562 | 486 |
| 2 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | -189 | 1296 |
| 3 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | -374 | 1468 |
| 4 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | -371 | 1456 |
| 5 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | -368 | 1445 |

| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | Tempo T = ∞ | | |
|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 1.011 | - | 0.301 | 0.275 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 1.011 | - | 0.301 | 0.275 | - | 313 | 134 |
| 0 | 1.011 | - | 0.301 | 0.275 | - | 476 | -15 |
| 1 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | 478 | 413 |
| 2 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | -157 | 1078 |
| 3 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | -311 | 1221 |
| 4 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | -313 | 1230 |
| 5 | 0.558 | - | 0.242 | 0.222 | - | -313 | 1229 |

Segunda etapa de protensão

| Tempo T = 0 | | | |
|---------------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| S _{ExtBal} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S _{1/2Bal} | 67.6 | 3.5 | 19 |
| 0 esq | 69.3 | 0.0 | 25.6 |
| 0 dir | 69.3 | 0.0 | 25.6 |
| 1 | 71.6 | -7.5 | 12.8 |
| 2 | 73.0 | -23.0 | -36.6 |
| 3 | 211.3 | -32.5 | -198.7 |
| 4 | 220.1 | 0.0 | -239.8 |
| 5 | 220.7 | 0.0 | -240.4 |

| Tempo T = ∞ | | | |
|---------------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| S _{ExtBal} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S _{1/2Bal} | 61.4 | 3.2 | 17.2 |
| 0 esq | 62.5 | 0.0 | 23.2 |
| 0 dir | 62.5 | 0.0 | 23.2 |
| 1 | 64.4 | -6.8 | 11.5 |
| 2 | 64.2 | -20.3 | -32.2 |
| 3 | 162.3 | -24.9 | -152.5 |
| 4 | 167.3 | 0.0 | -182.4 |
| 5 | 172.1 | 0.0 | -187.5 |

$$\sigma_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma'_s = N / S + M / W'_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Tempo T = 0 | | | | | | | |
|---------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Seção | S (m ²) | W _s (m ³) | W' _s (m ³) | W _i (m ³) | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| S _{ExtBal} | 1.516 | 0.714 | 1.014 | 0.43 | 0 | 0 | 0 |
| S _{1/2Bal} | 1.516 | 0.714 | 1.014 | 0.43 | 71 | 63 | 0 |
| 0 | 1.516 | 0.714 | 1.014 | 0.43 | 82 | 71 | -14 |
| 1 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | 86 | 79 | 26 |
| 2 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | 16 | 35 | 188 |
| 3 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | -89 | 15 | 846 |
| 4 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | -140 | -15 | 988 |
| 5 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | -140 | -15 | 991 |

| Tempo T = ∞ | | | | | | | |
|---------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Seção | S (m ²) | W _s (m ³) | W' _s (m ³) | W _i (m ³) | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| S _{ExtBal} | 1.516 | 0.714 | 1.014 | 0.43 | 0 | 0 | 0 |
| S _{1/2Bal} | 1.516 | 0.714 | 1.014 | 0.43 | 65 | 57 | 1 |
| 0 | 1.516 | 0.714 | 1.014 | 0.43 | 74 | 64 | -13 |
| 1 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | 77 | 71 | 23 |
| 2 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | 14 | 31 | 165 |
| 3 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | -68 | 11 | 649 |
| 4 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | -107 | -12 | 752 |
| 5 | 1.063 | 0.691 | 1.080 | 0.307 | -109 | -12 | 773 |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

Viga de 36.50m - Viga de Bordo - 1a. Protensao

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

28.00 4.25 4.25

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 6.05 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| -1 | 1.011 | .230 | .301 | .275 | .836 |
| 0 | 1.011 | .230 | .301 | .275 | .836 |
| 1 | .558 | .185 | .242 | .222 | .833 |
| 2 | .558 | .185 | .242 | .222 | .833 |
| 3 | .558 | .185 | .242 | .222 | .833 |
| 4 | .558 | .185 | .242 | .222 | .833 |
| 5 | .558 | .185 | .242 | .222 | .833 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C2

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.13 /FINAL= 2.13 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|--|------------|
| -1 | 1.22 | 5.00 | 14174. | 11309. |
| 0 | 1.35 | .00 | 13795. | 11688. |
| 1 | 1.21 | -8.00 | 13229. | 12254. |
| 2 | .49 | -15.00 | 12742. | 12742. |
| 3 | .08 | -1.50 | 11929. | 11929. |
| 4 | .08 | .00 | 11768. | 11768. |
| 5 | .08 | .00 | 11686. | 11686. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)

CABOS NUM. C3

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.13 /FINAL= 2.13 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|---|
| -1 | 1.04 | 6.50 | 14174. | 11588. |
| 0 | 1.20 | .00 | 13705. | 12057. |
| 1 | .99 | -11.00 | 12972. | 12791. |
| 2 | .27 | -11.00 | 12881. | 12881. |
| 3 | .08 | .00 | 12192. | 12192. |
| 4 | .08 | .00 | 12107. | 12107. |
| 5 | .08 | .00 | 12022. | 12022. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 3 (1 CABOS)

CABOS NUM. C4

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.13 /FINAL= 2.13 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|---|
| -1 | .84 | 8.00 | 14174. | 11432. |
| 0 | 1.05 | .00 | 13616. | 11990. |
| 1 | .74 | -12.50 | 12803. | 12803. |
| 2 | .12 | -5.00 | 12304. | 12304. |
| 3 | .08 | .00 | 11955. | 11955. |
| 4 | .08 | .00 | 11872. | 11872. |
| 5 | .08 | .00 | 11789. | 11789. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 4 (1 CABOS)

CABOS NUM. C5

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.13 /FINAL= 2.13 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|---|
| -1 | .68 | 9.50 | 14174. | 10879. |
| 0 | .90 | .00 | 13527. | 11527. |
| 1 | .51 | -16.00 | 12527. | 12527. |
| 2 | .08 | -1.00 | 11651. | 11651. |
| 3 | .08 | .00 | 11520. | 11520. |
| 4 | .08 | .00 | 11439. | 11439. |
| 5 | .08 | .00 | 11359. | 11359. |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSAO SUCESSIVA = 195.8 KG/CM2

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSAO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| -1 | .11 | 3.97 | 11106.7 |
| 0 | .29 | 4.00 | 11619.8 |
| 1 | .03 | 3.91 | 12397.2 |
| 2 | -.59 | 3.94 | 12193.7 |
| 3 | -.75 | 4.00 | 11703.1 |
| 4 | -.75 | 4.00 | 11600.7 |
| 5 | -.75 | 4.00 | 11518.4 |

1

ESFORÇOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 266.5 | 33.8 | 29.9 | 363.0 | 154.9 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 281.2 | .0 | 81.4 | 548.6 | -17.9 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | | .0 | | | | | | |
| 1 | 293.2 | -61.8 | 8.8 | 561.9 | 485.8 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 290.9 | -41.9 | -171.9 | -188.9 | 1295.7 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 283.2 | -1.9 | -213.3 | -374.0 | 1468.5 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 280.7 | .0 | -211.5 | -370.8 | 1455.8 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 278.7 | .0 | -210.0 | -368.2 | 1445.4 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | -25.0 | 27.0 | -65.0 | 71.0 |
| 0 | -88.0 | 96.0 | -149.0 | 163.0 |
| 1 | 100.0 | -109.0 | 4.0 | -4.0 |
| 2 | 258.0 | -282.0 | 152.0 | -165.0 |
| 3 | 371.0 | -405.0 | 259.0 | -282.0 |
| 4 | 439.0 | -479.0 | 325.0 | -354.0 |
| 5 | 462.0 | -503.0 | 350.0 | -381.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=0

NOTAS :

- 1) TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2) COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3) F1=P+G1
F2=F1+G2

| SECAO | | F1 | F2 |
|-------|---|--------|-------|
| -1 | S | 338.0 | 273.0 |
| -1 | I | 181.9 | 252.9 |
| 0 | S | 460.6 | 311.6 |
| 0 | I | 78.1 | 241.1 |
| 1 | S | 661.9 | 665.9 |
| 1 | I | 376.8 | 372.8 |
| 2 | S | 69.1 | 221.1 |
| 2 | I | 1013.7 | 848.7 |
| 3 | S | -3.0 | 256.0 |
| 3 | I | 1063.5 | 781.5 |

| | | | |
|---|---|-------|-------|
| 4 | S | 68.2 | 393.2 |
| 4 | I | 976.8 | 622.8 |
| 5 | S | 93.8 | 443.8 |
| 5 | I | 942.4 | 561.4 |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
| -1 | 502.9 | 379.8 | 630.0 | 1512.6 | 9594.0 |
| 0 | 496.0 | 411.2 | 630.0 | 1537.2 | 10082.6 |
| 1 | 487.6 | 737.7 | 630.0 | 1855.3 | 10541.9 |
| 2 | 452.1 | 970.4 | 630.0 | 2052.5 | 10141.2 |
| 3 | 431.4 | 928.1 | 630.0 | 1989.5 | 9713.5 |
| 4 | 431.4 | 751.3 | 630.0 | 1812.6 | 9788.1 |
| 5 | 431.4 | 682.7 | 630.0 | 1744.1 | 9774.4 |

1

ESFORÇOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 230.2 | 29.2 | 25.8 | 313.5 | 133.8 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 244.0 | .0 | 70.6 | 476.0 | -15.5 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | 249.3 | -52.5 | 7.5 | 477.8 | 413.1 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 242.0 | -34.8 | -143.0 | -157.1 | 1077.6 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 235.0 | -1.5 | -177.1 | -310.5 | 1218.8 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 236.9 | .0 | -178.4 | -312.9 | 1228.3 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 236.5 | .0 | -178.2 | -312.4 | 1226.6 | .0 | .0 | .0 |

1

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | -25.0 | 27.0 | -66.0 | 72.0 |
| 0 | -88.0 | 96.0 | -152.0 | 166.0 |
| 1 | 101.0 | -110.0 | 6.0 | -7.0 |
| 2 | 259.0 | -282.0 | 159.0 | -173.0 |
| 3 | 372.0 | -405.0 | 270.0 | -294.0 |
| 4 | 440.0 | -479.0 | 338.0 | -369.0 |
| 5 | 462.0 | -504.0 | 365.0 | -397.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=INFINITO

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3)F1=P+G1
F2=F1+G2

| SECAO | | F1 | F2 |
|-------|---|-------|-------|
| -1 | S | 288.5 | 222.5 |
| -1 | I | 160.8 | 232.8 |
| 0 | S | 388.0 | 236.0 |
| 0 | I | 80.5 | 246.5 |
| 1 | S | 578.8 | 584.8 |
| 1 | I | 303.1 | 296.1 |

| | | | |
|---|---|-------|-------|
| 2 | S | 101.9 | 260.9 |
| 2 | I | 795.6 | 622.6 |
| 3 | S | 61.5 | 331.5 |
| 3 | I | 813.8 | 519.8 |
| 4 | S | 127.1 | 465.1 |
| 4 | I | 749.3 | 380.3 |
| 5 | S | 149.6 | 514.6 |
| 5 | I | 722.6 | 325.6 |

1

ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)

=====

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 114. | 114. | 229. |
| 2 | 115. | 115. | 230. |
| 3 | 113. | 113. | 226. |
| 4 | 110. | 110. | 220. |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

Viga de 36.50m - Viga de Bordo - Segunda Protensao

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

28.00 4.25 4.25

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 6.05 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| -1 | 1.516 | .483 | 1.014 | .430 | 1.123 |
| 0 | 1.516 | .483 | 1.014 | .430 | 1.123 |
| 1 | 1.063 | .382 | 1.080 | .307 | 1.244 |
| 2 | 1.063 | .382 | 1.080 | .307 | 1.244 |
| 3 | 1.063 | .382 | 1.080 | .307 | 1.244 |
| 4 | 1.063 | .382 | 1.080 | .307 | 1.244 |
| 5 | 1.063 | .382 | 1.080 | .307 | 1.244 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C1

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.13 /FINAL= 2.13 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|--|------------|
| -1 | 1.41 | 3.00 | 14174. | 11253. |
| 0 | 1.50 | .00 | 13916. | 11511. |
| 1 | 1.43 | -6.00 | 13462. | 11966. |
| 2 | .75 | -17.50 | 12714. | 12714. |
| 3 | .15 | -6.00 | 12007. | 12007. |
| 4 | .08 | .00 | 11615. | 11615. |
| 5 | .08 | .00 | 11534. | 11534. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)

CABOS NUM. C6

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 4.20 /FINAL= 4.20 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 11.00 /FINAL= 11.00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|-------|---|---|
| 3 | .27 | -6.50 | 13440. | 12167. |
| 4 | .20 | .00 | 12973. | 12634. |
| 5 | .20 | .00 | 12883. | 12725. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCAVEL DO CABO

GRUPO DE CABOS NUM. 3 (1 CABOS)

CABOS NUM. C7

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 2.80 /FINAL= 2.80 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 11.00 /FINAL= 11.00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|---|
| 3 | .53 | -14.00 | 13487. | 11432. |
| 4 | .20 | .00 | 12600. | 12319. |
| 5 | .20 | .00 | 12512. | 12407. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCAVEL DO CABO

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSAO SUCESSIVA = 64.9 KG/CM2

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSAO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| -1 | .29 | 1.00 | 11188.0 |
| 0 | .38 | 1.00 | 11446.5 |
| 1 | .19 | .99 | 11900.7 |
| 2 | -.49 | .95 | 12648.8 |
| 3 | -.93 | 2.96 | 11807.3 |
| 4 | -1.08 | 3.00 | 12124.8 |
| 5 | -1.08 | 3.00 | 12157.2 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 67.6 | 3.5 | 19.4 | 63.7 | -.5 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 69.3 | .0 | 26.1 | 71.4 | -15.0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | | .0 | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|-------|-------|--------|-------|-------|----|----|----|
| 1 | 71.6 | -7.5 | 13.3 | 79.7 | 24.0 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 73.0 | -23.0 | -36.1 | 35.3 | 186.2 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 211.3 | -32.5 | -197.2 | 16.2 | 841.0 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 220.1 | .0 | -238.2 | -13.5 | 982.9 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 220.7 | .0 | -238.8 | -13.5 | 985.3 | .0 | .0 | .0 |

REAÇÕES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTÁTICO DA PROTENSAO

| | | |
|---|-------|--------|
| | APOIO | REAÇÃO |
| | 1 | (T) |
| 1 | | .00 |

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | FASE 2 1ªPROT. | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|----------------|-------|------------------|--------|------------------|---------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | 273.0 | 252.9 | -11.0 | 27.0 | .0 | .0 | -39.0 | 92.0 |
| 0 | 311.6 | 241.1 | -28.0 | 65.0 | .0 | .0 | -98.0 | 230.0 |
| 1 | 665.9 | 372.8 | 10.0 | -34.0 | 109.0 | -383.0 | -85.0 | 299.0 |
| 2 | 221.1 | 848.7 | 37.0 | -131.0 | 193.0 | -678.0 | -78.0 | 275.0 |
| 3 | 256.0 | 781.5 | 57.0 | -201.0 | 252.0 | -886.0 | -72.0 | 252.0 |
| 4 | 393.2 | 622.8 | 69.0 | -242.0 | 288.0 | -1014.0 | -65.0 | 228.0 |
| 5 | 443.8 | 561.4 | 73.0 | -256.0 | 301.0 | -1057.0 | -58.0 | 205.0 |

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=0

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3)F3=F2+2ªPROT.
- F4=F3+G3
- F5=F4+I.QMAX
- F6=F4+I.QMIN

| SECAO | | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------|---|--------|--------|-------|--------|
| -1 | S | 336.7 | 325.7 | 325.7 | 286.7 |
| -1 | I | 252.4 | 279.4 | 279.4 | 371.4 |
| 0 | S | 383.0 | 355.0 | 355.0 | 257.0 |
| 0 | I | 226.1 | 291.1 | 291.1 | 521.1 |
| 1 | S | 745.6 | 755.6 | 864.6 | 670.6 |
| 1 | I | 396.8 | 362.8 | -20.2 | 661.8 |
| 2 | S | 256.4 | 293.4 | 486.4 | 215.4 |
| 2 | I | 1034.9 | 903.9 | 225.9 | 1178.9 |
| 3 | S | 272.2 | 329.2 | 581.2 | 257.2 |
| 3 | I | 1622.5 | 1421.5 | 535.5 | 1673.5 |
| 4 | S | 379.7 | 448.7 | 736.7 | 383.7 |
| 4 | I | 1605.7 | 1363.7 | 349.7 | 1591.7 |
| 5 | S | 430.3 | 503.3 | 804.3 | 445.3 |
| 5 | I | 1546.7 | 1290.7 | 233.7 | 1495.7 |

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
| -1 | 521.6 | -22.8 | 630.0 | 1128.8 | 10059.3 |
| 0 | 520.9 | -54.4 | 630.0 | 1096.5 | 10350.0 |
| 1 | 520.4 | 34.5 | 630.0 | 1184.9 | 10715.7 |
| 2 | 517.6 | 590.6 | 630.0 | 1738.2 | 10910.6 |
| 3 | 475.2 | 1510.3 | 630.0 | 2615.4 | 9191.9 |
| 4 | 463.3 | 1601.4 | 630.0 | 2694.7 | 9430.0 |
| 5 | 463.3 | 1517.3 | 630.0 | 2610.7 | 9546.5 |

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| ESFORCO NORMAL | ESFORCO CORT. | MOM ISOST | TENSAO ISOST | TENSAO ISOST | MOM HIPER | TENSAO HIPER | TENSAO HIPER |
|----------------|---------------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|
|----------------|---------------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|

| SECAO | PROT (T) | PROT (T) | PROT (TM) | SUP. (T/M2) | INF. (T/M2) | PROT (TM) | SUP. (T/M2) | INF (T/M2) |
|-------|----------|----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|------------|
| -1 | 60.8 | 3.2 | 17.4 | 57.3 | - .4 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 62.6 | .0 | 23.6 | 64.6 | -13.6 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | | .0 | | | | | | |
| 1 | 64.5 | -6.8 | 12.0 | 71.7 | 21.7 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 63.0 | -19.8 | -31.1 | 30.4 | 160.6 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 164.5 | -25.3 | -153.5 | 12.6 | 654.7 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 171.2 | .0 | -185.3 | -10.5 | 764.5 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 173.3 | .0 | -187.5 | -10.6 | 773.7 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | FASE 2 1ªPROT. | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|----------------|-------|------------------|--------|------------------|---------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | 222.5 | 232.8 | -11.0 | 27.0 | .0 | .0 | -39.0 | 92.0 |
| 0 | 236.0 | 246.5 | -28.0 | 65.0 | .0 | .0 | -98.0 | 230.0 |
| 1 | 584.8 | 296.1 | 10.0 | -34.0 | 109.0 | -383.0 | -85.0 | 299.0 |
| 2 | 260.9 | 622.6 | 37.0 | -131.0 | 193.0 | -678.0 | -78.0 | 275.0 |
| 3 | 331.5 | 519.8 | 57.0 | -201.0 | 252.0 | -886.0 | -72.0 | 252.0 |
| 4 | 465.1 | 380.3 | 69.0 | -242.0 | 288.0 | -1014.0 | -65.0 | 228.0 |
| 5 | 514.6 | 325.6 | 73.0 | -256.0 | 301.0 | -1057.0 | -58.0 | 205.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=INFINITO

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3)F3=F2+2ªPROT.
- F4=F3+G3
- F5=F4+I.QMAX
- F6=F4+I.QMIN

| SECAO | | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------|---|--------|-------|--------|--------|
| -1 | S | 279.8 | 268.8 | 268.8 | 229.8 |
| -1 | I | 232.4 | 259.4 | 259.4 | 351.4 |
| 0 | S | 300.6 | 272.6 | 272.6 | 174.6 |
| 0 | I | 232.9 | 297.9 | 297.9 | 527.9 |
| 1 | S | 656.5 | 666.5 | 775.5 | 581.5 |
| 1 | I | 317.8 | 283.8 | -99.2 | 582.8 |
| 2 | S | 291.3 | 328.3 | 521.3 | 250.3 |
| 2 | I | 783.2 | 652.2 | -25.8 | 927.2 |
| 3 | S | 344.1 | 401.1 | 653.1 | 329.1 |
| 3 | I | 1174.5 | 973.5 | 87.5 | 1225.5 |
| 4 | S | 454.6 | 523.6 | 811.6 | 458.6 |
| 4 | I | 1144.8 | 902.8 | -111.2 | 1130.8 |
| 5 | S | 504.0 | 577.0 | 878.0 | 519.0 |
| 5 | I | 1099.3 | 843.3 | -213.7 | 1048.3 |

1

ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 115. | 115. | 229. |
| 2 | 61. | 61. | 123. |
| 3 | 51. | 51. | 101. |

6 - Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga de bordo

Fases de verificação das tensões

F1 = G1 + 1ª Protensão
F2 = F1 + G2

F3 = F2 + 2ª Protensão
F4 = F3 + G3

F5 = F4 + CM_{mínima}
F6 = F4 + CM_{máxima}

Tempo T = 0

| Seção | | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|---------------------|----------------------------------|------|---------|-------------|------|------------|---------|-------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 71 | 71 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -25 | 363 | 338 | -65 | 273 | 63 | 336 |
| | σ_i (tf/m ²) | 27 | 155 | 182 | 71 | 253 | 0 | 254 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 82 | 82 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -88 | 549 | 461 | -149 | 312 | 71 | 383 |
| | σ_i (tf/m ²) | 96 | -18 | 78 | 163 | 241 | -14 | 227 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 86 | 86 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 100 | 562 | 662 | 4 | 666 | 79 | 745 |
| | σ_i (tf/m ²) | -109 | 486 | 376 | -4 | 372 | 26 | 398 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 16 | 16 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 258 | -189 | 69 | 152 | 221 | 35 | 256 |
| | σ_i (tf/m ²) | -282 | 1296 | 1014 | -165 | 849 | 188 | 1036 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -89 | -89 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 371 | -374 | -2 | 259 | 256 | 15 | 271 |
| | σ_i (tf/m ²) | -405 | 1468 | 1063 | -282 | 782 | 846 | 1628 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -140 | -140 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 439 | -371 | 68 | 325 | 393 | -15 | 378 |
| | σ_i (tf/m ²) | -479 | 1456 | 977 | -354 | 623 | 988 | 1611 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -140 | -140 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 462 | -368 | 94 | 350 | 443 | -15 | 428 |
| | σ_i (tf/m ²) | -503 | 1445 | 942 | -381 | 561 | 991 | 1551 |

| Seção | | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 |
|---------------------|----------------------------------|------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -16 | 55 | -55 | 0 | -1 | 55 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -11 | 325 | -39 | 0 | 286 | 325 |
| | σ_i (tf/m ²) | 27 | 281 | 92 | 0 | 373 | 281 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -39 | 42 | -139 | 0 | -96 | 42 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -28 | 355 | -98 | 0 | 258 | 355 |
| | σ_i (tf/m ²) | 65 | 293 | 230 | 0 | 523 | 293 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 15 | 101 | -133 | 170 | -32 | 271 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 10 | 755 | -85 | 109 | 670 | 863 |
| | σ_i (tf/m ²) | -34 | 365 | 299 | -383 | 663 | -18 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 58 | 74 | -122 | 301 | -48 | 375 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 37 | 293 | -78 | 193 | 215 | 486 |
| | σ_i (tf/m ²) | -131 | 906 | 275 | -678 | 1181 | 227 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 89 | 0 | -112 | 394 | -112 | 394 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 57 | 328 | -72 | 252 | 256 | 580 |
| | σ_i (tf/m ²) | -201 | 1427 | 252 | -886 | 1679 | 541 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 108 | -32 | -101 | 450 | -134 | 418 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 69 | 447 | -65 | 288 | 382 | 735 |
| | σ_i (tf/m ²) | -242 | 1369 | 228 | -1014 | 1597 | 355 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 114 | -26 | -91 | 470 | -117 | 443 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 73 | 501 | -58 | 301 | 443 | 802 |
| | σ_i (tf/m ²) | -256 | 1295 | 205 | -1057 | 1500 | 238 |

Tempo T = 00

Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$

$\Delta\sigma = \sigma_{t=00} - \sigma_{t=0}$

F8 = F7 + CM_{mínima}

F9 = F7 + CM_{máxima}

1ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | 313 | 134 | - | 363 | 155 | - | -50 | -21 |
| 0 | - | 476 | -15 | - | 549 | -18 | - | -73 | 2 |
| 1 | - | 478 | 413 | - | 562 | 486 | - | -84 | -73 |
| 2 | - | -157 | 1078 | - | -189 | 1296 | - | 32 | -217 |
| 3 | - | -311 | 1221 | - | -374 | 1468 | - | 63 | -248 |
| 4 | - | -313 | 1230 | - | -371 | 1456 | - | 58 | -226 |
| 5 | - | -313 | 1229 | - | -368 | 1445 | - | 55 | -217 |

2ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 65 | 57 | 1 | 71 | 63 | 0 | -7 | -6 | 0 |
| 0 | 74 | 64 | -13 | 82 | 71 | -14 | -8 | -7 | 1 |
| 1 | 77 | 71 | 23 | 86 | 79 | 26 | -9 | -8 | -3 |
| 2 | 14 | 31 | 165 | 16 | 35 | 188 | -2 | -4 | -23 |
| 3 | -68 | 11 | 649 | -89 | 15 | 846 | 21 | -3 | -197 |
| 4 | -107 | -12 | 752 | -140 | -15 | 988 | 33 | 3 | -237 |
| 5 | -109 | -12 | 773 | -140 | -15 | 991 | 31 | 3 | -218 |

Perda total de protensão

| Seção | $\Delta\sigma_{total}$ | | |
|---------|------------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -7 | -55 | -21 |
| 0 | -8 | -80 | 4 |
| 1 | -9 | -92 | -75 |
| 2 | -2 | 27 | -240 |
| 3 | 21 | 60 | -444 |
| 4 | 33 | 61 | -462 |
| 5 | 31 | 59 | -435 |

Tempo T = 00

| Seção | | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 8 | Fase 9 |
|---------------------|----------------------------------|-------------|------------------------|------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | 55 | -7 | 48 | -55 | 0 | -7 | 48 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 325 | -55 | 270 | -39 | 0 | 231 | 270 |
| | σ_i (tf/m ²) | 281 | -21 | 260 | 92 | 0 | 352 | 260 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | 42 | -8 | 34 | -139 | 0 | -104 | 34 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 355 | -80 | 276 | -98 | 0 | 178 | 276 |
| | σ_i (tf/m ²) | 293 | 4 | 296 | 230 | 0 | 526 | 296 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 101 | -9 | 92 | -133 | 170 | -41 | 262 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 755 | -92 | 663 | -85 | 109 | 578 | 771 |
| | σ_i (tf/m ²) | 365 | -75 | 289 | 299 | -383 | 588 | -94 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 74 | -2 | 72 | -122 | 301 | -50 | 373 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 293 | 27 | 320 | -78 | 193 | 242 | 513 |
| | σ_i (tf/m ²) | 906 | -240 | 666 | 275 | -678 | 941 | -13 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 0 | 21 | 21 | -112 | 394 | -91 | 415 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 328 | 60 | 388 | -72 | 252 | 316 | 640 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1427 | -444 | 983 | 252 | -886 | 1234 | 97 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | -32 | 33 | 1 | -101 | 450 | -100 | 451 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 447 | 61 | 508 | -65 | 288 | 443 | 796 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1369 | -462 | 907 | 228 | -1014 | 1135 | -107 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | -26 | 31 | 4 | -91 | 470 | -87 | 474 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 501 | 59 | 560 | -58 | 301 | 502 | 861 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1295 | -435 | 860 | 205 | -1057 | 1065 | -197 |
| | | | | | | | | |

7 - Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga central

Fases de verificação das tensões

F1 = G1 + 1ª Protensão
F2 = F1 + G2

F3 = F2 + 2ª Protensão
F4 = F3 + G3

F5 = F4 + CM_{mínima}
F6 = F4 + CM_{máxima}

Tempo T = 0

| Seção | | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|---------------------|----------------------------------|------|---------|--------|------|--------|---------|--------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 71 | 71 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -25 | 363 | 338 | -39 | 299 | 63 | 363 |
| | σ_i (tf/m ²) | 27 | 155 | 182 | 42 | 225 | 0 | 225 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 82 | 82 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -88 | 549 | 461 | -98 | 363 | 71 | 434 |
| | σ_i (tf/m ²) | 96 | -18 | 78 | 107 | 185 | -14 | 171 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 86 | 86 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 100 | 562 | 662 | 81 | 743 | 79 | 823 |
| | σ_i (tf/m ²) | -109 | 486 | 376 | -89 | 288 | 26 | 313 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 16 | 16 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 258 | -189 | 69 | 241 | 311 | 35 | 345 |
| | σ_i (tf/m ²) | -282 | 1296 | 1014 | -263 | 751 | 188 | 939 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -89 | -89 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 371 | -374 | -2 | 358 | 355 | 15 | 370 |
| | σ_i (tf/m ²) | -405 | 1468 | 1063 | -390 | 673 | 846 | 1519 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -140 | -140 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 439 | -371 | 68 | 432 | 500 | -15 | 485 |
| | σ_i (tf/m ²) | -479 | 1456 | 977 | -471 | 506 | 988 | 1495 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -140 | -140 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 462 | -368 | 94 | 463 | 556 | -15 | 541 |
| | σ_i (tf/m ²) | -503 | 1445 | 942 | -504 | 438 | 991 | 1428 |

| Seção | | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 |
|---------------------|----------------------------------|------|--------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -9 | 63 | -29 | 0 | 34 | 63 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -6 | 357 | -20 | 0 | 336 | 357 |
| | σ_i (tf/m ²) | 14 | 239 | 49 | 0 | 289 | 239 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -21 | 61 | -98 | 0 | -37 | 61 |
| | σ'_s (tf/m ²) | -15 | 420 | -68 | 0 | 351 | 420 |
| | σ_i (tf/m ²) | 36 | 207 | 166 | 0 | 373 | 207 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 10 | 96 | -94 | 127 | 2 | 223 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 6 | 829 | -59 | 80 | 769 | 909 |
| | σ_i (tf/m ²) | -23 | 291 | 218 | -294 | 508 | -3 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 34 | 50 | -87 | 225 | -37 | 275 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 22 | 367 | -55 | 142 | 312 | 509 |
| | σ_i (tf/m ²) | -79 | 860 | 202 | -520 | 1061 | 339 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 52 | -37 | -80 | 294 | -117 | 257 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 33 | 403 | -51 | 185 | 352 | 588 |
| | σ_i (tf/m ²) | -120 | 1399 | 186 | -680 | 1585 | 719 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 62 | -78 | -73 | 336 | -151 | 258 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 39 | 524 | -46 | 212 | 478 | 736 |
| | σ_i (tf/m ²) | -144 | 1350 | 170 | -778 | 1520 | 572 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 66 | -75 | -66 | 351 | -141 | 276 |
| | σ'_s (tf/m ²) | 42 | 583 | -42 | 221 | 541 | 804 |
| | σ_i (tf/m ²) | -152 | 1276 | 154 | -811 | 1430 | 465 |

Tempo T = 00

Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$

$\Delta\sigma = \sigma_{t=\infty} - \sigma_{t=0}$

F8 = F7 + CM_{mínima}

F9 = F7 + CM_{máxima}

1ª prot

| Seção | Tempo T = ∞ | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | 313 | 134 | - | 363 | 155 | - | -50 | -21 |
| 0 | - | 476 | -15 | - | 549 | -18 | - | -73 | 2 |
| 1 | - | 478 | 413 | - | 562 | 486 | - | -84 | -73 |
| 2 | - | -157 | 1078 | - | -189 | 1296 | - | 32 | -217 |
| 3 | - | -311 | 1221 | - | -374 | 1468 | - | 63 | -248 |
| 4 | - | -313 | 1230 | - | -371 | 1456 | - | 58 | -226 |
| 5 | - | -313 | 1229 | - | -368 | 1445 | - | 55 | -217 |

2ª prot

| Seção | Tempo T = ∞ | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 65 | 57 | 1 | 71 | 63 | 0 | -7 | -6 | 0 |
| 0 | 74 | 64 | -13 | 82 | 71 | -14 | -8 | -7 | 1 |
| 1 | 77 | 71 | 23 | 86 | 79 | 26 | -9 | -8 | -3 |
| 2 | 14 | 31 | 165 | 16 | 35 | 188 | -2 | -4 | -23 |
| 3 | -68 | 11 | 649 | -89 | 15 | 846 | 21 | -3 | -197 |
| 4 | -107 | -12 | 752 | -140 | -15 | 988 | 33 | 3 | -237 |
| 5 | -109 | -12 | 773 | -140 | -15 | 991 | 31 | 3 | -218 |

Perda total de protensão

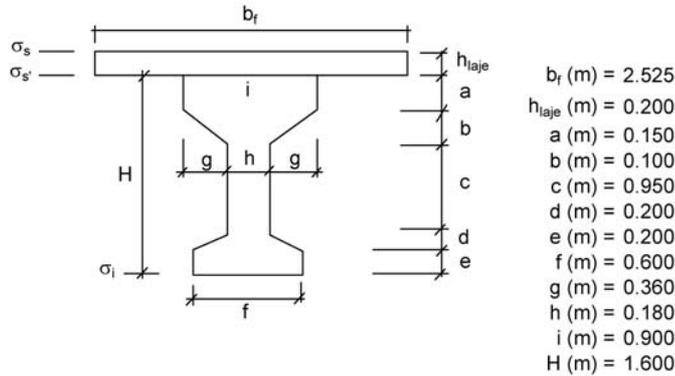
| Seção | $\Delta\sigma_{total}$ | | |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -7 | -55 | -21 |
| 0 | -8 | -80 | 4 |
| 1 | -9 | -92 | -75 |
| 2 | -2 | 27 | -240 |
| 3 | 21 | 60 | -444 |
| 4 | 33 | 61 | -462 |
| 5 | 31 | 59 | -435 |

Tempo T = 00

| Seção | | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 8 | Fase 9 |
|---------------------|--|-------------|------------------------|------------|----------------------|----------------------|-------------|------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | 63 | -7 | 56 | -29 | 0 | 27 | 56 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 357 | -55 | 301 | -20 | 0 | 281 | 301 |
| | σ_i (tf/m ²) | 239 | -21 | 219 | 49 | 0 | 268 | 219 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | 61 | -8 | 53 | -98 | 0 | -45 | 53 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 420 | -80 | 340 | -68 | 0 | 272 | 340 |
| | σ_i (tf/m ²) | 207 | 4 | 210 | 166 | 0 | 376 | 210 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 96 | -9 | 87 | -94 | 127 | -7 | 214 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 829 | -92 | 737 | -59 | 80 | 677 | 817 |
| | σ_i (tf/m ²) | 291 | -75 | 215 | 218 | -294 | 433 | -78 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 50 | -2 | 48 | -87 | 225 | -39 | 273 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 367 | 27 | 394 | -55 | 142 | 339 | 536 |
| | σ_i (tf/m ²) | 860 | -240 | 620 | 202 | -520 | 822 | 99 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | -37 | 21 | -16 | -80 | 294 | -96 | 278 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 403 | 60 | 463 | -51 | 185 | 412 | 648 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1399 | -444 | 955 | 186 | -680 | 1141 | 275 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | -78 | 33 | -44 | -73 | 336 | -118 | 292 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 524 | 61 | 586 | -46 | 212 | 539 | 798 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1350 | -462 | 888 | 170 | -778 | 1058 | 110 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | -75 | 31 | -44 | -66 | 351 | -110 | 307 |
| | $\sigma^{\cdot}s$ (tf/m ²) | 583 | 59 | 641 | -42 | 221 | 599 | 863 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1276 | -435 | 841 | 154 | -811 | 995 | 30 |

8 - Verificação do Estado Limite Ultimo (Verificação à Ruptura da Seção S₅)

Verificação da Seção do Meio do Vão (S₅)



Materiais:

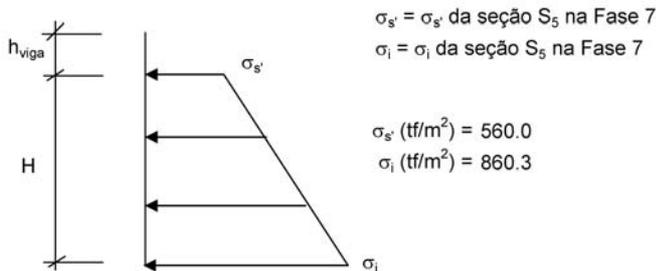
Concreto: f_{ck} (MPa) = 30.0

E_c (kgf/cm²) = 330,000

Aço: CP-190-RB

E_{sp} (kgf/cm²) = 1,950,000

Tensões de peso próprio + protensão em t = oo



Tensões no aço de protensão após as perdas (t = oo)

$$\sigma_{sp}^{t=\infty} = \sigma_{sp}^{t=\infty} 1^{prot.} + \sigma_{sp}^{t=\infty} 2^{prot.} \quad \sigma_{sp}^{t=\infty} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 98,721$$

Solicitações atuantes na seção S₅

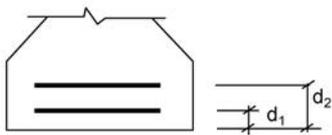
$$M_{g1} \text{ (tf.m)} = 111.8$$

$$M_{g2} \text{ (tf.m)} = 84.7$$

$$M_{g3} \text{ (tf.m)} = 78.7$$

$$M_p \text{ (tf.m)} = 324.6$$

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



1ª camada: n° cabos = 5 d_1 (m) = 0.08

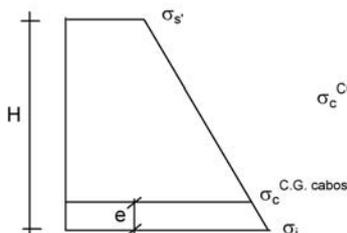
2ª camada: n° cabos = 2 d_2 (m) = 0.2

C.G (cm) = 0.114

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=00} / E_{sp} \quad \epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = 0.0051$$

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



$$\sigma_c^{CG, cabos} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\sigma_c^{CG, cabos} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 838.9$$

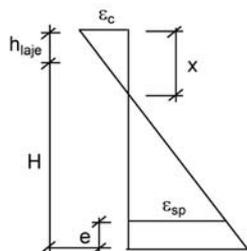
$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{CG, cabos} / E_c \quad \epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = 0.00025$$

$$e \text{ (m)} = 0.114$$

1ª Tentativa:

Deformada admitida para a seção S_s ϵ_c (‰) = 3.5

ϵ_{sp} (‰) = 10.0

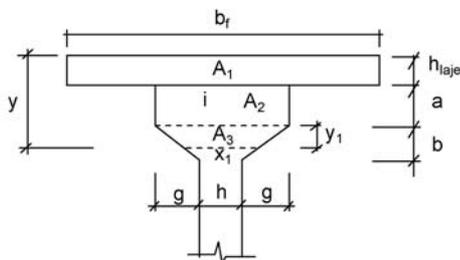


$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0.437$$

$$y = 0,8 * x \quad y \text{ (m)} = 0.350$$

Cálculo da resultante de compressão



- b_f (m) = 2.525
- h_{laje} (m) = 0.200
- a (m) = 0.150
- b (m) = 0.100
- g (m) = 0.360
- h (m) = 0.180
- i (m) = 0.900
- y_1 (m) = 0.000
- x_1 (m) = 0.903
- y (m) = 0.350

$$R_{cc} = 0,85 * f_{cd} * (A_1 + A_2 + A_3) / 1,4$$

- A_1 (m²) = 0.505
- A_2 (m²) = 0.135
- A_3 (m²) = 0.000

$$R_{cc} (tf) = 1165.1$$

Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

$$\epsilon_{sp}^{total} (\%) = 15.32$$

Da tabela do livro de concreto protendido do Prof. Walter do Couto Pfeil tem-se:

$$\sigma_{sp} (kgf/cm^2) = 15,732$$

$$A_{sp}^{1cabo\ 6\phi\ 12,7} (cm^2) = 5.92$$

$$A_{sp}^{total} (cm^2) = 41.4$$

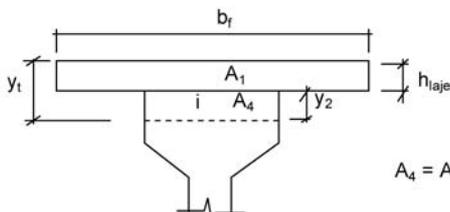
$$R_{st} = A_{sp}^{total} * \sigma_{sp}$$

$$R_{st} (tf) = 651.9$$

Como $R_{st} < R_{cc}$, devemos diminuir o valor de x para reduzir a mesa de compressão e conseqüentemente R_{cc} .

