

# **REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**

**Ministério dos Transportes**

**Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes**

## **PROJETO DE ENGENHARIA PARA IMPLANTAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS / SP.**

Ferrovia: **FERROBAN – FERROVIA BANDEIRANTES S.A.**

Trecho: **SÃO CARLOS - ARARAQUARA**

Subtrecho: **PERÍMETRO URBANO DE SÃO CARLOS**

UF: **SÃO PAULO**

Contrato: **TOMADA DE PREÇOS Nº 038/2008**

Processo: **50600-004506/2007-81**

**ANEXO 3B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS**

**TOMO I**

**PROJETO EXECUTIVO**

**OUTUBRO / 2009**

## ÍNDICE

|  |     |
|--|-----|
| 1. APRESENTAÇÃO.....                                       | 1   |
| 2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO.....                                | 3   |
| 3. VIADUTO FERROVIÁRIO - RUA JOÃO LOURENÇO RODRIGUES. .... | 7   |
| 3.1. Memorial descritivo.....                              | 8   |
| 3.2. Boletins de sondagem.....                             | 11  |
| 3.3. Memória de cálculo.....                               | 35  |
| 4. TERMO DE ENCERRAMENTO.....                              | 101 |

## **1. APRESENTAÇÃO**

O presente relatório, denominado Anexo 3B – Memória de cálculo das estruturas, complementar ao Volume 3 – Memória Justificativa, apresenta em seu conteúdo os seguintes dados para cada obra de arte especial no município de São Carlos:

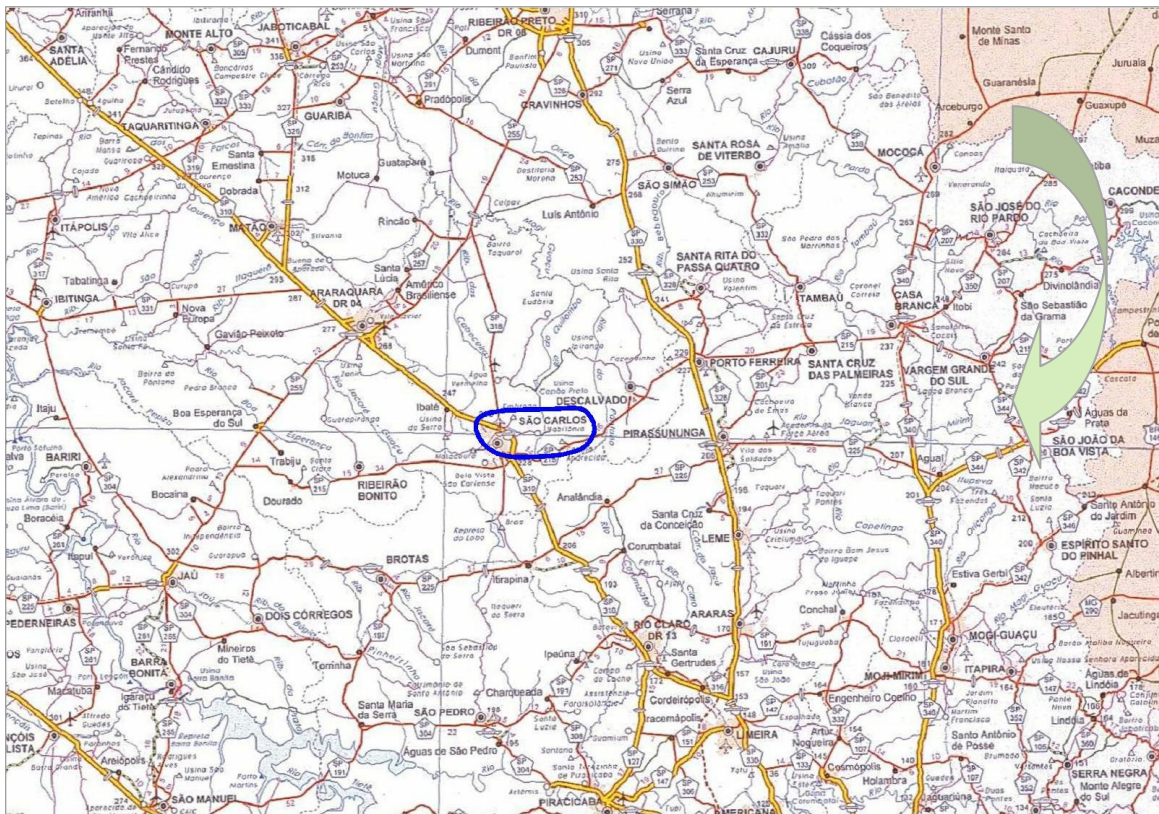
- Memorial descritivo
- Boletins de sondagens
- Memória de cálculo estrutural