Logo devemos ter:

$$R_{cc} = R_{st} (tf) = 651.9$$



$$A_c^{total} = A_1 + A_4 = R_{cc} / (0,85 * f_{cd})$$

$$A_1 (m^2) = 0.505$$

$$A_c^{total} (m^2) = 0.358$$

$$A_4 = A_c^{total} - A_1$$

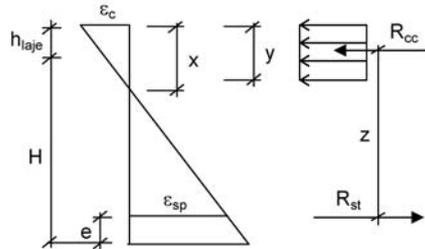
$$A_4 (m^2) = 0.000 \quad (y_t < h_{laje})$$

$$y_t \text{ (m)} = 0.1418 \quad y_t < h_{laje} \quad \text{logo:} \quad y_2 \text{ (m)} = 0.000$$

$$x = y_t / 0,8 \quad x \text{ (m)} = 0.177$$

Cálculo do C.G da mesa comprimida

$$y_{C.G.} = \Sigma(A_i * y_i) / \Sigma A_i \quad y_{C.G.} \text{ (m)} = 0.0709$$



$$z = H + h_{laje} - y_{C.G.} - e \quad z \text{ (m)} = 1.615$$

Assim temos:

$$M_u = R_{cc} * z \quad M_u \text{ (tf.m)} = 1,052.8$$

$$M_d = 1,4 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3} + M_p) \quad M_d \text{ (tf.m)} = 839.6$$

Então: $M_u / M_d = 1.25 > 1,00$ (Atende)
Ruptura unicamente pelo escoamento do aço

9 - Os quadros a seguir apresentam o cálculo do cisalhamento
Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 30,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,k} = V_p^{1^{prot}} + V_p^{2^{prot}}$ em tempo $t = \infty$

| Seção | $V_{g1,k}$ (tf) | $V_{g2,k}$ (tf) | $V_{g3,k}$ (tf) | $V_{p,k}$ (tf) | $V_{q,max,k}$ (tf) | $V_{q,min,k}$ (tf) | V_k^{max} (tf) | V_k^{min} (tf) |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 1/2 bal | -6.2 | -10.5 | -6.6 | 32.4 | 30.0 | 0.0 | 24.0 | 9.0 |
| 0 esq | -11.6 | -13.2 | -8.9 | 0.0 | 33.7 | 0.0 | -33.7 | -16.9 |
| 0 dir | 21.2 | 18.1 | 15.3 | 0.0 | 47.8 | -2.3 | 78.4 | 53.3 |
| 1 | 15.6 | 14.5 | 12.2 | -59.3 | 40.8 | -3.8 | -18.8 | 3.5 |
| 2 | 11.7 | 11.0 | 9.2 | -55.1 | 34.2 | -5.4 | -25.9 | -6.1 |
| 3 | 7.8 | 7.5 | 6.1 | -26.4 | 28.2 | -9.0 | -9.5 | 9.1 |
| 4 | 3.9 | 3.9 | 3.1 | 0.0 | 22.7 | -13.1 | 22.2 | 4.4 |
| 5 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 17.6 | -17.6 | 9.2 | -8.4 |

Verificação do concreto

$$\phi_{bainha} \text{ (m)} = 0,055 \quad V_{sd} = 1,40 * (V_{g1} + V_{g2} + V_{g3}) + 0,90 * V_p + 1,40 * V_q$$

$$d = H_{viga} + h_{laje} - 0,15 \quad V_{rd2} = 0,3 * f_{cd} * b_w, nom * d$$

| Seção | V_{sd} (tf) | b_w (m) | $\Sigma \phi/2$ (m) | b_w^{nom} (m) | d (m) | V_{rd2} (tf) |
|---------|---------------|-----------|---------------------|-----------------|---------|----------------|
| 1/2 bal | 38.5 | 0.60 | 0.028 | 0.600 | 1.65 | 594.0 |
| 0 esq | -47.2 | 0.60 | 0.028 | 0.600 | 1.65 | 594.0 |
| 0 dir | 143.2 | 0.60 | 0.028 | 0.600 | 1.65 | 594.0 |
| 1 | 63.0 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.65 | 151.0 |
| 2 | 43.0 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.65 | 151.0 |
| 3 | 45.7 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.65 | 151.0 |
| 4 | 47.0 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.65 | 151.0 |
| 5 | 25.3 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.65 | 151.0 |

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

Parcela do esforço cortante absorvida pelo concreto

$$M_{sdu} = 1,40 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,40 * M_q$$

| Seção | $M_{g1,k}$ | $M_{g2,k}$ | $M_{g3,k}$ | $M_{q,k}$ | M_{sdu} (tf.m) |
|---------|------------|------------|------------|-----------|------------------|
| 1/2 bal | -7.5 | -19.5 | -11.6 | -39.6 | -109.6 |
| 0 esq | -26.4 | -44.8 | -28.2 | -98.9 | -277.6 |
| 0 dir | -26.4 | -44.8 | -28.2 | -98.9 | -277.6 |
| 1 | 24.3 | 0.9 | 10.3 | 117.6 | 214.3 |
| 2 | 62.5 | 36.7 | 40.2 | 208.2 | 486.7 |
| 3 | 89.9 | 62.6 | 61.6 | 272.0 | 680.4 |
| 4 | 106.3 | 78.6 | 74.4 | 311.1 | 798.6 |
| 5 | 111.8 | 84.7 | 78.7 | 324.6 | 839.6 |

$$V_{cd} = 2,5 * \beta_1 * \tau_{rd} * b_w, nom * d \quad \beta_1 = 1 + (M_0 / M_{sdu}) \leq 2$$

$$\tau_{rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ MPa} \quad M_0 = 0,90 * (\sigma_p^{1^{prot}} * W^{isol} + \sigma_p^{2^{prot}} * W^{conj})$$

$$\tau_{rd} \text{ (MPa)} = 0,339$$

| Seção | $\sigma_p^{1^{o}prot.00}$ (tf/m ²) | $W^{isol.}$ (m ³) | $\sigma_p^{2^{o}prot.00}$ (tf/m ²) | $W^{conj.}$ (m ³) | M_o (tf.m) | β_1 |
|---------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------|-----------|
| 1/2 bal | 313 | 0.301 | 57 | 1.014 | 137.35 | 2.000 |
| 0 esq | 476 | 0.301 | 64 | 1.014 | 187.43 | 1.675 |
| 0 dir | 476 | 0.301 | 64 | 1.014 | 187.43 | 1.675 |
| 1 | 413 | 0.222 | 23 | 0.307 | 88.90 | 1.415 |
| 2 | 1078 | 0.222 | 165 | 0.307 | 261.14 | 1.537 |
| 3 | 1221 | 0.222 | 649 | 0.307 | 423.29 | 1.622 |
| 4 | 1230 | 0.222 | 752 | 0.307 | 453.44 | 1.568 |
| 5 | 1229 | 0.222 | 773 | 0.307 | 458.99 | 1.547 |

| Seção | b_w^{nom} (m) | d (m) | V_{cd} (tf) |
|---------|-----------------|-------|---------------|
| 1/2 bal | 0.600 | 1.650 | 167.7 |
| 0 esq | 0.600 | 1.650 | 140.5 |
| 0 dir | 0.600 | 1.650 | 140.5 |
| 1 | 0.153 | 1.650 | 30.2 |
| 2 | 0.153 | 1.650 | 32.8 |
| 3 | 0.153 | 1.650 | 34.6 |
| 4 | 0.153 | 1.650 | 33.4 |
| 5 | 0.153 | 1.650 | 33.0 |

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

| Seção | V_{sd} (tf) | V_{cd} (tf) | V_{wd} (tf) |
|---------|---------------|---------------|---------------|
| 1/2 bal | 38.5 | 167.7 | 0.00 |
| 0 esq | 47.2 | 140.5 | 0.00 |
| 0 dir | 143.2 | 140.5 | 2.67 |
| 1 | 63.0 | 30.2 | 32.86 |
| 2 | 43.0 | 32.8 | 10.24 |
| 3 | 45.7 | 34.6 | 11.12 |
| 4 | 47.0 | 33.4 | 13.60 |
| 5 | 25.3 | 33.0 | 0.00 |

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{ywd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w)$$

| Seção | b_w (m) | V_{wd} (tf) | A_{sw}/s (cm ² /m) | ρ_w (cm ² /m ²) |
|---------|-----------|---------------|------------------------------------|--|
| 1/2 bal | 0.60 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 0 esq | 0.60 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 0 dir | 0.60 | 2.7 | 0.41 | 0.69 |
| 1 | 0.18 | 32.9 | 5.09 | 28.27 |
| 2 | 0.18 | 10.2 | 1.59 | 8.81 |
| 3 | 0.18 | 11.1 | 1.72 | 9.57 |
| 4 | 0.18 | 13.6 | 2.11 | 11.70 |
| 5 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\Delta\sigma_w = (V_{max} - V_c) / (b_w * d * \rho_w) - (V_{min} - V_c) / (b_w * d * \rho_w)$$

$$\Delta f_{sd}^{fad} = 850 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f.f. = \Delta \sigma_w / \Delta f_{sd}$$

| Seção | V ^{máx} (tf) | V ^{min} (tf) | V _c (tf) | ρ_{wu} (cm ² /cm ²) | σ_{wmax} (tf/m ²) | σ_{wmin} (tf/m ²) |
|---------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--|---|---|
| 1/2 bal | 24.04 | 9.03 | 119.82 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 0 esq | -33.74 | -16.88 | 100.36 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 0 dir | 78.39 | 53.35 | 100.36 | 0.00007 | 0 | 0 |
| 1 | -18.81 | 3.46 | 21.55 | 0.00283 | 0 | 0 |
| 2 | -25.91 | -6.09 | 23.40 | 0.00088 | 9620 | 0 |
| 3 | -9.50 | 9.10 | 24.70 | 0.00096 | 0 | 0 |
| 4 | 22.24 | 4.37 | 23.87 | 0.00117 | 0 | 0 |
| 5 | 9.23 | -8.41 | 23.55 | 0.00000 | 0 | 0 |

| $\Delta \sigma_w$ (tf/m ²) | f.f. |
|---|------|
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 9620 | 1.13 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |

Cálculo dos estribos e seus espaçamentos

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w) \geq 15 \text{ (cm}^2/\text{m}^2)$$

$$s = 2 * A_{s1perna} / (\rho_w * f.f. * b_w)$$

$$\phi \text{ (mm)} = 10.00$$

$$A_{s1perna} \text{ (cm}^2) = 0.785$$

| Seção | b _w (m) | ρ_{wu} | $\rho_{wu} \times f.f.$ | $\rho_{wu} \times f.f.$ Médio | Espaçam. (m) |
|---------|--------------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1/2 bal | 0.60 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | | | 15.0 | 17.4 |
| 0 esq | 0.60 | 0.00 | 0.00 | | |
| 0 dir | 0.60 | 0.69 | 0.69 | | |
| | | | | 15.0 | 26.8 |
| 1 | 0.18 | 28.27 | 28.27 | | |
| | | | | 19.1 | 45.6 |
| 2 | 0.18 | 8.81 | 9.97 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 3 | 0.18 | 9.57 | 9.57 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 4 | 0.18 | 11.70 | 11.70 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 5 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | | |

10 - Verificação dos Aparelhos de Apoio
Apoio1
Viga de Bordo
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.50$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 32.8$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 32.0$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 24.2$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 61.4$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = -3.5$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 150.3$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = 1,002.1 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 85.4$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = 569.5 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

Viga Central
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.50$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 32.8$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 30.5$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 13.9$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 47.7$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = -2.6$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 124.9$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = 832.6 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 74.6$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2 \text{)} = 497.1 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

6.2 CÁLCULO DA INFRA-ESTRUTURA

Duas linhas de apoio com par de pilares de concreto armado, retangulares, com 1,20 m de altura, para as obras de 36,50 metros constituídas por vão de 28,00 m com balanços de 3,00 m (Ver Cálculo da Infra-estrutura da Ponte sobre o Rio Estrela II no Volume 3 B - 2ª Parte).

7 PONTE SOBRE O RIO ONÇA I

7 PONTE SOBRE O RIO ONÇA I

7.1 CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA

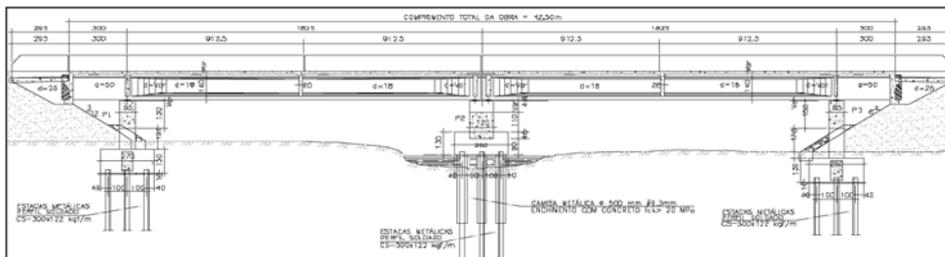
Vãos de 18,25 m com balanços de 3,00 m (Ver Cálculo da Superestrutura da Ponte sobre o Rio São Jorge I no Volume 3 B – 1ª Parte).

7.2 CÁLCULO DA INFRA-ESTRUTURA

Três linhas de apoio, a segunda delas com travessa assentada diretamente sobre os blocos e as outras com pilares de respectivamente 1,20 m e 1,70 m de altura, para as obras de 42,50 m com dois vão de 18,25 m e balanços de 3,00 m.

Cálculo da Infraestrutura - (2 vãos de 18,25m com balanços de 3,00)

1 - Sistema estrutural



$$L_{vão1} \text{ (m)} = 18.25$$

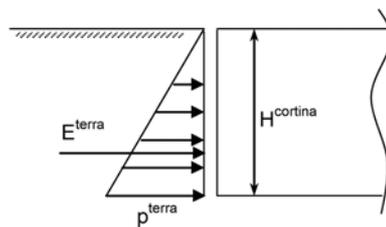
$$L_{vão2} \text{ (m)} = 18.25$$

$$L_{bal} \text{ (m)} = 3.00$$

2 - Cálculo dos esforços solicitantes horizontais

2.1 - Direção longitudinal

2.1.1 - Empuxo de terra unilateral nas cortinas



$$K_a = 0.333$$

$$\gamma_{solo} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 1.80$$

$$H_{cortina} \text{ (m)} = 1.85$$

$$L_{obra} \text{ (m)} = 13.00$$

$$p_{terra} = K_a \times \gamma_{solo} \times H_{cortina}$$

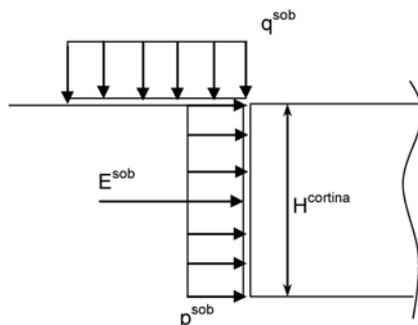
$$p_{terra} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1.110$$

$$E_{terra} = ((p_{terra} \times H_{cortina})/2) \times L_{obra}$$

$$E_{terra} \text{ (tf)} = 13.3$$

2.1.2 - Empuxo de sobrecarga unilateral nas cortinas

$$q^{mult} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.50$$



$$q^{sob} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.50$$

$$L^{obra} \text{ (m)} = 13.00$$

$$H^{cortina} \text{ (m)} = 1.85$$

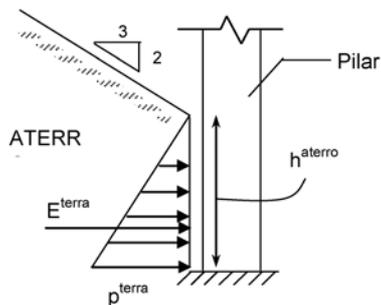
$$p^{sob} = K_a \times q^{sob}$$

$$p^{sob} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.167$$

$$E_{sob} = p^{sob} \times L^{obra} \times H^{cortina}$$

$$E_{sob} \text{ (tf)} = 4.0$$

2.1.3 - Empuxo de terra nos pilares extremos



$$K_a = 0.75$$

$$\gamma_{solo} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 1.80$$

$$h^{aterro P1} \text{ (m)} = 1.20$$

$$b^{pilar} \text{ (m)} = 0.80$$

$$h^{aterro P3} \text{ (m)} = 1.70$$

$$b^{pilar} \text{ (m)} = 0.80$$

$$p^{terra} = K_a \times \gamma^{solo} \times h^{aterro}$$

$$p^{terra P1} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1.62$$

$$p^{terra P3} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 2.30$$

$$E_{terra} = ((p^{terra} \times h^{aterro})/2) \times 3b^{pilar}$$

$$E_{terra P1} \text{ (tf)} = 2.33$$

$$E_{terra P3} \text{ (tf)} = 4.68$$

2.1.4 - Deformações impostas

Para simular os efeitos de retração do concreto, deformação imediata e lenta do concreto devidas à protensão e variação ambiental de temperatura assumiremos queda de temperatura e coeficiente de dilatação térmica respectivamente de:

$$\Delta\theta \text{ (}^\circ\text{C)} = -65$$

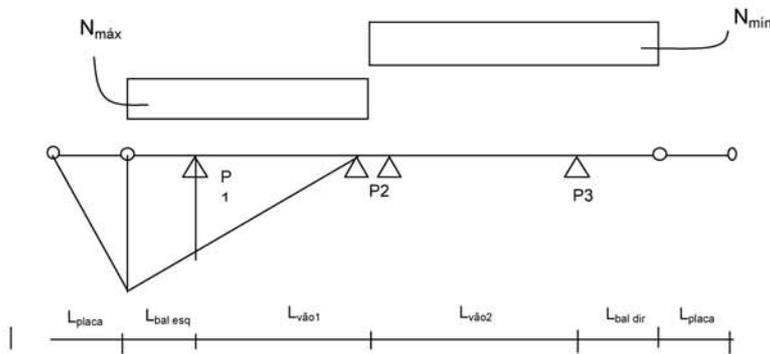
$$\alpha = 0.00001$$

2.1.5 - Frenagem e aceleração

$$F^{fren} \geq \begin{cases} 30\% \text{ do peso do veículo tipo} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} P^{concentrado} (tf) &= 45.0 & L^{bal\ esq} (m) &= 3.00 & L^{vão1} (m) &= 18.25 \\ q^{mult} (tf/m^2) &= 0.50 & L^{bal\ dir} (m) &= 3.00 & L^{vão2} (m) &= 18.25 \\ Larg^{obra} (m) &= 13.00 & & & & \end{aligned}$$

Linha de influência de reação em P1 e P3



1ª Hipótese - N_{máx}

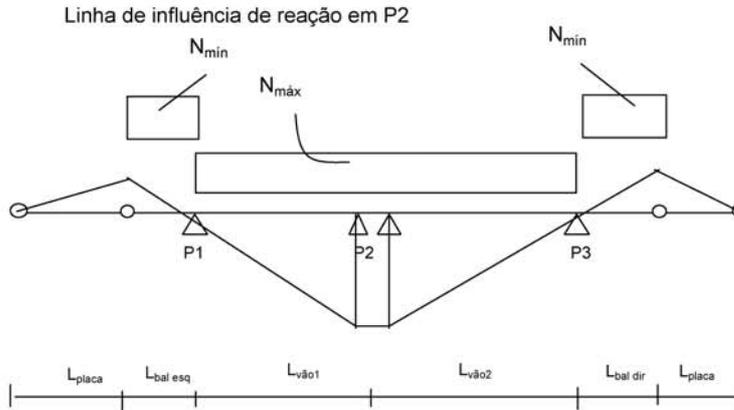
$$\begin{aligned} 30\% \text{ do peso do veículo tipo} &= 0,30 \times P^{concentrado} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} &= 0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80) \times L^{bal\ esq +vão1} \text{ para PTC} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} &= 0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80)/2 \times L^{bal\ esq +vão1} \text{ para PMC} \end{aligned}$$

$$F^{fren} (tf) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 6.48 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 3.24 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$

2ª Hipótese - N_{min}

$$\begin{aligned} 30\% \text{ do peso do veículo tipo} &= 0,30 \times P^{concentrado} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} &= 0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80) \times L^{bal\ dir +vão2} \text{ para PTC} \\ 5\% \text{ da carga de multidão} &= 0,05 \times q^{mult} \times (L^{obra} - 0,80)/2 \times L^{bal\ dir +vão2} \text{ para PMC} \end{aligned}$$

$$F^{fren} (tf) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 6.48 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 3.24 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$



1ª Hipótese - N_{máx}

30% do peso do veículo tipo = $0,30 \times P^{\text{concentrado}}$
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80) \times L^{\text{vão1} + \text{vão2}}$ para PTC
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80)/2 \times L^{\text{vão1} + \text{vão2}}$ para PMC

$$F^{\text{fren}}(\text{tf}) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 11.13 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 5.57 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$

2ª Hipótese - N_{min}

30% do peso do veículo tipo = $0,30 \times P^{\text{concentrado}}$
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80) \times L^{\text{bal esq} + \text{bal dir}}$ para PTC
 5% da carga de multidão = $0,05 \times q^{\text{mult}} \times (L^{\text{obra}} - 0,80)/2 \times L^{\text{bal esq} + \text{bal dir}}$ para PMC

$$F^{\text{fren}}(\text{tf}) \geq \begin{cases} 13.50 \\ 1.83 \text{ ponte totalmente carregada} \\ 0.92 \text{ ponte metade carregada} \end{cases}$$

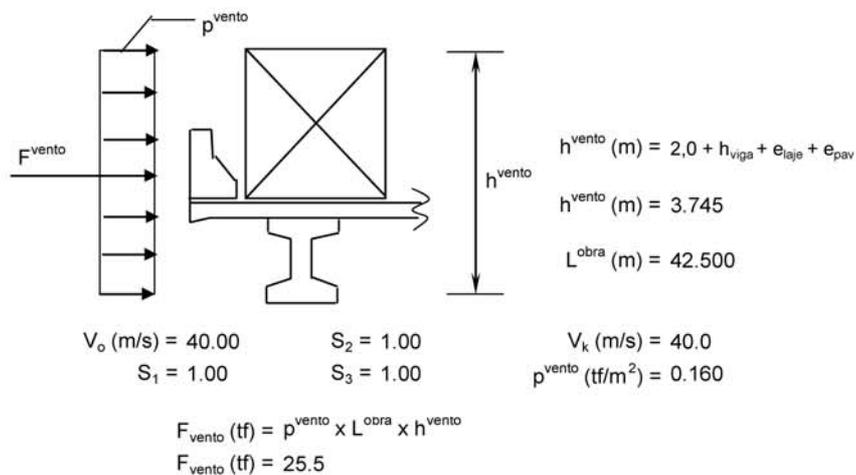
2.2 Direção transversal

2.2.1 - Vento na superestrutura

o cálculo da pressão do vento será feito de acordo com o prescreve a NBR-6123

$$p^{\text{vento}} = C_x \cdot (V_k^2) / 16$$

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \qquad C_x = 1.60$$



3 - Cálculo das rizezas dos apoios

3.1 - Linha de apoio 1

3.1.1 - Aparelhos de apoio (50x30)

n° de aparelhos de apoio (n) = 5
 $S_{1 \text{ apar}}$ (m²) = 0.15
 G (tf/m²) = 100.0 $k_{\text{transv}}^{\text{neop}} = k_{\text{long}}^{\text{neop}} = (n * G * S) / h_{\text{borr}}$
 h_{borr} (m) = 0.03
 K^{neop} (tf/m) = 2500.0

3.1.2 - Pilares

fck_{pilar} (MPa) = 20
 $h_{\text{total}} = h_{\text{travessa}} + H_{\text{pilar}} + h_{\text{bloco}}/2$
 h_{total} (m) = 3.35
 n° de pilares (n) = 2

- longitudinal

$K = n * 3 * E * J / (H^3)$
 $J_{1 \text{ pilar}}^{\text{long}}$ (m⁴) = 0.0341
 E_c (tf/m²) = $9,5 \times (fck_j + 8)^{1/3}$
 E_c (tf/m²) = 2,884,760
 $K_{1 \text{ pilar}}^{\text{long}}$ (tf/m) = 15714.7

- transversal

$K = n * 3 * E * J / (H^3)$
 $J_{1 \text{ pilar}}^{\text{transv}}$ (m⁴) = 0.0341
 E_c (tf/m²) = 2,884,760
 $K_{1 \text{ pilar}}^{\text{transv}}$ (tf/m) = 15714.7

3.1.3 - Rigidez do conjunto

$K^{\text{conj}} = 1 / ((1/k_{\text{neop}}) + (1/k_{\text{pilar}}))$

- longitudinal

$$K^{long - conj}_1 (tf/m) = 2156.9$$

- transversal

$$K^{transv - conj}_1 (tf/m) = 2156.9$$

3.2 - Linha de apoio 2

3.2.1 - Aparelhos de apoio (40x30)

nº de aparelhos de apoio (n) = 10

S_{1 apar} (m²) = 0.12

G (tf/m²) = 100

h (m) = 0.03

$$K^{neop}_{transv} = k^{neop}_{long} = (n * G * S) / h_{borr}$$

$$K^{neop} (tf/m) = 4000.0$$

3.2.2 - Rigidez do conjunto

$$K^{conj} = 1 / ((1/k_{neop}) + (1/k_{pilar}))$$

- longitudinal

$$K^{long - conj}_2 (tf/m) = 4000.0$$

- transversal

$$K^{transv - conj}_2 (tf/m) = 4000.0$$

3.3 - Linha de apoio 3

3.3.1 - Aparelhos de apoio (50x30)

nº de aparelhos de apoio (n) = 5

S_{1 apar} (m²) = 0.15

G (tf/m²) = 100

h (m) = 0.03

$$K^{neop}_{transv} = k^{neop}_{long} = (n * G * S) / h_{borr}$$

$$K^{neop} (tf/m) = 2500.0$$

3.3.2 - Pilares

fck_{pilar} (MPa) = 20

$$h_{total} = h_{travessa} + H_{pilar} + h_{bloco}/2$$

h_{total} (m) = 3.85

nº de pilares (n) = 2

- longitudinal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$J^{long}_{3 pilar} (m^4) = 0.0341$$

$$Ec (tf/m^2) = 9,5 * (fckj + 8)^{1/3}$$

$$Ec (tf/m^2) = 2,884,760$$

$$K_3^{\text{long}} \text{ (tf/m)} = 10352.8$$

- transversal

$$K = n * 3 * E * J / (H^3)$$

$$J_{3 \text{ pilar}}^{\text{transv}} \text{ (m}^4\text{)} = 0.0341$$

$$E_c \text{ (tf/m}^2\text{)} = 2,884,760$$

$$K_3^{\text{transv}} \text{ (tf/m)} = 10352.8$$

3.3.3 - Rigidez do conjunto

$$K^{\text{conj}} = 1 / ((1/k_{\text{neop}}) + (1/k_{\text{pilar}}))$$

- longitudinal

$$K_3^{\text{long-conj}} \text{ (tf/m)} = 2013.7$$

- transversal

$$K_3^{\text{transv-conj}} \text{ (tf/m)} = 2013.7$$

3.4 - Cálculo dos coeficientes de distribuição

$$\mu = k_i / \sum k_i$$

- longitudinal

$$\sum K_{\text{conj}}^{\text{long}} = 8170.6$$

$$\mu_1^{\text{long}} = 0.2640$$

$$\mu_2^{\text{long}} = 0.4896$$

$$\mu_3^{\text{long}} = 0.2465$$

- transversal

$$\sum K_{\text{conj}}^{\text{transv}} = 8170.6$$

$$\mu_1^{\text{transv}} = 0.2640$$

$$\mu_2^{\text{transv}} = 0.4896$$

$$\mu_3^{\text{transv}} = 0.2465$$

| Resumo | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Linha Apoio | Rigidez | | Coef. de distribuição | |
| | longitudinal | transversal | longitudinal | transversal |
| 1 | 2156.9 | 2156.9 | 0.2640 | 0.2640 |
| 2 | 4000.0 | 4000.0 | 0.4896 | 0.4896 |
| 3 | 2013.7 | 2013.7 | 0.2465 | 0.2465 |
| Total | 8170.6 | 8170.6 | 1.0 | 1.0 |

4 - Distribuição dos esforços longitudinais

$$F^1 \text{ (tf)} = \text{Esforço} \times \mu_{\text{long}}^{\text{Apoio1}}$$

$$F^2 (tf) = \text{Esforço} \times \mu_{\text{long}}^{\text{Apoio2}}$$

$$F^3 (tf) = \text{Esforço} \times \mu_{\text{long}}^{\text{Apoio3}}$$

4.1 - Empuxo de terra unilateral nas cortinas por linha de apoio

$$F^1 (tf) = 3.52$$

$$F^2 (tf) = 6.53$$

$$F^3 (tf) = 3.29$$

4.2 - Empuxo de sobrecarga unilateral nas cortinas por linha de apoio

$$F^1 (tf) = 1.06$$

$$F^2 (tf) = 1.96$$

$$F^3 (tf) = 0.99$$

4.3 - Empuxo de terra nos pilares extremos (para cada pilar)
(aplicado diretamente sobre os pilares)

$$\text{Pilar}^{\text{apoi1}} (tf) = 2.33$$

$$\text{Pilar}^{\text{apoi3}} (tf) = 4.68$$

4.4 - Deformações impostas por linha de apoio

centro elástico longitudinal

$$X_{c.e.} = \frac{\sum K_i \cdot X_i}{\sum K_i} \quad F = K_i \cdot X_i \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

$X_{c.e. \text{ Longitudinal}} (m) = 20.93$

| Apoio | $K_{\text{long}} (tf/m)$ | $X_i (m)$ | F (tf) |
|-------|--------------------------|-----------|--------|
| 1 | 2156.9 | 17.93 | 25.1 |
| 2 | 4000.0 | 0.32 | 0.8 |
| 3 | 2013.7 | 18.57 | 24.3 |

4.4 - Frenagem e aceleração por linha de apoio

Hipótese de $N_{\text{máx}}$
- PTC

$$F^1 (tf) = 3.6$$

$$F^2 (tf) = 6.6$$

$$F^3 (tf) = 3.3$$

- PMC

$$F^1 (tf) = 3.6$$

$$F^2 (tf) = 6.6$$

$$F^3 (tf) = 3.3$$

Hipótese de N_{min}
- PTC

$$F^1 (tf) = 3.6$$

$$F^2 (tf) = 6.6$$

$$F^3 (tf) = 3.3$$

- PMC

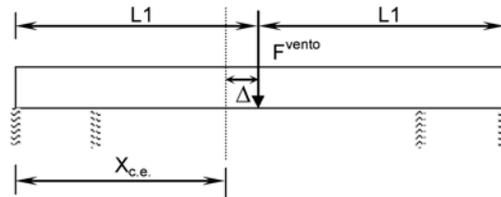
$$F^1 (tf) = 3.6$$

$$F^2 (tf) = 6.6$$

$$F^3 (tf) = 3.3$$

5 - Distribuição dos esforços transversais por linha de apoio

5.1 - Vento na superestrutura



$$L1 \text{ (m)} = 21.25$$

$$X_{c.e. \text{ Transversal}} \text{ (m)} = 20.93$$

$$\Delta \text{ (m)} = 0.320$$

$$F_{\text{vento}} \text{ (tf)} = 25.5$$

$$F_i^T = F_{\text{vento}} * K_{i \text{ Trans}} * [(1 / \sum k_{i \text{ Trans}}) \pm (\Delta * X_i) / (\sum (k_{i \text{ Trans}} * X_i^2))]$$

| Linha | $k_{i \text{ Trans}}$ (tf/m) | X_i (m) | $k_{i \text{ Trans}} * X_i$ | F_i^T (tf) |
|--------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|--------------|
| 1 | 2156.9 | -17.93 | 693422 | 6.50 |
| 2 | 4000.0 | 0.32 | 408.917 | 12.47 |
| 3 | 2013.7 | 18.57 | 694403 | 6.50 |
| TOTAL | 8170.6 | | 1388233 | 25.47 |

Cálculo das Travessas dos apoios P1 e P3

1 - Reação das vigas devido aos carregamentos permanentes e peso próprio da travessa

Obtidos diretamente do programa "SALT"

Vigas de Bordo ($V_1 = V_5$)

| | | | | |
|---------|-------|------|------|---------|
| | g1 | g2 | g3 | Rg (tf) |
| Rv (tf) | 17.56 | 24.3 | 15.6 | 57.46 |

Vigas Centrais ($V_2 = V_3 = V_4$)

| | | | | |
|---------|-------|-------|-----|---------|
| | g1 | g2 | g3 | Rg (tf) |
| Rv (tf) | 17.56 | 22.56 | 7.6 | 47.72 |

Peso próprio da Travessa

$$\gamma_{conc} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2.50$$

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 1.2$$

$$g_{trav} = S * \gamma_{conc}$$

$$g_{trav} \text{ (tf/m)} = 3.00$$

2 - Distribuição transversal da carga móvel para obtenção do trem-tipo longitudinal por Courbon

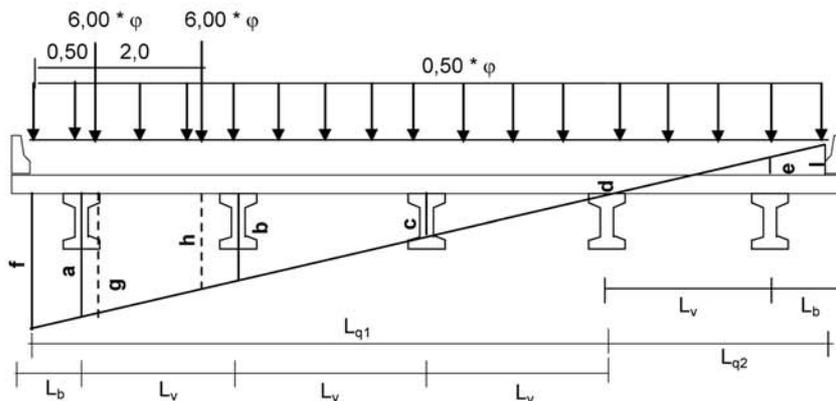
Cálculo do coeficiente de impacto

$$\varphi = 1,40 - 0,007 \times L_{teórico}$$

$$L_{teórico} \text{ (m)} = 17.90$$

$$\varphi = 1.275$$

2.1 - Para Ponte Total Carregada - V1



$$L_b \text{ (m)} = 1.2$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65$$

$$L_{q1} \text{ (m)} = 8.75$$

$$L_{q2} \text{ (m)} = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V1:

$$\begin{aligned} a &= 0.600 & d &= 0.000 \\ b &= 0.400 & e &= -0.200 \\ c &= 0.200 \end{aligned}$$

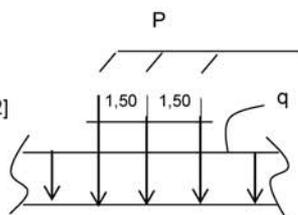
Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$\begin{aligned} f &= 0.660 & h &= 0.472 \\ g &= 0.623 & i &= -0.260 \end{aligned}$$

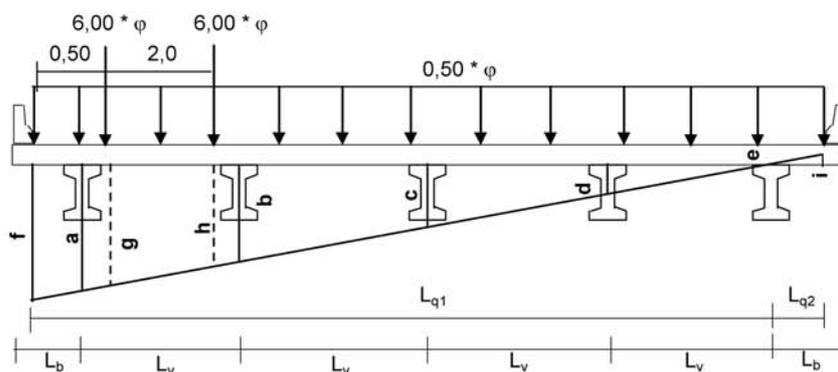
Cálculo do trem-tipo

$$\begin{aligned} P &= 6 * \varphi * (g + h) \\ q &= 0,50 * \varphi * [(f * L_{q1})/2 + (i * L_{q2})/2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ (tf)} &= 8.370 \\ q \text{ (tf/m)} &= 1.555 \end{aligned}$$



2.2 - Para Ponte Total Carregada - V2



$$\begin{aligned} L_b \text{ (m)} &= 1.2 & L_{q1} \text{ (m)} &= 11.40 \\ L_v \text{ (m)} &= 2.65 & L_{q2} \text{ (m)} &= 0.80 \end{aligned}$$

Ordenadas de Courbon para V2:

$$\begin{aligned} a &= 0.400 & d &= 0.100 \\ b &= 0.300 & e &= 0.000 \\ c &= 0.200 \end{aligned}$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$\begin{aligned} f &= 0.430 & h &= 0.336 \\ g &= 0.411 & i &= -0.030 \end{aligned}$$

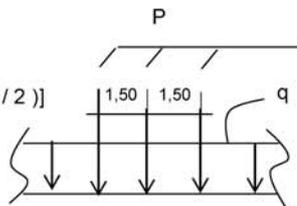
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

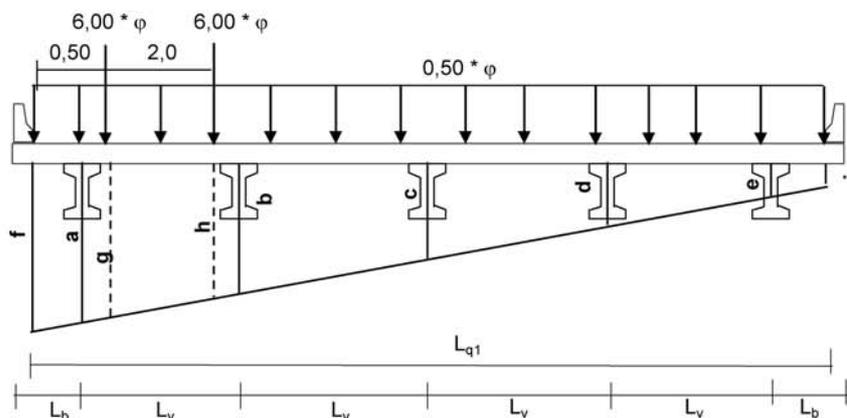
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q1} / 2) + (i * L_{q2} / 2)]$$

$$P (tf) = 5.715$$

$$q (tf/m) = 1.555$$



2.3 - Para Ponte Total Carregada - V3



$$L_b (m) = 1.2 \quad L_{q1} (m) = 12.20$$

$$L_v (m) = 2.65$$

Ordenadas de Courbon para V3:

$$a = 0.200 \quad d = 0.200$$

$$b = 0.200 \quad e = 0.200$$

$$c = 0.200$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = 0.200 \quad h = 0.200$$

$$g = 0.200 \quad i = 0.200$$

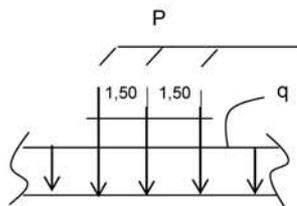
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

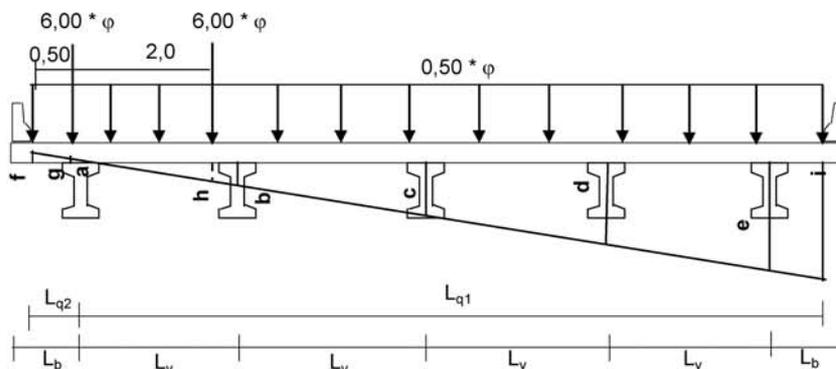
$$q = 0,50 * \varphi * [(f + i) * L_{q1} / 2]$$

$$P (tf) = 3.059$$

$$q (tf/m) = 1.555$$



2.4 - Para Ponte Total Carregada - V4



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 11.40$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 0.80$$

Ordenadas de Courbon para V4:

$$a = 0.000 \qquad d = 0.300$$

$$b = 0.100 \qquad e = 0.400$$

$$c = 0.200$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.030 \qquad h = 0.064$$

$$g = -0.011 \qquad i = 0.430$$

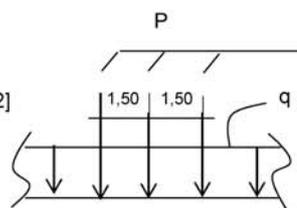
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \phi * (g + h)$$

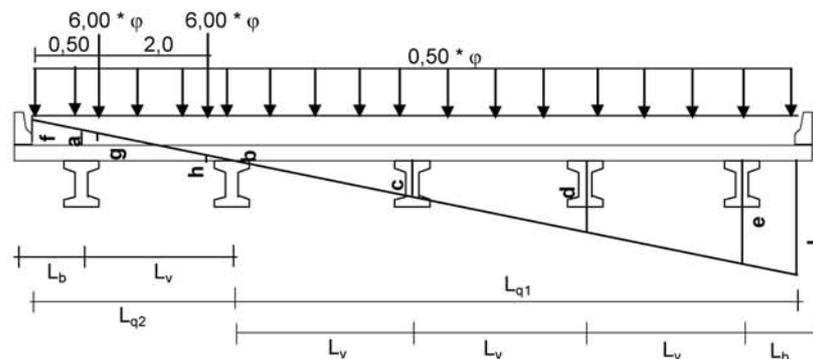
$$q = 0,50 * \phi * [(i * L_{q1})/2 + (f * L_{q2})/2]$$

$$P \text{ (tf)} = 0.404$$

$$q \text{ (tf/m)} = 1.555$$



2.5 - Para Ponte Total Carregada - V5



$L_b \text{ (m)} = 1.2$ $L_{q1} \text{ (m)} = 8.75$
 $L_v \text{ (m)} = 2.65$ $L_{q2} \text{ (m)} = 3.45$

Ordenadas de Courbon para V1:

$a = -0.200$
 $b = 0.000$
 $c = 0.200$
 $d = 0.400$
 $e = 0.600$

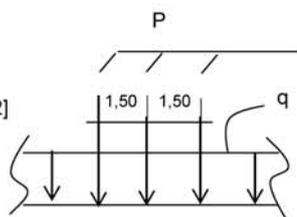
Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$f = -0.260$ $i = 0.660$
 $g = -0.223$
 $h = -0.072$

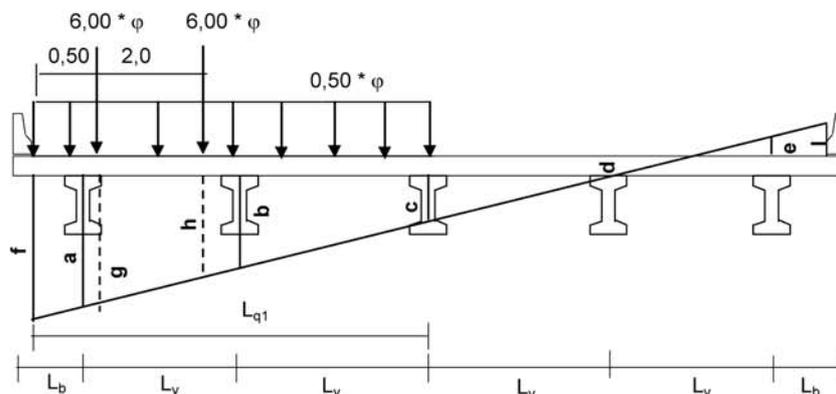
Cálculo do trem-tipo

$P = 6 * \varphi * (g + h)$
 $q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q2})/2 + (i * L_{q1})/2]$

$P \text{ (tf)} = -2.251$
 $q \text{ (tf/m)} = 1.555$



2.6 - Para Ponte Metade Carregada - V1



$L_b \text{ (m)} = 1.2$ $L_{q1} \text{ (m)} = 6.10$
 $L_v \text{ (m)} = 2.65$

$a = 0.600$
 $b = 0.400$
 $c = 0.200$
 $d = 0.000$
 $e = -0.200$
 $f = 0.460$
 $g = 0.423$
 $h = 0.272$

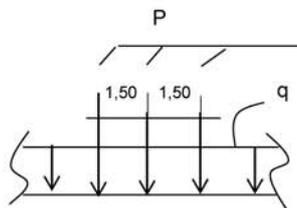
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

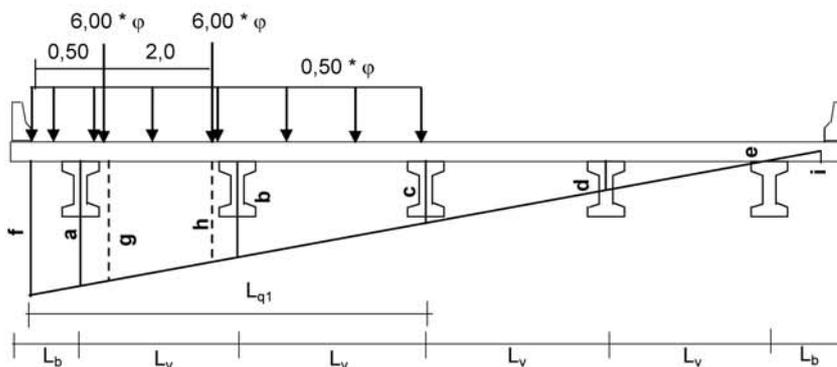
$$q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$$

$$P \text{ (tf)} = 8.370$$

$$q \text{ (tf/m)} = 1.284$$



2.7 - Para Ponte Metade Carregada - V2



$$L_b \text{ (m)} = 1.2$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65$$

$$L_{q1} \text{ (m)} = 6.10$$

$$a = 0.400$$

$$b = 0.300$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.100$$

$$e = 0.000$$

$$f = 0.230$$

$$g = 0.211$$

$$h = 0.136$$

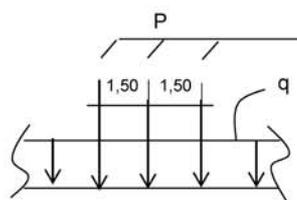
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

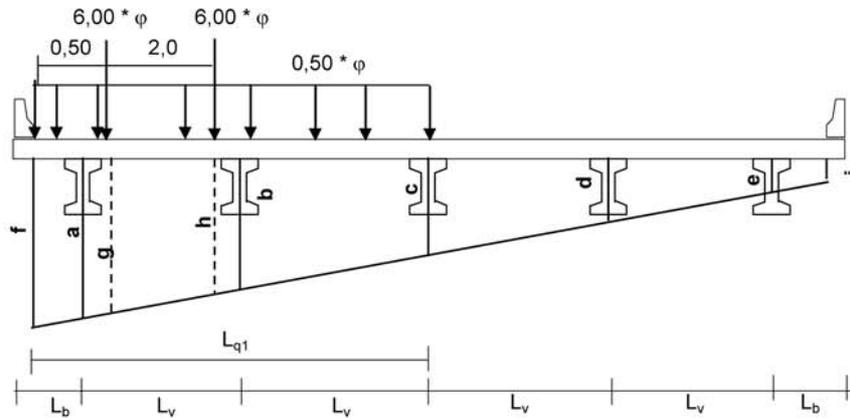
$$q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$$

$$P \text{ (tf)} = 5.715$$

$$q \text{ (tf/m)} = 0.836$$



2.8 - Para Ponte Metade Carregada - V3



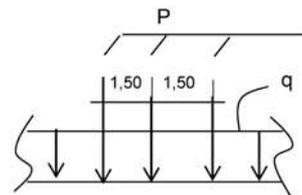
$L_b \text{ (m)} = 1.2$ $L_{q1} \text{ (m)} = 6.10$
 $L_v \text{ (m)} = 2.65$

- a = 0.200
- b = 0.200
- c = 0.200
- d = 0.200
- e = 0.200
- f = 0.200
- g = 0.200
- h = 0.200

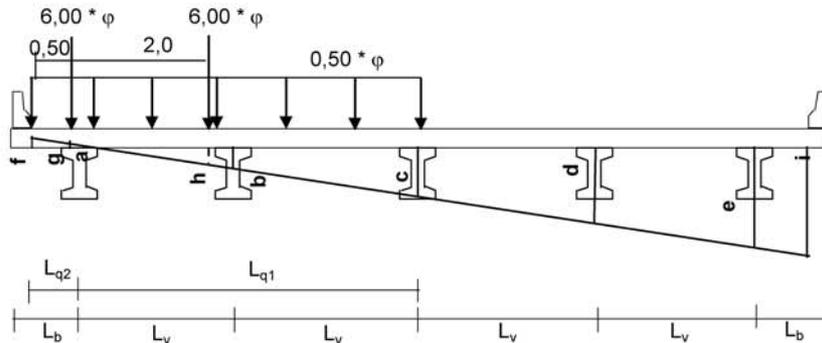
Cálculo do trem-tipo

$P = 6 * \phi * (g + h)$
 $q = 0,50 * \phi * ((f + c) * L_{q1}) / 2$

$P \text{ (tf)} = 3.059$
 $q \text{ (tf/m)} = 0.778$



2.9 - Para Ponte Metade Carregada - V4



$$L_b (m) = 1.2 \qquad L_{q1} (m) = 5.30$$

$$L_v (m) = 2.65 \qquad L_{q2} (m) = 0.80$$

$$a = 0.000$$

$$b = 0.100$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.300$$

$$e = 0.400$$

$$f = -0.030$$

$$g = -0.011$$

$$h = 0.064$$

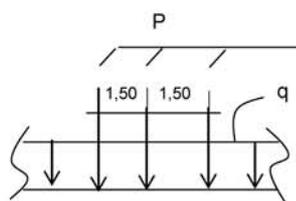
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

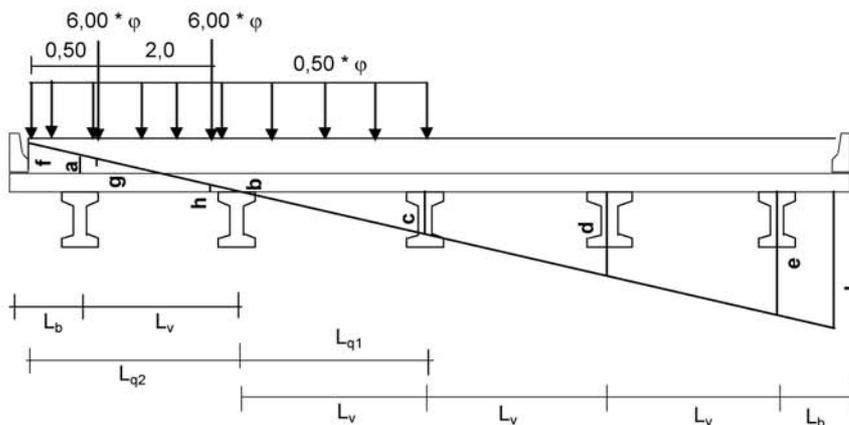
$$q = 0,50 * \varphi * ((f * L_{q2})/2 + (c * L_{q1})/2)$$

$$P (tf) = 0.404$$

$$q (tf/m) = 0.330$$



2.10 - Para Ponte Metade Carregada - V5



$$L_b (m) = 1.2 \qquad L_{q1} (m) = 2.65$$

$$L_v (m) = 2.65 \qquad L_{q2} (m) = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V5:

$$a = -0.200$$

$$b = 0.000$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.400$$

$$e = 0.600$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.260 \qquad i = 0.660$$

$$g = -0.223$$

$$h = -0.072$$

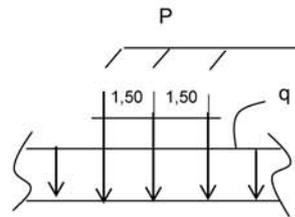
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

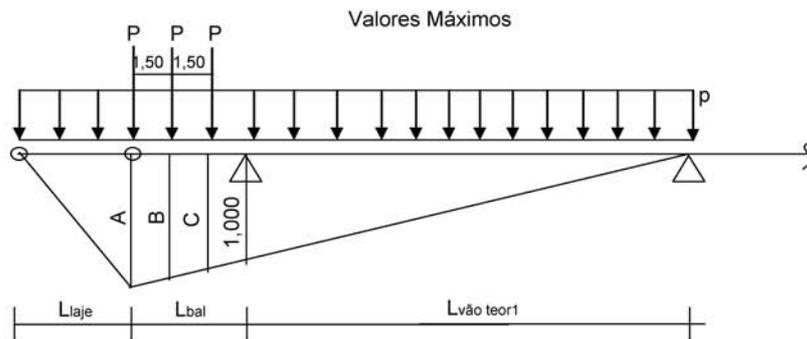
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q2})/2 + (c * L_{q1})/2]$$

$$P (tf) = -2.251$$

$$q (tf/m) = -0.117$$



2 - Cálculo das reações das vigas na travessa devido à Carga Móvel



Valores Máximos

$$L_{laje} (m) = 2.950 \quad A = (L_{bal} + L_{vao teor1}) * (1,0 / L_{vao teor1}) \quad A = 1.168$$

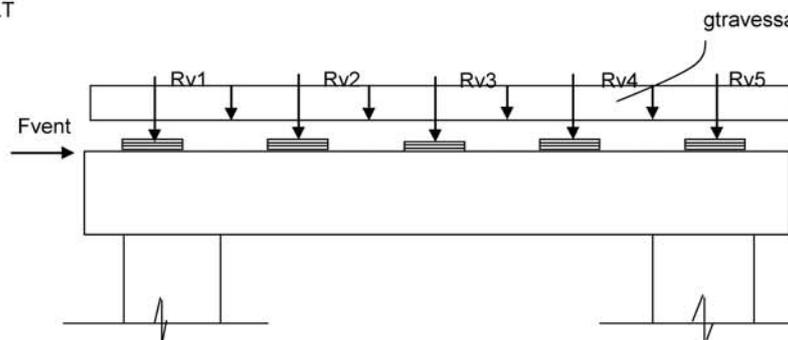
$$L_{bal} (m) = 3.000 \quad B = (L_{bal} + L_{vao teor1} - 1,50) * (1,0 / L_{vao teor1}) \quad B = 1.084$$

$$L_{vao teor1} (m) = 17.900 \quad C = (L_{bal} + L_{vao teor1} - 3,00) * (1,0 / L_{vao teor1}) \quad C = 1.000$$

$$R_v = P * (A + B + C) + p * [(A * L_{laje} / 2) + A * (L_{bal} + L_{vao1}) / 2]$$

| Ponte Totalmente Carregada | | | | Ponte Metade Carregada | | | |
|----------------------------|--------|----------|--------------|------------------------|--------|----------|--------------|
| Viga | P (tf) | p (tf/m) | Rv (tf) | Viga | P (tf) | p (tf/m) | Rv (tf) |
| V1 | 8.370 | 1.555 | 48.87 | V1 | 8.370 | 1.284 | 45.09 |
| V2 | 5.715 | 1.555 | 40.23 | V2 | 5.715 | 0.836 | 30.22 |
| V3 | 3.059 | 1.555 | 31.60 | V3 | 3.059 | 0.778 | 20.77 |
| V4 | 0.404 | 1.555 | 22.97 | V4 | 0.404 | 0.330 | 5.91 |
| V5 | -2.251 | 1.555 | 14.33 | V5 | -2.251 | -0.117 | -8.95 |

O Cálculo dos esforços para o dimensionamento da travessa e dos pilares será feito pelo programa SALT



*** Para o apoio 1:**

- Peso Próprio

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 57.460$$

$$g_{\text{travessa}} \text{ (tf/m)} = 3.000$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 57.460$$

- Carga Móvel - PTC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 48.87$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 40.23$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 31.60$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 22.97$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 14.33$$

- Carga Móvel - PMC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 45.09$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 30.22$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 20.77$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 5.91$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = -8.95$$

- Vento

$$F_{\text{vento}} \text{ (tf)} = 6.50$$

*** Para o apoio 3:**

- Peso Próprio

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 57.460$$

$$g_{\text{travessa}} \text{ (tf/m)} = 3.000$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 47.720$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 57.460$$

- Carga Móvel - PTC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 48.866$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 40.233$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 31.600$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 22.967$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 14.334$$

- Carga Móvel - PMC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 45.087$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 30.224$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 20.773$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 5.910$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = -8.954$$

- Vento

$$F_{\text{vento}} \text{ (tf)} = 6.496$$

Cálculo da Travessa do apoio P2

1 - Reação das vigas devido aos carregamentos permanentes e peso próprio da travessa

Obtidos diretamente do programa "SALT"

Vigas de Bordo ($V_1 = V_4$)

| | g1 | g2 | g3 | R_g (tf) |
|-------------------------|-------|-------|------|------------|
| RV viga21,25m(esq) (tf) | 11.09 | 11.22 | 7.83 | 60.28 |
| RV viga21,25m(dir) (tf) | 11.09 | 11.22 | 7.83 | |

Vigas Centrais ($V_2 = V_3$)

| | g1 | g2 | g3 | R_g (tf) |
|-------------------------|-------|-------|------|------------|
| RV viga21,25m(esq) (tf) | 11.09 | 13.27 | 3.69 | 58.07 |
| RV viga21,25m(dir) (tf) | 11.09 | 13.27 | 5.66 | |

Peso próprio da Travessa

$$\gamma_{conc} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2.50$$

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 1.8$$

$$g_{trav} = S * \gamma_{conc}$$

$$g_{trav} \text{ (tf/m)} = 4.50$$

2 - Distribuição transversal da carga móvel para obtenção do trem-tipo longitudinal por Courbon

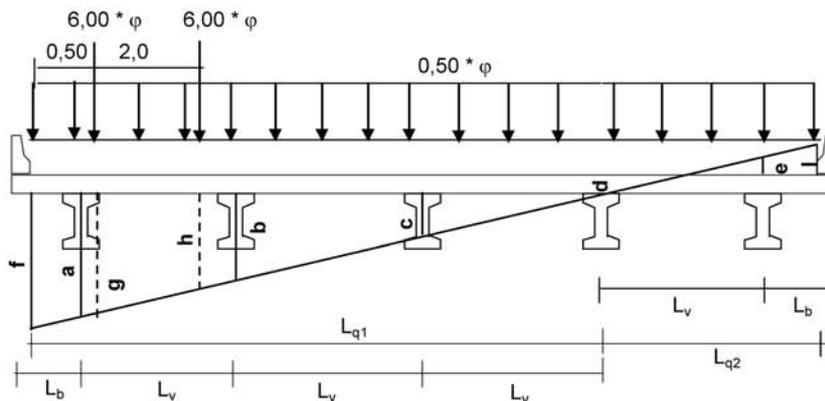
Cálculo do coeficiente de impacto

$$\varphi = 1,40 - 0,007 * L_{teórico}$$

$$L_{teórico} \text{ (m)} = 17.90$$

$$\varphi = 1.275$$

2.1 - Para Ponte Total Carregada - V1



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 8.75$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V1:

$$a = 0.600$$

$$b = 0.400$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.000$$

$$e = -0.200$$

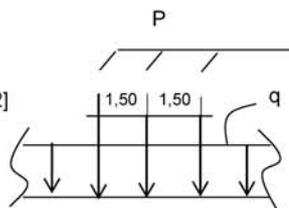
Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$\begin{aligned} f &= 0.660 & h &= 0.472 \\ g &= 0.623 & i &= -0.260 \end{aligned}$$

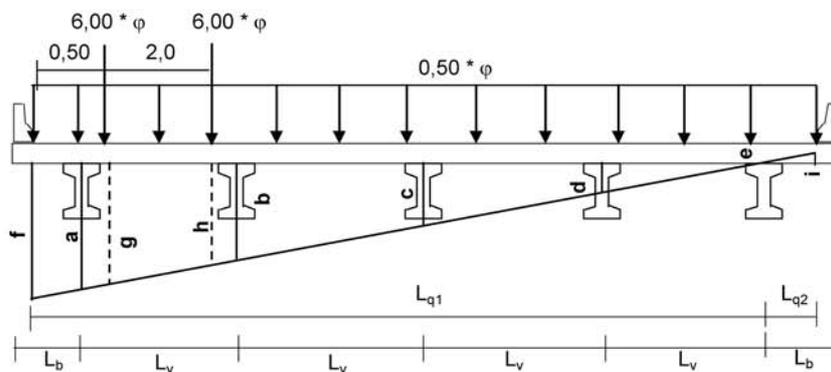
Cálculo do trem-tipo

$$\begin{aligned} P &= 6 * \varphi * (g + h) \\ q &= 0,50 * \varphi * [(f * L_{q1})/2 + (i * L_{q2})/2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P (tf) &= 8.370 \\ q (tf/m) &= 1.555 \end{aligned}$$



2.2 - Para Ponte Total Carregada - V2



$$\begin{aligned} L_b (m) &= 1.2 & L_{q1} (m) &= 11.40 \\ L_v (m) &= 2.65 & L_{q2} (m) &= 0.80 \end{aligned}$$

Ordenadas de Courbon para V2:

$$\begin{aligned} a &= 0.400 & d &= 0.100 \\ b &= 0.300 & e &= 0.000 \\ c &= 0.200 \end{aligned}$$

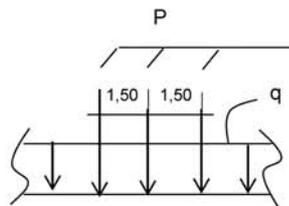
Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$\begin{aligned} f &= 0.430 & h &= 0.336 \\ g &= 0.411 & i &= -0.030 \end{aligned}$$

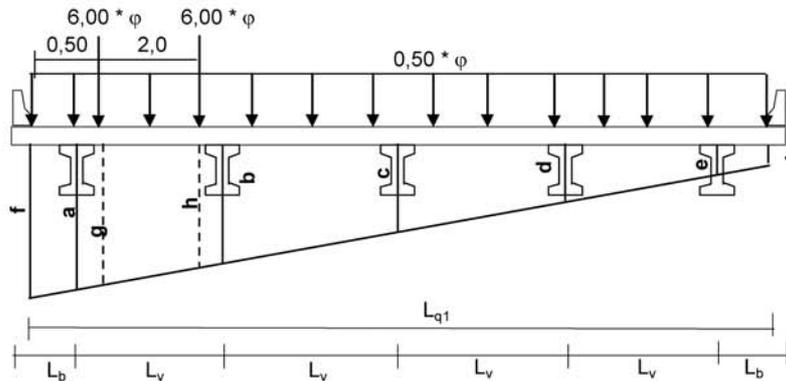
Cálculo do trem-tipo

$$\begin{aligned} P &= 6 * \varphi * (g + h) \\ q &= 0,50 * \varphi * [(f * L_{q1})/2 + (i * L_{q2})/2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P (tf) &= 5.715 \\ q (tf/m) &= 1.555 \end{aligned}$$



2.3 - Para Ponte Total Carregada - V3



$L_b (m) = 1.2$ $L_{q1} (m) = 12.20$
 $L_v (m) = 2.65$

Ordenadas de Courbon para V3:

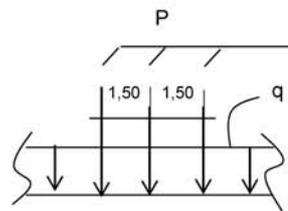
$a = 0.200$ $d = 0.200$
 $b = 0.200$ $e = 0.200$
 $c = 0.200$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

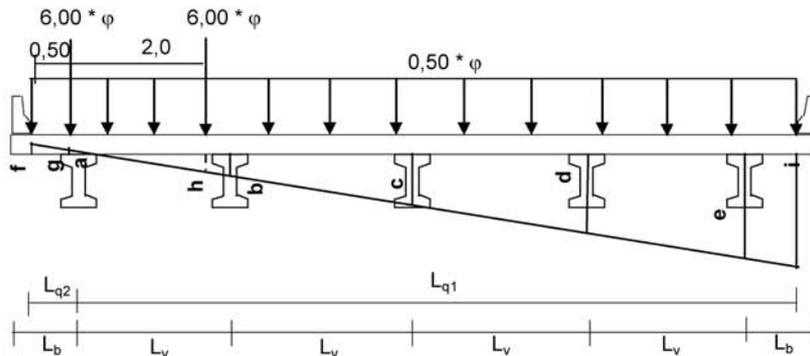
$f = 0.200$ $h = 0.200$
 $g = 0.200$ $i = 0.200$

Cálculo do trem-tipo

$P = 6 * \phi * (g + h)$
 $q = 0,50 * \phi * [(f + i) * L_{q1}] / 2$
 $P (tf) = 3.059$
 $q (tf/m) = 1.555$



2.4 - Para Ponte Total Carregada - V4



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 11.40$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 0.80$$

Ordenadas de Courbon para V4:

$$a = 0.000 \qquad d = 0.300$$

$$b = 0.100 \qquad e = 0.400$$

$$c = 0.200$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.030 \qquad h = 0.064$$

$$g = -0.011 \qquad i = 0.430$$

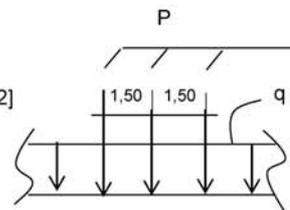
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

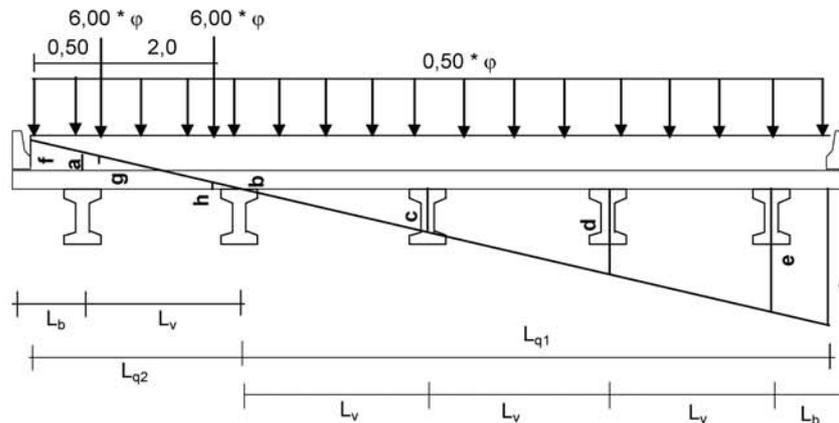
$$q = 0,50 * \varphi * [(i * L_{q1})/2 + (f * L_{q2})/2]$$

$$P \text{ (tf)} = 0.404$$

$$q \text{ (tf/m)} = 1.555$$



2.5 - Para Ponte Total Carregada - V5



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 8.75$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V1:

$$a = -0.200$$

$$b = 0.000$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.400$$

$$e = 0.600$$

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.260 \qquad i = 0.660$$

$$g = -0.223$$

$$h = -0.072$$

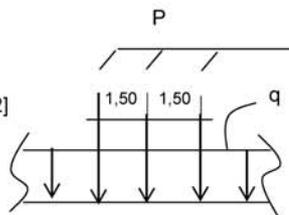
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

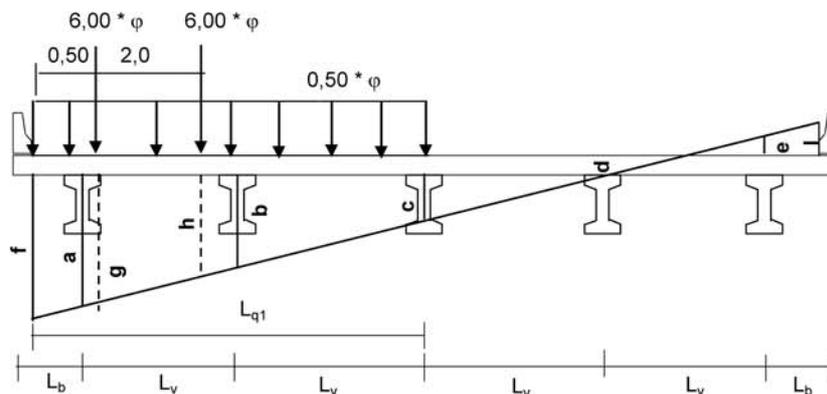
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q2})/2 + (i * L_{q1})/2]$$

$$P (tf) = -2.251$$

$$q (tf/m) = 1.555$$



2.6 - Para Ponte Metade Carregada - V1



$$L_b (m) = 1.2 \qquad L_{q1} (m) = 6.10$$

$$L_v (m) = 2.65$$

$$a = 0.600$$

$$b = 0.400$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.000$$

$$e = -0.200$$

$$f = 0.460$$

$$g = 0.423$$

$$h = 0.272$$

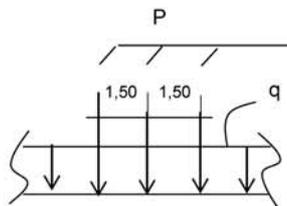
Cálculo do trem-tipo

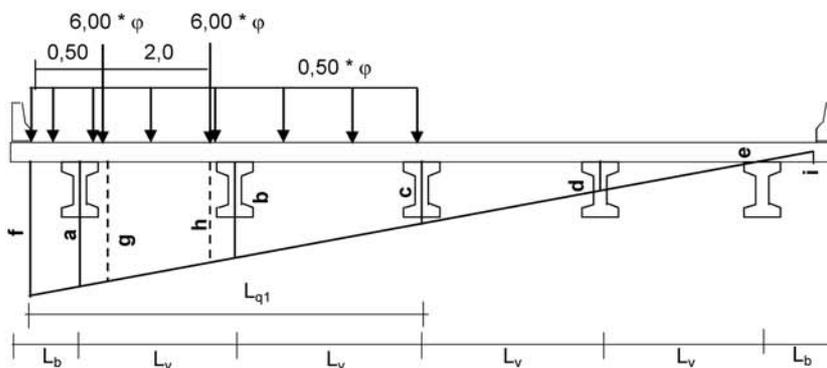
$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

$$q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$$

$$P (tf) = 8.370$$

$$q (tf/m) = 1.284$$



2.7 - Para Ponte Metade Carregada - V2


$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 6.10$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65$$

$$a = 0.400$$

$$b = 0.300$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.100$$

$$e = 0.000$$

$$f = 0.230$$

$$g = 0.211$$

$$h = 0.136$$

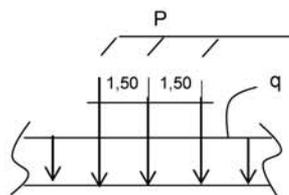
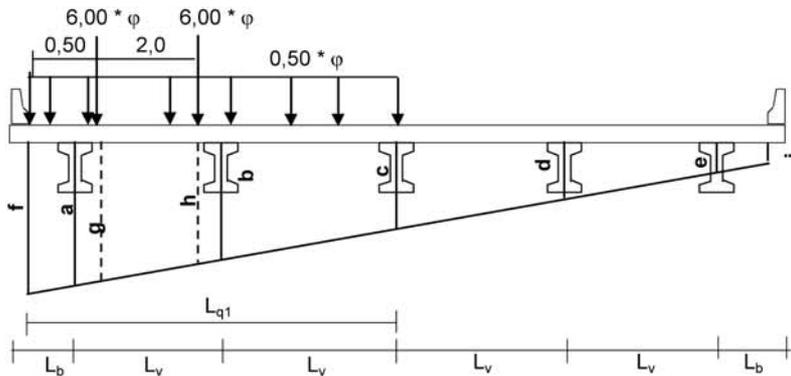
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

$$q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$$

$$P \text{ (tf)} = 5.715$$

$$q \text{ (tf/m)} = 0.836$$


2.8 - Para Ponte Metade Carregada - V3


$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 6.10$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65$$

$$a = 0.200$$

$$b = 0.200$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.200$$

$$e = 0.200$$

$$f = 0.200$$

$$g = 0.200$$

$$h = 0.200$$

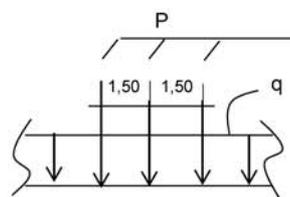
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

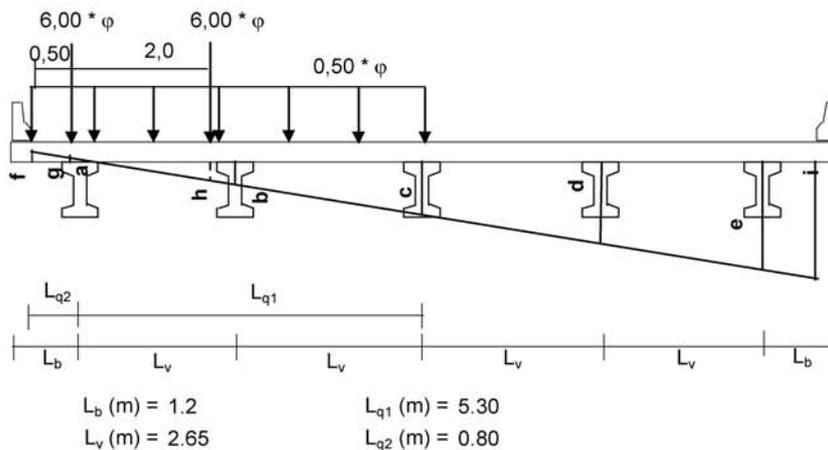
$$q = 0,50 * \varphi * ((f + c) * L_{q1})/2$$

$$P \text{ (tf)} = 3.059$$

$$q \text{ (tf/m)} = 0.778$$



2.9 - Para Ponte Metade Carregada - V4



$$L_b \text{ (m)} = 1.2 \qquad L_{q1} \text{ (m)} = 5.30$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65 \qquad L_{q2} \text{ (m)} = 0.80$$

$$a = 0.000$$

$$b = 0.100$$

$$c = 0.200$$

$$d = 0.300$$

$$e = 0.400$$

$$f = -0.030$$

$$g = -0.011$$

$$h = 0.064$$

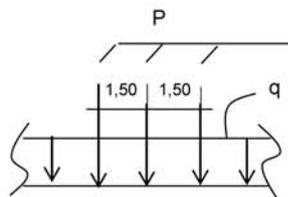
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

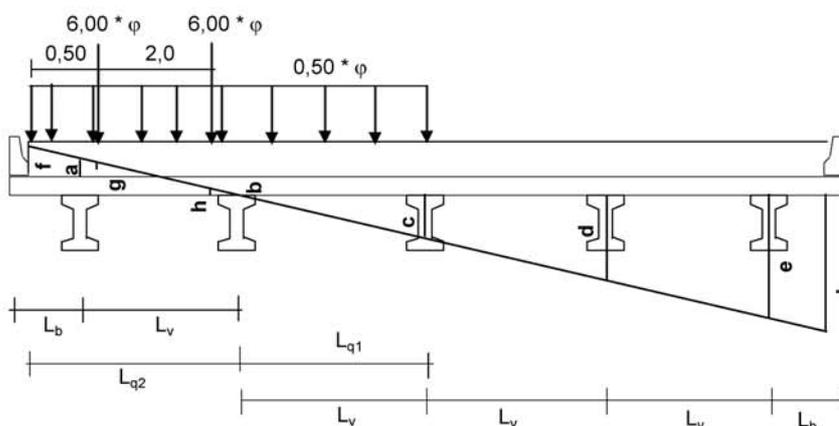
$$q = 0,50 * \varphi * ((f * L_{q2})/2 + (c * L_{q1})/2)$$

$$P \text{ (tf)} = 0.404$$

$$q \text{ (tf/m)} = 0.330$$



2.10 - Para Ponte Metade Carregada - V5



$$L_b \text{ (m)} = 1.2$$

$$L_v \text{ (m)} = 2.65$$

$$L_{q1} \text{ (m)} = 2.65$$

$$L_{q2} \text{ (m)} = 3.45$$

Ordenadas de Courbon para V5:

- a = -0.200
- b = 0.000
- c = 0.200
- d = 0.400
- e = 0.600

Cálculo das ordenadas nas posições de aplicação dos carregamentos

$$f = -0.260$$

$$g = -0.223$$

$$h = -0.072$$

$$i = 0.660$$

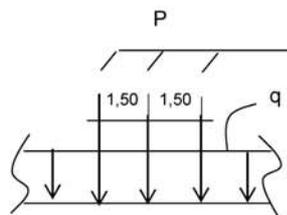
Cálculo do trem-tipo

$$P = 6 * \varphi * (g + h)$$

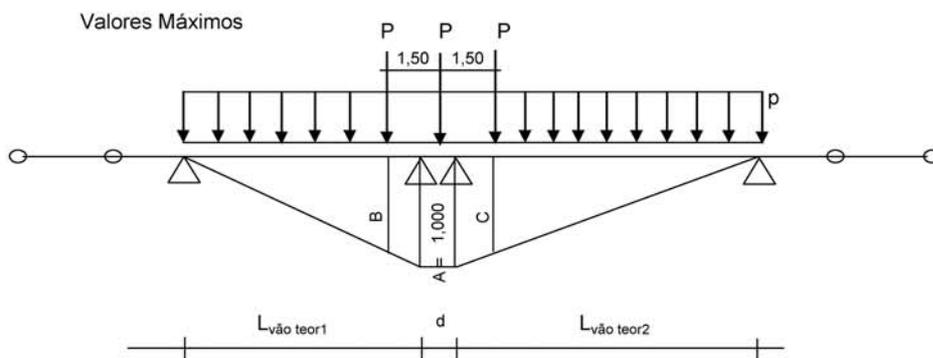
$$q = 0,50 * \varphi * [(f * L_{q2})/2 + (c * L_{q1})/2]$$

$$P \text{ (tf)} = -2.251$$

$$q \text{ (tf/m)} = -0.117$$



2 - Cálculo das reações das vigas na travessa devido à Carga Móvel

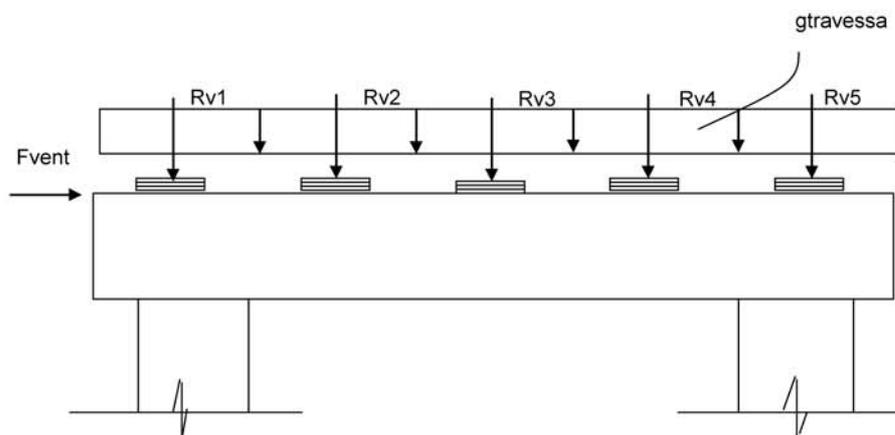


$Lvão teor1 (m) = 17.900$ $B = (Lvão teor1 - 1,15) * (1,000 / Lvão teor1)$ $A = 1.000$
 $Lvão teor2 (m) = 17.900$ $C = (Lvão teor2 - 1,15) * (1,000 / Lvão teor2)$ $B = 0.936$
 $d = 0.700$ $C = 0.936$

$Rv = P * (A + B + C) + p * [(A * d) + (A * Lvão teor1/2) + (A * Lvão teor2/2)]$

| Ponte Totalmente Carregada | | | | Ponte Metade Carregada | | | |
|----------------------------|--------|----------|--------------|------------------------|--------|----------|--------------|
| Viga | P (tf) | p (tf/m) | Rv (tf) | Viga | P (tf) | p (tf/m) | Rv (tf) |
| V1 | 8.370 | 1.555 | 52.96 | V1 | 8.370 | 1.284 | 47.91 |
| V2 | 5.715 | 1.555 | 45.33 | V2 | 5.715 | 0.836 | 31.96 |
| V3 | 3.059 | 1.555 | 37.71 | V3 | 3.059 | 0.778 | 23.25 |
| V4 | 0.404 | 1.555 | 30.09 | V4 | 0.404 | 0.330 | 7.30 |
| V5 | -2.251 | 1.555 | 22.46 | V5 | -2.251 | -0.117 | -8.65 |

O Cálculo dos esforços para o dimensionamento da travessa e dos pilares será feito pelo programa SALT



*** Para o apoio 2:**

- Peso Próprio

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 60.280$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 58.070$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 58.070$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 58.070$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 60.280$$

$$g_{travessa} \text{ (tf/m)} = 4.500$$

- Carga Móvel - PTC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 52.96$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 45.33$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 37.71$$

$$R_{v4} \text{ (tf)} = 30.09$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = 22.46$$

- Carga Móvel - PMC

$$R_{v1} \text{ (tf)} = 47.91$$

$$R_{v2} \text{ (tf)} = 31.96$$

$$R_{v3} \text{ (tf)} = 23.25$$

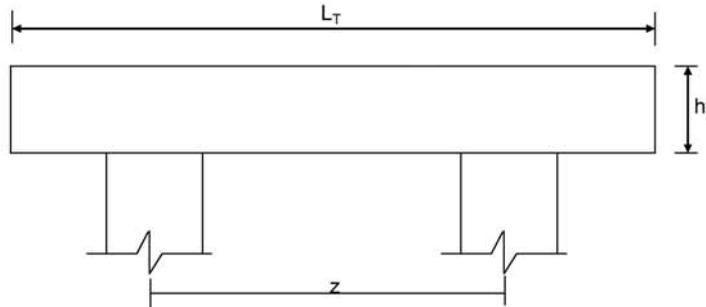
$$R_{v4} \text{ (tf)} = 7.30$$

$$R_{v5} \text{ (tf)} = -8.65$$

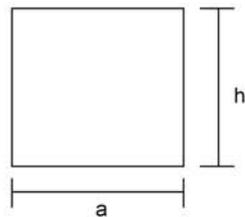
- Vento

$$F_{vento} \text{ (tf)} = 12.47$$

Dimensionamento da Travessa de P1



L_T (m) = 11.80
 h_T (m) = 1.50
 f_{ck} (MPa) = 20.0
 f_{yk} (MPa) = 500.0



a (m) = 0.800
 h (m) = 1.500

d (m) = 1.40 **d** é a altura efetiva da seção

S (m²) = 1.2
 $g = S * 2,50$ g (tf/m) = 3
 $N_{trav} = g * L_T$

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio b_w (m) = 0.80

M_g (tf.m) = -125.1 (reação de carga permanente das vigas)

M_{q1} (tf.m) = -97.7 (reação de carga móvel das vigas)

M_{q2} (tf.m) = -6.3 (vento na superestrutura)

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d$$
 (tf.m) = 316.3

| | | | | | |
|----------------------------|-------------------|---------|----------|-------|----------|
| $a = fcd * bw * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * bw * d * fcd$ | | 290.133 | -1015.47 | 316.3 | 664102 |
| $c = M_d$ | | | | | |

| | |
|-----------------|--|
| x (m) = 0.346 | $kmd = 0.151$ |
| z (m) = 1.262 | As^- (cm ²) = 57.66 |
| $x / d = 0.247$ | |

b) Seção do vão

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$M_g \text{ (tf.m)} = 16.7 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} \text{ (tf.m)} = 15.7 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} \text{ (tf.m)} = 0.1 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 45.5$$

| | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|---------|--------------------------------------|------|----------|
| $a = f_{cd} * b_w * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * b_w * d * f_{cd}$ | | 290.133 | -1015.47 | 45.5 | 978417 |
| $c = M_d$ | | | | | |
| | $x \text{ (m)} = 0.045$ | | $k_{md} = 0.022$ | | |
| | $z \text{ (m)} = 1.382$ | | $A_s^- \text{ (cm}^2\text{)} = 7.57$ | | |
| | $x / d = 0.032$ | | | | |

c) Armadura mínima

$$A_s^{min} = \frac{0.15}{100} \cdot b_w \cdot h_r$$

$$A_s^{min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18.0$$

Dimensionamento ao Cisalhamento

a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$V_g \text{ (tf)} = 65.3 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 48.9 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{sd} = 1,4 * V_g + 1,4 * V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 159.8$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad \text{onde :}$$

$$V_{Rd2} = 0,30 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd2} \text{ (tf)} = 448.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2.5 \cdot \beta_1 \cdot \tau_{rd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \quad (\text{concreto armado})$$

$$V_{cd} \text{ (tf)} = 72.4$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{wd} (tf) = 87.4$$

$$A_{sw}/s = 15.9 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 19.94 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

b) Seção do apoio à direita

$$V_g (tf) = 81.5 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_{q1} (tf) = 64.2 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{q2} (tf) = 1.7 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$V_{sd} = 1,4 \cdot V_g + 1,4 \cdot V_{q1} + 0,7 \cdot V_{q2}$$

$$V_{sd} (tf) = 205.1$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{cd} (tf) = 72.4$$

$$V_{wd} (tf) = 132.7$$

$$A_{sw}/s = 24.2 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 30.27 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

```

Portico Plano Travessa P1 Ponte 42,5m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      3.6000
  2      0.6000      3.6000
  3      2.6000      3.6000
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      3.6000
  6      5.9000      3.6000
  7      8.5500      3.6000
  8      9.2000      3.6000
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      3.6000
 11     11.8000      3.6000
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.200E+0000 1.200E+0000 2.250E-0001 1.0
  2 6.400E-0001 6.400E-0001 3.410E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 4
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2  PY -57.460
  5  PY -47.720
  6  PY -47.720
  7  PY -47.720
 10  PY -57.460
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  2 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  3 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  4 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  5 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  6 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  7 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  8 U 0.000 0.000 WYA -3.000
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC
cargas nodais
2 PY -48.870
5 PY -40.230
6 PY -31.600
7 PY -22.970
10 PY -14.330
0
fim
carregamento 3 PMC
cargas nodais
2 PY -45.090
5 PY -30.220
6 PY -20.770
7 PY -5.910
10 PY 8.950
0
fim
carregamento 4 Vento
cargas nodais
1 PX 6.50
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa Pl Ponte 42,5m

 DATA : 3/20/2006(segunda-feira)
 HORA : 12:22:10 PM
 ARQUIVO DE DADOS : 2-travessapl_42,5m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 3.60E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | transl. x | transl. y | rotação z |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | nó final | comprimento |
|-------|----------------------------|-------|------------|----------|-------------|
| | material | seção | nó inicial | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6.00E-0001 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2.00E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6.50E-0001 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 | 2.65E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 | 2.65E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 | 6.50E-0001 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 | 2.00E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 | 6.00E-0001 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3.60E+0000 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 | 3.60E+0000 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.20E+0000 | 1.20E+0000 | 2.25E-0001 |
| 2 | 6.40E-0001 | 6.40E-0001 | 3.41E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 2 | global | 0.00 | -57.46 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -57.46 | 0.00 |

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | f1 | f2 | wxa | wyb | | |
| 1 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 2 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 3 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 4 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 5 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 6 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 7 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 8 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 2 | global | 0.00 | -48.87 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -40.23 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -31.60 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -22.97 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -14.33 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 2 | global | 0.00 | -45.09 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -30.22 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -20.77 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -5.91 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 8.95 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - Vento

| nó | sistema | força x | força y | momento z |
|----|---------|---------|---------|-----------|
| 1 | global | 6.50 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 4
número de carregamentos 4

resultado da renumeração nodal

perfil antes da renumeração : 23
perfil após a renumeração : 21

DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 1.5E+0002
Existe probabilidade de que o número de algarismos
corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1

Título : Peso Proprio

| no | sistema | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
|----|---------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | global | -6.01758E-0006 | -1.15328E-0003 | 3.48955E-0004 |
| 2 | global | -6.01758E-0006 | -9.43558E-0004 | 3.48789E-0004 |
| 3 | global | -6.01758E-0006 | -2.86129E-0004 | 1.58363E-0004 |
| 4 | global | 2.20381E-0031 | -5.12298E-0030 | -2.45611E-0031 |
| 5 | global | -4.83230E-0006 | -2.49357E-0004 | 7.51433E-0005 |
| 6 | global | 2.62567E-0018 | -2.67437E-0004 | 2.09377E-0019 |
| 7 | global | 4.83230E-0006 | -2.49357E-0004 | -7.51433E-0005 |

| | | | | |
|----|--------|----------------|----------------|----------------|
| 8 | global | 6.01758E-0006 | -2.86129E-0004 | -1.58363E-0004 |
| 9 | global | -2.20381E-0031 | -5.12298E-0030 | 2.45611E-0031 |
| 10 | global | 6.01758E-0006 | -9.43558E-0004 | -3.48789E-0004 |
| 11 | global | 6.01758E-0006 | -1.15328E-0003 | -3.48955E-0004 |

| reações nos apoios | | momento | | |
|--------------------|-------|---------|--------|---------|
| nó sistema | força | força | força | momento |
| | x | y | z | |
| 4 global | -6.31 | 146.74 | | 7.04 |
| 9 global | 6.31 | 146.74 | | -7.04 |
| Resultante | | 0.00 | 293.48 | 1731.53 |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
|---|-------|-------|---------|
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| barra | esforços | nos | nas | barra | momento |
|-------|----------|-----|---------|----------|---------|
| | sistema | nó | força | força | fletor |
| | | | normal | cortante | |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | 1.80 | -0.54 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -59.26 | 0.54 |
| | | 3 | 0.00 | 65.26 | -125.06 |
| 3 | local | 3 | -6.31 | 81.48 | 109.37 |
| | | 5 | 6.31 | -79.53 | -57.04 |
| 4 | local | 5 | -6.31 | 31.81 | 57.04 |
| | | 6 | 6.31 | -23.86 | 16.72 |
| 5 | local | 6 | -6.31 | -23.86 | -16.72 |
| | | 7 | 6.31 | 31.81 | -57.04 |
| 6 | local | 7 | -6.31 | -79.53 | 57.04 |
| | | 8 | 6.31 | 81.48 | -109.37 |
| 7 | local | 8 | 0.00 | 65.26 | 125.06 |
| | | 10 | -0.00 | -59.26 | -0.54 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 1.80 | 0.54 |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 146.74 | 6.31 | 15.69 |
| | | 4 | -146.74 | -6.31 | 7.04 |
| 10 | local | 8 | 146.74 | -6.31 | -15.69 |
| | | 9 | -146.74 | 6.31 | -7.04 |

carregamento 2

Título : PTC

| deslocamentos nodais | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|--|
| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | x | y | z | |
| 1 global | -1.37602E-0004 | -9.38246E-0004 | 2.88633E-0004 | |
| 2 global | -1.37602E-0004 | -7.65066E-0004 | 2.88633E-0004 | |
| 3 global | -1.37602E-0004 | -2.20426E-0004 | 1.38049E-0004 | |
| 4 global | 8.75771E-0032 | -3.94662E-0030 | -2.59441E-0032 | |
| 5 global | -1.37131E-0004 | -1.84203E-0004 | 6.93548E-0005 | |
| 6 global | -1.35210E-0004 | -1.88235E-0004 | 3.98186E-0006 | |
| 7 global | -1.33290E-0004 | -1.15186E-0004 | 2.67303E-0005 | |
| 8 global | -1.32819E-0004 | -8.76582E-0005 | 1.21850E-0005 | |
| 9 global | -8.75771E-0032 | -1.56947E-0030 | 1.69263E-0031 | |
| 10 global | -1.32819E-0004 | -1.42032E-0004 | -3.19704E-0005 | |
| 11 global | -1.32819E-0004 | -1.61214E-0004 | -3.19704E-0005 | |

| reações nos apoios | | momento | | |
|--------------------|-------|---------|--------|---------|
| nó sistema | força | força | força | momento |
| | x | y | z | |
| 4 global | -2.51 | 113.04 | | 0.74 |
| 9 global | 2.51 | 44.96 | | -4.85 |
| Resultante | | -0.00 | 158.00 | 703.40 |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
|---|--------|--------|---------|
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | -0.000 | -0.000 | 0.000 |

| barra | e s f o r ç o s sistema | n ó | n a s | | b a r r a s | |
|-------|----------------------------|-----|--------------|----------------|-------------|----------------|
| | | | força normal | força cortante | força | momento fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | local | 3 | -0.00 | -48.87 | -48.87 | -0.00 |
| 4 | local | 5 | 0.00 | 48.87 | 48.87 | -97.74 |
| 5 | local | 3 | -2.51 | 64.17 | 64.17 | 89.45 |
| 6 | local | 5 | 2.51 | -64.17 | -64.17 | -47.74 |
| 7 | local | 5 | -2.51 | 23.94 | 23.94 | 47.74 |
| 8 | local | 6 | 2.51 | -23.94 | -23.94 | 15.71 |
| 9 | local | 6 | -2.51 | -7.66 | -7.66 | -15.71 |
| 10 | local | 7 | 2.51 | -7.66 | -7.66 | -4.57 |
| 11 | local | 7 | -2.51 | -30.63 | -30.63 | 4.57 |
| 12 | local | 8 | 2.51 | 30.63 | 30.63 | -24.48 |
| 13 | local | 8 | -0.00 | 14.33 | 14.33 | 28.66 |
| 14 | local | 10 | 0.00 | -14.33 | -14.33 | 0.00 |
| 15 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 16 | local | 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 17 | local | 3 | 113.04 | 2.51 | 2.51 | 8.29 |
| 18 | local | 4 | -113.04 | -2.51 | -2.51 | 0.74 |
| 19 | local | 8 | 44.96 | -2.51 | -2.51 | -4.18 |
| 20 | local | 9 | -44.96 | 2.51 | 2.51 | -4.85 |

carregamento 3

Título : PMC

| no sistema | deslocamentos nodais | | | rotacao |
|------------|----------------------|----------------|----------------|---------------|
| | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z | |
| 1 | global | -2.13368E-0004 | -9.04234E-0004 | 2.85339E-0004 |
| 2 | global | -2.13368E-0004 | -7.33030E-0004 | 2.85339E-0004 |
| 3 | global | -2.13368E-0004 | -1.92455E-0004 | 1.46402E-0004 |
| 4 | global | 3.96127E-0032 | -3.44581E-0030 | 6.83607E-0032 |
| 5 | global | -2.13155E-0004 | -1.45057E-0004 | 7.95925E-0005 |
| 6 | global | -2.12286E-0004 | -1.31985E-0004 | 4.88258E-0006 |
| 7 | global | -2.11418E-0004 | -4.26758E-0005 | 7.08782E-0005 |
| 8 | global | -2.11204E-0004 | 1.10365E-0005 | 8.94716E-0005 |
| 9 | global | -3.96127E-0032 | 1.97603E-0031 | 1.56656E-0031 |
| 10 | global | -2.11204E-0004 | 2.39160E-0004 | 1.17049E-0004 |
| 11 | global | -2.11204E-0004 | 3.09390E-0004 | 1.17049E-0004 |

| nó sistema | reações nos apoios | | | | | |
|------------|--------------------|---------|-----------|-------|-------|--------|
| | força x | força y | momento z | | | |
| 4 | global | -1.13 | 98.70 | -1.96 | | |
| 9 | global | 1.13 | -5.66 | -4.49 | | |
| Resultante | | | | -0.00 | 93.04 | 198.10 |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
|---|---------|-----------|--|
| força x | força y | momento z | |
| -0.000 | -0.000 | 0.000 | |

| barra | e s f o r ç o s sistema | n ó | n a s | | b a r r a s | |
|-------|----------------------------|-----|--------------|----------------|-------------|----------------|
| | | | força normal | força cortante | força | momento fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | local | 3 | -0.00 | -45.09 | -45.09 | -0.00 |
| 4 | local | 5 | 0.00 | 45.09 | 45.09 | -90.18 |
| 5 | local | 3 | -1.13 | 53.61 | 53.61 | 84.14 |
| 6 | local | 5 | 1.13 | -53.61 | -53.61 | -49.29 |
| 7 | local | 5 | -1.13 | 23.39 | 23.39 | 49.29 |
| 8 | local | 6 | 1.13 | -23.39 | -23.39 | 12.69 |
| 9 | local | 6 | -1.13 | 2.62 | 2.62 | -12.69 |
| 10 | local | 7 | 1.13 | -2.62 | -2.62 | 19.64 |
| 11 | local | 7 | -1.13 | -3.29 | -3.29 | -19.64 |
| 12 | local | 8 | 1.13 | 3.29 | 3.29 | 17.50 |
| 13 | local | 8 | -0.00 | -8.95 | -8.95 | -17.90 |
| 14 | local | 10 | 0.00 | 8.95 | 8.95 | -0.00 |
| 15 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 16 | local | 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 17 | local | 3 | 98.70 | 1.13 | 1.13 | 6.04 |
| 18 | local | 4 | -98.70 | -1.13 | -1.13 | -1.96 |
| 19 | local | 8 | -5.66 | -1.13 | -1.13 | 0.40 |

9 5.66 1.13 -4.49

carregamento 4

Título : Vento

| | | deslocamentos nodais | | |
|------------|--------|----------------------|----------------|----------------|
| no sistema | | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
| 1 | global | 1.72354E-0004 | 3.43442E-0005 | -1.19514E-0005 |
| 2 | global | 1.71228E-0004 | 2.71733E-0005 | -1.19514E-0005 |
| 3 | global | 1.67472E-0004 | 3.27042E-0006 | -1.19514E-0005 |
| 4 | global | 1.15278E-0031 | 5.85552E-0032 | -2.18902E-0031 |
| 5 | global | 1.66872E-0004 | -2.03234E-0006 | -6.87233E-0006 |
| 6 | global | 1.64424E-0004 | -6.88958E-0007 | 2.53617E-0006 |
| 7 | global | 1.61975E-0004 | 1.54298E-0006 | -6.20172E-0006 |
| 8 | global | 1.61375E-0004 | -3.27042E-0006 | -1.11163E-0005 |
| 9 | global | 1.11649E-0031 | -5.85552E-0032 | -2.11574E-0031 |
| 10 | global | 1.61375E-0004 | -2.55031E-0005 | -1.11163E-0005 |
| 11 | global | 1.61375E-0004 | -3.21729E-0005 | -1.11163E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|---------|-----------|
| nó sistema | | força x | força y | momento z |
| 4 | global | -3.30 | -1.68 | 6.27 |
| 9 | global | -3.20 | 1.68 | 6.06 |
| Resultante | | -6.50 | 0.00 | 23.40 |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

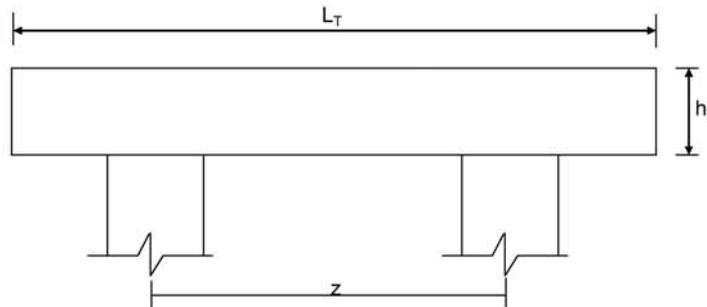
diferença de equilíbrio
(o equilíbrio de momento é feito em relação à origem)

| | força x | força y | momento z |
|--|---------|---------|-----------|
| | 0.000 | 0.000 | -0.000 |

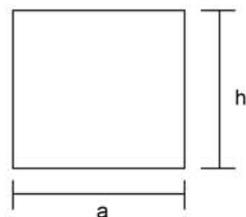
| barra | e s f o r ç o s sistema | n o s | n a s | | m o m e n t o f l e t o r |
|-------|-------------------------|-------|--------------|----------------|---------------------------|
| | | | força normal | força cortante | |
| 1 | local | 1 | 6.50 | -0.00 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | -6.50 | 0.00 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | 6.50 | -0.00 | 0.00 |
| 4 | local | 4 | -6.50 | 0.00 | -0.00 |
| 5 | local | 5 | 3.20 | -1.68 | -5.62 |
| 6 | local | 6 | -3.20 | 1.68 | 4.53 |
| 7 | local | 7 | 3.20 | -1.68 | -4.53 |
| 8 | local | 8 | -3.20 | 1.68 | 0.08 |
| 9 | local | 9 | 3.20 | -1.68 | -0.08 |
| 10 | local | 10 | -3.20 | 1.68 | -4.36 |
| 11 | local | 11 | 3.20 | -1.68 | 4.36 |
| 12 | local | 12 | -3.20 | 1.68 | -5.45 |
| 13 | local | 13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 14 | local | 14 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 15 | local | 15 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 16 | local | 16 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 17 | local | 17 | -1.68 | 3.30 | 5.62 |
| 18 | local | 18 | 1.68 | -3.30 | 6.27 |
| 19 | local | 19 | 1.68 | 3.20 | 5.45 |
| 20 | local | 20 | -1.68 | -3.20 | 6.06 |

Fim Do Programa

Dimensionamento da Travessa de P2



L_T (m) = 11.80
 h_T (m) = 1.50
 f_{ck} (MPa) = 20.0
 f_{yk} (MPa) = 500.0



a (m) = 1.200
 h (m) = 1.500

d (m) = 1.40 **d** é a altura efetiva da seção

S (m²) = 1.8
 $g = S * 2,50$ g (tf/m) = 4.5
 $N_{trav} = g * L_T$

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio b_w (m) = 1.20

M_g (tf.m) = -135.8 (reação de carga permanente das vigas)

M_{q1} (tf.m) = -105.9 (reação de carga móvel das vigas)

M_{q2} (tf.m) = -10.7 (vento na superestrutura)

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d$$
 (tf.m) = 345.8

| | | | | | |
|----------------------------|-------------------|-------|---------|-------|----------|
| $a = fcd * bw * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * bw * d * fcd$ | | 435.2 | -1523.2 | 345.8 | 1718084 |
| $c = M_d$ | | | | | |

| | |
|-----------------|---------------|
| x (m) = 0.244 | |
| z (m) = 1.302 | $kmd = 0.110$ |
| $x / d = 0.174$ | |

$$A_s$$
 (cm²) = **61.08**

b) Seção do vão

$$b_w \text{ (m)} = 1.20$$

$$M_g \text{ (tf.m)} = 34.1 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} \text{ (tf.m)} = 18.3 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} \text{ (tf.m)} = 0.2 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 73.6$$

| | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-------|---------------------------------------|------|----------|
| $a = f_{cd} * b_w * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * b_w * d * f_{cd}$ | | 435.2 | -1523.2 | 73.6 | 2192068 |
| $c = M_d$ | | | | | |
| | $x \text{ (m)} = 0.049$ | | $k_{md} = 0.023$ | | |
| | $z \text{ (m)} = 1.380$ | | $A_s^- \text{ (cm}^2\text{)} = 12.26$ | | |
| | $x / d = 0.035$ | | | | |

c) Armadura mínima

$$A_s^{min} = \frac{0.15}{100} \cdot b_w \cdot h_f$$

$$A_s^{min} \text{ (cm}^2\text{)} = 27.0$$

Dimensionamento ao Cisalhamento
a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 1.20$$

$$V_g \text{ (tf)} = 72.0 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 53.0 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{sd} = 1,4 * V_g + 1,4 * V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 174.9$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad \text{onde :}$$

$$V_{Rd2} = 0,30 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd2} \text{ (tf)} = 672.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2.5 \cdot \beta_1 \cdot \tau_{rd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \quad (\text{concreto armado})$$

$$V_{cd} \text{ (tf)} = 108.6$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{wd} (tf) = 66.3$$

$$A_{sw}/s = 12.1 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 15.00 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

b) Seção do apoio à direita

$$V_g (tf) = 102.0 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_{q1} (tf) = 71.4 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{q2} (tf) = 2.9 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$V_{sd} = 1,4 \cdot V_g + 1,4 \cdot V_{q1} + 0,7 \cdot V_{q2}$$

$$V_{sd} (tf) = 244.7$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{cd} (tf) = 108.6$$

$$V_{wd} (tf) = 136.1$$

$$A_{sw}/s = 24.8 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 20.70 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