## **2 - MAPAS DE LOCALIZAÇÃO**

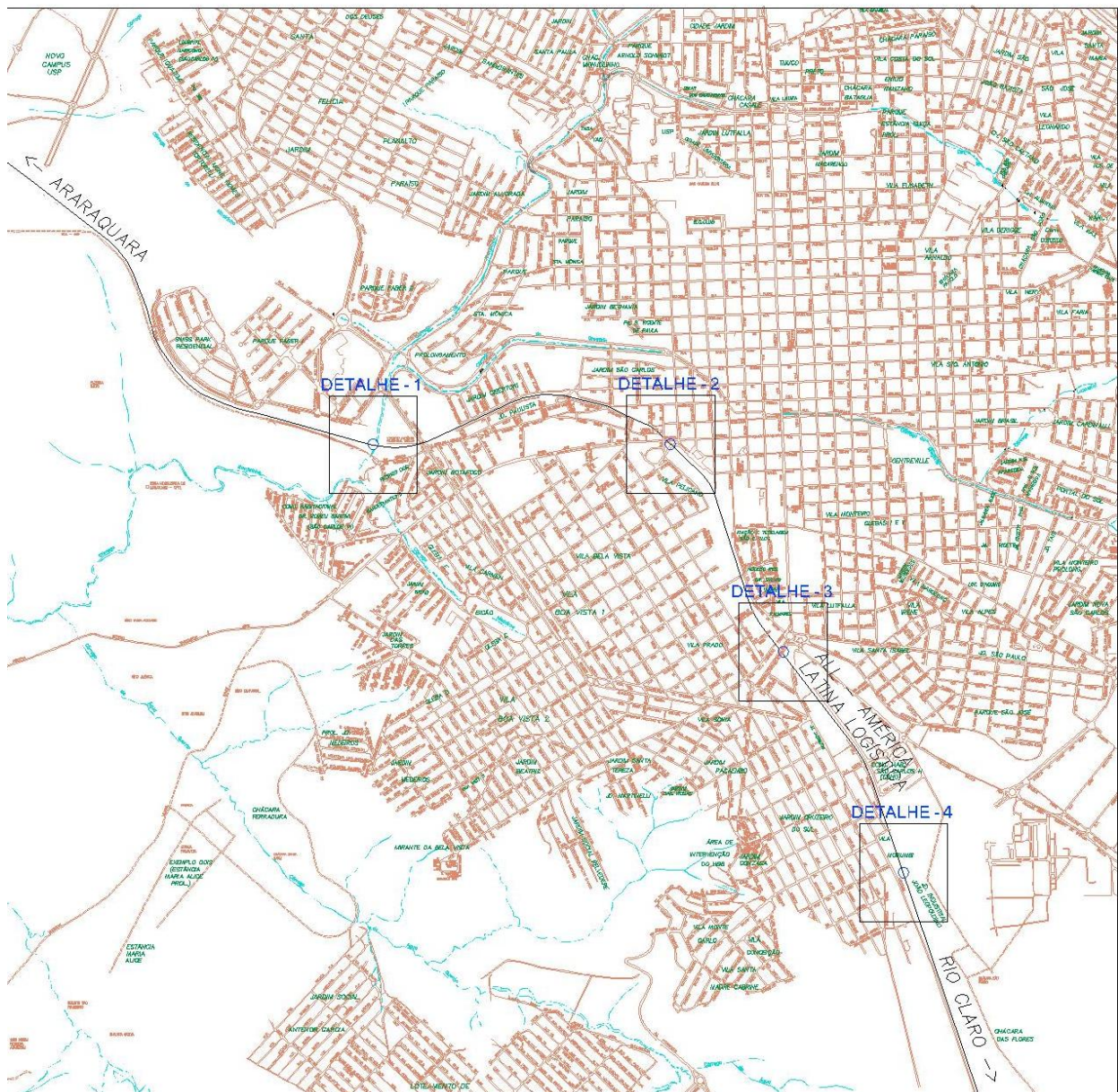


- MAPA DE LOCALIZAÇÃO

## MAPA SITUAÇÃO

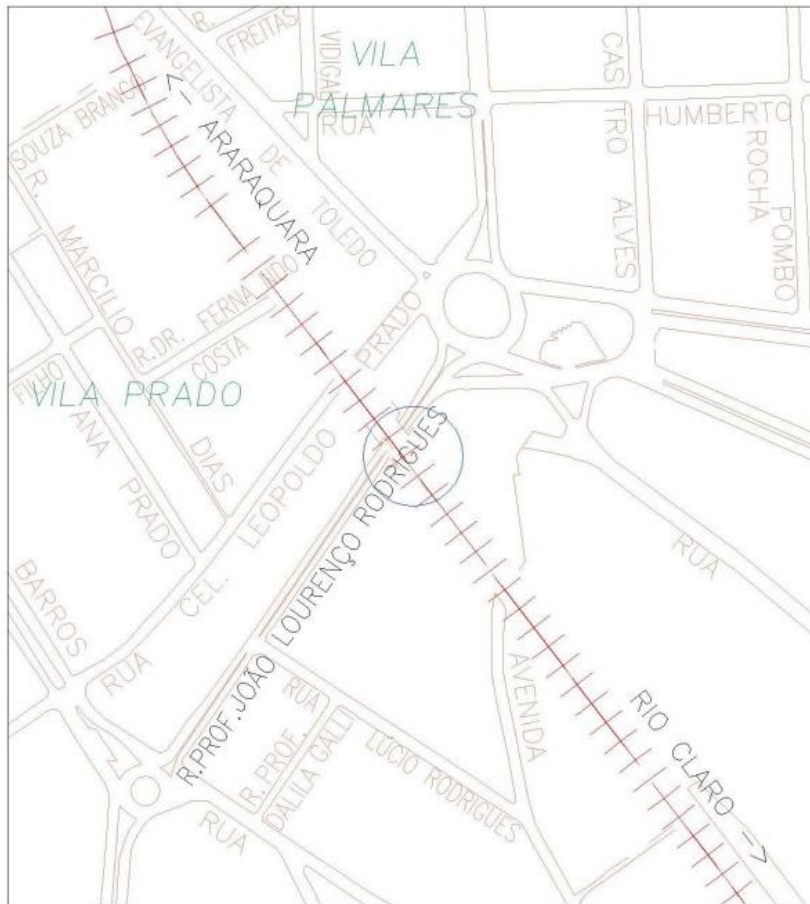






## DETALHE - 3

PASSAGEM INFERIOR DA RUA  
JOÃO LORENÇO RODRIGUES  
FERROBAN – km205+098m





### **3. VIADUTO FERROVIÁRIO - RUA JOÃO LOURENÇO RODRIGUES**

### 3.1. Memorial descritivo

A obra de arte especial VDT – ferroviário, possui quatro tramos sendo dois tramos centrais com 13,50m de vão e dois externos com 13,57m de vão com comprimento total de 56,00m e largura total de 16,94m. A plataforma superior possui gabarito para duas vias ferroviárias.

A superestrutura é constituída de três vigas longitudinais contínuas hiperestáticas, moldadas no local com 1,40m de altura. O tabuleiro é constituído de lajes em concreto armado pré-moldadas com 0,50m de largura e altura variável de 45 a 55 cm apoiadas nas vigas longitudinais sobre elementos de neoprenes. Sobre essas lajes serão reconstituído o lastro, dormentes e trilhos.

A infra-estrutura é constituída por tubulões longos com diâmetro de 1,20m, executados a ar comprimido e base de diâmetro que variam de 1,70 a 3,90m.

O cobrimento das armaduras é de 3,50cm para as vigas longitudinais e 2,50cm para as vigas transversais pré-moldadas, adotado considerando-se classe de agressividade ambiental CAA II.

A concepção da obra foi de maneira a ser executada obedecendo às restrições do tráfego ferroviário. A execução da infra-estrutura através de tubulão pneumático respeita o gabarito horizontal da ferrovia, bem como previsto um estaqueamento provisório de madeira de modo a possibilitar a execução das vigas longitudinais sem a interrupção do tráfego ferroviário.

A transferência da via férrea da situação atual para o viaduto projetado será em segmentos, que deve atender um período de parada do tráfego ferroviário recomendado pela concessionária, no caso a ALL – América Latina Logística. Assim sendo foi previsto segmentos de 15,0m.

A obra é de classe TB-360, conforme a classificação da NBR 7189.

### 3.1.1. Normas técnicas e bibliografia

Foram obedecidas as normas técnicas as ABNT em vigor e consultadas as seguintes bibliografias:

NBR 6118/2003 - Projeto de estruturas de concreto. Procedimento

NBR 6122/1996 - Projeto e execução de fundações. Procedimento

NBR 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações.  
Procedimento

NBR 7187/2003 - Projeto de pontes de concreto armado e concreto protendido. Procedimento

NBR 7188/1984 - Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Procedimento

NBR 7189/1985 - Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias. Procedimento.

NBR 09062 - 2001 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Procedimento.

LEONHARDT, F.; MONNIG, E. ; Construções de concreto. Vols. 2 e 3 .  
Editora Interciência.

Revista Estrutura no. 76 - Tietz, W.; Fundações profundas sobre tubulões - 1976

PFEIL, W. – Pontes em Concreto Armado. Livros Técnicos e Científicos  
Editora SA.1979

BRAGA, W. de A – Aparelhos de apoio das Estruturas - Editora Edgard  
Blücher Ltda.1986

MONTOYA, P. J. – Hormigón Armado - Editorial Gustavo Gili, S.A.1974

### 3.1.2. Materiais

Aços:

Aço comum CA – 50 A.....  $f_yk = 500 \text{ MPa}$

Concretos:

Tubulões..... $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

Vigas e lajes pré-moldadas da superestrutura..... $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

### 3.1.3. Programa utilizado

“STRAP” – Structural Analysis Program

*Utilizamos para o processamento da estrutura o programa: STRAP (STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM) – VERSÃO 11 (REVISÃO 100) – ABRIL DE 2004*

*Revendedor no Brasil – SAE INFORMÁTICA.*

#### **Estrutura do Programa**

*O software análise estrutural, STRAP, é um conjunto de subprogramas destinados à geração da geometria do modelo, composição de cargas e verificação de resultados. Para a construção de modelos estruturais, o programa STRAP está subdividido, com relação ao tipo de estrutura, em : Frame Plane – estruturas planas , Grid – grelha , Space – estruturas espaciais e Truss-treliças. As etapas de análise de um modelo são:*

*Geração da geometria, das características das propriedades mecânicas das barras e elementos finitos e de seus apoios.*

*Discretização dos carregamentos da estrutura, tais como: peso próprio, sobrecargas, equipamentos, vento, etc.*

*Cálculo do modelo, com a opção de processamento de efeito de 2º ordem (P delta)*

*Análise Gráfica e Tabelada dos esforços e deslocamentos*

### 3.2. Boletins de sondagem

#### 1- INTRODUÇÃO

Este relatório tem por objetivo caracterizar o subsolo, analisar e verificar a capacidade de carga dos elementos de fundação utilizado na obra do ***“Projeto de Engenharia para Implantação de obras de arte especiais no Município de São Carlos-SP”***, denominada por Viaduto da Praça Itália. Esta obra está situada no cruzamento da via férrea com a Rua João Lourenço Rodrigues, cidade de São Carlos-SP.