```

Portico Plano Travessa P2 Ponte 42,5m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      3.2000
  2      0.6000      3.2000
  3      2.6000      3.2000
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      3.2000
  6      5.9000      3.2000
  7      8.5500      3.2000
  8      9.2000      3.2000
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      3.2000
 11     11.8000      3.2000
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.800E+0000 1.800E+0000 3.380E-0001 1.0
  2 8.000E-0001 8.000E-0001 4.267E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 4
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2  PY -60.280
  5  PY -58.070
  6  PY -58.070
  7  PY -58.070
 10  PY -60.280
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  2 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  3 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  4 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  5 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  6 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  7 U 0.000 0.000 WYA -4.500
  8 U 0.000 0.000 WYA -4.500
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC
cargas nodais
2 PY -52.960
5 PY -45.330
6 PY -37.710
7 PY -30.090
10 PY -22.460
0
fim
carregamento 3 PMC
cargas nodais
2 PY -47.910
5 PY -31.960
6 PY -23.250
7 PY -7.300
10 PY 8.650
0
fim
carregamento 4 Vento
cargas nodais
1 PX 12.470
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa P2 Ponte 42,5m

 DATA : 3/20/2006(segunda-feira)
 HORA : 12:22:05 PM
 ARQUIVO DE DADOS : 4-travessap2_42,5m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 3.20E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | transl. x | transl. y | rotação z |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | nó final | comprimento |
|-------|----------------------------|-------|------------|----------|-------------|
| | material | seção | nó inicial | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6.00E-0001 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2.00E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6.50E-0001 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 | 2.65E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 | 2.65E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 | 6.50E-0001 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 | 2.00E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 | 6.00E-0001 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3.20E+0000 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 | 3.20E+0000 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.80E+0000 | 1.80E+0000 | 3.38E-0001 |
| 2 | 8.00E-0001 | 8.00E-0001 | 4.27E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -60.28 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -58.07 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -58.07 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -58.07 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -60.28 | 0.00 |

cargas aplicadas nas barras

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | t | | wxa | wyb | wya | |
| | | | f1 | f2 | f3 | p | | |
| 1 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 2 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 3 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 4 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 5 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 6 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 7 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |
| 8 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -4.5E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -52.96 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -45.33 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -37.71 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -30.09 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -22.46 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -47.91 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -31.96 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -23.25 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -7.30 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 8.65 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - Vento

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|-------|---------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | 12.47 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 4
número de carregamentos 4

resultado da renumeração nodal

perfil antes da renumeração : 23
perfil após a renumeração : 21

DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 1.2E+0002
Existe probabilidade de que o número de algarismos
corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1

Titulo : Peso Proprio

| no | sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao |
|----|---------|----------------|----------------|----------------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | -3.37693E-0006 | -7.95111E-0004 | 2.23999E-0004 |
| 2 | global | -3.37693E-0006 | -6.60362E-0004 | 2.23833E-0004 |
| 3 | global | -3.37693E-0006 | -2.41178E-0004 | 8.68350E-0005 |
| 4 | global | 1.23835E-0031 | -4.05362E-0030 | -1.20291E-0031 |
| 5 | global | -2.71178E-0006 | -2.37024E-0004 | 2.60984E-0005 |
| 6 | global | 1.45764E-0018 | -3.00973E-0004 | 1.89311E-0019 |
| 7 | global | 2.71178E-0006 | -2.37024E-0004 | -2.60984E-0005 |

| | | | | |
|----|--------|----------------|----------------|----------------|
| 8 | global | 3.37693E-0006 | -2.41178E-0004 | -8.68350E-0005 |
| 9 | global | -1.23835E-0031 | -4.05362E-0030 | 1.20291E-0031 |
| 10 | global | 3.37693E-0006 | -6.60362E-0004 | -2.23833E-0004 |
| 11 | global | 3.37693E-0006 | -7.95111E-0004 | -2.23999E-0004 |

| reações nos apoios | | momento | | |
|--------------------|--------|---------|--------|---------|
| nó sistema | força | força | força | momento |
| | x | y | z | |
| 4 | global | -5.31 | 173.93 | 5.16 |
| 9 | global | 5.31 | 173.94 | -5.16 |
| Resultante | | -0.00 | 347.87 | 2052.43 |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | | | |
|---|-----------------|---------|--------|---------|---------|
| | | força | força | momento | |
| | | x | y | z | |
| | | -0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| barra | esf. nó sistema | força | força | força | momento |
| | | x | y | z | fletor |
| 1 | local 1 | 0.00 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| | 2 | -0.00 | 2.70 | -0.81 | 0.81 |
| 2 | local 2 | -0.00 | -62.98 | 0.81 | -135.77 |
| | 3 | 0.00 | 71.98 | -135.77 | 123.93 |
| 3 | local 3 | -5.31 | 101.95 | 123.93 | -58.61 |
| | 5 | 5.31 | -99.03 | -58.61 | 58.61 |
| 4 | local 5 | -5.31 | 40.96 | 58.61 | 34.14 |
| | 6 | 5.31 | -29.03 | 34.14 | -34.14 |
| 5 | local 6 | -5.31 | -29.04 | -34.14 | -58.61 |
| | 7 | 5.31 | 40.96 | -58.61 | 58.61 |
| 6 | local 7 | -5.31 | -99.03 | 58.61 | -123.93 |
| | 8 | 5.31 | 101.96 | -123.93 | 135.77 |
| 7 | local 8 | -0.00 | 71.98 | 135.77 | -0.81 |
| | 10 | 0.00 | -62.98 | -0.81 | 0.81 |
| 8 | local 10 | 0.00 | 2.70 | 0.81 | -0.00 |
| | 11 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local 3 | 173.93 | 5.31 | 11.84 | 5.16 |
| | 4 | -173.93 | -5.31 | 5.16 | -11.84 |
| 10 | local 8 | 173.94 | -5.31 | -11.84 | -5.16 |
| | 9 | -173.94 | 5.31 | -5.16 | 11.84 |

carregamento 2

Título : PTC

| deslocamentos nodais | | | | |
|----------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| no sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao | |
| | x | y | z | |
| 1 | global | -7.41246E-0005 | -6.82346E-0004 | 2.05143E-0004 |
| 2 | global | -7.41246E-0005 | -5.59260E-0004 | 2.05143E-0004 |
| 3 | global | -7.41246E-0005 | -1.72439E-0004 | 9.65125E-0005 |
| 4 | global | 7.33514E-0032 | -2.89828E-0030 | -3.08411E-0032 |
| 5 | global | -7.37306E-0005 | -1.48858E-0004 | 4.72041E-0005 |
| 6 | global | -7.21243E-0005 | -1.55563E-0004 | 3.12986E-0006 |
| 7 | global | -7.05181E-0005 | -1.04038E-0004 | 1.10272E-0005 |
| 8 | global | -7.01241E-0005 | -8.90042E-0005 | -6.35707E-0006 |
| 9 | global | -7.33514E-0032 | -1.49594E-0030 | 1.11663E-0031 |
| 10 | global | -7.01241E-0005 | -1.83906E-0004 | -5.24266E-0005 |
| 11 | global | -7.01241E-0005 | -2.15362E-0004 | -5.24266E-0005 |

| reações nos apoios | | momento | | |
|--------------------|--------|---------|--------|---------|
| nó sistema | força | força | força | momento |
| | x | y | z | |
| 4 | global | -3.15 | 124.36 | 1.32 |
| 9 | global | 3.15 | 64.19 | -4.79 |
| Resultante | | 0.00 | 188.55 | 910.41 |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | | |
|---|--|-------|--------|---------|
| | | força | força | momento |
| | | x | y | z |
| | | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | e s f o r ç o s sistema | n ó | n a s | | b a r r a s | |
|-------|----------------------------|-----|--------------|----------------|-------------|----------------|
| | | | força normal | força cortante | força | momento fletor |
| 1 | local | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2 | -0.00 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -52.96 | -0.00 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 52.96 | -105.92 | |
| 3 | local | 3 | -3.15 | 71.40 | 97.17 | |
| | | 5 | 3.15 | -71.40 | -50.76 | |
| 4 | local | 5 | -3.15 | 26.07 | 50.76 | |
| | | 6 | 3.15 | -26.07 | 18.33 | |
| 5 | local | 6 | -3.15 | -11.64 | -18.33 | |
| | | 7 | 3.15 | 11.64 | -12.52 | |
| 6 | local | 7 | -3.15 | -41.73 | 12.52 | |
| | | 8 | 3.15 | 41.73 | -39.64 | |
| 7 | local | 8 | 0.00 | 22.46 | 44.92 | |
| | | 10 | -0.00 | -22.46 | -0.00 | |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | |
| 9 | local | 3 | 124.36 | 3.15 | 8.75 | |
| | | 4 | -124.36 | -3.15 | 1.32 | |
| 10 | local | 8 | 64.19 | -3.15 | -5.28 | |
| | | 9 | -64.19 | 3.15 | -4.79 | |

c a r r e g a m e n t o 3

Título : PMC

| no sistema | d e s l o c a m e n t o s n o d a i s | | | |
|------------|---------------------------------------|----------------|----------------|---------------|
| | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z | |
| 1 | global | -1.35051E-0004 | -6.50023E-0004 | 2.02055E-0004 |
| 2 | global | -1.35051E-0004 | -5.28791E-0004 | 2.02055E-0004 |
| 3 | global | -1.35051E-0004 | -1.45908E-0004 | 1.03782E-0004 |
| 4 | global | 2.83207E-0032 | -2.45237E-0030 | 4.77256E-0032 |
| 5 | global | -1.34898E-0004 | -1.12452E-0004 | 5.62815E-0005 |
| 6 | global | -1.34278E-0004 | -1.03219E-0004 | 4.56566E-0006 |
| 7 | global | -1.33658E-0004 | -3.45289E-0005 | 5.17541E-0005 |
| 8 | global | -1.33506E-0004 | 4.79416E-0006 | 6.40651E-0005 |
| 9 | global | -2.83207E-0032 | 8.05783E-0032 | 1.02745E-0031 |
| 10 | global | -1.33506E-0004 | 1.64577E-0004 | 8.18078E-0005 |
| 11 | global | -1.33506E-0004 | 2.13662E-0004 | 8.18078E-0005 |

| nó sistema | r e a ç õ e s n o s a p o i o s | | | |
|------------|---------------------------------|---------|-----------|-------|
| | força x | força y | momento z | |
| 4 | global | -1.22 | 105.23 | -2.05 |
| 9 | global | 1.22 | -3.46 | -4.41 |

Resultante 0.00 101.77 235.33

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| d i f e r e n ç a d e e q u i l i b r i o | | | |
|---|---------|---------|-----------|
| (o e q u i l i b r i o d e m o m e n t o é f e i t o e m r e l a ç ã o à o r i g e m) | | | |
| | força x | força y | momento z |
| | 0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | e s f o r ç o s sistema | n ó | n a s | | b a r r a s | |
|-------|----------------------------|-----|--------------|----------------|-------------|----------------|
| | | | força normal | força cortante | força | momento fletor |
| 1 | local | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2 | -0.00 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -47.91 | -0.00 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 47.91 | -95.82 | |
| 3 | local | 3 | -1.22 | 57.32 | 89.88 | |
| | | 5 | 1.22 | -57.32 | -52.63 | |
| 4 | local | 5 | -1.22 | 25.36 | 52.63 | |
| | | 6 | 1.22 | -25.36 | 14.57 | |
| 5 | local | 6 | -1.22 | 2.11 | -14.57 | |
| | | 7 | 1.22 | -2.11 | 20.16 | |
| 6 | local | 7 | -1.22 | -5.19 | -20.16 | |
| | | 8 | 1.22 | 5.19 | 16.78 | |
| 7 | local | 8 | 0.00 | -8.65 | -17.30 | |
| | | 10 | -0.00 | 8.65 | 0.00 | |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 | -0.00 | |
| 9 | local | 3 | 105.23 | 1.22 | 5.94 | |
| | | 4 | -105.23 | -1.22 | -2.05 | |
| 10 | local | 8 | -3.46 | -1.22 | 0.52 | |

9 3.46 1.22 -4.41

carregamento 4

Título : Vento

| | | deslocamentos nodais | | |
|----|---------|----------------------|----------------|----------------|
| no | sistema | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
| 1 | global | 1.90337E-0004 | 3.97908E-0005 | -1.37740E-0005 |
| 2 | global | 1.88896E-0004 | 3.15263E-0005 | -1.37740E-0005 |
| 3 | global | 1.84093E-0004 | 3.97817E-0006 | -1.37740E-0005 |
| 4 | global | 1.48040E-0031 | 6.68636E-0032 | -2.49212E-0031 |
| 5 | global | 1.83328E-0004 | -2.16054E-0006 | -7.97356E-0006 |
| 6 | global | 1.80205E-0004 | -9.26448E-0007 | 2.80896E-0006 |
| 7 | global | 1.77083E-0004 | 1.50249E-0006 | -7.07178E-0006 |
| 8 | global | 1.76317E-0004 | -3.97817E-0006 | -1.26511E-0005 |
| 9 | global | 1.42578E-0031 | -6.68636E-0032 | -2.39466E-0031 |
| 10 | global | 1.76317E-0004 | -2.92804E-0005 | -1.26511E-0005 |
| 11 | global | 1.76317E-0004 | -3.68711E-0005 | -1.26511E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|---------|--------------------|---------|-----------|
| nó | sistema | força x | força y | momento z |
| 4 | global | -6.35 | -2.87 | 10.69 |
| 9 | global | -6.12 | 2.87 | 10.28 |
| Resultante | | -12.47 | 0.00 | 39.90 |

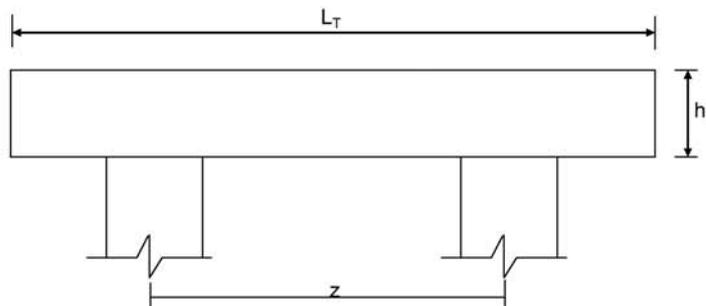
NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| diferença de equilíbrio (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | | |
|---|--|---------|---------|-----------|
| | | força x | força y | momento z |
| | | -0.000 | 0.000 | 0.000 |

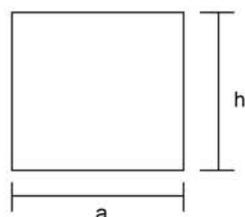
| barra | e s f o r ç o s sistema | nó | n a s b a r r a s | | |
|-------|-------------------------|----|-------------------|----------------|----------------|
| | | | força normal | força cortante | momento fletor |
| 1 | local | 1 | 12.47 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2 | -12.47 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | 12.47 | -0.00 | 0.00 |
| | | 3 | -12.47 | 0.00 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | 6.12 | -2.87 | -9.63 |
| | | 5 | -6.12 | 2.87 | 7.77 |
| 4 | local | 5 | 6.12 | -2.87 | -7.77 |
| | | 6 | -6.12 | 2.87 | 0.17 |
| 5 | local | 6 | 6.12 | -2.87 | -0.17 |
| | | 7 | -6.12 | 2.87 | -7.44 |
| 6 | local | 7 | 6.12 | -2.87 | 7.44 |
| | | 8 | -6.12 | 2.87 | -9.30 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| | | 11 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | -2.87 | 6.35 | 9.63 |
| | | 4 | 2.87 | -6.35 | 10.69 |
| 10 | local | 8 | 2.87 | 6.12 | 9.30 |
| | | 9 | -2.87 | -6.12 | 10.28 |

Fim Do Programa

Dimensionamento da Travessa de P3



L_T (m) = 11.80
 h_T (m) = 1.50
 f_{ck} (MPa) = 20.0
 f_{yk} (MPa) = 500.0



a (m) = 0.800
 h (m) = 1.500
 d (m) = 1.40 **d** é a altura efetiva da seção
 S (m²) = 1.2
 $g = S * 2,50$ g (tf/m) = 3
 $N_{trav} = g * L_T$

Os esforços na travessa foram obtidos pelo uso do programa de computador "SALT", cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento à Flexão

a) Seção do apoio b_w (m) = 0.80

M_g (tf.m) = -125.1 (reação de carga permanente das vigas)

M_{q1} (tf.m) = -97.7 (reação de carga móvel das vigas)

M_{q2} (tf.m) = -7.1 (vento na superestrutura)

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d$$
 (tf.m) = 316.9

| | | | | | |
|----------------------------|-------------------|---------|----------|-------|----------|
| $a = fcd * bw * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * bw * d * fcd$ | | 290.133 | -1015.47 | 316.9 | 663452 |
| $c = M_d$ | | | | | |

x (m) = 0.346 $kmd = 0.152$
 z (m) = 1.261
 $x / d = 0.247$

$$As' \text{ (cm}^2\text{)} = 57.77$$

b) Seção do vão

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$M_g \text{ (tf.m)} = 15.6 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$M_{q1} \text{ (tf.m)} = 15.3 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$M_{q2} \text{ (tf.m)} = 0.1 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$M_d = 1,4 * M_g + 1,4 * M_{q1} + 0,7 * M_{q2}$$

$$M_d \text{ (tf.m)} = 43.3$$

| | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|---------|--------------------------------------|------|----------|
| $a = f_{cd} * b_w * 0,272$ | $Z = d - 0,4 * x$ | a | b | c | Δ |
| $b = -0,68 * b_w * d * f_{cd}$ | | 290.133 | -1015.47 | 43.3 | 980911 |
| $c = M_d$ | | | | | |
| | $x \text{ (m)} = 0.043$ | | $k_{md} = 0.021$ | | |
| | $z \text{ (m)} = 1.383$ | | $A_s^- \text{ (cm}^2\text{)} = 7.20$ | | |
| | $x / d = 0.031$ | | | | |

c) Armadura mínima

$$A_s^{min} = \frac{0.15}{100} \cdot b_w \cdot h_r$$

$$A_s^{min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18.0$$

Dimensionamento ao Cisalhamento

a) Seção do apoio à esquerda

$$b_w \text{ (m)} = 0.80$$

$$V_g \text{ (tf)} = 65.3 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_q \text{ (tf)} = 48.9 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{sd} = 1,4 * V_g + 1,4 * V_q$$

$$V_{sd} \text{ (tf)} = 159.8$$

Verificação do Concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad \text{onde :}$$

$$V_{Rd2} = 0,30 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd2} \text{ (tf)} = 448.0$$

Contribuição do Concreto

$$V_{cd} = 2.5 \cdot \beta_1 \cdot \tau_{rd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\tau_{Rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ (MPa)} \quad \tau_{Rd} \text{ (MPa)} = 0.259$$

$$\beta_1 = 1,00 \quad (\text{concreto armado})$$

$$V_{cd} \text{ (tf)} = 72.4$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{wd} (tf) = 87.4$$

$$A_{sw}/s = 15.9 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 19.94 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

b) Seção do apoio à direita

$$V_g (tf) = 81.5 \quad (\text{reação de carga permanente das vigas})$$

$$V_{q1} (tf) = 64.2 \quad (\text{reação de carga móvel das vigas})$$

$$V_{q2} (tf) = 1.9 \quad (\text{vento na superestrutura})$$

$$V_{sd} = 1,4 \cdot V_g + 1,4 \cdot V_{q1} + 0,7 \cdot V_{q2}$$

$$V_{sd} (tf) = 205.3$$

Cálculo da Armadura Transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd}}{0,90 \cdot d \cdot f_{ywd}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot \frac{1}{b_w} \geq 0,015$$

$$V_{cd} (tf) = 72.4$$

$$V_{wd} (tf) = 132.9$$

$$A_{sw}/s = 24.3 \quad (\text{cm}^2/\text{m})$$

$$\rho_w = 30.33 \quad (\text{cm}^2/\text{m}^2)$$

```

Portico Plano Travessa P3 Ponte 42,5m
coordenadas dos nos
  1      0.0000      4.1000
  2      0.6000      4.1000
  3      2.6000      4.1000
  4      2.6000      0.0000
  5      3.2500      4.1000
  6      5.9000      4.1000
  7      8.5500      4.1000
  8      9.2000      4.1000
  9      9.2000      0.0000
 10     11.2000      4.1000
 11     11.8000      4.1000
0
condicoes de contorno
  4 111
  9 111
0
tipos de material
  1 2884760.0000      0.2000 0.0000100000      2.5000
0
tipos de secao
  1 1.200E+0000 1.200E+0000 2.250E-0001 1.0
  2 6.400E-0001 6.400E-0001 3.410E-0002 1.0
0
propriedades dos elementos
  1  1  2  1  1
  2  2  3  1  1
  3  3  5  1  1
  4  5  6  1  1
  5  6  7  1  1
  6  7  8  1  1
  7  8 10  1  1
  8 10 11  1  1
  9  3  4  1  2
 10  8  9  1  2
0
numero de carregamentos 4
carregamento 1  Peso Proprio
cargas nodais
  2 PY -57.460
  5 PY -47.720
  6 PY -47.720
  7 PY -47.720
 10 PY -57.460
0
cargas nos elementos
  1 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  2 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  3 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  4 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  5 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  6 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  7 U 0.000 0.000 WYA -3.000
  8 U 0.000 0.000 WYA -3.000
0
fim
    
```

```
carregamento 2 PTC
cargas nodais
2 PY -48.870
5 PY -40.230
6 PY -31.600
7 PY -22.970
10 PY -14.330
0
fim
carregamento 3 PMC
cargas nodais
2 PY -45.090
5 PY -30.220
6 PY -20.770
7 PY -5.910
10 PY 8.950
0
fim
carregamento 4 Vento
cargas nodais
1 PX 6.50
0
fim
```

SALT - Marca Registrada da UFRJ
 SALTE - análise estática linear - versão 9.07

TÍTULO : Travessa P3 Ponte 42,5m

 DATA : 3/20/2006(segunda-feira)
 HORA : 12:34:19 PM
 ARQUIVO DE DADOS : 6-travessap3_42,5m.slt
 TIPO DA ESTRUTURA : pórtico plano

Unidades Utilizadas
 força : não informada.
 comprimento : não informada.

| nó | sistema | coordenadas nodais | | |
|----|---------|--------------------|------------|------------|
| | | coordenada | coordenada | coordenada |
| | | x | y | z |
| 1 | global | 0.00E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 2 | global | 6.00E-0001 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 3 | global | 2.60E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 4 | global | 2.60E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 5 | global | 3.25E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 6 | global | 5.90E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 7 | global | 8.55E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 8 | global | 9.20E+0000 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 9 | global | 9.20E+0000 | 0.00E+0000 | 0.00E+0000 |
| 10 | global | 1.12E+0001 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |
| 11 | global | 1.18E+0001 | 4.10E+0000 | 0.00E+0000 |

número de nós 11

| nó | código | restrições nodais | | |
|----|--------|-------------------|-----------|-----------|
| | | transl. x | transl. y | rotação z |
| 4 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |
| 9 | 111 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 | 0.0E+0000 |

número de nós com restrição 2

| barra | propriedades dos elementos | | | nó final | comprimento |
|-------|----------------------------|-------|------------|----------|-------------|
| | material | seção | nó inicial | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6.00E-0001 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2.00E+0000 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6.50E-0001 |
| 4 | 1 | 1 | 5 | 6 | 2.65E+0000 |
| 5 | 1 | 1 | 6 | 7 | 2.65E+0000 |
| 6 | 1 | 1 | 7 | 8 | 6.50E-0001 |
| 7 | 1 | 1 | 8 | 10 | 2.00E+0000 |
| 8 | 1 | 1 | 10 | 11 | 6.00E-0001 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4.10E+0000 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 9 | 4.10E+0000 |

número de elementos 10

propriedades dos materiais

material : 1

M. Elasticidade 2.885E+0006
 M. E. Transversal ... 1.202E+0006
 C. Poisson 2.000E-0001
 C. D. Térmica 1.000E-0005
 P. Específico 2.500E+0000

número de tipos de material 1

| tipo | propriedades das seções | | |
|------|-------------------------|------------|------------|
| | área x | área y | inércia z |
| 1 | 1.20E+0000 | 1.20E+0000 | 2.25E-0001 |
| 2 | 6.40E-0001 | 6.40E-0001 | 3.41E-0002 |

| tipo | módulos de flexão | |
|------|-------------------|--|
| | wz | |
| 1 | 1.00E+0000 | |
| 2 | 1.00E+0000 | |

número de tipos seções 2

carregamento 1 - Peso Proprio

cargas nodais

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -57.46 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -47.72 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -57.46 | 0.00 |

| barra | sistema | tipo | la | lb | px | py | mz | wyb |
|-------|---------|------|------|------|-----------|-----|------------|-----|
| | | | t | | wxa | wyb | wya | |
| | | | f1 | f2 | wxa | wyb | wya | |
| | | | | | f3 | p | | |
| 1 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 2 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 3 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 4 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 5 | local | u | 0.00 | 2.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 6 | local | u | 0.00 | 0.65 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 7 | local | u | 0.00 | 2.00 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |
| 8 | local | u | 0.00 | 0.60 | 0.0E+0000 | | -3.0E+0000 | |

fim do carregamento 1

carregamento 2 - PTC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -48.87 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -40.23 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -31.60 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -22.97 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | -14.33 | 0.00 |

fim do carregamento 2

carregamento 3 - PMC

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|--------|---------|
| | | x | y | z |
| 2 | global | 0.00 | -45.09 | 0.00 |
| 5 | global | 0.00 | -30.22 | 0.00 |
| 6 | global | 0.00 | -20.77 | 0.00 |
| 7 | global | 0.00 | -5.91 | 0.00 |
| 10 | global | 0.00 | 8.95 | 0.00 |

fim do carregamento 3

carregamento 4 - Vento

| nó | sistema | força | força | momento |
|----|---------|-------|-------|---------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | 6.50 | 0.00 | 0.00 |

fim do carregamento 4
 número de carregamentos 4

resultado da renumeração nodal

perfil antes da renumeração : 23
 perfil após a renumeração : 21

 DECAIMENTO MÁXIMO DOS ELEM. DA DIAGONAL: 2.1E+0002
 Existe probabilidade de que o número de algarismos
 corretos nos deslocamentos calculados seja 8

carregamento 1

Título : Peso Proprio

| no | sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao |
|----|---------|----------------|----------------|----------------|
| | | x | y | z |
| 1 | global | -4.95474E-0006 | -1.20757E-0003 | 3.54552E-0004 |
| 2 | global | -4.95474E-0006 | -9.94492E-0004 | 3.54386E-0004 |
| 3 | global | -4.95474E-0006 | -3.25869E-0004 | 1.63960E-0004 |
| 4 | global | 1.82074E-0031 | -5.14042E-0030 | -2.35445E-0031 |
| 5 | global | -3.97881E-0006 | -2.85817E-0004 | 7.96380E-0005 |
| 6 | global | 2.09226E-0018 | -2.97941E-0004 | 4.73678E-0020 |
| 7 | global | 3.97881E-0006 | -2.85817E-0004 | -7.96380E-0005 |

| | | | | |
|----|--------|----------------|----------------|----------------|
| 8 | global | 4.95474E-0006 | -3.25869E-0004 | -1.63960E-0004 |
| 9 | global | -1.82074E-0031 | -5.14042E-0030 | 2.35445E-0031 |
| 10 | global | 4.95474E-0006 | -9.94492E-0004 | -3.54386E-0004 |
| 11 | global | 4.95474E-0006 | -1.20757E-0003 | -3.54552E-0004 |

| r e a ç õ e s | | n o s | | a p o i o s | |
|---------------|---------|-------|--------|-------------|---------|
| nó | sistema | força | força | força | momento |
| | | x | y | z | |
| 4 | global | -5.20 | 146.74 | 6.72 | |
| 9 | global | 5.20 | 146.74 | -6.72 | |
| Resultante | | 0.00 | 293.48 | 1731.53 | |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| d i f e r e n ç a d e e q u i l i b r i o | | | |
|---|-------|--------|---------|
| (o e q u i l i b r i o d e m o m e n t o é f e i t o e m r e l a ç ã o à o r i g e m) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | 0.000 | -0.000 | 0.000 |

| barra | e s f o r ç o s | n a s | b a r r a s | momento |
|-------|-----------------|--------|-------------|---------|
| | nó | força | força | fletor |
| | | normal | cortante | |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | -0.54 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | 0.54 |
| | | 3 | 0.00 | -125.06 |
| 3 | local | 3 | -5.20 | 110.47 |
| | | 5 | 5.20 | -58.14 |
| 4 | local | 5 | -5.20 | 58.14 |
| | | 6 | 5.20 | -15.62 |
| 5 | local | 6 | -5.20 | -15.62 |
| | | 7 | 5.20 | -58.14 |
| 6 | local | 7 | -5.20 | 58.14 |
| | | 8 | 5.20 | -110.47 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 125.06 |
| | | 10 | 0.00 | -0.54 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 0.54 |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 146.74 | 14.59 |
| | | 4 | -146.74 | 6.72 |
| 10 | local | 8 | 146.74 | -14.59 |
| | | 9 | -146.74 | -6.72 |

c a r r e g a m e n t o 2

Título : PTC

| d e s l o c a m e n t o s n o d a i s | | | | |
|---------------------------------------|---------|----------------|----------------|----------------|
| no | sistema | deslocamento | deslocamento | rotacao |
| | | x | y | z |
| 1 | global | -1.62440E-0004 | -9.82982E-0004 | 2.94019E-0004 |
| 2 | global | -1.62440E-0004 | -8.06570E-0004 | 2.94019E-0004 |
| 3 | global | -1.62440E-0004 | -2.51159E-0004 | 1.43435E-0004 |
| 4 | global | 7.23544E-0032 | -3.96190E-0030 | -2.77716E-0032 |
| 5 | global | -1.62052E-0004 | -2.11653E-0004 | 7.41453E-0005 |
| 6 | global | -1.60471E-0004 | -2.05959E-0004 | 6.70021E-0006 |
| 7 | global | -1.58890E-0004 | -1.27919E-0004 | 2.79485E-0005 |
| 8 | global | -1.58502E-0004 | -9.97155E-0005 | 1.31226E-0005 |
| 9 | global | -7.23544E-0032 | -1.57296E-0030 | 1.59355E-0031 |
| 10 | global | -1.58502E-0004 | -1.52214E-0004 | -3.10328E-0005 |
| 11 | global | -1.58502E-0004 | -1.70834E-0004 | -3.10328E-0005 |

| r e a ç õ e s | | n o s | | a p o i o s | |
|---------------|---------|-------|--------|-------------|---------|
| nó | sistema | força | força | força | momento |
| | | x | y | z | |
| 4 | global | -2.07 | 113.10 | 0.79 | |
| 9 | global | 2.07 | 44.90 | -4.55 | |
| Resultante | | -0.00 | 158.00 | 703.40 | |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| d i f e r e n ç a d e e q u i l i b r i o | | | |
|---|--------|--------|---------|
| (o e q u i l i b r i o d e m o m e n t o é f e i t o e m r e l a ç ã o à o r i g e m) | | | |
| | força | força | momento |
| | x | y | z |
| | -0.000 | -0.000 | 0.000 |

| barra | e s f o r ç o s sistema | nó | n a s | | b a r r a s | |
|-------|----------------------------|----|--------------|----------------|-------------|----------------|
| | | | força normal | força cortante | força | momento fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -48.87 | -48.87 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 48.87 | 48.87 | -97.74 |
| 3 | local | 3 | -2.07 | 64.23 | 64.23 | 90.06 |
| | | 5 | 2.07 | -64.23 | -64.23 | -48.32 |
| 4 | local | 5 | -2.07 | 24.00 | 24.00 | 48.32 |
| | | 6 | 2.07 | -24.00 | -24.00 | 15.28 |
| 5 | local | 6 | -2.07 | -7.60 | -7.60 | -15.28 |
| | | 7 | 2.07 | -7.60 | -7.60 | -4.87 |
| 6 | local | 7 | -2.07 | -30.57 | -30.57 | 4.87 |
| | | 8 | 2.07 | 30.57 | 30.57 | -24.74 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 14.33 | 14.33 | 28.66 |
| | | 10 | 0.00 | -14.33 | -14.33 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| | | 11 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | 113.10 | 2.07 | 2.07 | 7.68 |
| | | 4 | -113.10 | -2.07 | -2.07 | 0.79 |
| 10 | local | 8 | 44.90 | -2.07 | -2.07 | -3.92 |
| | | 9 | -44.90 | 2.07 | 2.07 | -4.55 |

c a r r e g a m e n t o 3

Título : PMC

| no sistema | d e s l o c a m e n t o s n o d a i s | | | |
|------------|---------------------------------------|----------------|----------------|---------------|
| | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z | |
| 1 | global | -2.52634E-0004 | -9.46414E-0004 | 2.91210E-0004 |
| 2 | global | -2.52634E-0004 | -7.71688E-0004 | 2.91210E-0004 |
| 3 | global | -2.52634E-0004 | -2.19371E-0004 | 1.52273E-0004 |
| 4 | global | 3.27272E-0032 | -3.46047E-0030 | 6.08924E-0032 |
| 5 | global | -2.52458E-0004 | -1.68342E-0004 | 8.50158E-0005 |
| 6 | global | -2.51743E-0004 | -1.42924E-0004 | 9.04509E-0006 |
| 7 | global | -2.51028E-0004 | -4.34078E-0005 | 7.46857E-0005 |
| 8 | global | -2.50853E-0004 | 1.27552E-0005 | 9.33303E-0005 |
| 9 | global | -3.27272E-0032 | 2.01208E-0031 | 1.45533E-0031 |
| 10 | global | -2.50853E-0004 | 2.48596E-0004 | 1.20908E-0004 |
| 11 | global | -2.50853E-0004 | 3.21141E-0004 | 1.20908E-0004 |

| nó sistema | r e a ç õ e s n o s a p o i o s | | | |
|------------|---------------------------------|---------|-----------|--------|
| | força x | força y | momento z | |
| 4 | global | -0.93 | 98.78 | -1.74 |
| 9 | global | 0.93 | -5.74 | -4.15 |
| Resultante | | -0.00 | 93.04 | 198.10 |

NOTA:
O(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

| d i f e r e n ç a d e e q u i l í b r i o | | | |
|---|---------|---------|-----------|
| (o e q u i l í b r i o d e m o m e n t o é f e i t o e m r e l a ç ã o à o r i g e m) | | | |
| | força x | força y | momento z |
| | -0.000 | -0.000 | -0.000 |

| barra | e s f o r ç o s sistema | nó | n a s | | b a r r a s | |
|-------|----------------------------|----|--------------|----------------|-------------|----------------|
| | | | força normal | força cortante | força | momento fletor |
| 1 | local | 1 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 2 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 2 | local | 2 | -0.00 | -45.09 | -45.09 | -0.00 |
| | | 3 | 0.00 | 45.09 | 45.09 | -90.18 |
| 3 | local | 3 | -0.93 | 53.69 | 53.69 | 84.61 |
| | | 5 | 0.93 | -53.69 | -53.69 | -49.71 |
| 4 | local | 5 | -0.93 | 23.47 | 23.47 | 49.71 |
| | | 6 | 0.93 | -23.47 | -23.47 | 12.50 |
| 5 | local | 6 | -0.93 | 2.70 | 2.70 | -12.50 |
| | | 7 | 0.93 | -2.70 | -2.70 | 19.66 |
| 6 | local | 7 | -0.93 | -3.21 | -3.21 | -19.66 |
| | | 8 | 0.93 | 3.21 | 3.21 | 17.58 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | -8.95 | -8.95 | -17.90 |
| | | 10 | 0.00 | 8.95 | 8.95 | -0.00 |
| 8 | local | 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 11 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 9 | local | 3 | 98.78 | 0.93 | 0.93 | 5.57 |
| | | 4 | -98.78 | -0.93 | -0.93 | -1.74 |
| 10 | local | 8 | -5.74 | -0.93 | -0.93 | 0.32 |

9 5.74 0.93 -4.15

carregamento 4

Título : Vento

| | | deslocamentos nodais | | |
|------------|--------|----------------------|----------------|----------------|
| no sistema | | deslocamento x | deslocamento y | rotacao z |
| 1 | global | 2.42434E-0004 | 3.99310E-0005 | -1.37167E-0005 |
| 2 | global | 2.41308E-0004 | 3.17010E-0005 | -1.37167E-0005 |
| 3 | global | 2.37552E-0004 | 4.26759E-0006 | -1.37167E-0005 |
| 4 | global | 1.15146E-0031 | 6.73191E-0032 | -2.47579E-0031 |
| 5 | global | 2.36949E-0004 | -1.83179E-0006 | -7.92372E-0006 |
| 6 | global | 2.34490E-0004 | -5.67272E-0007 | 2.74816E-0006 |
| 7 | global | 2.32030E-0004 | 1.42886E-0006 | -7.37155E-0006 |
| 8 | global | 2.31427E-0004 | -4.26759E-0006 | -1.30291E-0005 |
| 9 | global | 1.12553E-0031 | -6.73191E-0032 | -2.41686E-0031 |
| 10 | global | 2.31427E-0004 | -3.03258E-0005 | -1.30291E-0005 |
| 11 | global | 2.31427E-0004 | -3.81433E-0005 | -1.30291E-0005 |

| | | reações nos apoios | | |
|------------|--------|--------------------|---------|-----------|
| nó sistema | | força x | força y | momento z |
| 4 | global | -3.29 | -1.92 | 7.07 |
| 9 | global | -3.21 | 1.92 | 6.90 |
| Resultante | | -6.50 | 0.00 | 26.65 |

NOTA:
0(s) momento(s) resultante(s) é(são) em relação à origem do sistema global.

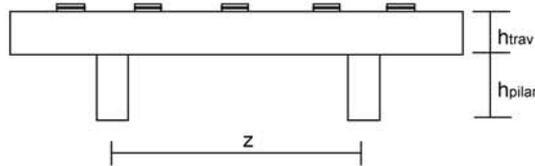
| diferença de equilíbrio | | | |
|---|---------|---------|-----------|
| (o equilíbrio de momento é feito em relação à origem) | | | |
| | força x | força y | momento z |
| | 0.000 | 0.000 | -0.000 |

| barra | esforços sistema | nó | força normal | força cortante | momento fletor |
|-------|------------------|----|--------------|----------------|----------------|
| 1 | local | 1 | 6.50 | -0.00 | -0.00 |
| | | 2 | -6.50 | 0.00 | -0.00 |
| 2 | local | 2 | 6.50 | -0.00 | 0.00 |
| | | 3 | -6.50 | 0.00 | -0.00 |
| 3 | local | 3 | 3.21 | -1.92 | -6.41 |
| | | 5 | -3.21 | 1.92 | 5.16 |
| 4 | local | 5 | 3.21 | -1.92 | -5.16 |
| | | 6 | -3.21 | 1.92 | 0.07 |
| 5 | local | 6 | 3.21 | -1.92 | -0.07 |
| | | 7 | -3.21 | 1.92 | -5.02 |
| 6 | local | 7 | 3.21 | -1.92 | 5.02 |
| | | 8 | -3.21 | 1.92 | -6.27 |
| 7 | local | 8 | -0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | 10 | 0.00 | -0.00 | 0.00 |
| 8 | local | 10 | -0.00 | 0.00 | -0.00 |
| | | 11 | 0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 9 | local | 3 | -1.92 | 3.29 | 6.41 |
| | | 4 | 1.92 | -3.29 | 7.07 |
| 10 | local | 8 | 1.92 | 3.21 | 6.27 |
| | | 9 | -1.92 | -3.21 | 6.90 |

Fim Do Programa

Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar

Apoio 1



z (m) = 6.60
nº de pilares = 2

P.P. do pilar (tf) = 4.56

h^{Pilar} (m) = 2.85

$h^{Traves.}$ (m) = 1.50

h^{aterro} (m) = 1.20

Esforços na base do pilar

- * $g_1 + g_2 + g_3$
 - * Carga móvel
 - * Peso próprio do pilar
 -
 - * Temperatura
 - * Empuxo de terra sobre as cortinas
 - * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas
 -
 - * Vento
 -
 - * Empuxo de terra sobre os pilares
- } - N e M_T provenientes do SALT
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- } - $M_L = H_L * (h_{pilar} + h_{travessa})$
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- } - N e M_T provenientes do SALT
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços já calculado por pilar
- } - $M_L = H_L * (h_{aterro}/3)$

1ª Hipótese : $N_{máx}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 146.7 | 113.0 | 9.1 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 270.6 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.6 | 1.8 | 0.0 | 1.8 | 0.5 | 2.3 | 19.0 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 54.7 | 7.8 | 0.0 | 7.7 | 2.3 | 0.9 | 73.3 |
| M_T (tf.m) | 7.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.1 |

2ª Hipótese : $N_{mín}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 146.7 | -5.7 | 9.1 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 151.9 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.6 | 1.8 | 0.0 | 1.8 | 0.5 | 2.3 | 19.0 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 54.7 | 7.8 | 0.0 | 7.7 | 2.3 | 0.9 | 73.3 |
| M_T (tf.m) | 7.0 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.8 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 2.85$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0190 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0217$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.042 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 2.85$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0190 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0217$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.042 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N_d = 1,40 * (N_{g1+g2+g3} + N_{p.p.Pilar} + N_{p.p.Travessa}) + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{vento}}$$

$$H_{Ld} = 1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}$$

$$M_{Ld} = (1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}) * h_{\text{pil+trav}} + N_d * e_{\text{Total_Long.}}$$

$$H_{Td} = (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{Tvento}}$$

$$M_{Td} = (1,40 * M_{T(g1+g2+g3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{T\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{T\text{vento}}) + N_d * e_{\text{Total_Transv.}}$$

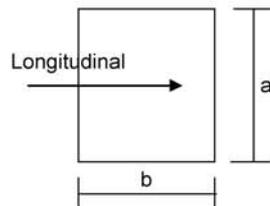
1ª Hipótese : N_{máx}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-----------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N_d (tf) | 205.4 | 158.3 | 12.8 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 377.6 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.6 | 2.7 | 0.0 | 2.5 | 0.4 | 3.3 | 21.3 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 |
| M_{dL}(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 54.7 | 10.9 | 0.0 | 10.7 | 1.6 | 1.3 | 94.9 |
| M_{dT}(tf.m) | 9.9 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 31.0 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-----------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N_d (tf) | 205.4 | -7.9 | 12.8 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 211.5 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.6 | 2.7 | 0.0 | 2.5 | 0.4 | 3.3 | 21.3 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 |
| M_{dL}(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 54.7 | 10.9 | 0.0 | 10.7 | 1.6 | 1.3 | 88.0 |
| M_{dT}(tf.m) | 9.9 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 29.3 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



a (m) = 0.80
b (m) = 0.80

Ac (m²) = 0.64
f_{ck} (MPa) = 20.0
f_{yk} (MPa) = 500

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

N_d (tf) = 377.64
M_d^{long} (tf.m) = 94.90
M_d^{transv} (tf.m) = 31.01

v = 0.413
μ_{long} = 0.130
μ_{transv} = 0.042

Ábaco → ω = 0.200

A_s (cm²) = 39.25

2ª Hipótese

$$\left. \begin{array}{l} N_d \text{ (tf)} = 211.46 \\ M_d^{\text{long}} \text{ (tf.m)} = 87.98 \\ M_d^{\text{transv}} \text{ (tf.m)} = 29.34 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v = 0.231 \\ \mu_{\text{long}} = 0.120 \\ \mu_{\text{transv}} = 0.040 \end{array} \xrightarrow{\text{Abaco}} \omega = 0.145$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 28.46$$

Compressão pela NB-1/78

$$\begin{array}{l} N_d \text{ (tf)} = 377.64 \\ E \text{ (MPa)} = 288476 \\ \epsilon_o = 0.002 \\ f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0 \end{array} \quad A_c^{\text{nec}} = N_d / (0.85 * f_{cd} + 0.8\% * E * \epsilon_o)$$

$$A_c^{\text{nec}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2368$$

$$A_c^{\text{exist}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.6400$$

$$A_{s1}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 18.94$$

$$A_{s2}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 32.00$$

$$A_s^{\text{min}} = 0.8\% * A_c^{\text{nec}}$$

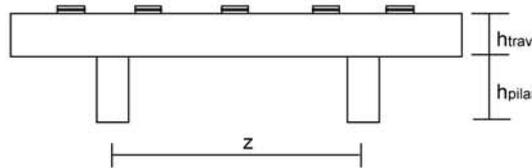
$$A_s^{\text{min}} = 0.5\% * A_c^{\text{exist}}$$

logo será adotado :

$$A_s^{\text{total}} \text{ (cm}^2\text{)} = 39.25$$

Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar

Apoio 2



$z \text{ (m)} = 6.60$
 $n^\circ \text{ de pilares} = 2$

P.P. do pilar (tf) = 3.92

$h^{\text{Pilar}} \text{ (m)} = 2.45$

$h^{\text{Traves}} \text{ (m)} = 1.50$

$h^{\text{aterro}} \text{ (m)} = 0.00$

Esforços na base do pilar

- * $g_1 + g_2 + g_3$
 - * Carga móvel
 - * Peso próprio do pilar
- } - N e M_T provenientes do SALT
-
- * Temperatura
 - * Empuxo de terra sobre as cortinas
 - * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
 - $M_L = H_L * (h_{\text{pilar}} + h_{\text{travessa}})$
-
- * Vento
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
 - N e M_T provenientes do SALT
-
- * Empuxo de terra sobre os pilares
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços já calculado por pilar
 - $M_L = H_L * (h_{\text{aterro}}/3)$

1ª Hipótese : $N_{\text{máx}}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{te pilar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 173.9 | 124.4 | 7.8 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 309.0 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 3.3 | 0.0 | 3.3 | 1.0 | 0.0 | 8.0 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.2 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 13.1 | 0.0 | 12.9 | 3.9 | 0.0 | 31.5 |
| M_T (tf.m) | 5.2 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.2 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. Pilar | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{te pilar} | Total |
|--------------------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 173.9 | -3.5 | 7.8 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 181.2 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 3.3 | 0.0 | 3.3 | 1.0 | 0.0 | 8.0 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.2 |
| M_L (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 13.1 | 0.0 | 12.9 | 3.9 | 0.0 | 31.5 |
| M_T (tf.m) | 5.2 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.3 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 2.45$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x/300 = 0.0163 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2/10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3})/d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0160$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.036 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 2.45$$

$$d \text{ (m)} = 0.95$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x/300 = 0.0163 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2/10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3})/d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0126$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.033 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N_d = 1,40 * (N_{g1+g2+g3} + N_{p.p.Pilar} + N_{p.p.Travessa}) + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{vento}}$$

$$H_{Ld} = 1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}$$

$$M_{Ld} = (1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}) * h_{\text{pil+trav}} + N_d * e_{\text{Total_Long.}}$$

$$H_{Td} = (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{Tvento}}$$

$$M_{Td} = (1,40 * M_{T(g1+g2+g3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{\text{Tcargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{\text{Tvento}}) + N_d * e_{\text{Total_Transv.}}$$

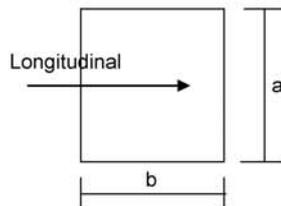
1ª Hipótese : N_{máx}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|------------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N_d (tf) | 243.5 | 174.1 | 11.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 430.6 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 5.0 | 0.0 | 4.6 | 0.7 | 0.0 | 10.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 |
| M_{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 18.3 | 0.0 | 18.1 | 2.7 | 0.0 | 40.7 |
| M_{dT} (tf.m) | 7.2 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.6 |

2ª Hipótese : N_{mín}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|------------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N_d (tf) | 243.5 | -4.8 | 11.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 251.6 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 5.0 | 0.0 | 4.6 | 0.7 | 0.0 | 10.6 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 |
| M_{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 18.3 | 0.0 | 18.1 | 2.7 | 0.0 | 40.7 |
| M_{dT} (tf.m) | 7.2 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.9 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



a (m) = 1.00
b (m) = 0.80

A_c (m²) = 0.80
f_{ck} (MPa) = 20.0
f_{yk} (MPa) = 500

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

N_d (tf) = 430.59
M_d^{long} (tf.m) = 40.70
M_d^{transv} (tf.m) = 16.56

v = 0.377
μ_{long} = 0.045
μ_{transv} = 0.014
} **Ábaco** → ω = 0.000

A_s (cm²) = 0.00

2ª Hipótese

$$\left. \begin{array}{ll} N_d \text{ (tf)} = 251.64 & v = 0.220 \\ M_d^{\text{long}} \text{ (tf.m)} = 40.70 & \mu_{\text{long}} = 0.045 \\ M_d^{\text{transv}} \text{ (tf.m)} = 20.88 & \mu_{\text{transv}} = 0.018 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Ábaco}} \omega = 0.100$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 24.53$$

Compressão pela NB-1/78

$$\begin{array}{ll} N_d \text{ (tf)} = 430.59 & \\ E \text{ (MPa)} = 288476 & A_c^{\text{nec}} = N_d / (0,85 * f_{cd} + 0,8\% * E * \epsilon_o) \\ \epsilon_o = 0.002 & \\ f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0 & \end{array}$$

$$A_c^{\text{nec}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2700$$

$$A_c^{\text{exist}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.8000$$

$$A_{s1}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 21.60$$

$$A_{s2}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 40.00$$

$$A_s^{\text{min}} = 0,8\% * A_c^{\text{nec}}$$

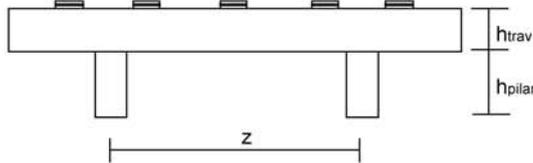
$$A_s^{\text{min}} = 0,5\% * A_c^{\text{exist}}$$

logo será adotado :

$$A_s^{\text{total}} \text{ (cm}^2\text{)} = 40.00$$

Cálculo dos esforços em serviço em cada pilar

Apoio 3



z (m) = 6.60
nº de pilares = 2

P.P. do pilar (tf) = 5.36

h^{Pilar} (m) = 3.35

$h^{Traves.}$ (m) = 1.50

h^{aterro} (m) = 1.70

Esforços na base do pilar

- * $g_1 + g_2 + g_3$
 - * Carga móvel
 - * Peso próprio do pilar
- } - N e M_T provenientes do SALT
- * Temperatura
 - * Empuxo de terra sobre as cortinas
 - * Empuxo de sobrecarga sobre as cortinas
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- $M_L = H_L * (h_{pilar} + h_{travessa})$
- * Vento
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços por apoio e dividido pelo número de pilares de cada apoio
- N e M_T provenientes do SALT
- * Empuxo de terra sobre os pilares
- } - H_L proveniente da distribuição de esforços já calculado por pilar
- $M_L = H_L * (h_{aterro}/3)$

1ª Hipótese : $N_{máx}$

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 146.7 | 113.1 | 10.7 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 272.5 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.2 | 1.7 | 0.0 | 1.6 | 0.5 | 4.7 | 20.6 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 |
| M_L(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 58.9 | 8.1 | 0.0 | 8.0 | 2.4 | 2.7 | 80.0 |
| M_T(tf.m) | 6.7 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.6 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | $g_1 + g_2 + g_3$ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepillar} | Total |
|-------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|
| N (tf) | 146.7 | -5.7 | 10.7 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 153.6 |
| H_L (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.2 | 1.7 | 0.0 | 1.6 | 0.5 | 4.7 | 20.6 |
| H_T (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 |
| M_L(tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 58.9 | 8.1 | 0.0 | 8.0 | 2.4 | 2.7 | 80.0 |
| M_T(tf.m) | 6.7 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 |

Cálculo das Excentricidades (item 10.10.4 da NBR-7187)

Direção Longitudinal

$$l_x \text{ (m)} = 3.35$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0223 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0299$$

$$e_{\text{total_long. (m)}} = 0.052 \text{ m}$$

Direção Transversal

$$l_x \text{ (m)} = 3.35$$

$$d \text{ (m)} = 0.75$$

Excentricidade Acidental

$$e_a \geq \begin{cases} l_x / 300 = 0.0223 \text{ m} \\ 0,02 \text{ m} \end{cases}$$

Excentricidade Segunda Ordem

$$e_2 = ((l_0)^2 / 10) * (1/r) \quad 1/r = (5 * 10^{-3}) / d$$

$$e_2 \text{ (m)} = 0.0299$$

$$e_{\text{total_transv. (m)}} = 0.052 \text{ m}$$

Esforços de projeto na base do pilar para as diversas hipóteses

$$N_d = 1,40 * (N_{g1+g2+g3} + N_{p.p.Pilar} + N_{p.p.Travessa}) + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{cargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * N_{\text{vento}}$$

$$H_{Ld} = 1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}$$

$$M_{Ld} = (1,40 * (H_{\text{EmpTerra}} + H_{\text{EmpTerPilar}}) + 1,20 * H_{\text{Temp}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{fren}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{EmpSob}}) * h_{\text{pil+trav}} + N_d * e_{\text{Total_Long.}}$$

$$H_{Td} = (1,40 \text{ ou } 0,70) * H_{\text{Tvento}}$$

$$M_{Td} = (1,40 * M_{T(g1+g2+g3)} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{\text{Tcargamóvel}} + (1,40 \text{ ou } 0,70) * M_{\text{Tvento}}) + N_d * e_{\text{Total_Transv.}}$$

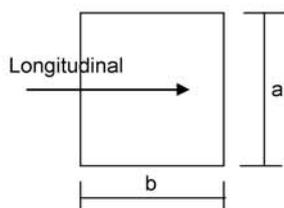
1ª Hipótese : N_{máx}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepar} | Total |
|------------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| N_d (tf) | 205.4 | 158.3 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 380.1 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.2 | 2.5 | 0.0 | 2.3 | 0.3 | 6.6 | 23.9 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 |
| M_{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 58.9 | 11.3 | 0.0 | 11.2 | 1.7 | 3.7 | 106.7 |
| M_{dT} (tf.m) | 9.4 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 35.3 |

2ª Hipótese : N_{min}

| | g ₁ + g ₂ + g ₃ | C. Móvel | p.p. ^{Pilar} | Temper. | Frenagem | Vento | Emp ^{terra} | Emp ^{sobrec} | Emp ^{tepar} | Total |
|------------------------------|--|----------|-----------------------|---------|----------|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| N_d (tf) | 205.4 | -8.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 213.8 |
| H_{dL} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.2 | 2.5 | 0.0 | 2.3 | 0.3 | 6.6 | 23.9 |
| H_{dT} (tf) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 |
| M_{dL} (tf.m) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 58.9 | 11.3 | 0.0 | 11.2 | 1.7 | 3.7 | 98.0 |
| M_{dT} (tf.m) | 9.4 | 5.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 31.3 |

Dimensionamento dos pilares com os ábacos do Montoya



a (m) = 0.80
b (m) = 0.80

Ac (m²) = 0.64
f_{ck} (MPa) = 20.0
f_{yk} (MPa) = 500

$v = N_d / (A_c \cdot f_{cd})$
 $\mu_{long} = M_d / (A_c \cdot b \cdot f_{cd})$
 $\mu_{transv} = M_d / (A_c \cdot a \cdot f_{cd})$

$$A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Dimensionamento da Base do Pilar

1ª Hipótese

| | | |
|--|-----------------------------|---------------------|
| N _d (tf) = 380.13 | v = 0.416 | } Ábaco → ω = 0.260 |
| M _{d^{long}} (tf.m) = 106.66 | μ _{long} = 0.146 | |
| M _{d^{transv}} (tf.m) = 35.33 | μ _{transv} = 0.048 | |

As (cm²) = 51.03

2ª Hipótese

$$\left. \begin{array}{l} N_d \text{ (tf)} = 213.75 \\ M_d^{\text{long}} \text{ (tf.m)} = 97.97 \\ M_d^{\text{transv}} \text{ (tf.m)} = 31.34 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v = 0.234 \\ \mu_{\text{long}} = 0.134 \\ \mu_{\text{transv}} = 0.043 \end{array} \xrightarrow{\text{Ábaco}} \omega = 0.210$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 41.22$$

Compressão pela NB-1/78

$$\begin{array}{l} N_d \text{ (tf)} = 380.13 \\ E \text{ (MPa)} = 288476 \\ \epsilon_o = 0.002 \\ f_{ck} \text{ (MPa)} = 20.0 \end{array} \quad A_c^{\text{neq}} = N_d / (0,85 * f_{cd} + 0,8\% * E * \epsilon_o)$$

$$A_c^{\text{neq}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.2383$$

$$A_c^{\text{exist}} \text{ (m}^2\text{)} = 0.6400$$

$$A_{s1}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 19.07$$

$$A_{s2}^{\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} = 32.00$$

$$A_s^{\text{min}} = 0,8\% * A_c^{\text{neq}}$$

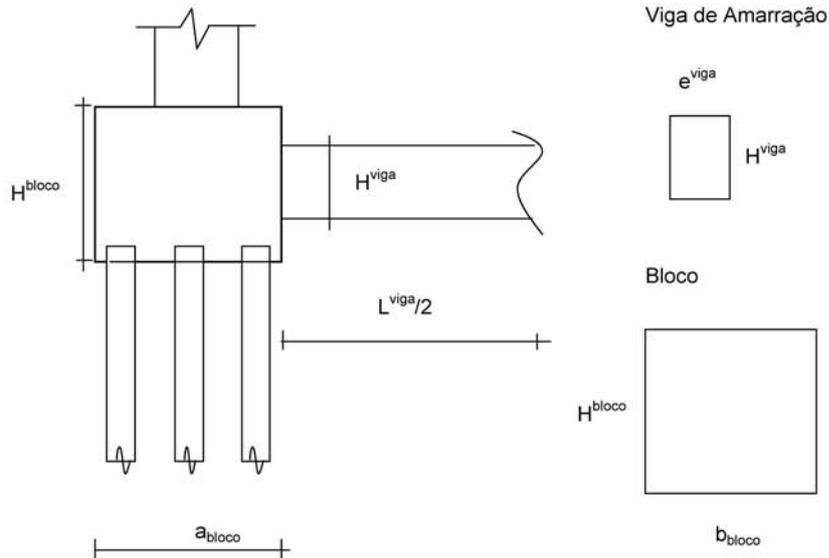
$$A_s^{\text{min}} = 0,5\% * A_c^{\text{exist}}$$

logo será adotado :

$$A_s^{\text{total}} \text{ (cm}^2\text{)} = 51.03$$

Apoio P1

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{Bloco} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $b_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 3.80$
- $e_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$
- $p.p. \text{ bloco (tf)} = 25.48$
- $p.p. \text{ viga de amarração (tf)} = 6.27$

*** Cálculo de N (tf)**

- $g1 + g2 + g3 = 293.48$
 - carga móvel Pesq = 113.0
 - carga móvel Pdir = 45.0
 - p.p. pilar = 9.1
 - p.p. bloco = 57.2
- $N = 517.8 \text{ tf}$

*** Cálculo de HL**

$HL \text{ (tf)} = 37.9$

* Cálculo de HT

$$HT (tf) = 6.5$$

* Cálculo de ML

$$ML (tf) = 146.6$$

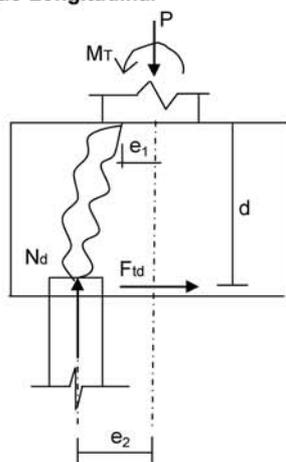
* Cálculo de MT

$$MT (tf) = 36.7$$

Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco de P1 (Para 1/2 bloco)

Direção Longitudinal



$$d (m) = 1.20 \quad f_{yk} (MPa) = 500.0$$

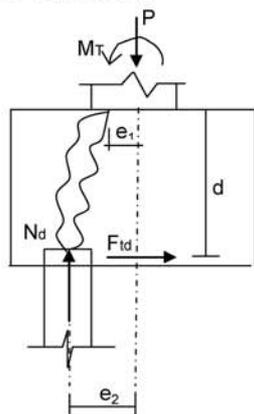
$$e_1 (m) = 0.20 \quad N (tf) = 80.4$$

$$e_2 (m) = 0.85$$

$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) \quad A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 60.9 \quad A_s (cm^2) = 14.0$$

Direção Transversal



$$d (m) = 1.20 \quad f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$e_1 (m) = 0.200 \quad N (tf) = 80.4$$

$$e_2 (m) = 0.85$$

$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d) \quad A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 60.9 \quad A_s (cm^2) = 14.0$$

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref: 8-42_5_BR163b1
Data: 3/20/2006

Ponte 42,5 - BR-163 / B1

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|------------|-----------|----------|
| 10 | 1 | 2100000.00 | 810000.00 | 50.00 |

| COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------------------------|-------|------|-------|---------|------|------|
| N EST | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA |
| 1 | -4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | -3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | -2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 2 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 3 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 4 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 5 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 6 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 7 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 8 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 9 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 10 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref: 8-42_5_BR163b1
Data: 3/20/2006

NRO CARREG 1

| Nmax | | | | | |
|-------|---------|--------|---------|------|-------|
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
| -6.50 | -517.80 | -37.90 | -146.60 | 0.00 | 36.70 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

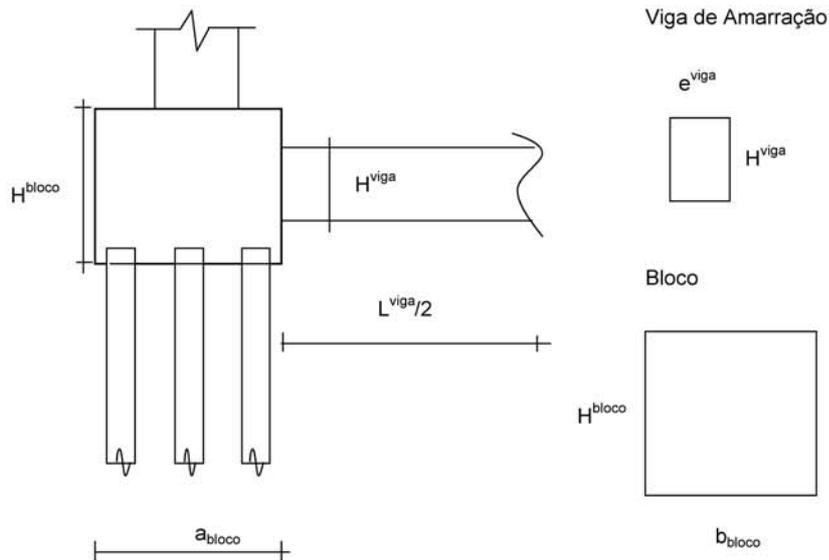
| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.002836 | -0.001868 | -0.021272 | -0.000963 | 0.000000 | 0.000016 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 80.36 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |
| 2 | 79.48 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |
| 3 | 77.45 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |
| 4 | 76.57 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |
| 5 | 53.24 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |
| 6 | 50.32 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |
| 7 | 26.99 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |
| 8 | 26.11 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |
| 9 | 24.08 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |
| 10 | 23.20 | -0.65 | -3.79 | 0.00 | 6.69 | -1.49 |

Apoio P2

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{Bloco} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $b_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 3.80$
- $e_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$
- $p.p.bloco \text{ (tf)} = 25.48$
- $p.p.viga \text{ de amarração} \text{ (tf)} = 6.27$

*** Cálculo de N (tf)**

- $g1 + g2 + g3 = 347.86$
 - carga móvel Pesq = 124.4
 - carga móvel Pdir = 64.2
 - p.p. pilar = 15.7
 - p.p. bloco = 57.2
- $N = 609.3 \text{ tf}$

*** Cálculo de HL**

$HL \text{ (tf)} = 15.9$

* Cálculo de HT

$$HT (tf) = 12.5$$

* Cálculo de ML

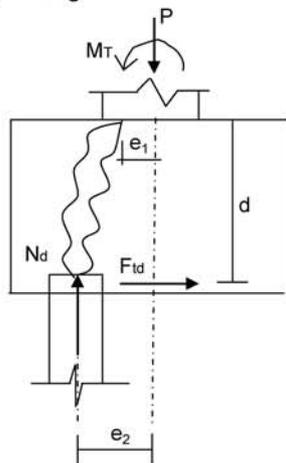
$$ML (tf) = 63.0$$

* Cálculo de MT

$$MT (tf) = 65.5$$

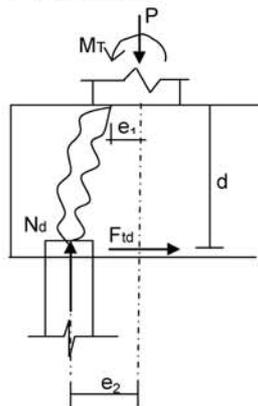
Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco Para P2 (Para 1/2 bloco)
Direção Longitudinal



| | |
|---|-------------------------|
| $d (m) = 1.20$ | $f_{yk} (MPa) = 500.0$ |
| $e_1 (m) = 0.20$ | $N (tf) = 75.8$ |
| $e_2 (m) = 0.85$ | |
| $F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$ | $A_s = F_{td} / f_{yd}$ |
| $F_{td} (tf) = 57.5$ | $A_s (cm^2) = 13.2$ |

Direção Transversal



| | |
|---|-------------------------|
| $d (m) = 1.20$ | $f_{yk} (MPa) = 500.0$ |
| $e_1 (m) = 0.200$ | $N (tf) = 75.8$ |
| $e_2 (m) = 0.85$ | |
| $F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$ | $A_s = F_{td} / f_{yd}$ |
| $F_{td} (tf) = 57.5$ | $A_s (cm^2) = 13.2$ |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref: 9-42_5_BR163b2
Data: 3/20/2006

Ponte 42,5 - BR-163 / B2

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|------------|-----------|----------|
| 10 | 1 | 2100000.00 | 810000.00 | 50.00 |

| COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------------------------|-------|------|-------|---------|------|------|
| N EST | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA |
| 1 | -4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | -3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | -2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 2 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 3 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 4 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 5 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 6 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 7 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 8 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 9 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 10 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref: 9-42_5_BR163b2
Data: 3/20/2006

NRO CARREG 1

| Nmax | | | | | |
|--------|---------|--------|--------|------|-------|
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt |
| -12.50 | -609.30 | -15.90 | -63.00 | 0.00 | 65.50 |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

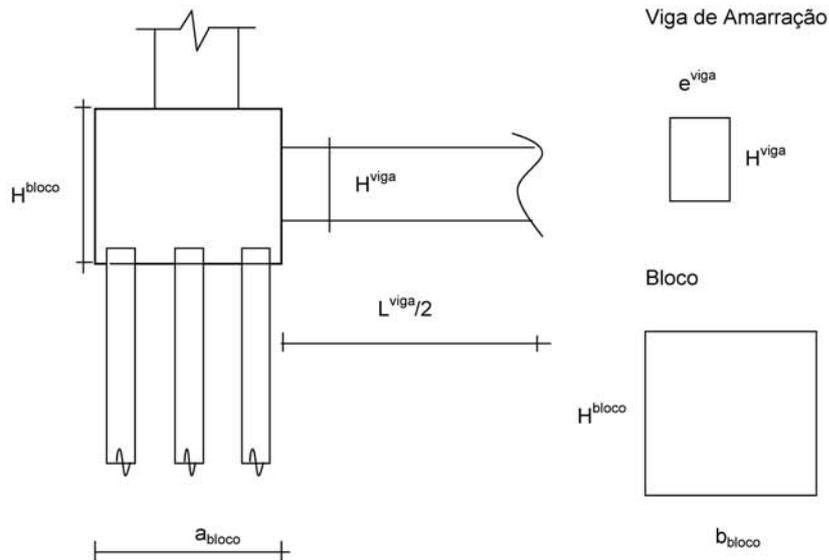
| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.005450 | -0.002198 | -0.008937 | -0.000410 | 0.000000 | 0.000029 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 75.77 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |
| 2 | 74.16 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |
| 3 | 70.45 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |
| 4 | 68.84 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |
| 5 | 63.59 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |
| 6 | 58.27 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |
| 7 | 53.02 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |
| 8 | 51.41 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |
| 9 | 47.70 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |
| 10 | 46.09 | -1.25 | -1.59 | 0.00 | 2.80 | -2.87 |

Apoio P3

Esforços em Serviço na Base do Bloco



- $h_{Bloco} \text{ (m)} = 1.30$
- $a_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $b_{bloco} \text{ (m)} = 2.80$
- $h_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 1.10$
- $L_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 3.80$
- $e_{Viga \text{ de Amarração}} \text{ (m)} = 0.60$
- $p.p. \text{ bloco (tf)} = 25.48$
- $p.p. \text{ viga de amarração (tf)} = 6.27$

*** Cálculo de N (tf)**

- $g1 + g2 + g3 = 293.48$
 - carga móvel Pesq = 113.1
 - carga móvel Pdir = 44.9
 - p.p. pilar = 10.7
 - p.p. bloco = 57.2
- $N = 519.4 \text{ tf}$

*** Cálculo de HL**

$HL \text{ (tf)} = 41.3$

* Cálculo de HT

$$HT (tf) = 6.5$$

* Cálculo de ML

$$ML (tf) = 160.1$$

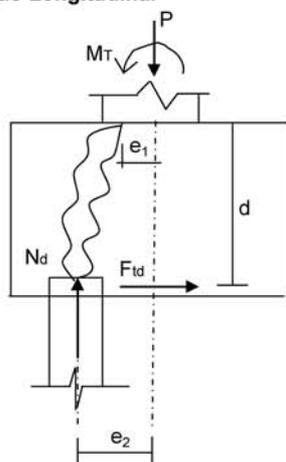
* Cálculo de MT

$$MT (tf) = 39.9$$

Os esforços resultantes em cada estaca foram obtidos através do programa "ESTEL" cuja listagem encontra-se anexa.

Dimensionamento do Bloco de P3 (Para 1/2 bloco)

Direção Longitudinal



$$d (m) = 1.20$$

$$e_1 (m) = 0.20$$

$$e_2 (m) = 0.85$$

$$f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$N (tf) = 83.1$$

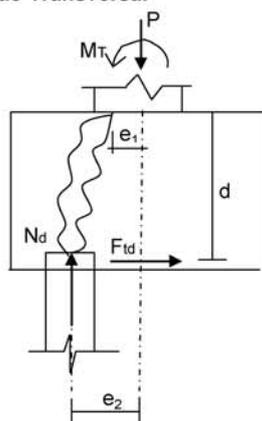
$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$$

$$A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 63.0$$

$$A_s (cm^2) = 14.5$$

Direção Transversal



$$d (m) = 1.20$$

$$e_1 (m) = 0.200$$

$$e_2 (m) = 0.85$$

$$f_{yk} (MPa) = 500.0$$

$$N (tf) = 83.1$$

$$F_{td} = 1,40 * N * ((e_2 - e_1) / d)$$

$$A_s = F_{td} / f_{yd}$$

$$F_{td} (tf) = 63.0$$

$$A_s (cm^2) = 14.5$$

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 1
Ref: 10-42_5_BR163b3
Data: 3/20/2006

Ponte 42,5 - BR-163 / B3

ESTACAS ENGASTADAS NO BLOCO E NO TERRENO COM CONFINAMENTO LATERAL

DADOS DAS ESTACAS-UNIDAD-(T/M2, M, M2, M4, GRAU, T, TM)

| N EST | N CARREG | M ELAST E | M ELAST G | CONST XK |
|-------|----------|------------|-----------|----------|
| 10 | 1 | 2100000.00 | 810000.00 | 50.00 |

| COORDENADAS TOPO ESTACA | | | | ÂNGULOS | | |
|-------------------------|-------|------|-------|---------|------|------|
| N EST | XI | YI | ZI | ANCR | TETA | ALFA |
| 1 | -4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 2.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 4.30 | 0.00 | -1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | -3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 3.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | -4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | -2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 2.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 4.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| N EST | COMP | ÁREA | XIN | YIN | ZIN |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 2 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 3 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 4 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 5 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 6 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 7 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 8 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 9 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |
| 10 | 10.00 | 0.132 | 0.00139 | 0.00139 | 0.00277 |

ARTE PONTES Consultoria e Projetos
Cálculo dos esforços de estaqueamento
Programa ESTEL

Pag: 2
Ref: 10-42_5_BR163b3
Data: 3/20/2006

NRO CARREG 1

| Nmax | | | | | | |
|-------|---------|--------|---------|------|-------|--|
| Ht | N | H1 | M1 | Mtor | Mt | |
| -6.50 | -519.40 | -41.30 | -160.10 | 0.00 | 39.90 | |

DESLOCAMENTOS DO BLOCO

| DES X | DES Y | DES Z | ROT X | ROT Y | ROT Z |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| -0.002838 | -0.001874 | -0.023183 | -0.001051 | 0.000000 | 0.000017 |

ESFORÇOS TOPO ESTACA(SL)

| N EST | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1 | 83.08 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |
| 2 | 82.14 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |
| 3 | 79.98 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |
| 4 | 79.05 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |
| 5 | 53.49 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |
| 6 | 50.39 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |
| 7 | 24.83 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |
| 8 | 23.90 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |
| 9 | 21.74 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |
| 10 | 20.80 | -0.65 | -4.13 | 0.00 | 7.29 | -1.49 |

8 PONTE SOBRE O RIO ONÇA II

8 PONTE SOBRE O RIO ONÇA II

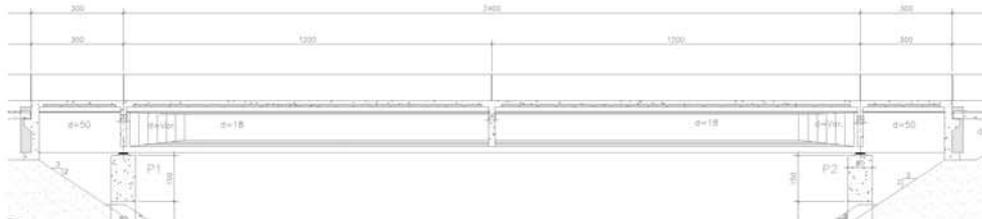
8.1 CÁLCULO DA SUPERESTRUTURA

Vão de 24,00 m com dois balanços de 3,00 m.

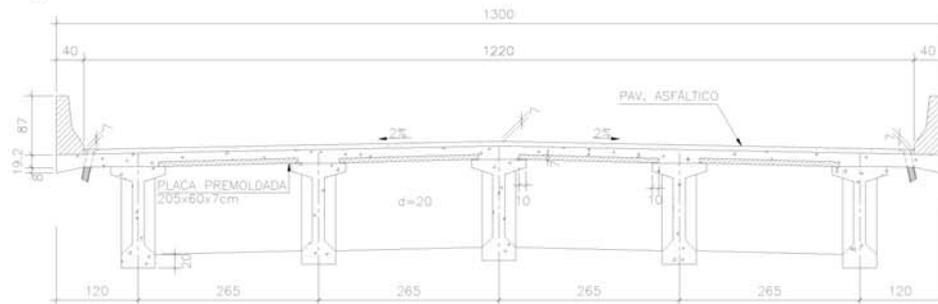
OBRA: Ponte sobre o Rio Onça II

1 – Cálculo da superestrutura

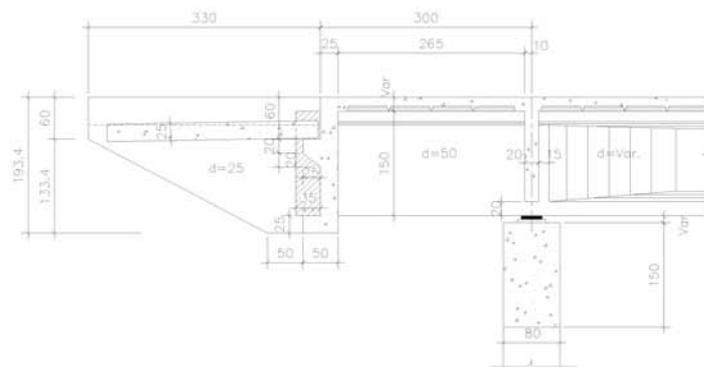
Perfil Longitudinal



Seção Transversal

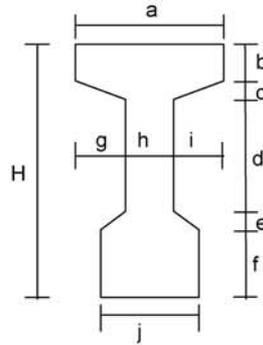


Detalhe das vigas nos apoios



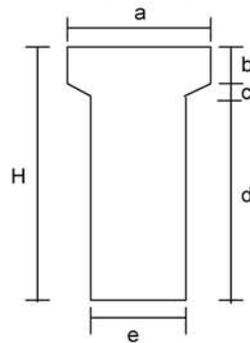
2 - Características das seções transversais

Seção Corrente



- a (m) = 0.800
- b (m) = 0.120
- c (m) = 0.100
- d (m) = 0.930
- e (m) = 0.150
- f (m) = 0.200
- g (m) = 0.310
- h (m) = 0.180
- i (m) = 0.310
- j (m) = 0.500
- H (m) = 1.500

Seção no Apoio



- a (m) = 0.800
- b (m) = 0.120
- c (m) = 0.048
- d (m) = 1.332
- e (m) = 0.500
- H (m) = 1.500

3 - Cálculo das cargas permanentes

3.1 - Características geométricas das vigas

| | Viga Isolada | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.463 | 0.793 |
| J (m ⁴) | 0.130 | 0.159 |
| Vs (m) | - | - |
| Vs' (m) | 0.715 | 0.713 |
| Vi (m) | 0.785 | 0.787 |
| Ws (m ³) | - | - |
| Ws' (m ³) | 0.182 | 0.224 |
| Wi (m ³) | 0.165 | 0.203 |

Viga de Bordo

bf (m) = 2.525

Viga Central

bf (m) = 2.65

bf é a largura efetiva da mesa de contribuição

h_{laje} (m) = 0.20

| | Viga Conj. t = ∞ | |
|-----------------------|------------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.968 | 1.298 |
| J (m ⁴) | 0.291 | 0.365 |
| Vs (m) | 0.490 | 0.597 |
| Vs' (m) | 0.290 | 0.397 |
| Vi (m) | 1.210 | 1.103 |
| Ws (m ³) | 0.594 | 0.612 |
| Ws' (m ³) | 1.003 | 0.919 |
| Wi (m ³) | 0.240 | 0.331 |

| | Viga Conj. t = ∞ | |
|-----------------------|------------------|-------------|
| | Seção Corrente | Seção Apoio |
| S (m ²) | 0.993 | 1.323 |
| J (m ⁴) | 0.295 | 0.371 |
| Vs (m) | 0.480 | 0.587 |
| Vs' (m) | 0.280 | 0.387 |
| Vi (m) | 1.220 | 1.113 |
| Ws (m ³) | 0.614 | 0.632 |
| Ws' (m ³) | 1.054 | 0.959 |
| Wi (m ³) | 0.242 | 0.334 |

3.2 - Peso próprio da viga (g₁)

Carga distribuída

$g_1 = S_{\text{corrente}} * 2,50$

$g_1 \text{ (tf/m)} = 1.158$

Trecho em balanço

$L_{\text{bal}} \text{ (m)} = 3.000$

$g_{\text{bal}} = S_{\text{apoiado}} * 2,50$

$g_{\text{bal}} \text{ (tf/m)} = 1.983$

Carga Concentrada

Alargamento da Viga

$P_1 = (S_{\text{apoiado}} - S_{\text{corrente}}) * (L_1 / 2) * 2,50$

$L_1 \text{ (m)} = 2.000$

$P_1 \text{ (tf)} = 0.83$

Alargamento no Apoio

$P_2 = (S_{\text{apoiado}} - S_{\text{corrente}}) * L_2 * 2,5$

$L_2 \text{ (m)} = 0.250$

$P_2 \text{ (tf)} = 0.21$

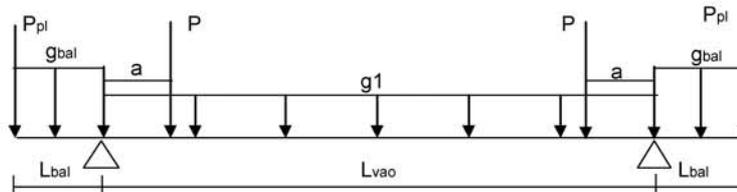
Placa de ancoragem

L3 (m) = 0.350
L4 (m) = 0.500
h1 (m) = 1.500

$$P_{pl} = L3 * h1 * L4 * 2,50$$

$$P_{pl} (tf) = 0.656$$

$$P = P1 + P2$$



Lvao (m) = 24.00
Lbal (m) = 3.000
a (m) = 0.750

gbal (tf/m) = 1.983
g1 (tf/m) = 1.158
P (tf) = 1.03

Ppl (tf) = 0.66

Esforços Seccionais

Reações

R1 (tf) = 21.53
R2 (tf) = 21.53

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -0.7 | 0 |
| S1/2Bal | -3.6 | -3.2 |
| 0 esq | -6.6 | -10.9 |
| 0 dir | 14.9 | -10.9 |
| 1 | 11.1 | 19.9 |
| 2 | 8.3 | 43.2 |
| 3 | 5.6 | 59.9 |
| 4 | 2.8 | 69.9 |
| 5 | 0.0 | 73.2 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = - M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -14 | 16 |
| 0 | - | -49 | 54 |
| 1 | - | 109 | -121 |
| 2 | - | 237 | -262 |
| 3 | - | 329 | -363 |
| 4 | - | 384 | -424 |
| 5 | - | 402 | -444 |

3.3 - Laje + Transversina (g2)

Viga de Bordo

carga distribuída

$$g2 = h * L * 2,50$$

h (m) = 0.200 g₂ (tf/m) = 1.263
L (m) = 2.525

carga concentrada

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{\text{apoio}} - j * f)] / 2 \} * \text{esp} * 2,50$$

L (m) = 1.33 j (m) = 0.50
h (m) = 1.30 esp (m) = 0.20
f (m) = 0.20

P1 (tf) = 0.69

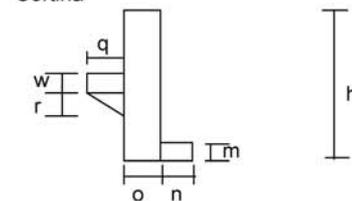
Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{\text{corrent}} - j * f) / 2] \} * \text{esp} * 2,50$$

L (m) = 1.33 j (m) = 0.50
h (m) = 1.30 esp (m) = 0.20
f (m) = 0.20

P2 (tf) = 0.77

Cortina



$$P_{\text{cort}} = [(m * n * L_{\text{total}}) + (w + r + w) * 0,5 * q * L_{\text{cons}} + o * h * L_{\text{total}}] * \gamma_{\text{conc}}$$

L_{total} (m) = 13.00
L_{cons} (m) = 9.400

h (m) = 1.950 q (m) = 0.250
m (m) = 0.250 w (m) = 0.200
n (m) = 0.250 r (m) = 0.200
o (m) = 0.250

P₃ = P_{cort} / 5 vigas P₃ (tf) = 3.93

Viga Central

carga distribuída

$$g2 = h * L * 2,50$$

h (m) = 0.200 g₂ (tf/m) = 1.325
L (m) = 2.650

cargas concentradas

Transversina de apoio

$$P1 = \{ [L * h - (S_{\text{apoio}} - j * f)] \} * \text{esp} * 2,50$$

L (m) = 2.65 j (m) = 0.50
h (m) = 1.30 esp (m) = 0.20
f (m) = 0.20

P1 (tf) = 1.38

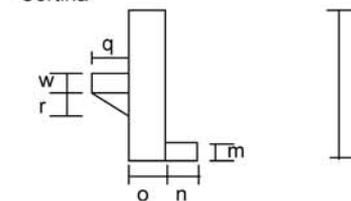
Transversina Central

$$P2 = \{ [L * h - (S_{\text{corrent}} - j * f)] \} * \text{esp} * 2,50$$

L (m) = 2.65 j (m) = 0.50
h (m) = 1.30 esp (m) = 0.20
f (m) = 0.20

P2 (tf) = 1.54

Cortina



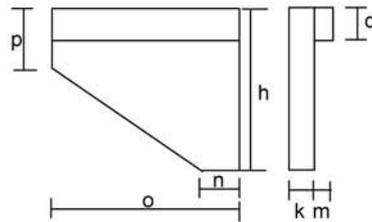
$$P_{\text{cort}} = [(m * n * L_{\text{total}}) + (w + r + w) * 0,5 * q * L_{\text{cons}} + o * h * L_{\text{total}}] * \gamma_{\text{conc}}$$

L_{total} (m) = 13.00
L_{cons} (m) = 9.400

h (m) = 1.950 q (m) = 0.250
m (m) = 0.250 w (m) = 0.200
n (m) = 0.250 r (m) = 0.200
o (m) = 0.250

P₃ = P_{cort} / 5 vigas P₃ (tf) = 3.93

Abas das Cortinas

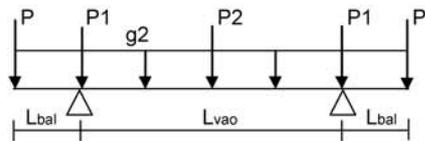


$$P_4 = [d \cdot o \cdot (k + m) + (o + n) \cdot 0,5 \cdot (h - p) \cdot k + (p - d) \cdot k \cdot o] \cdot \gamma_{conc}$$

h (m) = 1.950 n (m) = 0.750
 k (m) = 0.250 o (m) = 2.950
 d (m) = 0.400 p (m) = 0.600
 m (m) = 0.150

P_4 (tf) = 3.11

resumo dos esforços



$P = P_3 + P_4$ P (tf) = 7.04

g_2 (tf/m) = 1.263
 P (tf) = 7.04
 P_1 (tf) = 0.69
 P_2 (tf) = 0.77

Esforços Seccionais

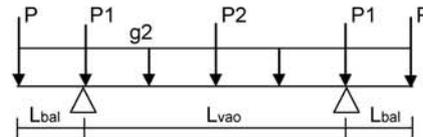
Reações

R_1 (tf) = 27.05
 R_2 (tf) = 27.05

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -7.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | -8.9 | -12.0 |
| 0 esq | -10.8 | -26.8 |
| 0 dir | 15.5 | -26.8 |
| 1 | 12.5 | 6.9 |
| 2 | 9.5 | 33.2 |
| 3 | 6.4 | 52.3 |
| 4 | 3.4 | 64.2 |

resumo dos esforços



$P = P_3$ P (tf) = 3.93

g_2 (tf/m) = 1.325
 P (tf) = 3.93
 P_1 (tf) = 1.38
 P_2 (tf) = 1.54

Esforços Seccionais

Reações

R_1 (tf) = 25.95
 R_2 (tf) = 25.95

Esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -3.9 | 0.0 |
| S1/2Bal | -5.9 | -7.4 |
| 0 esq | -7.9 | -17.7 |
| 0 dir | 16.7 | -17.7 |
| 1 | 13.5 | 18.4 |
| 2 | 10.3 | 47.0 |
| 3 | 7.1 | 67.9 |
| 4 | 4.0 | 81.2 |
| 5 | 0.8 | 86.9 |