#### 2- VIADUTO FERROVIÁRIO

##### 2.1- Caracterização do subsolo:

Existe superficialmente uma camada de areia fina argila marrom com entulho, com espessura entre zero e 0,90m. Sob esta existe uma camada de areia fina argilosa marrom avermelhada, fofa e espessura entre 0,80 e 1,90m. Sob esta há uma camada de argila siltosa, pouca arenosa vermelha, de muito mole a mole e espessura entre 5,85 e 7,58m. Sob esta existe uma camada de silte argiloso Marrom variegado, consistência de médio a dura até os limites dos furos de sondagem, nos furos SP-01, SP-3, SP-7 e SP-8.

Nos furos SP-05 e SP-06, sob a camada de silte argiloso marrom variegado, existem areia fina média, siltosa amarela muito compacta até os limites dos furos de sondagem.

No furo SP-02, sob a camada de silte argiloso marrom variegado, existe uma camada de areia fina e média argilosa marrom avermelhada, compacta a muito compacta e espessura de 2,32m. Sob esta há uma camada de silte argiloso, marrom variegado, duro e espessura de 9,98m, sob este há uma camada de silte argiloso marrom até o limite do furo de sondagem.

No furo SP-04, sob a camada de silte argilo marrom existe uma camada de areia fina é média pouco argilosa, marrom amarelada, compacta e espessura de 4,12m. Sob esta há uma camada de silte argiloso, marrom arroxeadado, duro e espessura de 2,40m. Sob esta existe uma camada de areia fina e média, pouco argilosa, marrom, compacta de medianamente compacta a compacta e espessura de 2,50m. Sob esta há uma camada de silte argiloso marrom variegado duro até o limite do furo de sondagem.

A tabela abaixo mostra as cotas do topo, do N.A e do final dos furos de sondagem.

| FURO  | SP-01   | SP-02   | SP-03   | SP-04   | SP-05   | SP-6    | SP-07   | SP-08   |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Topo  | 836,646 | 836,860 | 836,872 | 837,096 | 837,484 | 837,159 | 837,484 | 837,159 |
| N.A   | 821,646 | 821,810 | 821,572 | 821,146 | 821,296 | 821,459 | 821,384 | 821,128 |
| Final | 815,146 | 800,199 | 810,442 | 806,846 | 812,036 | 816,089 | 814,494 | 817,368 |

**OBS: Os níveis de água forma medidos entre os dias 29/04 e 03/05/2009.**

## **2.2- Fundação adotada.**

Na presente obra foram projetados 15 tubulões pneumáticos, sendo T1 e T3 com diâmetro de fuste de 1,20m, diâmetro de base de 2,40m e altura de 1,10m, T2 com diâmetro de fuste de 1,20m, diâmetro de base de 2,80m e



altura de 1,50m, T4, T6, T7, e T9 com diâmetro de fuste de 1,20m, diâmetro de base de 3,10m e altura de 1,80m, T5 e T8 com diâmetro de fuste de 1,20m, diâmetro de base de 3,90m e altura de 2,40, T10 e T12 com diâmetro de fuste de 1,20m, diâmetro de base de 2,20m e altura de 1,0m, T11 com diâmetro de fuste de 1,20m, diâmetro de base de 2,80m e altura de 1,5m, T14 com diâmetro de fuste de 1,20m, diâmetro de base de 2,0m e altura de 1,0m e T13 e T15 com diâmetro de fuste de 1,20m, diâmetro de base de 1,70m e altura de 1,0m. (vide tabela abaixo)

| Tub.     | T1   | T2  | T3  | T4  | T5  | T6  | T7  | T8  | T9  | T10 | T11 | T12 | T13 | T14 | T15 |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\Phi f$ | 1,20 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| $\Phi b$ | 2,4  | 2,8 | 2,4 | 3,1 | 3,9 | 3,1 | 3,1 | 3,9 | 3,1 | 2,2 | 2,8 | 2,2 | 1,7 | 2,0 | 1,7 |
| H        | 1,1  | 1,5 | 1,1 | 1,8 | 2,4 | 1,8 | 1,8 | 2,4 | 1,8 | 1,0 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

OBS: Medida em metro.

Tensões adotadas:

- Para os tubulões T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T9  $\rightarrow \sigma_{\text{médio}} = 0,50 \text{ MPa}$  e
- Para os tubulões T10, T11, T12, T13, T14 e T'15  $\rightarrow \sigma_{\text{médio}} = 1,0 \text{ MPa}$  e

Levando-se em consideração que os momentos na base são provocados por cargas acidentais, as tensões de borda podem ser acrescidas de 30% segundo a NBR-6122-96. Assim sendo as tensões de borda foram adotadas 0,65 MPa e 1,30MPa.

- Os tubulões T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T9, correspondentes aos apoios 1, 2 e 3 apóiam na cota 818,00, com SPT médio em torno de 20, com resistência crescente a partir desta cota.

- Os tubulões T10, T11, T12, T13, T14 e T15, correspondentes aos apoios 4 e 5, com SPT acima de 60 golpes.

## **2.3 – Tensão Admissível.**

### **2.3.1 – Para os tubulões dos apoios 1, 2 e 3.**

Os tubulões dos apoios 1, 2 e 3 (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T9), estão apoiados na cota 818,00, em uma camada de silte argiloso marrom avermelhado ou variegado, solo residual de basalto, e com resistência a penetração do amostrador (SPT) crescente.

A tensão admissível do solo pode ser estimada pela fórmula:

$\sigma_{adm} = 20.SPT_p + q$  [KPa] , sendo:

$SPT_p = 20$  golpes e

$q$ = pressão efetiva na cota de apoio.

Em função características geotécnicas do subsolo, podemos admitir com segurança os seguintes pesos específicos para as diversas camadas:

De 0 a 10m de profundidade,  $\gamma = 15,0 \text{ kN/m}^3$

Acima de 10m de profundidade,  $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$

A profundidade média dos tubulões é 19,0m . O nível do freático está em média 15,66m abaixo da superfície natural do terreno. A pressão efetiva na cota de apoio é dada por:

$$q = 10 \cdot 15 + 5,66 \cdot 18 - 3,34 \cdot 10 = 218,48 \text{ kPa}$$

Com estes dados temos:

$$\sigma_{adm} = 20 \cdot SPT_p + q$$

$$\sigma_{adm} = 20 \cdot 20 + 218,48 = 618,48 \text{ kPa} = 0,618 \text{ MPa}.$$

Como foi adotado para cálculo 0,50MPa, está OK!

## **2.3 – Tensão Admissível.**

### **2.3.1 – Para os tubulões dos apoios 1, 2 e 3.**

Os tubulões dos apoios 4 e 5 (T10, T11, T12, T13, T14 e T15), estão apoiados na cota 813,50, em uma camada de silte marrom variegado ou areia fina e média siltosa amarelada, com resistência a penetração do amostrador (SPT) maior que 60 golpes

A tensão admissível do solo pode ser estimada pela fórmula:

$$\sigma_{adm} = 20.SPT_p + q \text{ [KPa] , sendo:}$$

$$SPT_p = 20 \text{ golpes e}$$

$q$  = pressão efetiva na cota de apoio.

Em função características geotécnicas do subsolo, podemos admitir com segurança os seguintes pesos específicos para as diversas camadas:

De 0 a 10m de profundidade,  $\gamma = 15,0 \text{ kN/m}^3$

Acima de 10m de profundidade,  $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$

A profundidade média dos tubulões é 23,50m . O nível do freático está em média 15,66m abaixo da superfície natural do terreno. A pressão efetiva na cota de apoio é dada por:

$$q = 10 \cdot 15 + 13,5 \cdot 18 - 7,84 \cdot 10 = 314,6 \text{ kPa}$$

Com estes dados temos:

$$\sigma_{adm} = 20.SPT_p + q$$

$$\sigma_{adm} = 20.60 + 314,6 = 1514,60 \text{ kPa. } 1,514 \text{ MPa.}$$

Como foi adotado para cálculo 1,0 MPa, está OK!

### **3- CONCLUSÃO:**

As tensões de 0,5 e 1,0 MPa, adotados no projeto de fundação está compatível com os valores de resistência à penetração (SPT) encontrados, mesmo se considerada a ocorrência de vibrações produzidas pelas composições ferroviárias. Deve ser ressaltado que o atrito lateral do fuste do tubulão foi completamente desprezado. Sabemos que o processo construtivo, através de camisa de concreto, reduz o atrito para valores pequenos, porém não os elimina. Assim sendo teremos um ganho de resistência que não foi considerado no cálculo.

### **4- RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO:**

As bases com diâmetros de 3,90m e altura de 2,40 devem ser concretadas imediatamente após o término da escavação, apesar do solo apresentar características geotécnicas favoráveis, isto é, coesivo.