Tensões

$\sigma_s = M / W_{s\text{isolada}}$

$\sigma_i = -M / W_{i\text{isolada}}$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -33 | 36 |
| 0 | - | -79 | 87 |
| 1 | - | 101 | -112 |
| 2 | - | 258 | -285 |
| 3 | - | 373 | -412 |
| 4 | - | 446 | -492 |
| 5 | - | 477 | -527 |

| | | |
|---|-----|------|
| 5 | 0.4 | 68.7 |
|---|-----|------|

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{isolada}$$

$$\sigma_i = - M / W_{isolada}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | -53 | 59 |
| 0 | - | -120 | 132 |
| 1 | - | 38 | -42 |
| 2 | - | 183 | -201 |
| 3 | - | 288 | -317 |
| 4 | - | 353 | -389 |
| 5 | - | 378 | -417 |

3.4 - Sobrecarga Permanente (g₃)

Viga de Bordo

carga distribuída

Pavimentação asfáltica

$$g_a = L * h * 2,40$$

$$h (m) = 0.10$$

$$L (m) = 2.13$$

$$g_a (tf/m) = 0.510$$

guarda-rodas

$$g_b (tf/m) = 0.580$$

$$g_3 = g_a + g_b$$

$$g_3 (tf/m) = 1.090$$

carga concentrada

Guarda rodas sobre a aba

$$P1 = g_b * L$$

$$L (m) = 2.950 \quad P (tf) = 1.71$$

Laje de acesso

$$P2 = (k * h * L * 2,50 / 2) / 5 \text{ vigas}$$

$$k (m) = 3.000$$

$$h (m) = 0.250$$

$$L (m) = 12.150$$

$$P2 (tf) = 2.28$$

Viga Central

carga distribuída

Pavimentação asfáltica

$$g_3 = L * h * 2,40$$

$$h (m) = 0.10$$

$$L (m) = 2.65$$

$$g_3 (tf/m) = 0.636$$

carga concentrada

Laje de acesso

$$P = (k * h * L * 2,50 / 2) / 5 \text{ vigas}$$

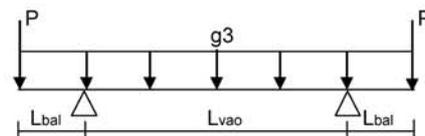
$$k (m) = 3.000$$

$$h (m) = 0.250$$

$$L (m) = 12.150$$

$$P (tf) = 2.28$$

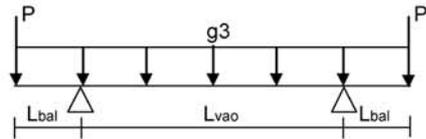
resumo dos esforços



$$P (tf) = 2.28$$

$$g_3 (tf/m) = 0.636$$

resumo dos esforços



$$P = P_1 + P_2$$

$$P \text{ (tf)} = 3.99$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1.090$$

Reações

$$R_1 \text{ (tf)} = 20.34$$

$$R_2 \text{ (tf)} = 20.34$$

esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -4.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | -5.6 | -7.2 |
| 0 esq | -7.3 | -16.9 |
| 0 dir | 13.1 | -16.9 |
| 1 | 10.5 | 11.4 |
| 2 | 7.8 | 33.4 |
| 3 | 5.2 | 49.1 |
| 4 | 2.6 | 58.5 |
| 5 | 0.0 | 61.6 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{s \text{ conjunto}}$$

$$\sigma_s' = M / W_{s' \text{ conjunto}}$$

$$\sigma_i = -M / W_i \text{ conjunto}$$

| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -12 | -8 | 22 |
| 0 | -28 | -18 | 51 |
| 1 | 19 | 11 | -47 |
| 2 | 56 | 33 | -139 |
| 3 | 83 | 49 | -204 |
| 4 | 98 | 58 | -244 |
| 5 | 104 | 61 | -257 |

Reações

$$R_1 \text{ (tf)} = 11.82$$

$$R_2 \text{ (tf)} = 11.82$$

esforços

| Seção | Q (tf) | M (tf.m) |
|---------|--------|----------|
| SExtBal | -2.3 | 0.0 |
| S1/2Bal | -3.23 | -4.1 |
| 0 esq | -4.2 | -9.7 |
| 0 dir | 7.6 | -9.7 |
| 1 | 6.1 | 6.8 |
| 2 | 4.6 | 19.6 |
| 3 | 3.1 | 28.8 |
| 4 | 1.5 | 34.3 |
| 5 | 0.0 | 36.1 |

Tensões

$$\sigma_s = M / W_{s \text{ conjunto}}$$

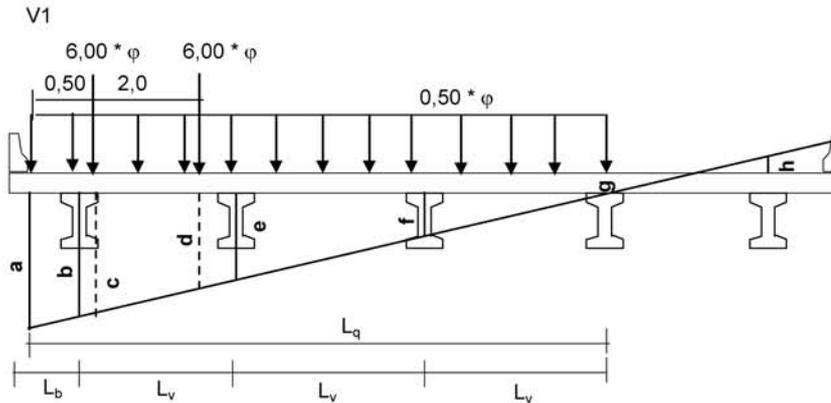
$$\sigma_s' = M / W_{s' \text{ conjunto}}$$

$$\sigma_i = -M / W_i \text{ conjunto}$$

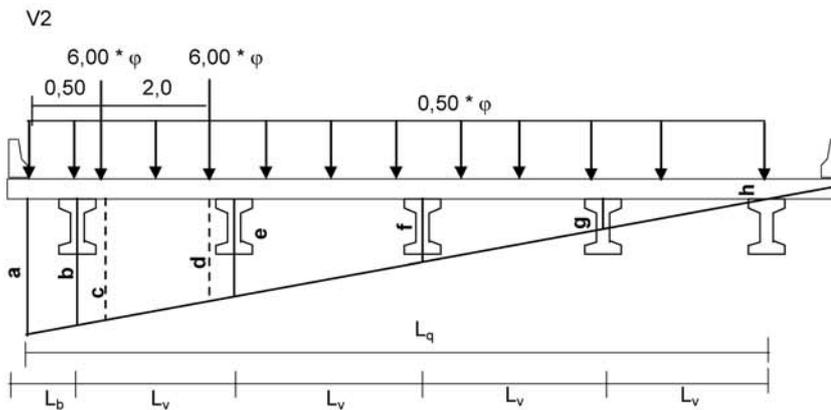
| Seção | σ_s (tf/m ²) | σ_s' (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
|---------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | -7 | -4 | 12 |
| 0 | -15 | -10 | 29 |
| 1 | 11 | 6 | -28 |
| 2 | 32 | 19 | -81 |
| 3 | 47 | 27 | -119 |
| 4 | 56 | 33 | -142 |
| 5 | 59 | 34 | -149 |

4 - Cálculo Esforços de Carga Móvel

4.1 - Distribuição transversal do trem-tipo para obtenção do trem-tipo longitudinal



| | | | |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|-------------------|
| L_b (m) = 1.20 | Vão (m) = 24.0 | | |
| L_v (m) = 2.65 | ϕ = 1.232 | | |
| a = 0.660 | c = 0.623 | e = 0.400 | g = 0.000 |
| b = 0.600 | d = 0.472 | f = 0.200 | L_q (m) = 8.750 |
| $P = 6 * \phi * (c + d)$ | | P (tf) = 8.089 | |
| $q = 0,50 * \phi * (a * L_q) / 2$ | | q (tf/m) = 1.780 | |



| | | | |
|-----------------------------------|-----------|--------------------|-----------|
| a = 0.430 | c = 0.411 | e = 0.300 | g = 0.100 |
| b = 0.400 | d = 0.336 | f = 0.200 | h = 0.000 |
| L_q (m) = 11.40 | | | |
| $P = 6 * \phi * (c + d)$ | | P (tf) = 5.523 | |
| $q = 0,50 * \phi * (a * L_q) / 2$ | | q (tf/m) = 1.510 | |

4.2 - Esforços internos devido ao carregamento do trem-tipo longitudinal

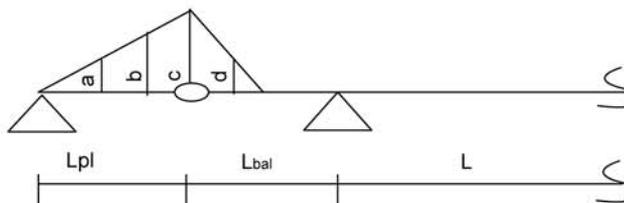
$$L_{pl} (m) = 3.000$$

$$L_{bal} (m) = 3.000$$

$$L (m) = 24.000$$

Linha de Influência Momento Fletor

LI Momento S_{1/2} balanço



$$a = (L_{pl} - 3,00) * (c / L_{pl}) \qquad a = 0,000$$

$$b = (L_{pl} - 1,50) * (c / L_{pl}) \qquad b = 0,750$$

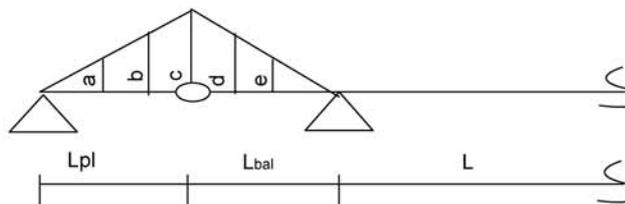
$$c = 0,50 * L_{bal} \qquad c = 1,500$$

$$d = (0,5 * L_{bal} - 1,50) * [c / (0,50 * L_{bal})] \qquad d = 0,000$$

$$M_{1/2_min} = -p * [c * (L_{pl} + 0,50 * L_{bal}) * 0,50] - P * maior(a + b + c; b + c + d)$$

$$M_{1/2_max} = 0$$

LI Momento S₀



$$a = (L_{pl} - 3,00) * (c / L_{pl}) \qquad a = 0,000$$

$$b = (L_{pl} - 1,50) * (c / L_{pl}) \qquad b = 1,500$$

$$c = L_{bal} \qquad c = 3,000$$

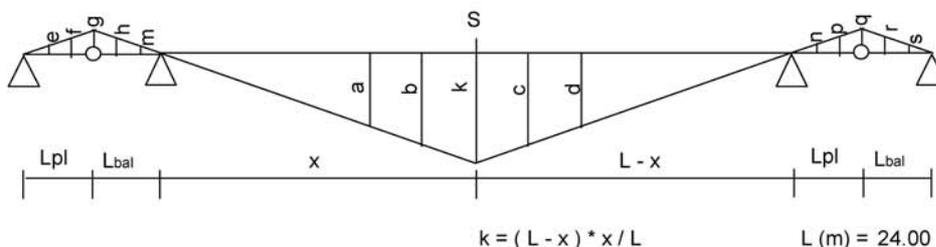
$$d = (L_{bal} - 1,50) * (c / L_{bal}) \qquad d = 1,500$$

$$e = (L_{bal} - 3,00) * (c / L_{bal}) \qquad e = 0,000$$

$$M_{S0_min} = -p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) * 0,50] - P * [c + maior(a + b; b + d; d + e)]$$

$$M_{S0_max} = 0$$

LI Momento S₁ a S₅



$$k = (L - x) * x / L \qquad L (m) = 24,00$$

$$\begin{aligned}
 a &= (x - 3,0) * (L - x) / L & f &= (L_{pl} - 1,50) * (g / L_{pl}) & p &= (L_{bal} - 1,50) * (q / L_{bal}) \\
 b &= (x - 1,5) * (L - x) / L & g &= L_{bal} * (k / x) & q &= L_{bal} * [k / (L - x)] \\
 c &= [(L - x) - 1,5] * x / L & h &= (L_{bal} - 1,50) * (g / L_{bal}) & r &= (L_{pl} - 1,50) * (q / L_{pl}) \\
 d &= [(L - x) - 3,0] * x / L & m &= (L_{bal} - 3,00) * (m / L_{bal}) & s &= (L_{pl} - 3,00) * (q / L_{pl}) \\
 e &= (L_{pl} - 3,00) * (g / L_{pl}) & n &= (L_{bal} - 3,00) * (q / L_{bal})
 \end{aligned}$$

| Seção | x (m) | k | a | b | c | d |
|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.4 | 2.160 | -0.540 | 0.810 | 2.010 | 1.860 |
| S2 | 4.80 | 3.840 | 1.440 | 2.640 | 3.540 | 3.240 |
| S3 | 7.20 | 5.040 | 2.940 | 3.990 | 4.590 | 4.140 |
| S4 | 9.60 | 5.760 | 3.960 | 4.860 | 5.160 | 4.560 |
| S5 | 12.00 | 6.000 | 4.500 | 5.250 | 5.250 | 4.500 |

$$M_{max} = P * [k + \text{maior}(a + b; b + c; c + d)] + p * (L * k / 2)$$

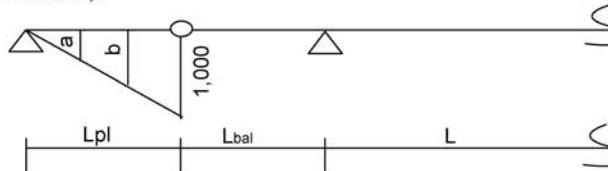
| Seção | x (m) | e | f | g | h | m |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.40 | 0.000 | 1.350 | 2.700 | 1.350 | 0.000 |
| S2 | 4.80 | 0.000 | 1.200 | 2.400 | 1.200 | 0.000 |
| S3 | 7.20 | 0.000 | 1.050 | 2.100 | 1.050 | 0.000 |
| S4 | 9.60 | 0.000 | 0.900 | 1.800 | 0.900 | 0.000 |
| S5 | 12.00 | 0.000 | 0.750 | 1.500 | 0.750 | 0.000 |

| Seção | x (m) | n | p | q | r | s |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.40 | 0.000 | 0.150 | 0.300 | 0.150 | 0.000 |
| S2 | 4.80 | 0.000 | 0.300 | 0.600 | 0.300 | 0.000 |
| S3 | 7.20 | 0.000 | 0.450 | 0.900 | 0.450 | 0.000 |
| S4 | 9.60 | 0.000 | 0.600 | 1.200 | 0.600 | 0.000 |
| S5 | 12.00 | 0.000 | 0.750 | 1.500 | 0.750 | 0.000 |

$$M_{min} = -P * [\text{maior}(e + f + g; f + g + h; g + h + m; n + p + q; p + q + r; q + r + s)] - p * [(L + L_{bal}) * (g + q) / 2]$$

Linha de Influência de Esforço Cortante

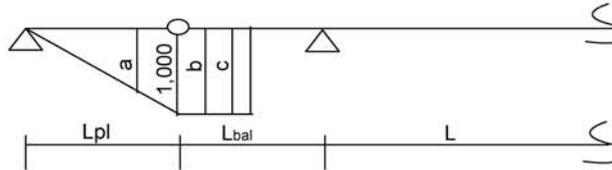
LI Cortante $S_{extr. \text{ balanço}}$



$$\begin{aligned}
 a &= (L_{pl} - 3,00) / L_{pl} & a &= 0,000 \\
 b &= (L_{pl} - 1,50) / L_{pl} & b &= 0,500
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{extr_max} &= p * L_{pl} / 2 + P * (a + b + 1,000) \\
 Q_{extr_min} &= 0
 \end{aligned}$$

LI Cortante S_{1/2}. balanço



$$a = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl}$$

$$a = 0,500$$

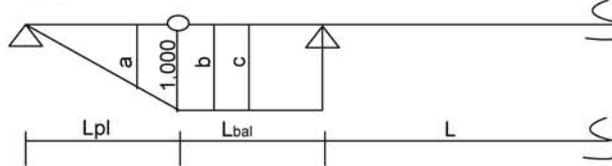
$$b = 1,000$$

$$c = 1,000$$

$$Q_{1/2bal_max} = p * (L_{pl} / 2 + L_{bal} / 2) + P * [1,000 + \text{maior}(a + b ; b + c)]$$

$$Q_{1/2bal_min} = 0$$

LI Cortante S₀.esq



$$a = (L_{pl} - 1,50) / L_{pl}$$

$$a = 0,500$$

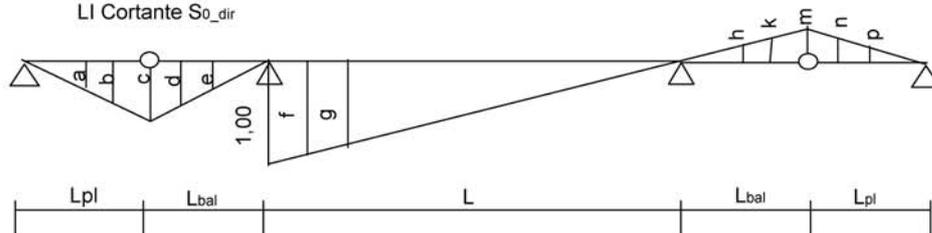
$$b = 1,000$$

$$c = 1,000$$

$$Q_{S0esq_max} = p * (L_{pl} / 2 + L_{bal}) + P * [1,000 + \text{maior}(a + b ; b + c)]$$

$$Q_{S0esq_min} = 0$$

LI Cortante S₀.dir



$$a = (L_{pl} - 3,00) * c / L_{pl}$$

$$g = (L - 3,00) * (1,000 / L)$$

$$b = (L_{pl} - 1,50) * c / L_{pl}$$

$$h = (L_{bal} - 3,00) * m / L_{bal}$$

$$c = L_{bal} * (1 / L)$$

$$k = (L_{bal} - 1,50) * m / L_{bal}$$

$$d = (L_{bal} - 1,50) * (c / L_{bal})$$

$$m = L_{bal} * (1 / L)$$

$$e = (L_{bal} - 3,00) * (c / L_{bal})$$

$$n = (L_{pl} - 1,50) * m / L_{pl}$$

$$f = (L - 1,50) * (1,000 / L)$$

$$p = (L_{pl} - 3,00) * m / L_{pl}$$

$$a = 0,000$$

$$e = 0,000$$

$$k = 0,008$$

$$b = 0,063$$

$$f = 0,938$$

$$m = 0,125$$

$$c = 0,125$$

$$g = 0,875$$

$$n = 0,008$$

$$d = 0,063$$

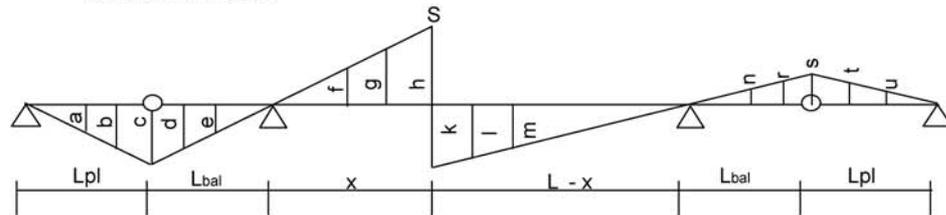
$$h = 0,000$$

$$p = 0,000$$

$$Q_{S0dir_max} = p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + 1,000 * L / 2] + P * [\text{maior}(a + b + c ; b + c + d ; c + d + e ; 1,000 + f + g)]$$

$$Q_{S0dir_min} = -p * m * (L_{bal} + L_{pl}) / 2 - P * \text{maior}(h + k + m ; k + n + m ; m + n + p)$$

LI Cortante S1 a S5



$$\begin{aligned}
 a &= (L_{pl} - 3,00) * c / L_{pl} & f &= (x - 3,00) * h / x & m &= (L - x - 3,00) * k / (L - x) \\
 b &= (L_{pl} - 1,50) * c / L_{pl} & g &= (x - 1,5) * h / x & n &= (L_{bal} - 3,00) * s / L_{bal} \\
 c &= L_{bal} * h / x & h &= x / L & r &= (L_{bal} - 1,50) * s / L_{bal} \\
 d &= (L_{bal} - 1,50) * c / L_{bal} & k &= (L - x) / L & s &= L_{bal} * k / (L - x) \\
 e &= (L_{bal} - 3,00) * c / L_{bal} & l &= (L - x - 1,50) * k / (L - x) & t &= (L_{pl} - 1,50) * s / L_{pl} \\
 & & & & u &= (L_{pl} - 3,00) * s / L_{pl}
 \end{aligned}$$

$L (m) = 24.000$

$L_{pl} (m) = 3.000$
 $L_{bal} (m) = 3.000$

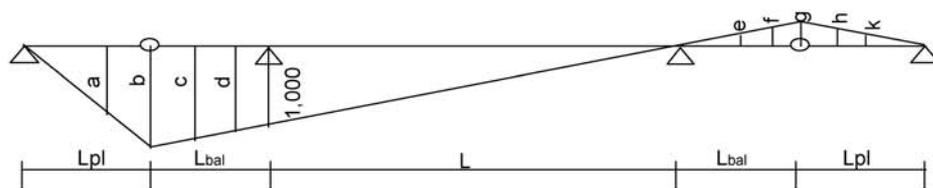
| Seção | x (m) | a | b | c | d | e | k | l | m |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.40 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 | 0.900 | 0.838 | 0.775 |
| S2 | 4.80 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 | 0.800 | 0.738 | 0.675 |
| S3 | 7.20 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 | 0.700 | 0.638 | 0.575 |
| S4 | 9.60 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 | 0.600 | 0.538 | 0.475 |
| S5 | 12.00 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 | 0.500 | 0.438 | 0.375 |

$e ; k + l + m) + p * [c * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + k * (L - x) / 2]$

| Seção | x (m) | f | g | h | n | r | s | t | u |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1 | 2.40 | -0.025 | 0.038 | 0.100 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 |
| S2 | 4.80 | 0.075 | 0.138 | 0.200 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 |
| S3 | 7.20 | 0.175 | 0.238 | 0.300 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 |
| S4 | 9.60 | 0.275 | 0.338 | 0.400 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 |
| S5 | 12.00 | 0.375 | 0.438 | 0.500 | 0.000 | 0.063 | 0.125 | 0.063 | 0.000 |

$s + t ; s + t + u) - p * [s * (L_{pl} + L_{bal}) / 2 + h * x / 2]$

LI Reação de apoio



$$\begin{aligned}
 a &= (L_{pl} - 1,50) * b / L_{pl} & f &= (L_{bal} - 1,50) * g / L_{bal} & a &= 0.563 & f &= 0.063 \\
 b &= (L_{bal} + L) * (1 / L) & g &= L_{bal} * (1 / L) & b &= 1.125 & g &= 0.125 \\
 c &= (L_{bal} + L - 1,50) * (1 / L) & h &= (L_{pl} - 1,50) * g / L_{pl} & c &= 1.063 & h &= 0.063 \\
 d &= (L_{bal} + L - 3,00) * (1 / L) & k &= (L_{pl} - 3,00) * g / L_{pl} & d &= 1.000 & k &= 0.000 \\
 e &= (L_{bal} - 3,00) * g / L_{bal} & & & e &= 0.000 & &
 \end{aligned}$$

$R_{max} = p * [b * (L_{pl} + L_{bal} + L) / 2] + P * [maior (a + b + c ; b + c + d)]$
 $R_{min} = -p * [g * (L_{pl} + L_{bal}) / 2] - P * [maior (e + f + g ; f + g + h ; g + h + k)]$

Esforços Viga V1

P (tf) = 8.089
p (tf/m) = 1.780

R_{max} (tf) = 55.82
R_{min} (tf) = -2.7

| Seção | Cortante | | Momento | |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Q+ (tf.m) | Q- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| S _{ExtBal} | 14.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S _{1/2Bal} | 29.6 | 0.0 | 0.0 | -24.2 |
| S0 esq | 32.3 | 0.0 | 0.0 | -64.6 |
| S0 dir | 44.8 | -1.8 | 0.0 | -64.6 |
| S1 | 38.3 | -2.9 | 94.9 | -59.7 |
| S2 | 32.2 | -4.9 | 167.9 | -54.8 |
| S3 | 26.6 | -8.4 | 219.0 | -50.0 |
| S4 | 21.4 | -12.3 | 250.7 | -45.1 |
| S5 | 16.6 | -16.6 | 261.6 | -40.3 |

Tensões normais

$$\sigma_s = M / Ws_{corrente}$$

$$\sigma_s' = M / Ws'_{corrente}$$

$$\sigma_i = - M / Wi_{corrente}$$

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Momento Máximo | | | Momento Mínimo | | |
|---------------------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| S _{ExtBal} | 0.612 | 0.919 | 0.331 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S _{1/2Bal} | 0.612 | 0.919 | 0.331 | 0 | 0 | 0 | -40 | -26 | 73 |
| 0 | 0.612 | 0.919 | 0.331 | 0 | 0 | 0 | -105 | -70 | 195 |
| 1 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 160 | 95 | -395 | -101 | -59 | 249 |
| 2 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 283 | 167 | -700 | -92 | -55 | 229 |
| 3 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 369 | 218 | -913 | -84 | -50 | 208 |
| 4 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 422 | 250 | -1044 | -76 | -45 | 188 |
| 5 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 440 | 261 | -1090 | -68 | -40 | 168 |

Esforços Viga V2

P (tf) = 5.523
p (tf/m) = 1.510

R_{max} (tf) = 43.1
R_{min} (tf) = -1.9

| Seção | Cortante | | Momento | |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Q+ (tf.m) | Q- (tf.m) | M+ (tf.m) | M- (tf.m) |
| S _{ExtBal} | 10.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S _{1/2Bal} | 21.1 | 0.0 | 0.0 | -15.0 |
| S0 esq | 23.4 | 0.0 | 0.0 | -46.7 |
| S0 dir | 34.2 | -1.3 | 0.0 | -46.7 |
| S1 | 29.1 | -2.1 | 72.5 | -43.4 |
| S2 | 24.4 | -3.6 | 128.3 | -40.1 |
| S3 | 20.0 | -6.1 | 167.4 | -36.8 |
| S4 | 16.0 | -9.1 | 191.6 | -33.5 |
| S5 | 12.3 | -12.3 | 199.9 | -30.2 |

Tensões normais

| Seção | Ws (m3) | Ws' (m3) | Wi (m3) | Momento Máximo | | | Momento Mínimo | | |
|---------------------|---------|----------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| S _{ExtBal} | 0.632 | 0.959 | 0.334 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S _{1/2Bal} | 0.632 | 0.959 | 0.334 | 0 | 0 | 0 | -24 | -16 | 45 |
| 0 | 0.632 | 0.959 | 0.334 | 0 | 0 | 0 | -74 | -49 | 140 |
| 1 | 0.614 | 1.054 | 0.242 | 118 | 69 | -299 | -71 | -41 | 179 |
| 2 | 0.614 | 1.054 | 0.242 | 209 | 122 | -530 | -65 | -38 | 166 |
| 3 | 0.614 | 1.054 | 0.242 | 273 | 159 | -692 | -60 | -35 | 152 |
| 4 | 0.614 | 1.054 | 0.242 | 312 | 182 | -792 | -55 | -32 | 138 |
| 5 | 0.614 | 1.054 | 0.242 | 326 | 190 | -826 | -49 | -29 | 125 |

5-Esforços de Protensão

Os esforços de protensão foram obtidos com o uso do programa "VEPRO" cuja listagem encontra-se anexa. Os resumos dos esforços em cada etapa de protensão estão resumidos a seguir.

Primeira etapa de protensão

| Tempo T = 0 | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 320.7 | 15.7 | 75.9 |
| 0 esq | 339.1 | 0.0 | 110.7 |
| 0 dir | 339.1 | 0.0 | 110.7 |
| 1 | 353.0 | -62.5 | 33.2 |
| 2 | 355.3 | -56.3 | -142.0 |
| 3 | 358.1 | -14.2 | -227.1 |
| 4 | 353.1 | 0.0 | -232.8 |
| 5 | 350.9 | 0.0 | -231.4 |

| Tempo T = ∞ | | | |
|-------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| SExtBal | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S1/2Bal | 267.0 | 13.1 | 63.2 |
| 0 esq | 282.1 | 0.0 | 92.1 |
| 0 dir | 282.1 | 0.0 | 92.1 |
| 1 | 288.4 | -51.0 | 27.1 |
| 2 | 286.9 | -45.5 | -114.6 |
| 3 | 280.3 | -11.1 | -177.7 |
| 4 | 278.2 | 0.0 | -183.4 |
| 5 | 277.9 | 0.0 | -183.2 |

$$\sigma_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma'_s = N / S + M / W'_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | Tempo T = 0 | | |
|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0.793 | - | 0.224 | 0.203 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.793 | - | 0.224 | 0.203 | - | 743 | 31 |
| 0 | 0.793 | - | 0.224 | 0.203 | - | 922 | -118 |
| 1 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | 945 | 561 |
| 2 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | -13 | 1628 |
| 3 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | -474 | 2150 |
| 4 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | -516 | 2174 |
| 5 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | -514 | 2160 |

| Seção | S (m ²) | Ws (m ³) | Ws' (m ³) | Wi (m ³) | Tempo T = ∞ | | |
|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | σ_s (tf/m ²) | σ'_s (tf/m ²) | σ_i (tf/m ²) |
| SExtBal | 0.793 | - | 0.224 | 0.203 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0.793 | - | 0.224 | 0.203 | - | 619 | 25 |
| 0 | 0.793 | - | 0.224 | 0.203 | - | 767 | -98 |
| 1 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | 772 | 459 |
| 2 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | -10 | 1314 |
| 3 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | -371 | 1682 |
| 4 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | -407 | 1712 |
| 5 | 0.463 | - | 0.182 | 0.165 | - | -406 | 1711 |

Segunda etapa de protensão

| Tempo T = 0 | | | |
|---------------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| S _{ExtBal} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S _{1/2Bal} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0 esq | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0 dir | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 137.8 | -36.3 | -57.7 |
| 4 | 150.6 | -10.3 | -137.1 |
| 5 | 155.1 | 0.0 | -147.8 |

| Tempo T = ∞ | | | |
|---------------------|--------|--------|----------|
| Seção | N (tf) | Q (tf) | M (tf.m) |
| S _{ExtBal} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S _{1/2Bal} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0 esq | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0 dir | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 113.3 | -29.8 | -47.4 |
| 4 | 113.5 | -7.7 | -103.4 |
| 5 | 117.4 | 0.0 | -111.8 |

$$\sigma_s = N / S + M / W_s$$

$$\sigma'_s = N / S + M / W'_s$$

$$\sigma_i = N / S - M / W_s$$

| Tempo T = 0 | | | | | | | |
|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Seção | S (m ²) | W _s (m ³) | W _s ' (m ³) | W _i (m ³) | σ _s (tf/m ²) | σ' _s (tf/m ²) | σ _i (tf/m ²) |
| S _{ExtBal} | 1.298 | 0.612 | 0.919 | 0.331 | 0 | 0 | 0 |
| S _{1/2Bal} | 1.298 | 0.612 | 0.919 | 0.331 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1.298 | 0.612 | 0.919 | 0.331 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 45 | 85 | 383 |
| 4 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | -75 | 19 | 727 |
| 5 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | -89 | 13 | 776 |

| Tempo T = ∞ | | | | | | | |
|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Seção | S (m ²) | W _s (m ³) | W _s ' (m ³) | W _i (m ³) | σ _s (tf/m ²) | σ' _s (tf/m ²) | σ _i (tf/m ²) |
| S _{ExtBal} | 1.298 | 0.612 | 0.919 | 0.331 | 0 | 0 | 0 |
| S _{1/2Bal} | 1.298 | 0.612 | 0.919 | 0.331 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1.298 | 0.612 | 0.919 | 0.331 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | 37 | 70 | 315 |
| 4 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | -57 | 14 | 548 |
| 5 | 0.968 | 0.594 | 1.003 | 0.240 | -67 | 10 | 587 |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

VIGA DE 30.00m - Viga de Bordo - 1a. Protensão

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

24.00 3.00 3.00

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 6.05 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| -1 | .793 | .159 | .224 | .203 | .783 |
| 0 | .793 | .159 | .224 | .203 | .783 |
| 1 | .463 | .130 | .182 | .165 | .788 |
| 2 | .463 | .130 | .182 | .165 | .788 |
| 3 | .463 | .130 | .182 | .165 | .788 |
| 4 | .463 | .130 | .182 | .165 | .788 |
| 5 | .463 | .130 | .182 | .165 | .788 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C1

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.85 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .50 /FINAL= .50 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|--|------------|
| -1 | 1.37 | 3.50 | 14153. | 11174. |
| 0 | 1.40 | .00 | 13887. | 11441. |
| 1 | 1.25 | -7.00 | 13388. | 11939. |
| 2 | .80 | -12.50 | 12993. | 12335. |
| 3 | .31 | -8.00 | 12664. | 12664. |
| 4 | .20 | .00 | 12156. | 12156. |
| 5 | .20 | .00 | 12084. | 12084. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C2

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.85 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|---|
| -1 | 1.19 | 6.00 | 14184. | 11575. |
| 0 | 1.25 | .00 | 13766. | 11994. |
| 1 | 1.09 | -8.00 | 13214. | 12545. |
| 2 | .55 | -12.50 | 12880. | 12880. |
| 3 | .21 | -2.50 | 12256. | 12256. |
| 4 | .20 | .00 | 12051. | 12051. |
| 5 | .20 | .00 | 11979. | 11979. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 3 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C3

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.85 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .50 /FINAL= .50 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|---|
| -1 | 1.01 | 7.50 | 14153. | 10359. |
| 0 | 1.15 | .00 | 13646. | 10866. |
| 1 | .89 | -9.00 | 13042. | 11470. |
| 2 | .34 | -10.50 | 12880. | 11632. |
| 3 | .08 | -.50 | 12256. | 12256. |
| 4 | .08 | .00 | 12156. | 12156. |
| 5 | .08 | .00 | 12084. | 12084. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 4 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C4

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.85 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.50 /FINAL= 1.50 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|---|
| -1 | .84 | 8.50 | 14092. | 11167. |
| 0 | .95 | .00 | 13528. | 11731. |
| 1 | .71 | -10.50 | 12845. | 12414. |
| 2 | .16 | -8.00 | 12629. | 12629. |
| 3 | .08 | .00 | 12123. | 12123. |
| 4 | .08 | .00 | 12051. | 12051. |
| 5 | .08 | .00 | 11979. | 11979. |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 5 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C5

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.85 /FINAL= 1.85 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES -1 E 11

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|---|
| -1 | .66 | -12.00 | 14184. | 10732. |
| 0 | .80 | .00 | 13410. | 11506. |
| 1 | .47 | -15.50 | 12458. | 12458. |
| 2 | .08 | -1.00 | 11625. | 11625. |
| 3 | .08 | .00 | 11505. | 11505. |
| 4 | .08 | .00 | 11436. | 11436. |
| 5 | .08 | .00 | 11368. | 11368. |

1

TENSÃO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSÃO SUCESSIVA = 297.2 KG/CM2

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSÃO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| -1 | .24 | 4.95 | 10705.7 |
| 0 | .33 | 5.00 | 11210.4 |
| 1 | .09 | 4.92 | 11866.5 |
| 2 | -.40 | 4.93 | 11920.5 |
| 3 | -.63 | 4.99 | 11862.6 |
| 4 | -.66 | 5.00 | 11672.8 |
| 5 | -.66 | 5.00 | 11601.2 |

1

ESFORÇOS RESULTANTES DA PROTENSÃO

| SECAO | ESFORÇO NORMAL PROT (T) | ESFORÇO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSÃO ISOST SUP. (T/M2) | TENSÃO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSÃO HIPER SUP. (T/M2) | TENSÃO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 320.7 | 15.7 | 75.9 | 743.1 | 30.7 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 339.1 | .0 | 110.7 | 922.0 | -117.8 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | 353.0 | -62.5 | 33.2 | 944.7 | 561.5 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 355.3 | -56.3 | -142.0 | -12.7 | 1627.6 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 358.1 | -14.2 | -227.1 | -474.2 | 2149.5 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 353.1 | .0 | -232.8 | -516.6 | 2173.6 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 350.9 | .0 | -231.4 | -513.4 | 2160.3 | .0 | .0 | .0 |

REAÇÕES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTÁTICO DA PROTENSÃO

| APOIO | REAÇÃO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | -14.0 | 16.0 | -53.0 | 59.0 |
| 0 | -49.0 | 54.0 | -120.0 | 132.0 |
| 1 | 109.0 | -121.0 | 38.0 | -42.0 |
| 2 | 237.0 | -262.0 | 183.0 | -201.0 |
| 3 | 329.0 | -363.0 | 288.0 | -317.0 |
| 4 | 384.0 | -424.0 | 353.0 | -389.0 |
| 5 | 402.0 | -444.0 | 378.0 | -417.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=0

NOTAS :
 1) TENSÕES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
 2) COMPRESSÃO = + / TRACAO = -
 3) F1=P+G1
 F2=F1+G2

| SECAO | | F1 | F2 |
|-------|---|--------|--------|
| -1 | S | 729.1 | 676.1 |
| -1 | I | 46.7 | 105.7 |
| 0 | S | 873.0 | 753.0 |
| 0 | I | -63.8 | 68.2 |
| 1 | S | 1053.7 | 1091.7 |
| 1 | I | 440.5 | 398.5 |
| 2 | S | 224.3 | 407.3 |
| 2 | I | 1365.6 | 1164.6 |
| 3 | S | -145.2 | 142.8 |
| 3 | I | 1786.5 | 1469.5 |
| 4 | S | -132.6 | 220.4 |
| 4 | I | 1749.6 | 1360.6 |
| 5 | S | -111.4 | 266.6 |
| 5 | I | 1716.3 | 1299.3 |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
| -1 | 482.8 | 680.3 | 630.0 | 1793.1 | 8912.6 |
| 0 | 474.5 | 780.7 | 630.0 | 1885.2 | 9325.2 |
| 1 | 468.3 | 1075.2 | 630.0 | 2173.5 | 9693.0 |
| 2 | 442.7 | 1221.9 | 630.0 | 2294.6 | 9626.0 |
| 3 | 405.8 | 1542.0 | 630.0 | 2577.8 | 9284.8 |
| 4 | 401.2 | 1443.9 | 630.0 | 2475.1 | 9197.6 |
| 5 | 401.2 | 1384.3 | 630.0 | 2415.6 | 9185.6 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | 267.0 | 13.1 | 63.2 | 618.6 | 25.5 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | 282.1 | .0 | 92.1 | 766.9 | -98.0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | 288.4 | -51.0 | 27.1 | 771.7 | 458.6 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | 286.9 | -45.5 | -114.6 | -10.2 | 1314.3 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 280.3 | -11.1 | -177.7 | -371.1 | 1682.4 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 278.2 | .0 | -183.4 | -407.0 | 1712.7 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 277.9 | .0 | -183.2 | -406.5 | 1710.5 | .0 | .0 | .0 |

1

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

TENSÕES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | CARGA PERMAN. G1 | | CARGA PERMAN. G2 | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | -14.0 | 16.0 | -53.0 | 59.0 |
| 0 | -49.0 | 54.0 | -120.0 | 132.0 |
| 1 | 109.0 | -121.0 | 38.0 | -42.0 |
| 2 | 237.0 | -262.0 | 183.0 | -201.0 |
| 3 | 329.0 | -363.0 | 288.0 | -317.0 |

| | | | | | |
|---|---|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 4 | 384.0 | -424.0 | 353.0 | -389.0 |
| | 5 | 402.0 | -444.0 | 378.0 | -417.0 |

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

=====

TEMPO T=INFINITO

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
 3)F1=P+G1
 F2=F1+G2

| SECAO | | F1 | F2 |
|-------|---|--------|--------|
| -1 | S | 604.6 | 551.6 |
| -1 | I | 41.5 | 100.5 |
| 0 | S | 717.9 | 597.9 |
| 0 | I | -44.0 | 88.0 |
| 1 | S | 880.7 | 918.7 |
| 1 | I | 337.6 | 295.6 |
| 2 | S | 226.8 | 409.8 |
| 2 | I | 1052.3 | 851.3 |
| 3 | S | -42.1 | 245.9 |
| 3 | I | 1319.4 | 1002.4 |
| 4 | S | -23.0 | 330.0 |
| 4 | I | 1288.7 | 899.7 |
| 5 | S | -4.5 | 373.5 |
| 5 | I | 1266.5 | 849.5 |

1

ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)

=====

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 97. | 97. | 195. |
| 2 | 96. | 96. | 192. |
| 3 | 96. | 96. | 192. |
| 4 | 95. | 95. | 190. |
| 5 | 91. | 91. | 182. |

1

PROGRAMA PARA CALCULO DA PROTENSAO E VERIFICACAO DA VIGA NA FASE ELASTICA
=====

1

VIGA DE 30.00m - Viga de Bordo - 2a. Protensao

COMPRIMENTO DOS VAOS E DOS BALANCOS (EM METROS)

24.00 3.00 3.00

UNIDADE DE PROTENSAO CABO DE 6 CORDOALHAS DIAM. 12.7mm CP 190 RB

FPTK=19000.0 KG/CM2 FP(0.1)K=17200.0 KG/CM2 ASP= 6.05 CM2

MODULO E= 1950000. KC/CM2 ENCURTAMENTO NA CRAVACAO= 6.0 MM

TENSAO MAXIMA INICIAL= 14250. KG/CM2 (APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

COEF. ATRITO = .25 DESV. PARASITA = .010 RAD/M

PARAMETROS PARA O CALCULO DAS PERDAS DIFERIDAS:

ECS= 27.00/100000 (DEF. DE RETRACAO)

FI= 2.50 (FUNCAO DE FLUENCIA)

PRP= 840.0 KG/CM2 (PERDA POR RELAXACAO PURA)

P0+G1+G2+G3 SAO CONSIDERADOS NA FLUENCIA

1

CARACTERISTICAS DAS SECOES

| SECAO | AC (M2) | I (M4) | WS (M3) | WI (M3) | YI (M) |
|-------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| -1 | 1.298 | .365 | .919 | .331 | 1.103 |
| 0 | 1.298 | .365 | .919 | .331 | 1.103 |
| 1 | .968 | .291 | 1.003 | .240 | 1.213 |
| 2 | .968 | .291 | 1.003 | .240 | 1.213 |
| 3 | .968 | .291 | 1.003 | .240 | 1.213 |
| 4 | .968 | .291 | 1.003 | .240 | 1.213 |
| 5 | .968 | .291 | 1.003 | .240 | 1.213 |

1

GRUPO DE CABOS NUM. 1 (1 CABOS)
=====

CABOS NUM. C6

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 3.40 /FINAL= 3.40 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .00 /FINAL= .00 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|--|------------|
| 3 | .59 | -15.00 | 14129. | 11874. |
| 4 | .20 | .00 | 13155. | 12848. |
| 5 | .20 | .00 | 13076. | 12927. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCVEL DO CABO

GRUPO DE CABOS NUM. 2 (1 CABOS)

CABOS NUM. C7

ANCORAGENS VIVA-VIVA (CODIGO 0)

DISTANCIA ENTRE A ANCORAGEM DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= 1.90 /FINAL= 1.90 /

DESVIO ANGULAR ENTRE A ANCOR. DO CABO E A SECAO DE CALCULO MAIS PROXIMA /INIC= .50 /FINAL= .50 /

O CABO CONTRIBUI PARA A RESISTENCIA DA VIGA NO INTERVALO ENTRE AS SECOES 3 E 7

COTAS,DECLIVIDADES E TENSOES NO CABO APOS PERDAS POR ATRITO

| SECAO | COTAS | DECL. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO ANTES DA CRAV. | TENSOES APOS PERDAS P/ATRITO APOS CRAV. |
|-------|-------|--------|---|---|
| 3 | 1.00 | -14.50 | 14152. | 11723. |
| 4 | .41 | -8.00 | 13674. | 12201. |
| 5 | .32 | .00 | 13126. | 12749. |

1 PERDAS POR CRAVACAO DO CONE ATINGIRAM O PONTO INDESLOCAVEL DO CABO

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T = 0)

PERDA POR PROTENSAO SUCESSIVA = 21.6 KG/CM2

| SECAO | EXCENTR. PONDERADA | NUM. TOTAL PONDERADO DE CABOS | TENSAO NO CABO MEDIO |
|-------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| -1 | .00 | .00 | -21.6 |
| 0 | .00 | .00 | -21.6 |
| 1 | .00 | .00 | -21.6 |
| 2 | .00 | .00 | -21.6 |
| 3 | -.42 | 1.93 | 11776.9 |
| 4 | -.91 | 1.99 | 12504.7 |
| 5 | -.95 | 2.00 | 12816.5 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| -1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 137.8 | -36.3 | -57.7 | 84.9 | 382.7 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 150.6 | -10.3 | -137.1 | 18.8 | 726.9 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 155.1 | .0 | -147.8 | 12.9 | 775.9 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | FASE 2 1ª PROT. | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|-----------------|--------|------------------|--------|------------------|---------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | 676.1 | 105.7 | -8.0 | 22.0 | .0 | .0 | -26.0 | 73.0 |
| 0 | 753.0 | 68.2 | -18.0 | 51.0 | .0 | .0 | -70.0 | 195.0 |
| 1 | 1091.7 | 398.5 | 11.0 | -47.0 | 95.0 | -395.0 | -59.0 | 249.0 |
| 2 | 407.3 | 1164.6 | 33.0 | -139.0 | 167.0 | -700.0 | -55.0 | 229.0 |
| 3 | 142.8 | 1469.5 | 49.0 | -204.0 | 218.0 | -913.0 | -50.0 | 208.0 |
| 4 | 220.4 | 1360.6 | 58.0 | -244.0 | 250.0 | -1044.0 | -45.0 | 188.0 |
| 5 | 266.6 | 1299.3 | 61.0 | -257.0 | 261.0 | -1090.0 | -40.0 | 168.0 |

1

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

TEMPO T=0

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3)F3=F2+2ªPROT.
- F4=F3+G3
- F5=F4+I.QMAX
- F6=F4+I.QMIN

| SECAO | | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------|---|--------|--------|--------|--------|
| -1 | S | 676.1 | 668.1 | 668.1 | 642.1 |
| -1 | I | 105.7 | 127.7 | 127.7 | 200.7 |
| 0 | S | 753.0 | 735.0 | 735.0 | 665.0 |
| 0 | I | 68.2 | 119.2 | 119.2 | 314.2 |
| 1 | S | 1091.7 | 1102.7 | 1197.7 | 1043.7 |
| 1 | I | 398.5 | 351.5 | -43.5 | 600.5 |
| 2 | S | 407.3 | 440.3 | 607.3 | 385.3 |
| 2 | I | 1164.6 | 1025.6 | 325.6 | 1254.6 |
| 3 | S | 227.7 | 276.7 | 494.7 | 226.7 |
| 3 | I | 1852.2 | 1648.2 | 735.2 | 1856.2 |
| 4 | S | 239.2 | 297.2 | 547.2 | 252.2 |
| 4 | I | 2087.5 | 1843.5 | 799.5 | 2031.5 |
| 5 | S | 279.5 | 340.5 | 601.5 | 300.5 |
| 5 | I | 2075.2 | 1818.2 | 728.2 | 1986.2 |

1

TENSAO MEDIA PONDERADA NOS CABOS (EM KG/CM2)

(NO TEMPO T=INFINITO)

| SECAO | RETRACAO DO CONCR. | DEFORM. LENTA | RELAXACAO DO ACO | PERDA TOTAL | TENSAO FINAL NO CABO |
|-------|--------------------|---------------|------------------|-------------|----------------------|
| -1 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1178.1 |
| 0 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1178.1 |
| 1 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1178.1 |
| 2 | 526.5 | .0 | 630.0 | 1156.5 | -1178.1 |
| 3 | 508.3 | 958.9 | 630.0 | 2097.2 | 9679.7 |
| 4 | 484.1 | 1963.0 | 630.0 | 3077.1 | 9427.7 |
| 5 | 481.2 | 2005.9 | 630.0 | 3117.1 | 9699.5 |

1

ESFORCOS RESULTANTES DA PROTENSAO

| SECAO | ESFORCO NORMAL PROT (T) | ESFORCO CORT. PROT (T) | MOM ISOST PROT (TM) | TENSAO ISOST SUP. (T/M2) | TENSAO ISOST INF. (T/M2) | MOM HIPER PROT (TM) | TENSAO HIPER SUP. (T/M2) | TENSAO HIPER INF. (T/M2) |
|-------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| -1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 0 D | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 1 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 2 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 | .0 |
| 3 | 113.3 | -29.8 | -47.4 | 69.7 | 314.5 | .0 | .0 | .0 |
| 4 | 113.5 | -7.7 | -103.4 | 14.2 | 548.0 | .0 | .0 | .0 |
| 5 | 117.4 | .0 | -111.8 | 9.7 | 587.2 | .0 | .0 | .0 |

REACOES DE APOIO DEVIDO AO HIPERESTATICO DA PROTENSAO

| APOIO | REACAO (T) |
|-------|------------|
| 1 | .00 |

1

TENSOES NORMAIS DEVIDO AOS CARREGAMENTOS ATUANTES (EM T/M2)

| SECAO | FASE 2 1ª PROT. | | CARGA PERMAN. G3 | | C.MOVEL MAXIMA + | | C.MOVEL MAXIMA - | |
|-------|-----------------|-------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|
| | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. | SUP. | INF. |
| -1 | 551.6 | 100.5 | -8.0 | 22.0 | .0 | .0 | -26.0 | 73.0 |
| 0 | 597.9 | 88.0 | -18.0 | 51.0 | .0 | .0 | -70.0 | 195.0 |
| 1 | 918.7 | 295.6 | 11.0 | -47.0 | 95.0 | -395.0 | -59.0 | 249.0 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|-------|--------|------|--------|-------|---------|-------|-------|
| | 2 | 409.8 | 851.3 | 33.0 | -139.0 | 167.0 | -700.0 | -55.0 | 229.0 |
| | 3 | 245.9 | 1002.4 | 49.0 | -204.0 | 218.0 | -913.0 | -50.0 | 208.0 |
| | 4 | 330.0 | 899.7 | 58.0 | -244.0 | 250.0 | -1044.0 | -45.0 | 188.0 |
| 1 | 5 | 373.5 | 849.5 | 61.0 | -257.0 | 261.0 | -1090.0 | -40.0 | 168.0 |

TENSOES NORMAIS NA VIGA PARA AS DIFERENTES FASES DE CARREGAMENTO

=====

TEMPO T=INFINITO

NOTAS :

- 1)TENSOES NO CONCRETO NO ESTADIO I , EM T/M2
- 2)COMPRESSAO = + / TRACAO = -
- 3)F3=F2+2ªPROT.
F4=F3+G3
F5=F4+I.QMAX
F6=F4+I.QMIN

| SECAO | | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------|---|--------|--------|--------|--------|
| -1 | S | 551.6 | 543.6 | 543.6 | 517.6 |
| -1 | I | 100.5 | 122.5 | 122.5 | 195.5 |
| 0 | S | 597.9 | 579.9 | 579.9 | 509.9 |
| 0 | I | 88.0 | 139.0 | 139.0 | 334.0 |
| 1 | S | 918.7 | 929.7 | 1024.7 | 870.7 |
| 1 | I | 295.6 | 248.6 | -146.4 | 497.6 |
| 2 | S | 409.8 | 442.8 | 609.8 | 387.8 |
| 2 | I | 851.3 | 712.3 | 12.3 | 941.3 |
| 3 | S | 315.6 | 364.6 | 582.6 | 314.6 |
| 3 | I | 1316.9 | 1112.9 | 199.9 | 1320.9 |
| 4 | S | 344.2 | 402.2 | 652.2 | 357.2 |
| 4 | I | 1447.7 | 1203.7 | 159.7 | 1391.7 |
| 5 | S | 383.2 | 444.2 | 705.2 | 404.2 |
| 5 | I | 1436.7 | 1179.7 | 89.7 | 1347.7 |

1

ALONGAMENTO TEORICO DOS CABOS (EM MM)

=====

APOS A CRAVACAO DA ANCORAGEM

| GRUPO DE CABOS | ALONG ESQ. | ALONG DIR. | ALONG TOTAL |
|----------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 52. | 52. | 103. |
| 2 | 41. | 41. | 83. |

6-Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga de bordo
Fases de verificação das tensões

$$F1 = G1 + 1^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F2 = F1 + G2$$

$$F3 = F2 + 2^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F4 = F3 + G3$$

$$F5 = F4 + CM_{\text{mínima}}$$

$$F6 = F4 + CM_{\text{máxima}}$$

Tempo T = 0

| Seção | | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|---------------------|---|------|---------|-------------|------|-------------|---------|-------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -14 | 743 | 729 | -53 | 675 | 0 | 675 |
| | σ_i (tf/m ²) | 16 | 31 | 46 | 59 | 105 | 0 | 105 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -49 | 922 | 873 | -120 | 754 | 0 | 754 |
| | σ_i (tf/m ²) | 54 | -118 | -64 | 132 | 68 | 0 | 68 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 109 | 945 | 1054 | 38 | 1092 | 0 | 1092 |
| | σ_i (tf/m ²) | -121 | 561 | 441 | -42 | 399 | 0 | 399 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 237 | -13 | 225 | 183 | 407 | 0 | 407 |
| | σ_i (tf/m ²) | -262 | 1628 | 1366 | -201 | 1165 | 0 | 1165 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 45 | 45 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 329 | -474 | -145 | 288 | 142 | 85 | 227 |
| | σ_i (tf/m ²) | -363 | 2150 | 1787 | -317 | 1470 | 383 | 1852 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -75 | -75 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 384 | -516 | -132 | 353 | 220 | 19 | 239 |
| | σ_i (tf/m ²) | -424 | 2174 | 1750 | -389 | 1361 | 727 | 2088 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -89 | -89 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 402 | -514 | -111 | 378 | 266 | 13 | 279 |
| | σ_i (tf/m ²) | -444 | 2160 | 1717 | -417 | 1300 | 776 | 2076 |

| Seção | | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 |
|---------------------|---|------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -12 | -12 | -40 | 0 | -51 | -12 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -8 | 668 | -26 | 0 | 641 | 668 |
| | σ_i (tf/m ²) | 22 | 127 | 73 | 0 | 200 | 127 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -28 | -28 | -105 | 0 | -133 | -28 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -18 | 735 | -70 | 0 | 665 | 735 |
| | σ_i (tf/m ²) | 51 | 119 | 195 | 0 | 314 | 119 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 19 | 19 | -101 | 160 | -81 | 179 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 11 | 1103 | -59 | 95 | 1044 | 1198 |
| | σ_i (tf/m ²) | -47 | 352 | 249 | -395 | 600 | -44 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 56 | 56 | -92 | 283 | -36 | 339 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 33 | 440 | -55 | 167 | 386 | 608 |
| | σ_i (tf/m ²) | -139 | 1026 | 229 | -700 | 1254 | 326 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 83 | 128 | -84 | 369 | 44 | 497 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 49 | 276 | -50 | 218 | 226 | 494 |
| | σ_i (tf/m ²) | -204 | 1648 | 208 | -913 | 1856 | 735 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 98 | 23 | -76 | 422 | -53 | 445 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 58 | 297 | -45 | 250 | 252 | 547 |
| | σ_i (tf/m ²) | -244 | 1844 | 188 | -1044 | 2032 | 800 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 104 | 15 | -68 | 440 | -53 | 456 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 61 | 341 | -40 | 261 | 301 | 601 |
| | σ_i (tf/m ²) | -257 | 1819 | 168 | -1090 | 1987 | 729 |

Tempo T = 00

Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$

$\Delta\sigma = \sigma_{t=00} - \sigma_{t=0}$

F8 = F7 + CM_{mínima}

F9 = F7 + CM_{máxima}

1ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | 619 | 25 | - | 743 | 31 | - | -124 | -5 |
| 0 | - | 767 | -98 | - | 922 | -118 | - | -155 | 20 |
| 1 | - | 772 | 459 | - | 945 | 561 | - | -173 | -103 |
| 2 | - | -10 | 1314 | - | -13 | 1628 | - | 3 | -314 |
| 3 | - | -371 | 1682 | - | -474 | 2150 | - | 103 | -467 |
| 4 | - | -407 | 1712 | - | -516 | 2174 | - | 110 | -461 |
| 5 | - | -406 | 1711 | - | -514 | 2160 | - | 107 | -450 |

2ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 37 | 70 | 315 | 45 | 85 | 383 | -8 | -15 | -68 |
| 4 | -57 | 14 | 548 | -75 | 19 | 727 | 18 | -5 | -179 |
| 5 | -67 | 10 | 587 | -89 | 13 | 776 | 22 | -3 | -189 |

Perda total de protensão

| Seção | $\Delta\sigma_{total}$ | | |
|---------|------------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0 | -124 | -5 |
| 0 | 0 | -155 | 20 |
| 1 | 0 | -173 | -103 |
| 2 | 0 | 3 | -314 |
| 3 | -8 | 88 | -536 |
| 4 | 18 | 105 | -640 |
| 5 | 22 | 104 | -639 |

Tempo T = 00

| Seção | | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 8 | Fase 9 |
|---------------------|---------------------------------|--------|------------------------|--------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -12 | 0 | -12 | -40 | 0 | -51 | -12 |
| | σ^s (tf/m ²) | 668 | -124 | 543 | -26 | 0 | 517 | 543 |
| | σ_i (tf/m ²) | 127 | -5 | 122 | 73 | 0 | 195 | 122 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -28 | 0 | -28 | -105 | 0 | -133 | -28 |
| | σ^s (tf/m ²) | 735 | -155 | 580 | -70 | 0 | 510 | 580 |
| | σ_i (tf/m ²) | 119 | 20 | 139 | 195 | 0 | 334 | 139 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 19 | 0 | 19 | -101 | 160 | -81 | 179 |
| | σ^s (tf/m ²) | 1103 | -173 | 930 | -59 | 95 | 871 | 1025 |
| | σ_i (tf/m ²) | 352 | -103 | 249 | 249 | -395 | 498 | -146 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 56 | 0 | 56 | -92 | 283 | -36 | 339 |
| | σ^s (tf/m ²) | 440 | 3 | 443 | -55 | 167 | 389 | 611 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1026 | -314 | 712 | 229 | -700 | 940 | 12 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 128 | -8 | 120 | -84 | 369 | 36 | 489 |
| | σ^s (tf/m ²) | 276 | 88 | 364 | -50 | 218 | 315 | 583 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1648 | -536 | 1112 | 208 | -913 | 1321 | 200 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 23 | 18 | 42 | -76 | 422 | -34 | 464 |
| | σ^s (tf/m ²) | 297 | 105 | 402 | -45 | 250 | 357 | 652 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1844 | -640 | 1204 | 188 | -1044 | 1392 | 160 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 15 | 22 | 37 | -68 | 440 | -31 | 477 |
| | σ^s (tf/m ²) | 341 | 104 | 445 | -40 | 261 | 405 | 706 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1819 | -639 | 1181 | 168 | -1090 | 1348 | 91 |

7-Verificação das tensões normais em cada fase de carregamento viga central
Fases de verificação das tensões

$$F1 = G1 + 1^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F2 = F1 + G2$$

$$F3 = F2 + 2^{\text{a}} \text{ Protensão}$$

$$F4 = F3 + G3$$

$$F5 = F4 + CM_{\text{mínima}}$$

$$F6 = F4 + CM_{\text{máxima}}$$

Tempo T = 0

| Seção | | G1 | 1ª Prot | Fase 1 | G2 | Fase 2 | 2ª Prot | Fase 3 |
|---------------------|---|------|---------|--------|------|--------|---------|--------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -14 | 743 | 729 | -33 | 696 | 0 | 696 |
| | σ_i (tf/m ²) | 16 | 31 | 46 | 36 | 83 | 0 | 83 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -49 | 922 | 873 | -79 | 794 | 0 | 794 |
| | σ_i (tf/m ²) | 54 | -118 | -64 | 87 | 23 | 0 | 23 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 109 | 945 | 1054 | 101 | 1155 | 0 | 1155 |
| | σ_i (tf/m ²) | -121 | 561 | 441 | -112 | 329 | 0 | 329 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 237 | -13 | 225 | 258 | 483 | 0 | 483 |
| | σ_i (tf/m ²) | -262 | 1628 | 1366 | -285 | 1081 | 0 | 1081 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | 45 | 45 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 329 | -474 | -145 | 373 | 228 | 85 | 313 |
| | σ_i (tf/m ²) | -363 | 2150 | 1787 | -412 | 1375 | 383 | 1758 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -75 | -75 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 384 | -516 | -132 | 446 | 314 | 19 | 333 |
| | σ_i (tf/m ²) | -424 | 2174 | 1750 | -492 | 1258 | 727 | 1984 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | - | - | - | - | - | -89 | -89 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 402 | -514 | -111 | 477 | 366 | 13 | 379 |
| | σ_i (tf/m ²) | -444 | 2160 | 1717 | -527 | 1190 | 776 | 1966 |

| Seção | | G3 | Fase 4 | CM _{mínima} | CM _{máxima} | Fase 5 | Fase 6 |
|---------------------|---|------|--------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -7 | -7 | -24 | 0 | -30 | -7 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -4 | 692 | -16 | 0 | 676 | 692 |
| | σ_i (tf/m ²) | 12 | 95 | 45 | 0 | 140 | 95 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -15 | -15 | -74 | 0 | -89 | -15 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | -10 | 784 | -49 | 0 | 735 | 784 |
| | σ_i (tf/m ²) | 29 | 52 | 140 | 0 | 192 | 52 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 11 | 11 | -71 | 118 | -60 | 129 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 6 | 1162 | -41 | 69 | 1121 | 1231 |
| | σ_i (tf/m ²) | -28 | 301 | 179 | -299 | 480 | 1 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 32 | 32 | -65 | 209 | -33 | 241 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 19 | 502 | -38 | 122 | 463 | 623 |
| | σ_i (tf/m ²) | -81 | 1000 | 166 | -530 | 1166 | 470 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 47 | 92 | -60 | 273 | 32 | 365 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 27 | 340 | -35 | 159 | 305 | 499 |
| | σ_i (tf/m ²) | -119 | 1639 | 152 | -692 | 1791 | 947 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | 56 | -19 | -55 | 312 | -74 | 293 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 33 | 365 | -32 | 182 | 334 | 547 |
| | σ_i (tf/m ²) | -142 | 1843 | 138 | -792 | 1981 | 1051 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | 59 | -30 | -49 | 326 | -79 | 296 |
| | σ^{\cdot}_s (tf/m ²) | 34 | 413 | -29 | 190 | 385 | 603 |
| | σ_i (tf/m ²) | -149 | 1817 | 125 | -826 | 1941 | 991 |

Tempo T = 00

Fase 7 = Fase4 + $\Delta\sigma$

$\Delta\sigma = \sigma_{T=00} - \sigma_{T=0}$

F8 = F7 + CM_{mínima}

F9 = F7 + CM_{máxima}

1ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| S1/2Bal | - | 619 | 25 | - | 743 | 31 | - | -124 | -5 |
| 0 | - | 767 | -98 | - | 922 | -118 | - | -155 | 20 |
| 1 | - | 772 | 459 | - | 945 | 561 | - | -173 | -103 |
| 2 | - | -10 | 1314 | - | -13 | 1628 | - | 3 | -314 |
| 3 | - | -371 | 1682 | - | -474 | 2150 | - | 103 | -467 |
| 4 | - | -407 | 1712 | - | -516 | 2174 | - | 110 | -461 |
| 5 | - | -406 | 1711 | - | -514 | 2160 | - | 107 | -450 |

2ª prot

| Seção | Tempo T = oo | | | Tempo T = 0 | | | $\Delta\sigma$ | | |
|---------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 37 | 70 | 315 | 45 | 85 | 383 | -8 | -15 | -68 |
| 4 | -57 | 14 | 548 | -75 | 19 | 727 | 18 | -5 | -179 |
| 5 | -67 | 10 | 587 | -89 | 13 | 776 | 22 | -3 | -189 |

Perda total de protensão

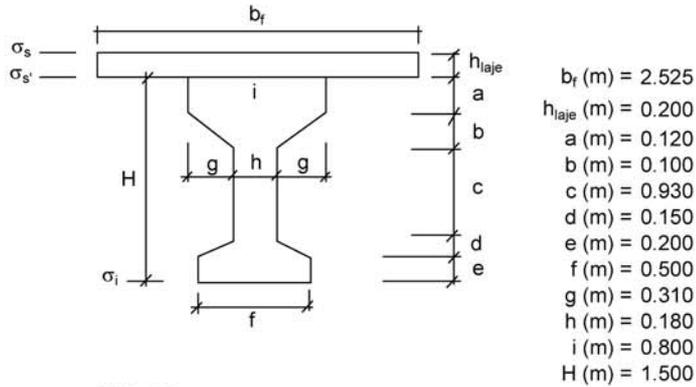
| Seção | $\Delta\sigma_{total}$ | | |
|---------|------------------------|---------------------|--------------------|
| | σ_s (tf/m2) | σ_s' (tf/m2) | σ_i (tf/m2) |
| SExtBal | 0 | 0 | 0 |
| S1/2Bal | 0 | -124 | -5 |
| 0 | 0 | -155 | 20 |
| 1 | 0 | -173 | -103 |
| 2 | 0 | 3 | -314 |
| 3 | -8 | 88 | -536 |
| 4 | 18 | 105 | -640 |
| 5 | 22 | 104 | -639 |

Tempo T = 00

| Seção | | Fase 4 | $\Delta\sigma_{total}$ | Fase 7 | $CM_{mínima}$ | $CM_{máxima}$ | Fase 8 | Fase 9 |
|---------------------|---------------------------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| S _{1/2Bal} | σ_s (tf/m ²) | -7 | 0 | -7 | -24 | 0 | -30 | -7 |
| | σ^s (tf/m ²) | 692 | -124 | 567 | -16 | 0 | 552 | 567 |
| | σ_i (tf/m ²) | 95 | -5 | 90 | 45 | 0 | 135 | 90 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₀ | σ_s (tf/m ²) | -15 | 0 | -15 | -74 | 0 | -89 | -15 |
| | σ^s (tf/m ²) | 784 | -155 | 629 | -49 | 0 | 580 | 629 |
| | σ_i (tf/m ²) | 52 | 20 | 72 | 140 | 0 | 212 | 72 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₁ | σ_s (tf/m ²) | 11 | 0 | 11 | -71 | 118 | -60 | 129 |
| | σ^s (tf/m ²) | 1162 | -173 | 989 | -41 | 69 | 948 | 1058 |
| | σ_i (tf/m ²) | 301 | -103 | 198 | 179 | -299 | 378 | -101 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₂ | σ_s (tf/m ²) | 32 | 0 | 32 | -65 | 209 | -33 | 241 |
| | σ^s (tf/m ²) | 502 | 3 | 504 | -38 | 122 | 466 | 626 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1000 | -314 | 686 | 166 | -530 | 852 | 156 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₃ | σ_s (tf/m ²) | 92 | -8 | 84 | -60 | 273 | 24 | 357 |
| | σ^s (tf/m ²) | 340 | 88 | 428 | -35 | 159 | 394 | 587 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1639 | -536 | 1103 | 152 | -692 | 1255 | 412 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₄ | σ_s (tf/m ²) | -19 | 18 | -1 | -55 | 312 | -56 | 311 |
| | σ^s (tf/m ²) | 365 | 105 | 470 | -32 | 182 | 438 | 652 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1843 | -640 | 1203 | 138 | -792 | 1341 | 411 |
| | | 0 | | | | | 0 | 0 |
| S ₅ | σ_s (tf/m ²) | -30 | 22 | -8 | -49 | 326 | -57 | 317 |
| | σ^s (tf/m ²) | 413 | 104 | 518 | -29 | 190 | 489 | 707 |
| | σ_i (tf/m ²) | 1817 | -639 | 1178 | 125 | -826 | 1303 | 352 |

8-Verificação do Estado Limite Ultimo (Verificação à Ruptura da Seção S₅)

Verificação da Seção do Meio do Vão (S₅)



Materialis:

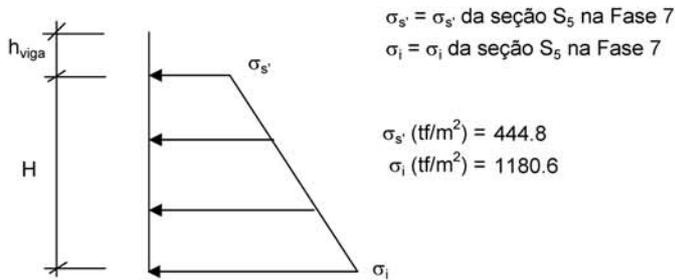
Concreto: f_{ck} (MPa) = 30.0

E_c (kgf/cm²) = 330,000

Aço: CP-190-RB

E_{sp} (kgf/cm²) = 1,950,000

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

$$\sigma_{sp}^{t=\infty} = \sigma_{sp}^{t=\infty 1^{prot.}} + \sigma_{sp}^{t=\infty 2^{prot.}} \quad \sigma_{sp}^{t=\infty} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 95,391$$

Solicitações atuantes na seção S₅

M_{g1} (tf.m) = 73.2

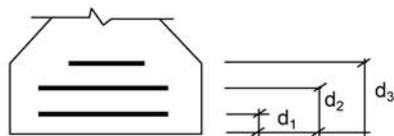
M_{g2} (tf.m) = 68.7

M_{g3} (tf.m) = 61.6

M_p (tf.m) = 261.6

Cálculo do C.G. da armadura de protensão





1ª camada:

$$n^{\circ} \text{ cabos} = 3$$

$$d_1 \text{ (m)} = 0.08$$

$$\text{C.G (cm)} = 0.166$$

2ª camada:

$$n^{\circ} \text{ cabos} = 3$$

$$d_2 \text{ (m)} = 0.2$$

3ª camada:

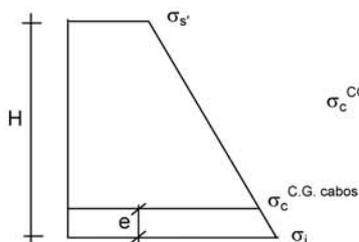
$$n^{\circ} \text{ cabos} = 1$$

$$d_3 \text{ (m)} = 0.32$$

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=00} / E_{sp} \quad \epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = 0.0049$$

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



$$\sigma_c^{\text{C.G. cabos}} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\sigma_c^{\text{C.G. cabos}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1099.3$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_c \quad \epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = 0.00033$$

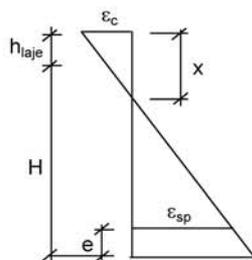
$$e \text{ (m)} = 0.166$$

1ª Tentativa:

Deformada admitida para a seção S_s

$$\epsilon_c \text{ (‰)} = 3.5$$

$$\epsilon_{sp} \text{ (‰)} = 10.0$$



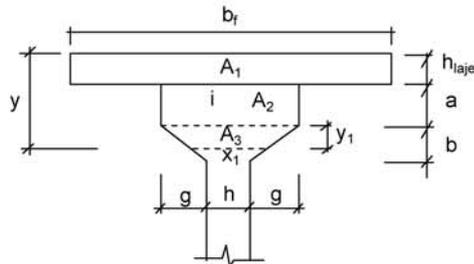
$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0.398$$

$$y = 0,8 * x$$

$$y \text{ (m)} = 0.318$$

Cálculo da resultante de compressão



- b_f (m) = 2.525
- h_{laje} (m) = 0.200
- a (m) = 0.120
- b (m) = 0.100
- g (m) = 0.310
- h (m) = 0.180
- i (m) = 0.800
- y_1 (m) = -0.002
- x_1 (m) = 0.811
- y (m) = 0.318

$$R_{cc} = 0,85 * f_{cd} * (A_1 + A_2 + A_3) / 1,4$$

- A_1 (m²) = 0.505
- A_2 (m²) = 0.095
- A_3 (m²) = 0.000

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 1092.1$$

Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

$$\epsilon_{sp}^{total} \text{ (‰)} = 15.22$$

Da tabela do livro de concreto protendido do Prof. Walter do Couto Pfeil tem-se:

$$\sigma_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 15,722$$

$$A_{sp}^{1cabo\ 6\phi\ 12,7} \text{ (cm}^2\text{)} = 5.92$$

$$A_{sp}^{total} \text{ (cm}^2\text{)} = 41.4$$

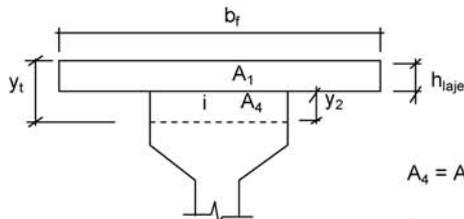
$$R_{st} = A_{sp}^{total} * \sigma_{sp}$$

$$R_{st} \text{ (tf)} = 651.5$$

Como $R_{st} < R_{cc}$, devemos diminuir o valor de x para reduzir a mesa de compressão e conseqüentemente R_{cc} .

Logo devemos ter:

$$R_{cc} = R_{st} \text{ (tf)} = 651.5$$



$$A_c^{total} = A_1 + A_4 = R_{cc} / (0,85 * f_{cd})$$

- A_1 (m²) = 0.505
- A_c^{total} (m²) = 0.358

$$A_4 = A_c^{total} - A_1 \quad A_4 \text{ (m}^2\text{)} = 0.000 \quad (yt < hlaje)$$

logo: y_2 (m) = 0.000

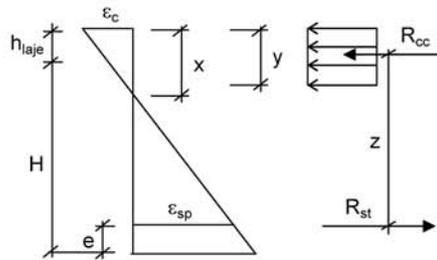
$$y_t \text{ (m)} = 0.1417 \quad yt < hlaje$$

$$x = y_t / 0,8 \quad x \text{ (m)} = 0.177$$

Cálculo do C.G da mesa comprimida

$$y_{C.G.} = \frac{\Sigma(A_i * y_i)}{\Sigma A_i}$$

$$y_{C.G.} \text{ (m)} = 0.0708$$



$$z = H + h_{iaje} - y_{C.G.} - e$$

$$z \text{ (m)} = 1.463$$

Assim temos:

$$M_u = R_{cc} * z \quad M_u \text{ (tf.m)} = 953.5$$

$$M_d = 1,4 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3} + M_p) \quad M_d \text{ (tf.m)} = 651.2$$

Então: $M_u / M_d = 1.46 > 1,00$ (Atende)
Ruptura unicamente pelo escoamento do aço

9- Os quadros a seguir apresentam o cálculo do cisalhamento
Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 30,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + 0,5 * V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,k} = V_p^{1^{prot}} + V_p^{2^{prot}}$ em tempo $t = \infty$

| Seção | $V_{g1,k}$ (tf) | $V_{g2,k}$ (tf) | $V_{g3,k}$ (tf) | $V_{p,k}$ (tf) | $V_{q,max,k}$ (tf) | $V_{q,min,k}$ (tf) | V_k^{max} (tf) | V_k^{min} (tf) |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 1/2 bal | -3.6 | -8.9 | -5.6 | 13.1 | 29.6 | 0.0 | 9.7 | -5.1 |
| 0 esq | -6.6 | -10.8 | -7.3 | 0.0 | 32.3 | 0.0 | -24.7 | -8.5 |
| 0 dir | 14.9 | 15.5 | 13.1 | 0.0 | 44.8 | -1.8 | 65.9 | 42.6 |
| 1 | 11.1 | 12.5 | 10.5 | -51.0 | 38.3 | -2.9 | -18.4 | 2.2 |
| 2 | 8.3 | 9.5 | 7.8 | -45.5 | 32.2 | -4.9 | -22.3 | -3.7 |
| 3 | 5.6 | 6.4 | 5.2 | -40.9 | 26.6 | -8.4 | -27.8 | -10.4 |
| 4 | 2.8 | 3.4 | 2.6 | -7.7 | 21.4 | -12.3 | 11.8 | -5.0 |
| 5 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 16.6 | -16.6 | 8.7 | -7.9 |

Verificação do concreto

$$\phi_{bainha} \text{ (m)} = 0,055 \quad V_{sd} = 1,40 * (V_{g1} + V_{g2} + V_{g3}) + 0,90 * V_p + 1,40 * V_q$$

$$d = H_{viga} + h_{laje} - 0,15 \quad V_{rd2} = 0,3 * f_{cd} * b_w, nom * d$$

| Seção | V_{sd} (tf) | b_w (m) | $\Sigma \phi/2$ (m) | b_w^{nom} (m) | d (m) | V_{rd2} (tf) |
|---------|---------------|-----------|---------------------|-----------------|---------|----------------|
| 1/2 bal | 27.8 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.55 | 465.0 |
| 0 esq | -34.6 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.55 | 465.0 |
| 0 dir | 123.6 | 0.50 | 0.028 | 0.500 | 1.55 | 465.0 |
| 1 | 55.4 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.55 | 141.8 |
| 2 | 40.1 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.55 | 141.8 |
| 3 | 24.6 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.55 | 141.8 |
| 4 | 35.4 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.55 | 141.8 |
| 5 | 23.8 | 0.18 | 0.028 | 0.153 | 1.55 | 141.8 |

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

Parcela do esforço cortante absorvida pelo concreto

$$M_{sdu} = 1,40 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,40 * M_q$$

| Seção | $M_{g1,k}$ | $M_{g2,k}$ | $M_{g3,k}$ | $M_{q,k}$ | M_{sdu} (tf.m) |
|---------|------------|------------|------------|-----------|------------------|
| 1/2 bal | -3.2 | -12.0 | -7.2 | -24.2 | -65.3 |
| 0 esq | -10.9 | -26.8 | -16.9 | -64.6 | -166.8 |
| 0 dir | -10.9 | -26.8 | -16.9 | -64.6 | -166.8 |
| 1 | 19.9 | 6.9 | 11.4 | 94.9 | 186.2 |
| 2 | 43.2 | 33.2 | 33.4 | 167.9 | 388.8 |
| 3 | 59.9 | 52.3 | 49.1 | 219.0 | 532.4 |
| 4 | 69.9 | 64.2 | 58.5 | 250.7 | 620.5 |
| 5 | 73.2 | 68.7 | 61.6 | 261.6 | 651.2 |

$$V_{cd} = 2,5 * \beta_1 * \tau_{rd} * b_w, nom * d \quad \beta_1 = 1 + (M_0 / M_{sdu}) \leq 2$$

$$\tau_{rd} = 0,0351 * (f_{ck})^{2/3} \text{ MPa} \quad M_0 = 0,90 * (\sigma_p^{1^{prot}} * W^{isol} + \sigma_p^{2^{prot}} * W^{conj})$$

$$\tau_{rd} \text{ (MPa)} = 0,339$$

| Seção | $\sigma_p^{1^{\text{prot.00}}}$ (tf/m ²) | $W^{\text{isol.}}$ (m ³) | $\sigma_p^{2^{\text{prot.00}}}$ (tf/m ²) | $W^{\text{conj.}}$ (m ³) | M_o (tf.m) | β_1 |
|---------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------|-----------|
| 1/2 bal | 619 | 0.224 | 0 | 0.919 | 124.76 | 2.000 |
| 0 esq | 767 | 0.224 | 0 | 0.919 | 154.61 | 1.927 |
| 0 dir | 767 | 0.224 | 0 | 0.919 | 154.61 | 1.927 |
| 1 | 459 | 0.165 | 0 | 0.240 | 68.11 | 1.366 |
| 2 | 1314 | 0.165 | 0 | 0.240 | 195.16 | 1.502 |
| 3 | 1682 | 0.165 | 315 | 0.240 | 317.77 | 1.597 |
| 4 | 1712 | 0.165 | 548 | 0.240 | 372.67 | 1.601 |
| 5 | 1711 | 0.165 | 587 | 0.240 | 380.83 | 1.585 |

| Seção | b_w^{nom} (m) | d (m) | V_{cd} (tf) |
|---------|------------------------|-------|---------------|
| 1/2 bal | 0.500 | 1.550 | 131.3 |
| 0 esq | 0.500 | 1.550 | 126.5 |
| 0 dir | 0.500 | 1.550 | 126.5 |
| 1 | 0.153 | 1.550 | 27.3 |
| 2 | 0.153 | 1.550 | 30.1 |
| 3 | 0.153 | 1.550 | 32.0 |
| 4 | 0.153 | 1.550 | 32.1 |
| 5 | 0.153 | 1.550 | 31.7 |

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

| Seção | V_{sd} (tf) | V_{cd} (tf) | V_{wd} (tf) |
|---------|---------------|---------------|---------------|
| 1/2 bal | 27.8 | 131.3 | 0.00 |
| 0 esq | 34.6 | 126.5 | 0.00 |
| 0 dir | 123.6 | 126.5 | 0.00 |
| 1 | 55.4 | 27.3 | 28.07 |
| 2 | 40.1 | 30.1 | 10.02 |
| 3 | 24.6 | 32.0 | 0.00 |
| 4 | 35.4 | 32.1 | 3.31 |
| 5 | 23.8 | 31.7 | 0.00 |

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / (0,90 * d * f_{ywd})$$

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w)$$

| Seção | b_w (m) | V_{wd} (tf) | A_{sw}/s (cm ² /m) | ρ_w (cm ² /m ²) |
|---------|-----------|---------------|------------------------------------|--|
| 1/2 bal | 0.50 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 0 esq | 0.50 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 0 dir | 0.50 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 1 | 0.18 | 28.1 | 4.63 | 25.71 |
| 2 | 0.18 | 10.0 | 1.65 | 9.18 |
| 3 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.18 | 3.3 | 0.55 | 3.03 |
| 5 | 0.18 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\Delta\sigma_w = (V_{\text{max}} - V_c) / (b_w * d * \rho_w) - (V_{\text{min}} - V_c) / (b_w * d * \rho_w)$$

$$\Delta f_{sd}^{fad} = 850 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f.f. = \Delta \sigma_w / \Delta f_{sd}$$

| Seção | V ^{máx} (tf) | V ^{min} (tf) | V _c (tf) | ρ _{wu} (cm ² /cm ²) | σ _{wmax} (tf/m ²) | σ _{wmin} (tf/m ²) |
|---------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--|---|---|
| 1/2 bal | 9.72 | -5.09 | 87.55 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 0 esq | -24.69 | -8.55 | 84.36 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 0 dir | 65.92 | 42.63 | 84.36 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 1 | -18.37 | 2.23 | 18.23 | 0.00257 | 191 | 0 |
| 2 | -22.27 | -3.73 | 20.05 | 0.00092 | 8671 | 0 |
| 3 | -27.84 | -10.37 | 21.32 | 0.00000 | 0 | 0 |
| 4 | 11.81 | -5.03 | 21.37 | 0.00030 | 0 | 0 |
| 5 | 8.70 | -7.93 | 21.16 | 0.00000 | 0 | 0 |

| Δσ _w (tf/m ²) | f.f. |
|---|------|
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 191 | 1.00 |
| 8671 | 1.02 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |
| 0 | 1.00 |

Cálculo dos estribos e seus espaçamentos

$$\rho_w = (A_{sw} / s) * (1 / b_w) \geq 15 \text{ (cm}^2/\text{m}^2)$$

$$s = 2 * A_{S1perna} / (\rho_w * f.f. * b_w)$$

$$\phi \text{ (mm)} = 10.00$$

$$A_{S1perna} \text{ (cm}^2) = 0.785$$

| Seção | b _w (m) | ρ _{wu} | ρ _{wu} x f.f. | ρ _{wu} x f.f. Médio | Espaçam. (m) |
|---------|--------------------|-----------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|
| 1/2 bal | 0.50 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | | | 15.0 | 20.9 |
| 0 esq | 0.50 | 0.00 | 0.00 | | |
| 0 dir | 0.50 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | | | 15.0 | 30.8 |
| 1 | 0.18 | 25.71 | 25.71 | | |
| | | | | 17.5 | 49.7 |
| 2 | 0.18 | 9.18 | 9.36 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 3 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 4 | 0.18 | 3.03 | 3.03 | | |
| | | | | 15.0 | 58.1 |
| 5 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | | |

10-Verificação dos Aparelhos de Apoio
Apoio1
Viga de Bordo
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.40$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 21.5$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 27.0$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 20.3$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 55.8$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = -2.7$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 124.7$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,039.4 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 66.2$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 551.9 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

Viga Central
Dimensões do aparelho

$$a \text{ (m)} = 0.30$$

$$b \text{ (m)} = 0.40$$

Esforços atuantes

$$N_{g1} \text{ (tf)} = 21.5$$

$$N_{g2} \text{ (tf)} = 25.9$$

$$N_{g3} \text{ (tf)} = 11.8$$

$$N_{CM_max} \text{ (tf)} = 43.1$$

$$N_{CM_min} \text{ (tf)} = -1.9$$

Tensão normal máxima

$$\sigma_{max} = N_{max} / (a * b)$$

$$N_{max} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_max} \quad N_{max} \text{ (tf)} = 102.4$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 853.2 \leq 1.500 \text{ tf/m}^2$$

Tensão normal mínima

$$\sigma_{min} = N_{min} / (a * b)$$

$$N_{min} = N_{g1} + N_{g2} + N_{g3} + N_{CM_min} \quad N_{min} \text{ (tf)} = 57.3$$

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 477.9 \geq 200 \text{ tf/m}^2$$

8.2 CÁLCULO DA INFRA-ESTRUTURA

Duas linhas de apoio com pilares de respectivamente 0,70 m e 2,20 m de altura, para as obras de 30,00 m constituídas por vão de 24,00 m com balanços de 3,00 m (Ver Cálculo da Infra-estrutura da Ponte sobre o Rio Juscelino no Volume 3 B – 2ª Parte).