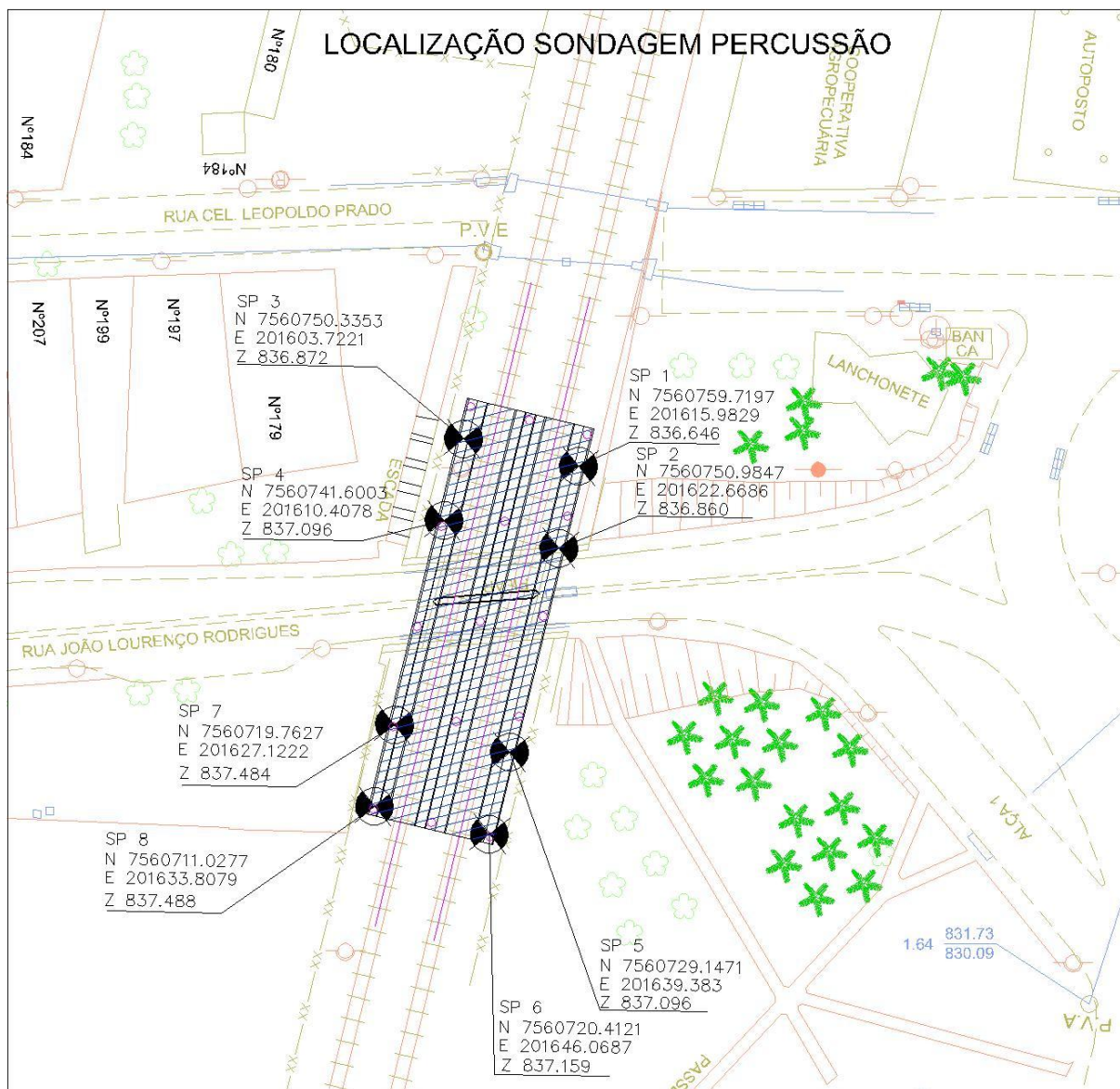
As cotas previstas para assentamento dos tubulões foram baseadas no relatório de sondagem em anexo, porém, deverão ser ratificadas “in loco” por engenheiro especialista em fundações, para garantir a tensão admissível prevista.

São José do Rio Preto, 16 de julho de 2010.

Eng. Pedro D. Zacarin

CREA: 0600 81172 7

## Relatório de sondagem







Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial • São José do Rio Preto-SP  
FONE: (017) 3354-3354 • CEP: 15.025-080  
E-mail: [silvapeo@silvapeo.com.br](mailto:silvapeo@silvapeo.com.br)

## SONDAGEM A PERCUSSÃO

INICIO 30/04/2009  
TÉRMINO 30/04/2009

COTA  
836.646

FURO N.°  
SP.01

OBRA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO | PERF.<br>GEOL. | N.A.<br>(m) | ENSAIO<br>PENETRO-<br>MÉTRICO | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m) | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                | CONSISTÊNCIA<br>OU<br>COMPACTAÇÃO |
|-----------------------------|----------------|-------------|-------------------------------|--|--------------|--|-----------------------------------|
| R = TR                      |                |             |                               |  | 0.90         | ATERRO DE AREIA FINA, ARGILOSA,<br>MARROM, COM ENTULHOS. | F.O.P.A.*                         |
|                             |                |             |                               |  | 1.70         | AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM<br>AVERMELHADA.             |                                   |
|                             |                |             |                               |  |              |  | MUITO<br>MOLE*                    |
|                             |                |             |                               |  |              | ARGILA SILTOSA, POUCA ARENOSA,<br>VERMELHA.              |                                   |
|                             |                |             |                               |  |              |  | MOLE*                             |
|                             |                |             |                               |  | 9.10         |  | MEDIA*                            |
|                             |                |             |                               |  | 10           |  | RUA*                              |
|                             |                |             |                               |  |              | SILTE ARGILOSO, MARROM<br>AVERMELHADO.                   | DURA*                             |
|                             |                |             |                               |  | 15           |  |                                   |
|                             |                |             |                               |  |              | c/manchas<br>variegadas                                  | RUA*                              |
|                             |                |             |                               |  |              |  | DURA*                             |

R = Revestimento  
TR = Trado Concha  
TE = Trado Espiral  
L = Lavagem

Amostrador ø E = 50.8 mm  
ø I = 34.9 mm  
Revestimento - tubo ø 2 1/2"  
Martelo - 65 kg  
Altura de Queda = 75 cm.

Lavagem por Tempo  
Prof. Início (m) 21.50  
10 min. 2.00 cm.  
10 min. 1.00 cm.  
10 min. 0.00 cm.

Leitura Data e Hora N.A.(m)  
1 30/04/09 às 10:30 15.11  
2 30/04/09 às 10:45 15.00  
3 30/04/09 às 11:00 15.00

Obs:  
Sondagem executada pela  
JD GEOTECNIA, e direção  
técnica da SILVA  
GEOTECNIA.

RESP. TÉCNICO:  
Engº Civil Maria Márcia R. Martins

CRIA:  
060.144.833-4

ESCALA:  
1 : 100

DESENHO:  
AM

RELAT. N.º:  
G1890-09

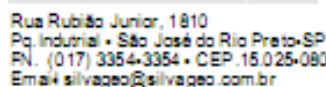
DATA:  
02/10/2009



Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial - São José do Rio Preto-SP  
FONE: (017) 3354-3354 - CEP: 15.025-080  
Email: silvageo@silvageo.com.br

|   |                    |         |          |
|---|--------------------|---------|----------|
| <b>SONDAGEM A PERCUSSÃO</b><br><b>PERFIL INDIVIDUAL</b>           | NÍCIO 30/04/2009   | COTA    | FURO N.º |
|   | TÉRMINO 30/04/2009 | 836.646 | SP.01    |
| OBRA <b>VIADUTO</b>   |                    |         |          |
| LOCAL <b>Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP</b> |                    |         |          |
| CLIENTE <b>ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA</b>                |                    |         |          |

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R T R T E L                                 | PERF.<br>GEOL.   | N.A.<br>(m)            | ENSAIO<br>PENETRO.<br>MÉTRICO   | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m)   | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL               | CONS.º<br>OU<br>COMPA.™  |
|--|--|------------------------|---|--|--|---|--|
|  |  |                        | 5 10 15   | 21   | 21.50  | limonchoso SILTE ARGILOSO, MARROM       | DURA*  |
|  |  |                        | 10 5 7  | 12   | 21.55  | variegado VERMELHO.                     | RUA*   |
|  |  |                        | 5 5 9   | 15   |  | ROCHA BASÁLTICA ALTERADA OU<br>MATAÇÃO. |  |
|  |  |                        | 15 15 15  |  |  | Limite de Perfuração                    |  |
|  |  |                        |   |  | 25   |   |  |
|  |  |                        |   |  | 30   |   |  |
|  |  |                        |   |  | 35   |   |  |
| OBS:<br>• Localização e Cota da boca dos furos fornecidas pelo cliente.    |  |                        |   |  |  |   |  |
| R = Revestimento<br>TR = Trado Concha<br>TE = Trado Espiral<br>L = Lavagem | Amostrador ø E = 50.8 mm<br>ø I = 34.9 mm<br>Revestimento - tubo ø 2 1/2"<br>Martelo - 65 kg<br>Altura de Queda = 75 cm. |                        | Lavagem por Tempo<br>Prof. Início (m) 21.50<br>10 min. 2.00 cm.<br>10 min. 1.00 cm.<br>10 min. 0.00 cm. |  | Leitura Data e Hora N.A.(m)<br>1 30/04/09 às 10:30 15.11<br>2 30/04/09 às 10:45 15.00<br>3 30/04/09 às 11:00 15.00 |   | Obs:<br>- Sondagem executada pela<br>JD GEOTECNIA, e direção<br>técnica da SILVA<br>GEOTECNIA. |
| RESP. TÉCNICO:<br>Eng.º Civil Maria Márcia R. Martins                      |  | CREA:<br>060.144.833-4 |   | ESCALA:<br>1 : 100                           | DESENHO:<br>AM   | RELAT. N.º:<br>G1890-09                 | DATA:<br>02/10/2009  |