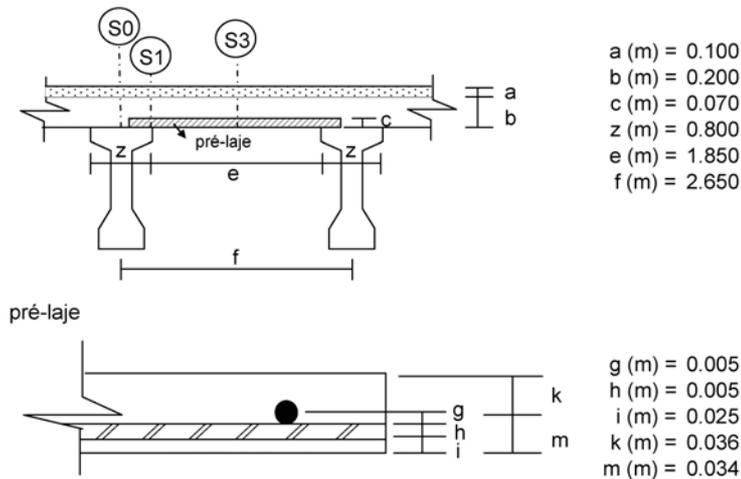
9 CÁLCULO DAS LAJES

9 CÁLCULO DAS LAJES

9.1 CÁLCULO DAS LAJES E PRÉ-LAJES

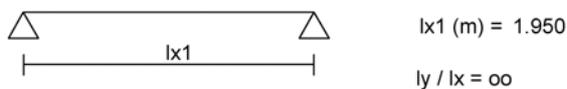
CÁLCULO DA LAJE DAS PONTES DA BR-163

1 - FORMA DA LAJE

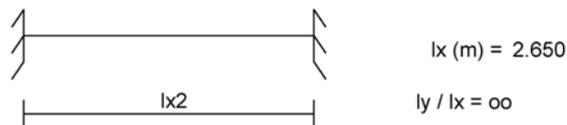


2 - ESQUEMA ESTRUTURAL

1) Sistema estrutural referente ao cálculo dos esforços do peso próprio da laje



2) Sistema estrutural referente ao cálculo dos esforços da sobrecarga e carga móvel



3 - CÁLCULO DAS CARGAS PERMANENTES

γ_{conc} (tf/m³) = 2.50
 γ_{pavim} (tf/m³) = 2.40

peso próprio da laje

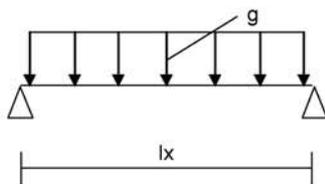
$g1 = b \times \gamma_{conc}$ $g1$ (tf/m²) = 0.500

pavimentação

$g2 = a \times \gamma_{pavim}$ $g2$ (tf/m²) = 0.240

4 - ESFORÇOS DEVIDOS À CARGA PERMANENTE

1) Peso próprio da laje



$lx (m) = 1.950$

$g (tf/m^2) = 0.500$

$MS3 = g \times (lx)^2 / 8$

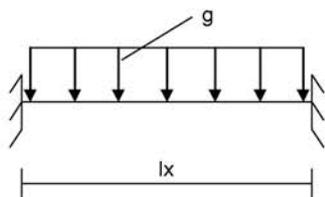
$MS3 (tf.m/m) = 0.238$

Da tabela nº 1 de Rüsç tem-se:

$Mym = 0,0208 \times g \times (lx)^2$

$Mym (tf.m/m) = 0.040$

2) Sobrecarga permanente



$lx (m) = 2.650$

$g (tf/m^2) = 0.240$

$MS0 = Mxe = -g \times (lx)^2 / 12$

$MS0 (tf.m/m) = -0.1405$

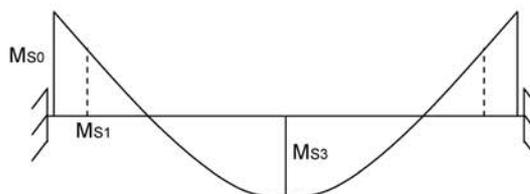
$MS3 = Mxm = g \times (lx)^2 / 24$

$MS3 (tf.m/m) = 0.0702$

Da tabela NR-27 de Rüsç, tem-se:

$Mym = 0,0069 \times g \times (lx)^2$

$Mym (tf.m/m) = 0.0116$



$MS1 = MS0 + (g \times lx^2 / 2) \times [(z / 2) \times (lx - z / 2) / lx^2]$

$MS1 (tf.m/m) = -0.0325$

5 - CARGAS MÓVEIS

Trem-tipo - TB 450KN
 Coeficiente de impacto - NBR 7187

$\varphi = 1,4 - 0,007 \times lx$

$\varphi = 1.381$

$$M = \varphi \times [P \times K_1 + p \times (K_2 + K_3)]$$

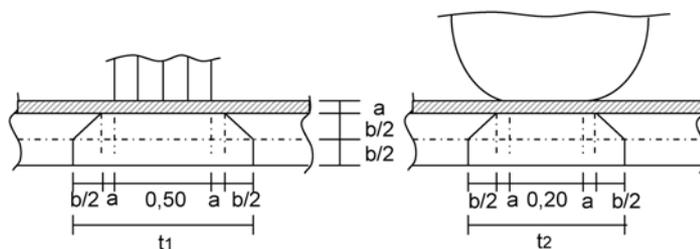
$$P \text{ (tf)} = 7.50$$

$$p \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.50$$

Parâmetros de entrada da Tabela de Rüsçh

$$\left\{ \begin{array}{l} l_x / a \\ t / a \end{array} \right. \quad a \text{ (m)} = 2.000 \quad \text{(entre eixos do veículo tipo)}$$

Cálculo de t



$$t_1 \text{ (m)} = 0.900$$

$$t_2 \text{ (m)} = 0.600$$

$$t = (t_1 \times t_2)^{0.50}$$

$$t \text{ (m)} = 0.735$$

logo: $l_x / a = 1.325$
 $t / a = 0.367$

Da tabela NR-27 de Rüsçh, temos:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{xm} = \varphi \times [P \times K_1 + p \times (K_2 + K_3)] \\ M_{ym} = \varphi \times [P \times K_4 + p \times (K_5 + K_6)] \\ M_{xe} = - \varphi \times [P \times K_7 + p \times (K_8 + K_9)] \end{array} \right.$$

Cálculo dos coeficientes da tabela:

Para M_{xm} :

| lx/a | K1 | | |
|-------|-------|--------------|-------|
| | t/a | | |
| | 0.250 | 0.367 | 0.500 |
| 1.000 | 0.129 | 0.105 | 0.078 |
| 1.325 | | 0.165 | |
| 1.500 | 0.216 | 0.197 | 0.175 |

| lx/a | K2 | K3 |
|-------|--------------|--------------|
| | p | p' |
| 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1.325 | 0.000 | 0.033 |
| 1.500 | 0.000 | 0.050 |

$$K_1 = 0.165$$

$$K_2 = 0.000$$

$$K_3 = 0.033$$

$$M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = 1.728$$

Para M_{ym} :

| lx/a | K4 | | |
|-------|-------|--------------|-------|
| | t/a | | |
| | 0.250 | 0.367 | 0.500 |
| 1.000 | 0.091 | 0.072 | 0.051 |
| 1.325 | | 0.096 | |
| 1.500 | 0.134 | 0.109 | 0.080 |

| lx/a | K5 | K6 |
|-------|--------------|--------------|
| | p | p' |
| 1.000 | 0.000 | 0.010 |
| 1.325 | 0.000 | 0.023 |
| 1.500 | 0.000 | 0.030 |

$K_4 = 0.096$
 $K_5 = 0.000$
 $K_6 = 0.023$

$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 1.009$

Para M_{xe} :

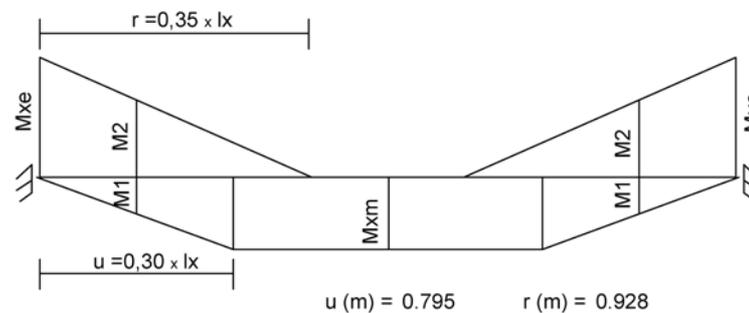
| lx/a | K7 | | |
|-------|-------|--------------|-------|
| | t/a | | |
| | 0.250 | 0.367 | 0.500 |
| 1.000 | 0.260 | 0.222 | 0.180 |
| 1.325 | | 0.320 | |
| 1.500 | 0.400 | 0.372 | 0.340 |

| lx/a | K8 | K9 |
|-------|--------------|--------------|
| | p | p' |
| 1.000 | 0.000 | 0.280 |
| 1.325 | 0.000 | 0.326 |
| 1.500 | 0.000 | 0.350 |

$K_7 = 0.320$
 $K_8 = 0.000$
 $K_9 = 0.326$

$M_{xe} \text{ (tf.m/m)} = -3.535$

6 - DIAGRAMA DE MOMENTOS



$M_1 \text{ (tf.m/m)} = 0.870$
 $M_2 \text{ (tf.m/m)} = -2.011$

7 - ENVOLTÓRIA DE MOMENTOS PARA CÁLCULO DO FATOR DE FADIGA

$\psi_1 = 0.80$ (para verificação de lajes)
 $f_{yk} \text{ (MPa)} = 500$ (Aço CA-50)
 $\Delta f_{sd, fad} \text{ (MPa)} = 190$ (para $\phi < 16,0 \text{ mm}$)

| Seção | Mg (tf.m/m) | Mp_máx (tf.m/m) | Mp_min (tf.m/m) | Mmáx (tf.m/m) | Mmin (tf.m/m) | fator fadiga |
|----------|-------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|
| S0 | -0.1405 | 0.000 | -3.535 | -0.140 | -2.969 | 1.557 |
| S1 | -0.0325 | 0.870 | -2.011 | 0.663 | -1.641 | 1.965 |
| S3 | 0.3079 | 1.728 | 0.000 | 1.691 | 0.308 | 1.337 |
| M_{ym} | 0.0512 | 1.009 | 0.000 | 0.859 | 0.051 | 1.537 |

$$M_{\max} = Mg + \psi_1 \times Mp^{\max} \quad \gamma_{aço} = 1.15$$

$$M_{\min} = Mg + \psi_1 \times Mp^{\min} \quad \gamma_s = 1.40$$

sendo: $|M_1| > |M_2|$

$$\text{se } M_1 \times M_2 > 0 \quad \longrightarrow \quad f.f = ((|M_1| - |M_2|) / (|M_1|)) \times (f_{yk} / (\Delta f_{sd, fad} \times \gamma_s \times \gamma_{aço}))$$

$$\text{se } M_1 \times M_2 < 0 \quad \longrightarrow \quad f.f = ((|M_1| + 0,5 \times |M_2|) / (|M_1|)) \times (f_{yk} / (\Delta f_{sd, fad} \times \gamma_s \times \gamma_{aço}))$$

8 - ENVOLTÓRIA DE MOMENTOS PARA DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO

$$M_d = \left\{ \begin{array}{c} 1.4 \\ 1.00 \end{array} \right\} \times M_g + \left\{ \begin{array}{c} 1.40 \\ 0.00 \end{array} \right\} \times M_p$$

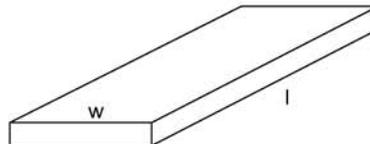
| Seção | Mg (tf.m/m) | Mp_max (tf.m/m) | Mp_min (tf.m/m) | Md ⁺ (tf.m/m) | Md ⁻ (tf.m/m) |
|-------|-------------|-----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| S0 | -0.1405 | 0.000 | -3.535 | 0.000 | -5.146 |
| S1 | -0.0325 | 0.870 | -2.011 | 1.185 | -2.860 |
| S3 | 0.3079 | 1.728 | 0.000 | 2.851 | 0.000 |
| Mym | 0.0512 | 1.009 | 0.000 | 1.485 | 0.000 |

9 - DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO

Concreto: f_{ck} (MPa) = 35 $k_{md} = M_d / (b \times d^2 \times f_{cd})$
 Aço: f_{yk} (MPa) = 500 $A_s = M_d / (k_z \times d \times f_{yd})$

| Seção | Md (tf.m/m) | d (m) | kmd | kz | As (cm ² /m) | As x f.f. (cm ² /m) |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------------------|--------------------------------|
| S0 | 5.146 | 0.303 | 0.024 | 0.986 | 3.96 | 6.16 |
| S1 | 2.860 | 0.170 | 0.042 | 0.974 | 3.97 | 7.80 |
| S3 | 2.851 | 0.170 | 0.042 | 0.974 | 3.96 | 5.29 |
| Mym | 1.485 | 0.125 | 0.041 | 0.975 | 2.80 | 4.30 |

10 - VERIFICAÇÃO DA LAJOTA PRÉ-MOLDADA



n = número de barras
 ϕ = diâmetro das barras

$$n = 4$$

$$\phi \text{ (mm)} = 10$$

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

$$A_s = n \times \pi \times \phi^2 / 4$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 3.14$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5.24$$

$$l \text{ (m)} = 1.95$$

$$w \text{ (m)} = 0.60$$

Peso próprio da laje

$$g_1 = b \times \gamma_{conc} \quad g_1 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.500$$

$$q_{g1} = w \times g_1 \quad q_{g1} \text{ (tf/m)} = 0.300$$

$$M_{s3_g1} = [q_{g1} \times (l)^2] / 8 \quad M_{s3_g1} \text{ (tf.m)} = 0.143$$

$$\sigma_{s_g1} = M_{s3_g1} / (0,87 \times k \times A_s) \quad \sigma_{s_g1} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 870$$

Pavimentação

$$g_2 = a \times \gamma_{\text{pavim}} \qquad g_2 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.240$$

$$q_{g2} = w \times g_2 \qquad q_{g2} \text{ (tf/m)} = 0.144$$

$$M_{s3_g2} = [q_{g2} \times (l_x)^2] / 24 \qquad M_{s3_g2} \text{ (tf.m)} = 0.042$$

$$\sigma_{s_g2} = M_{s3_g2} / [0,87 \times (b - c + k) \times A_s] \qquad \sigma_{s_g2} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 56$$

Carga móvel

$$M_{s3_p} = M_{xm} \times w \qquad M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = 1.728$$

$$M_{s3_p} \text{ (tf.m)} = 1.037$$

$$\sigma_{s_p} = M_{s3_p} / [0,87 \times (b - c + k) \times A_s] \qquad \sigma_{s_p} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 1371$$

$$1371 \leq 1800 \text{ kgf/cm}^2$$

Tensão admissível

$$\sigma_{adm} = f_{yd} / (1,4 \times 1,15) \qquad \sigma_{adm} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 3106$$

Tensão total

$$\sigma_{s_total} = \sigma_{s_g1} + \sigma_{s_g2} + \sigma_{s_p} \qquad \sigma_{s_total} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2297$$

$$\sigma_{s_total} \leq \sigma_{adm}$$

9.2 CALCULO DAS LAJES DE CONTINUIDADE

Cálculo da Laje de Continuidade - BR-163-Vãos 21,25 m

- Inércia do conjunto (laje + vigas)

$$\begin{aligned} n_1 &= 2 && (\text{n}^\circ \text{ de vigas de bordo}) \\ n_2 &= 3 && (\text{n}^\circ \text{ de vigas centrais}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J^{\text{conj}}_{VB} (\text{m}^4) &= 0.249 \\ J^{\text{conj}}_{VC} (\text{m}^4) &= 0.252 \end{aligned}$$

$$J^{\text{conj}}_{\text{total}} = n_1 \times J^{\text{conj}}_{VB} + n_2 \times J^{\text{conj}}_{VC}$$

$$J^{\text{conj}}_{\text{total}} (\text{m}^4) = 1.254$$

- Inércia da laje de continuidade

$$J_{\text{laje}} = (b \times h^3) / 12 \quad \text{onde:} \quad \begin{aligned} b (\text{m}) &= 1.00 \\ h (\text{m}) &= 0.16 \end{aligned}$$

$$J_{\text{laje}} (\text{m}^4 / \text{m de laje}) = 3.41\text{E-}04$$

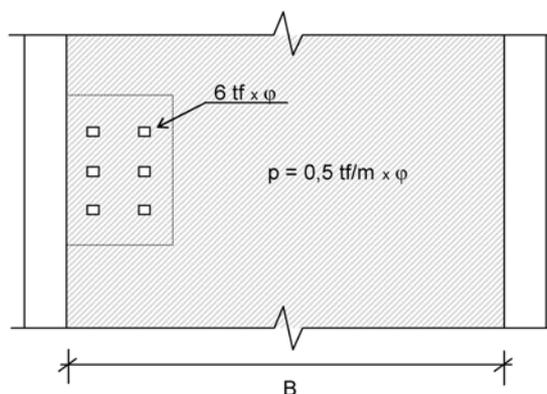
- Módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$E_{cc} = 9,5 \times (f_{ck} + 8)^{1/3} \quad (\text{f}_{ck} \text{ em MPa})$$

$$f_{ck} (\text{MPa}) = 30.0$$

$$E_{cc} (\text{tf/m}^2) = 3193877$$

- Trem tipo simplificado

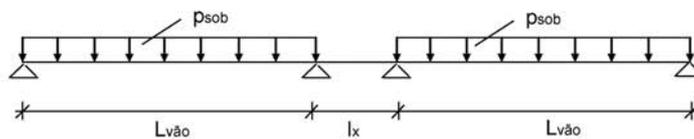


$$\begin{aligned} P &= 6 \times 6 \times \varphi && \varphi = 1,4 - 0,007 \times L_{\text{vão}} \\ p &= 0,5 \times B \times \varphi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{vão}} (\text{m}) &= 20.90 && (\text{vão teórico}) \\ \varphi &= 1.2537 && (\text{coeficiente de impacto}) \\ B (\text{m}) &= 12.20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P (\text{tf}) &= 45.1 \\ p (\text{tf/m}) &= 7.6 \end{aligned}$$

1 - Efeito devido à rotação provocada pela sobrecarga permanente



$$p_{sob} = B \times h_{pav.} \times \gamma_{pav.} + P_{guarda-rodas} \times 2$$

$$h_{pav.} \text{ (m)} = 0.1 \qquad l_x \text{ (m)} = 1.40$$

$$\gamma_{pav.} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2.40 \qquad P_{guarda-rodas} \text{ (tf/m)} = 0.58$$

$$p_{sob} \text{ (tf/m)} = 4.088$$



$$m_a = (4EJ\phi) / l_x \qquad M_{result.} = m_a + m_b$$

$$m_b = (2EJ\phi) / l_x$$

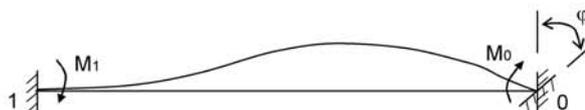
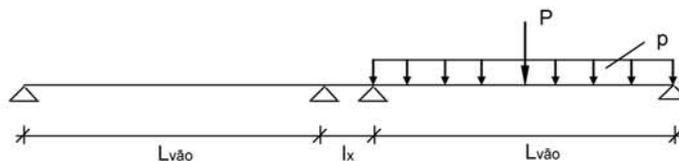
$$\phi = (p_{sob} \times Lv\grave{a}o^3) / (24 \times 0,5 \times E_{cc} \times J^{conj_{total}})$$

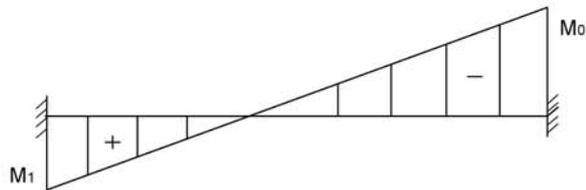
$$\phi \text{ (rad)} = 0.000777$$

$$M_1 = M_0 = (2 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \phi) / l_x$$

$$M_1 = M_0 \text{ (tf.m/m)} = -1.209$$

2 - Efeito devido à rotação de um único vão carregado pelo trem-tipo





$$M_0 = - (4 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \varphi) / l_x$$

$$M_1 = (2 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \varphi) / l_x$$

onde:

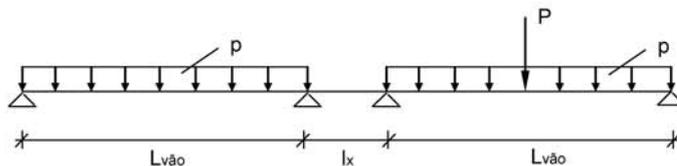
$$\varphi = \underbrace{(P \times L_{vão}^2) / (16 \times E_{cc} \times J^{conj}_{total})}_{\varphi 1} + \underbrace{(p \times L_{vão}^3) / (24 \times E_{cc} \times J^{conj}_{total})}_{\varphi 2}$$

$$\varphi \text{ (rad)} = 0.00103$$

$$M_0 \text{ (tf.m/m)} = -3.221$$

$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = 1.610$$

3 - Efeito de dois vãos adjacentes carregados simultaneamente



$$M_0 = - (E_{cc} \times J_{laje} \times (4 \times (\varphi 1 + \varphi 2) - 2 \times \varphi 2)) / l_x$$

$$M_1 = - (E_{cc} \times J_{laje} \times (4 \times \varphi 2 - 2 \times (\varphi 1 + \varphi 2))) / l_x$$

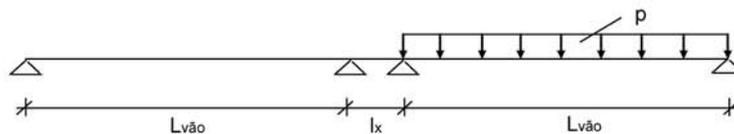
$$\varphi 1 \text{ (rad)} = 0.000308$$

$$\varphi 2 \text{ (rad)} = 0.000726$$

$$M_0 \text{ (tf.m/m)} = -2.09$$

$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = -0.65$$

4 - Efeito devido à rotação de um único vão carregado com carga distribuída móvel



$$\varphi 2 \text{ (rad)} = 0.000726$$

$$M_0 = - (4 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \varphi 2) / l_x$$

$$M_1 = M_0 / 2$$

$$M_0 \text{ (tf.m/m)} = -2.26$$

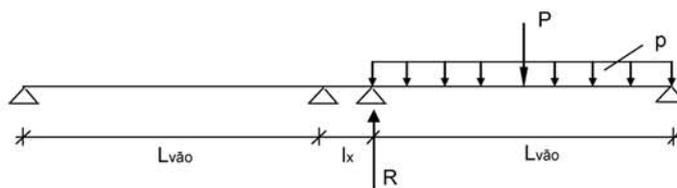
$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = -1.13$$

5 - Efeito devido ao recalque do aparelho de apoio quando um dos vãos adjacentes está carregado com a carga móvel total.

$$E_m = 2 \times G \times 0,69 \times (b / T)^2$$

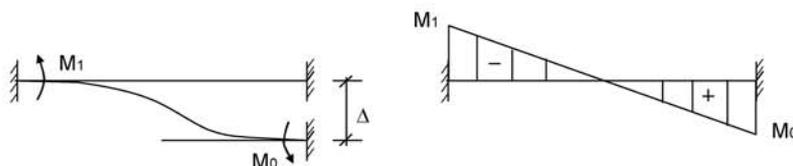
- a (m) = 0.30 (dimensão longitudinal em planta do ap. apoio)
- b (m) = 0.40 (dimensão transversal em planta do ap. apoio)
- T (m) = 0.030 (espessura de borracha do ap. apoio)
- G (tf/m²) = 100.0

$$E_n \text{ (tf/m}^2\text{)} = 24533$$



$$R = (p \times L_{vão} + P) / 2$$

$$R \text{ (tf)} = 102.48$$



$$\psi = \Delta / l_x \quad M = c \times \psi$$

$$c = (6 \times E \times J) / l_x \quad (\text{fator de forma})$$

$$M_0 = (6 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \Delta) / l_x^2$$

$$M_1 = - M_0$$

Reação vertical por aparelho de apoio:

$$R_{neop} = R / n \quad \text{sendo } n = n^{\circ} \text{ de aparelhos de apoio}$$

$$n = 5$$

$$R_{neop} \text{ (tf)} = 20.50$$

$$\sigma_n = R_{neop} / (a \times b)$$

$$\sigma_n \text{ (tf/m}^2\text{)} = 170.8$$

$$\varepsilon = \sigma_n / E_n$$

$$\Delta_n = \varepsilon \times T$$

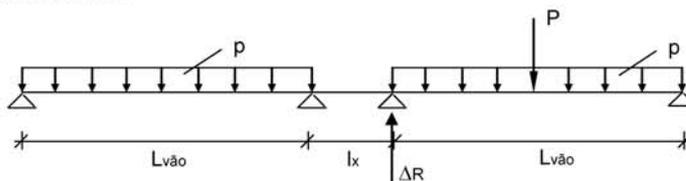
$$\Delta_n = (\sigma_n \times T) / E_n$$

$$\Delta_n \text{ (m)} = 0.000208866$$

$$M_0 \text{ (tf.m/m}^2\text{)} = 0.70$$

$$M_1 \text{ (tf.m/m}^2\text{)} = -0.70$$

6 - Efeito devido ao recalque do aparelho de apoio quando os dois vãos estão carregados simultaneamente



$$\Delta R = P / 2 \quad \Delta R \text{ (tf)} = 22.57$$

Diferencial de reação por aparelho de apoio:

$$\Delta R_{neop} = \Delta R / n \quad \Delta R_{neop} \text{ (tf)} = 4.51$$

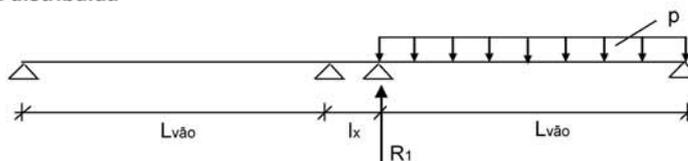
$$\Delta \sigma_n = \Delta R_{neop} / (a \times b) \quad \Delta \sigma_n \text{ (tf/m}^2\text{)} = 37.61$$

$$\Delta n = (\Delta \sigma_n \times T) / E_n \quad \Delta n \text{ (m)} = 0.0000460$$

$$M_0 = (6 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \Delta) / l_x^2 \quad M_0 \text{ (tf.m/m)} = 0.15$$

$$M_1 = - M_0 \quad M_1 \text{ (tf.m/m)} = -0.15$$

7 - Efeito devido ao recalque do aparelho de apoio com um único vão carregado com a carga móvel distribuída



$$R_1 = (p \times Lvão) / 2 \quad R_1 \text{ (tf)} = 79.92$$

Reação por aparelho de apoio:

$$R_{neop} = R_1 / n \quad \text{sendo } n = n^\circ \text{ de aparelhos de apoio}$$

$$n = 5$$

$$R_{neop} \text{ (tf)} = 15.98$$

$$\sigma_n = R_{neop} / (a \times b) \quad \sigma_n \text{ (tf/m}^2\text{)} = 133.2$$

$$\varepsilon = \sigma_n / E_n$$

$$\Delta n = \varepsilon \times T$$

$$\Delta n = (\sigma_n \times T) / E_n \quad \Delta n \text{ (m)} = 0.000163$$

$$M_0 = (6 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \Delta) / l_x^2 \quad M_0 \text{ (tf.m/m)} = 0.54$$

$$M_1 = - M_0 \quad M_1 \text{ (tf.m/m)} = -0.54$$

8 - Efeito da ação direta do trem-tipo sobre a laje de continuidade



$l_x (m) = 1.40$
 $l_y (m) = 12.20$

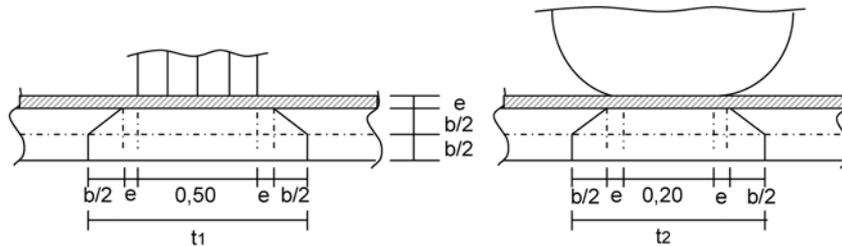
Coeficiente de impacto:
 $\varphi = 1,4 - 0,007 \times l_x$
 $\varphi = 1.390$

$l_y / l_x = \infty$

Parâmetros de entrada na tabela de Rüşh (NR-27)

$$\left\{ \begin{array}{l} l_x / a \\ t / a \end{array} \right. \quad a (m) = 2.00 \quad (\text{entre eixos do veículo tipo})$$

Cálculo de t (projeção da roda no eixo médio da laje)



$e (m) = 0.1$
 $b (m) = 0.2$

(espessura do pavimento)
 (espessura da laje)

$t_1 (m) = 0.900$

$t_2 (m) = 0.600$

$t = (t_1 \times t_2)^{0,50}$

$t (m) = 0.735$

logo:

$l_x / a = 0.700$
 $t / a = 0.367$

Pela tabela de Rüşh temos:

8.1) Carga permanente

$g = \underbrace{b \times 2,5}_{\text{pp. laje}} + \underbrace{e \times 2,4}_{\text{pp. pav.}} \quad g (tf/m^2) = 0.74$

$M_{xm} = 0,0417 \times g \times (l_x)^2$
 $M_{ym} = 0,0069 \times g \times (l_x)^2$

$M_{xm} (tf.m/m) = 0.0605$
 $M_{ym} (tf.m/m) = 0.0100$

$$M_{xe} = -0,0833 \times g \times (lx)^2$$

$$M_{xe} \text{ (tf.m/m)} = -0.121$$

8.2) Carga móvel

$$M = \varphi \times [P \times K_1 + p \times (K_2 + K_3)]$$

$$P \text{ (tf)} = 7.50$$

$$p \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.50$$

Da tabela NR-27 de Rüsçh, temos:

$$\begin{cases} M_{xm} = \varphi \times [P \times K_1 + p \times (K_2 + K_3)] \\ M_{ym} = \varphi \times [P \times K_4 + p \times (K_5 + K_6)] \\ M_{xe} = -\varphi \times [P \times K_7 + p \times (K_8 + K_9)] \end{cases}$$

Cálculo dos coeficientes da tabela:

Para M_{xm} :

| lx/a | K1 | | |
|-------|-------|--------------|-------|
| | t/a | | |
| | 0.250 | 0.367 | 0.500 |
| 0.500 | 0.083 | 0.063 | 0.041 |
| 0.700 | | 0.080 | |
| 1.000 | 0.129 | 0.105 | 0.078 |

$$K_1 = 0.080$$

$$K_2 = 0.000$$

$$K_3 = 0.000$$

| lx/a | K2 | K3 |
|-------|--------------|--------------|
| | p | p' |
| 0.500 | 0.000 | 0.000 |
| 0.700 | 0.000 | 0.000 |
| 1.000 | 0.000 | 0.000 |

$$M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = 0.834$$

Para M_{ym} :

| lx/a | K4 | | |
|-------|-------|--------------|-------|
| | t/a | | |
| | 0.250 | 0.367 | 0.500 |
| 0.500 | 0.054 | 0.044 | 0.032 |
| 0.700 | | 0.057 | |
| 1.000 | 0.092 | 0.076 | 0.058 |

$$K_4 = 0.057$$

$$K_5 = 0.000$$

$$K_6 = 0.000$$

| lx/a | K5 | K6 |
|-------|--------------|--------------|
| | p | p' |
| 0.500 | 0.000 | 0.000 |
| 0.700 | 0.000 | 0.000 |
| 1.000 | 0.000 | 0.000 |

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 0.590$$

Para M_{xe} :

| lx/a | K7 | | |
|-------|-------|--------------|-------|
| | t/a | | |
| | 0.250 | 0.367 | 0.500 |
| 0.500 | 0.190 | 0.157 | 0.120 |
| 0.700 | | 0.183 | |
| 1.000 | 0.260 | 0.222 | 0.180 |

| lx/a | K8 | K9 |
|-------|--------------|--------------|
| | p | p' |
| 0.500 | 0.000 | 0.050 |
| 0.700 | 0.000 | 0.070 |
| 1.000 | 0.000 | 0.100 |

$$\begin{aligned}
 K_7 &= 0.183 \\
 K_8 &= 0.000 \\
 K_9 &= 0.070
 \end{aligned}
 \qquad
 M_{xe} \text{ (tf.m/m)} = -1.959$$

Envoltória de esforços

1ª hipótese - (1) + (2) + (5) + (8.1)

$$\begin{aligned}
 M_0 \text{ (tf.m/m)} &= -3.854 \\
 M_1 \text{ (tf.m/m)} &= -0.417
 \end{aligned}$$

2ª hipótese - (1) + (3) + (6) + (8.1)

$$\begin{aligned}
 M_0 \text{ (tf.m/m)} &= -3.266 \\
 M_1 \text{ (tf.m/m)} &= -2.136
 \end{aligned}$$

3ª hipótese - (1) + (4) + (7) + (8.1) + (8.2)

$$\begin{aligned}
 M_0 \text{ (tf.m/m)} &= -5.008 \\
 M_1 \text{ (tf.m/m)} &= -4.964
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{M_{\max} \text{ (tf.m/m)} = 5.008}$$

9 - Dimensionamento à flexão simples:

$$\begin{aligned}
 \text{Concreto: } f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30.0 \\
 \text{Aço: } f_{yk} \text{ (MPa)} &= 500.0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{md} &= M_d / (b \times d^2 \times f_{cd}) \\
 A_s &= M_d / (k_z \times d \times f_{yd})
 \end{aligned}$$

Direção Longitudinal:

$$M_d = 1,4 \times M_{\max}$$

| M_d (tf.m/m) | d (m) | k_{md} | k_z | A_s (cm ² /m) |
|----------------|---------|----------|-------|----------------------------|
| 7.01 | 0.127 | 0.203 | 0.861 | 14.74 |

Direção Transversal:

$$M_d = 1,4 \times (M_{ym}^{c.perm.} + M_{ym}^{c.móvel})$$

| M_d (tf.m/m) | d (m) | k_{md} | k_z | A_s (cm ² /m) |
|----------------|---------|----------|-------|----------------------------|
| 0.84 | 0.119 | 0.028 | 0.983 | 1.65 |

Cálculo da Laje de Continuidade - BR-163-Vãos 24,00 m

- Inércia do conjunto (laje + vigas)

$$\begin{aligned} n_1 &= 2 && (\text{n}^\circ \text{ de vigas de bordo}) \\ n_2 &= 3 && (\text{n}^\circ \text{ de vigas centrais}) \end{aligned}$$

$$J^{\text{conj}}_{\text{VB}} (\text{m}^4) = 0.249$$

$$J^{\text{conj}}_{\text{VC}} (\text{m}^4) = 0.252$$

$$J^{\text{conj}}_{\text{total}} = n_1 \times J^{\text{conj}}_{\text{VB}} + n_2 \times J^{\text{conj}}_{\text{VC}}$$

$$J^{\text{conj}}_{\text{total}} (\text{m}^4) = 1.254$$

- Inércia da laje de continuidade

$$J_{\text{laje}} = (b \times h^3) / 12 \quad \text{onde:}$$

$$b (\text{m}) = 1.00$$

$$J_{\text{laje}} (\text{m}^4 / \text{m de laje}) = 0.000341333$$

$$h (\text{m}) = 0.16$$

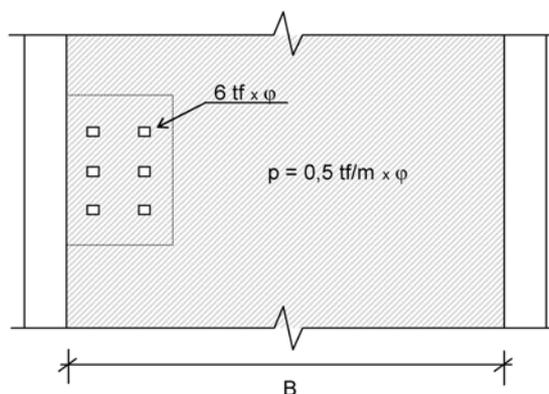
- Módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$E_{\text{cc}} = 9,5 \times (f_{\text{ck}} + 8)^{1/3} \quad (\text{fck em MPa})$$

$$f_{\text{ck}} (\text{MPa}) = 30.0$$

$$E_{\text{cc}} (\text{tf/m}^2) = 3193877$$

- Trem tipo simplificado



$$P = 6 \times 6 \times \varphi$$

$$\varphi = 1,4 - 0,007 \times L_{\text{vão}}$$

$$p = 0,5 \times B \times \varphi$$

$$L_{\text{vão}} (\text{m}) = 23.30 \quad (\text{vão teórico})$$

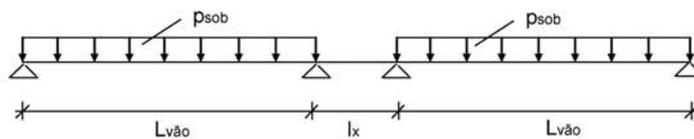
$$\varphi = 1.2369 \quad (\text{coeficiente de impacto})$$

$$B (\text{m}) = 12.20$$

$$P (\text{tf}) = 44.5$$

$$p (\text{tf/m}) = 7.5$$

1 - Efeito devido à rotação provocada pela sobrecarga permanente



$$p_{sob} = B \times h_{pav.} \times \gamma_{pav.} + P_{guarda-rodas} \times 2$$

$$h_{pav.} \text{ (m)} = 0.1 \qquad l_x \text{ (m)} = 1.40$$

$$\gamma_{pav.} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2.40 \qquad P_{guarda-rodas} \text{ (tf/m)} = 0.58$$

$$p_{sob} \text{ (tf/m)} = 4.088$$



$$m_a = (4EJ\phi) / l_x \qquad M_{result.} = m_a + m_b$$

$$m_b = (2EJ\phi) / l_x$$

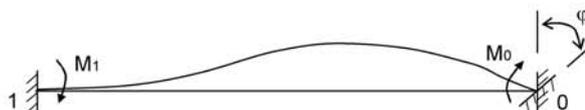
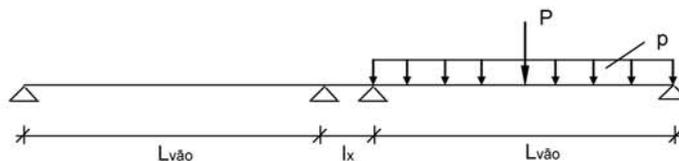
$$\phi = (p_{sob} \times Lv\grave{a}o^3) / (24 \times 0,5 \times E_{cc} \times J^{conj_total})$$

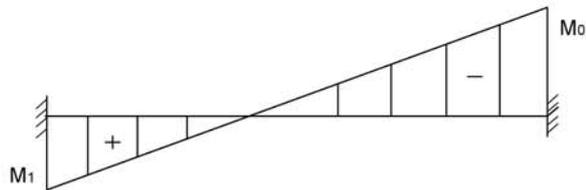
$$\phi \text{ (rad)} = 0.001076$$

$$M_1 = M_0 = (2 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \phi) / l_x$$

$$M_1 = M_0 \text{ (tf.m/m)} = -1.676$$

2 - Efeito devido à rotação de um único vão carregado pelo trem-tipo





$$M_0 = - (4 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \varphi) / l_x$$

$$M_1 = (2 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \varphi) / l_x$$

onde:

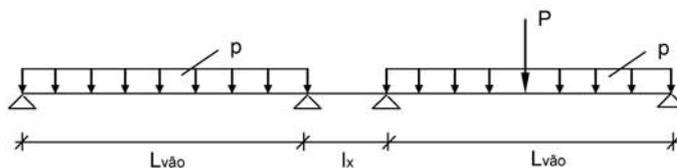
$$\varphi = \underbrace{ (P \times L_{vão}^2) / (16 \times E_{cc} \times J^{conj}_{total}) }_{\varphi_1} + \underbrace{ (p \times L_{vão}^3) / (24 \times E_{cc} \times J^{conj}_{total}) }_{\varphi_2}$$

$$\varphi \text{ (rad)} = 0.00137$$

$$M_0 \text{ (tf.m/m)} = -4.268$$

$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = 2.134$$

3 - Efeito de dois vãos adjacentes carregados simultaneamente



$$M_0 = - (E_{cc} \times J_{laje} \times (4 \times (\varphi_1 + \varphi_2) - 2 \times \varphi_2)) / l_x$$

$$M_1 = - (E_{cc} \times J_{laje} \times (4 \times \varphi_2 - 2 \times (\varphi_1 + \varphi_2))) / l_x$$

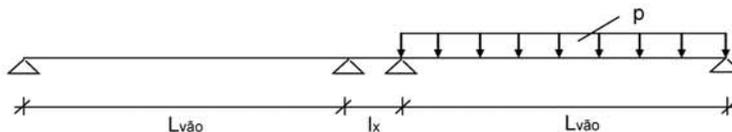
$$\varphi_1 \text{ (rad)} = 0.000377$$

$$\varphi_2 \text{ (rad)} = 0.000993$$

$$M_0 \text{ (tf.m/m)} = -2.72$$

$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = -0.96$$

4 - Efeito devido à rotação de um único vão carregado com carga distribuída móvel



$$\varphi_2 \text{ (rad)} = 0.000993$$

$$M_0 = - (4 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \varphi_2) / l_x$$

$$M_0 \text{ (tf.m/m)} = -3.09$$

$$M_1 = M_0 / 2$$

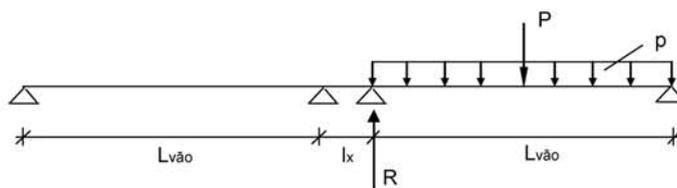
$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = -1.55$$

5 - Efeito devido ao recalque do aparelho de apoio quando um dos vãos adjacentes está carregado com a carga móvel total.

$$E_m = 2 \times G \times 0,69 \times (b / T)^2$$

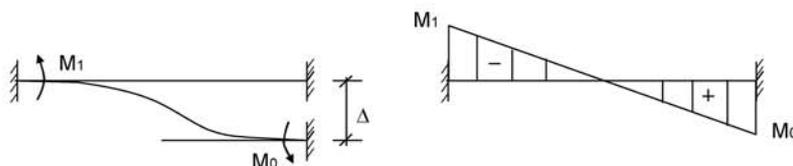
- a (m) = 0.30 (dimensão longitudinal em planta do ap. apoio)
- b (m) = 0.40 (dimensão transversal em planta do ap. apoio)
- T (m) = 0.030 (espessura de borracha do ap. apoio)
- G (tf/m²) = 100.0

$$E_n \text{ (tf/m}^2\text{)} = 24533$$



$$R = (p \times Lv\grave{a}o + P) / 2$$

$$R \text{ (tf)} = 110.16$$



$$\psi = \Delta / l_x \quad M = c \times \psi$$

$$c = (6 \times E \times J) / l_x \quad (\text{fator de forma})$$

$$M_0 = (6 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \Delta) / l_x^2$$

$$M_1 = -M_0$$

Reação vertical por aparelho de apoio:

$$R_{neop} = R / n \quad \text{sendo } n = n^\circ \text{ de aparelhos de apoio}$$

$$n = 5$$

$$R_{neop} \text{ (tf)} = 22.03$$

$$\sigma_n = R_{neop} / (a \times b) \quad \sigma_n \text{ (tf/m}^2\text{)} = 183.6$$

$$\epsilon = \sigma_n / E_n$$

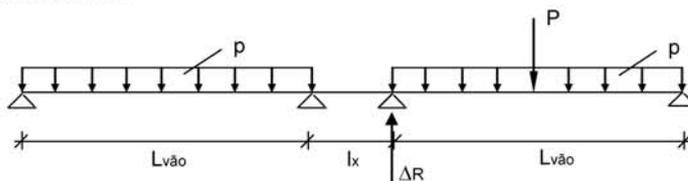
$$\Delta_n = \epsilon \times T$$

$$\Delta_n = (\sigma_n \times T) / E_n \quad \Delta_n \text{ (m)} = 0.00022452$$

$$M_0 \text{ (tf.m/m}^2\text{)} = 0.75$$

$$M_1 \text{ (tf.m/m}^2\text{)} = -0.75$$

6 - Efeito devido ao recalque do aparelho de apoio quando os dois vãos estão carregados simultaneamente



$$\Delta R = P / 2 \quad \Delta R \text{ (tf)} = 22.26$$

Diferencial de reação por aparelho de apoio:

$$\Delta R_{neop} = \Delta R / n \quad \Delta R_{neop} \text{ (tf)} = 4.45$$

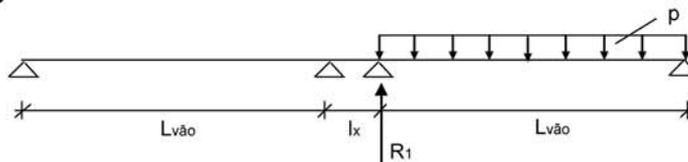
$$\Delta \sigma_n = \Delta R_{neop} / (a \times b) \quad \Delta \sigma_n \text{ (tf/m}^2\text{)} = 37.11$$

$$\Delta n = (\Delta \sigma_n \times T) / E_n \quad \Delta n \text{ (m)} = 0.0000454$$

$$M_0 = (6 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \Delta) / l_x^2 \quad M_0 \text{ (tf.m/m)} = 0.15$$

$$M_1 = - M_0 \quad M_1 \text{ (tf.m/m)} = -0.15$$

7 - Efeito devido ao recalque do aparelho de apoio com um único vão carregado com a carga móvel distribuída



$$R_1 = (p \times L_{vão}) / 2 \quad R_1 \text{ (tf)} = 87.90$$

Reação por aparelho de apoio:

$$R_{neop} = R_1 / n \quad \text{sendo } n = n^\circ \text{ de aparelhos de apoio}$$

$$n = 5$$

$$R_{neop} \text{ (tf)} = 17.58$$

$$\sigma_n = R_{neop} / (a \times b) \quad \sigma_n \text{ (tf/m}^2\text{)} = 146.5$$

$$\varepsilon = \sigma_n / E_n$$

$$\Delta n = \varepsilon \times T$$

$$\Delta n = (\sigma_n \times T) / E_n \quad \Delta n \text{ (m)} = 0.000179$$

$$M_0 = (6 \times E_{cc} \times J_{laje} \times \Delta) / l_x^2 \quad M_0 \text{ (tf.m/m)} = 0.60$$

$$M_1 = - M_0 \quad M_1 \text{ (tf.m/m)} = -0.60$$

8 - Efeito da ação direta do trem-tipo sobre a laje de continuidade



$l_x (m) = 1.40$
 $l_y (m) = 12.20$

Coefficiente de impacto:

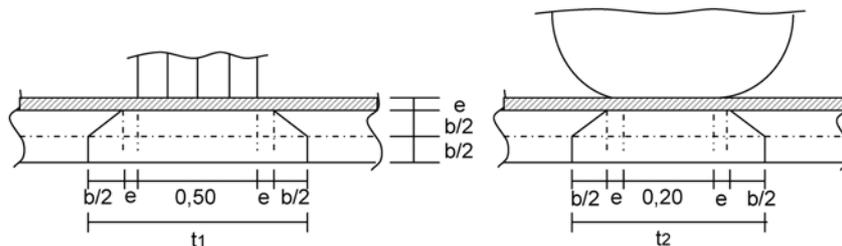
$\varphi = 1,4 - 0,007 \times l_x$
 $\varphi = 1.390$

$l_y / l_x = \infty$

Parâmetros de entrada na tabela de Rüşh (NR-27)

$$\left\{ \begin{array}{l} l_x / a \\ t / a \end{array} \right. \quad a (m) = 2.00 \quad (\text{entre eixos do veículo tipo})$$

Cálculo de t (projeção da roda no eixo médio da laje)



$e (m) = 0.1$
 $b (m) = 0.2$

(espessura do pavimento)
 (espessura da laje)

$t_1 (m) = 0.900$

$t_2 (m) = 0.600$

$t = (t_1 \times t_2)^{0,50}$

$t (m) = 0.735$

logo:

$l_x / a = 0.700$
 $t / a = 0.367$

Pela tabela de Rüşh temos:

8.1) Carga permanente

$g = \underbrace{b \times 2,5}_{pp. laje} + \underbrace{e \times 2,4}_{pp. pav.} \quad g (tf/m^2) = 0.74$

$M_{xm} = 0,0417 \times g \times (l_x)^2$

$M_{xm} (tf.m/m) = 0.0605$

$M_{ym} = 0,0069 \times g \times (l_x)^2$

$M_{ym} (tf.m/m) = 0.0100$

$$M_{xe} = -0,0833 \times g \times (lx)^2$$

$$M_{xe} \text{ (tf.m/m)} = -0.121$$

8.2) Carga móvel

$$M = \varphi \times [P \times K_1 + p \times (K_2 + K_3)]$$

$$P \text{ (tf)} = 7.50$$

$$p \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0.50$$

Da tabela NR-27 de Rüschi, temos:

$$\begin{cases} M_{xm} = \varphi \times [P \times K_1 + p \times (K_2 + K_3)] \\ M_{ym} = \varphi \times [P \times K_4 + p \times (K_5 + K_6)] \\ M_{xe} = -\varphi \times [P \times K_7 + p \times (K_8 + K_9)] \end{cases}$$

Cálculo dos coeficientes da tabela:

Para M_{xm} :

| | | K1 | | |
|-------|-------|--------------|-------|--|
| | | t/a | | |
| lx/a | 0.250 | 0.367 | 0.500 | |
| 0.500 | 0.083 | 0.063 | 0.041 | |
| 0.700 | | 0.080 | | |
| 1.000 | 0.129 | 0.105 | 0.078 | |

$$K_1 = 0.080$$

$$K_2 = 0.000$$

$$K_3 = 0.000$$

| | | K2 | K3 |
|-------|--------------|--------------|--------------|
| | | p | p' |
| lx/a | 0.500 | 0.000 | 0.000 |
| 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.700 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

$$M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = 0.834$$

Para M_{ym} :

| | | K4 | | |
|-------|-------|--------------|-------|--|
| | | t/a | | |
| lx/a | 0.250 | 0.367 | 0.500 | |
| 0.500 | 0.054 | 0.044 | 0.032 | |
| 0.700 | | 0.057 | | |
| 1.000 | 0.092 | 0.076 | 0.058 | |

$$K_4 = 0.057$$

$$K_5 = 0.000$$

$$K_6 = 0.000$$

| | | K5 | K6 |
|-------|--------------|--------------|--------------|
| | | p | p' |
| lx/a | 0.500 | 0.000 | 0.000 |
| 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.700 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 0.590$$

Para M_{xe} :

| | | K7 | | |
|-------|-------|--------------|-------|--|
| | | t/a | | |
| lx/a | 0.250 | 0.367 | 0.500 | |
| 0.500 | 0.190 | 0.157 | 0.120 | |
| 0.700 | | 0.183 | | |
| 1.000 | 0.260 | 0.222 | 0.180 | |

$$K_7 = 0.183$$

| | | K8 | K9 |
|-------|--------------|--------------|--------------|
| | | p | p' |
| lx/a | 0.500 | 0.000 | 0.050 |
| 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.050 |
| 0.700 | 0.000 | 0.000 | 0.070 |
| 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.100 |

$$K_8 = 0.000$$

$$K_9 = 0.070$$

$$M_{xe} \text{ (tf.m/m)} = -1.959$$

Envoltória de esforços

1ª hipótese - (1) + (2) + (5) + (8.1)

$$M_0 \text{ (tf.m/m)} = -5.315$$

$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = -0.412$$

2ª hipótese - (1) + (3) + (6) + (8.1)

$$M_0 \text{ (tf.m/m)} = -4.366$$

$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = -2.907$$

3ª hipótese - (1) + (4) + (7) + (8.1) + (8.2)

$$M_0 \text{ (tf.m/m)} = -6.251$$

$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = -5.900$$

$$M_{\text{máx}} \text{ (tf.m/m)} = 6.251$$

9 - Dimensionamento à flexão simples:

Concreto: f_{ck} (MPa) = 30.0
 Aço: f_{yk} (MPa) = 500.0

$$k_{md} = M_d / (b \times d^2 \times f_{cd})$$

$$A_s = M_d / (k_z \times d \times f_{yd})$$

Direção Longitudinal:

$$M_d = 1,4 \times M_{\text{máx}}$$

| M_d (tf.m/m) | d (m) | k_{md} | k_z | A_s (cm ² /m) |
|----------------|---------|----------|-------|----------------------------|
| 8.75 | 0.127 | 0.253 | 0.818 | 19.38 |

Direção Transversal:

$$M_d = 1,4 \times (M_{ym}^{c.\text{perm.}} + M_{ym}^{c.\text{móvel}})$$

| M_d (tf.m/m) | d (m) | k_{md} | k_z | A_s (cm ² /m) |
|----------------|---------|----------|-------|----------------------------|
| 0.84 | 0.119 | 0.028 | 0.983 | 1.65 |