INICIO 01/05/2009  
TÉRMINO 02/05/2009

COTA  
836.860

FJRON N.º  
SP.02

OBRA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R TR TE L                                   | PERF.<br>GEOL.   | N.A.<br>(m)             | ENBAIO<br>PENETRO-<br>MÉTRICO   | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m)  | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL  | CONSIST.<br>OU<br>COMPA. |
|--|--|-------------------------|---|--|---|--|--------------------------|
|  |  |                         |   |  | 0.90  | ATERRO DE AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM, COM ENTULHOS.  | FOFA*                    |
|  |  |                         |   |  | 1.80  | AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM AVERMELHADA.  |                          |
|  |  |                         | 1 2 1<br>15 15 15   | 3  |   |  | MOLE*                    |
|  |  |                         | 1 1 2<br>17 15 15   | 3  |   |  |                          |
|  |  |                         | 1 1<br>30 25  | 1  |   |  | MUITO MOLE*              |
|  |  |                         | 1 1<br>25 25  | 1  |   |  |                          |
|  |  |                         | 1 2 2<br>15 15 15   | 4  |   | ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA, VERMELHA.   | MOLE*                    |
|  |  |                         | 2 2 2<br>17 15 15   | 4  |   |  |                          |
|  |  |                         | 2 3 3<br>15 15 15   | 5  |   |  |                          |
|  |  |                         | 2 3 3<br>15 15 15   | 5  |   |  | MEDIA*                   |
|  |  |                         | 2 3 4<br>15 15 15   | 7  | 9.38  |  |                          |
|  |  |                         | 4 5 5<br>15 15 15   | 11   | 10  |  | RUJA*                    |
|  |  |                         | 3 4 5<br>15 15 15   | 8  |   |  | MEDIA*                   |
|  |  |                         | 3 5 7<br>15 15 15   | 12   |   |  |                          |
|  |  |                         | 4 5 5<br>15 15 15   | 14   |   |  | RUJA*                    |
|  |  |                         | 3 4 5<br>15 15 15   | 9  |   | SILTE ARGILOSO, MARROM VARIEGADO.  |                          |
|  |  |                         | 3 4 5<br>15 15 15   | 9  | 15  |  | MEDIA*                   |
|  |  |                         | 3 5 7<br>15 15 15   | 12   |   |  |                          |
|  |  |                         | 5 9 10<br>15 15 15  | 19   |   |  | RUJA*                    |
|  |  |                         | 5 10 11<br>15 15 15   | 21   |   |  | DURA*                    |
|  |  |                         | 5 7 12<br>15 15 15  | 19   |   |  | RUJA*                    |
| R = Revestimento<br>TR = Trado Concha<br>TE = Trado Espiral<br>L = Lavagem | Amostrador ø E = 50.8 mm<br>ø I = 34.9 mm<br>Revestimento - tubo ø 2 1/2"<br>Martelo - 65 kg<br>Altura de Queda = 75 cm. | 15.05                   |   |  |   |  |                          |
| RESP. TÉCNICO:<br>Eng.ª Civil Maria Márcia R. Martins                      | CREA:<br>060.144.833-4   |                         | Lavagem por Tempo<br>Prof. Início (m) 36.66<br>10 min. 1.00 cm.<br>10 min. 1.00 cm.<br>10 min. 0.00 cm. |  | Leitura de Data e Hora N.A. (m)<br>de rocha<br>Sítio: 07/05/09 às 16:00 15.22<br>2 07/05/09 às 16:15 15.05<br>3 07/05/09 às 16:30 15.05 | Obs:<br>- Sondagem executada pela<br>JD GEOTECNIA, e direção<br>técnica da SILVA<br>GEOTECNIA. |                          |
| ESCALA:<br>1 : 100   | DESENHO:<br>AM   | RELAT. N.º:<br>G1890-09 | DATA:<br>02/10/2009   |  |   |  |                          |



Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial • São José do Rio Preto-SP  
FONE: (017) 3354-3354 • CEP: 15.025-080  
Email: [silvageo@silvageo.com.br](mailto:silvageo@silvageo.com.br)

## SONDAGEM A PERCUSSÃO

NICIO 01/05/2009

**TÉRMINO 02/05/2009**

COTA  
836.860

IRON®

SP.02

OBRA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE: ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R TR TE L | PERF.<br>GEOL. | N.A.<br>(m) | ENSAIO<br>PENETRO<br>MÉTRICO             | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m)   | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL   | CONSIST.<br>OU<br>COMPACT. |
|--|----------------|-------------|--|--|----------------|---|----------------------------|
|  |                |             | 6 7 12<br>15 15 15<br>8 8 13<br>15 15 15 | 19   | 20             | c/ fragmentos de rocha alterada (solo residual)<br><b>SILTE ARGILOSO, MARROM VARIEGADO.</b> | RUJA*                      |
|  |                |             | 10 10 15<br>15 15 15                     | 21   |                |   | DURA*                      |
|  |                |             | 15 25 45<br>15 15 15                     | 25   | 21.90          |   | COMP.***<br>MUITO COMP.*** |
|  |                |             | 10 15 15<br>15 15 15                     | 30   |                | <b>AREIA FINA E MÉDIA, ARGILOSA, MARROM AVERMELHADA.</b>                                    | COMP.***                   |
|  |                |             | 8 9 15<br>15 15 15                       | 24   | 24.22          |   |                            |
|  |                |             | 10 15 17<br>15 15 15                     | 32   | 25             |   |                            |
|  |                |             | 11 15 18<br>15 15 15                     | 33   |                |   |                            |
|  |                |             | 8 12 16<br>15 15 15                      | 26   |                | <b>SILTE ARGILOSO, MARROM VARIEGADO.</b>  | DURA*                      |
|  |                |             | 10 13 16<br>15 15 15                     | 29   |                |   |                            |
|  |                |             | 8 9 14<br>15 15 15                       | 22   | 30             |   |                            |
|  |                |             | 10 14 21<br>15 15 15                     | 35   |                |   |                            |
|  |                |             | 10 12 16<br>15 15 15                     | 30   |                |   |                            |
|  |                |             | 8 9 14<br>15 15 15                       | 23   |                |   |                            |
|  |                |             | 8 12 16<br>15 15 15                      | 26   |                |   |                            |
|  |                |             | 9 11 22<br>15 15 15                      | 33   | 34.20          |   |                            |
|  |                |             | 11 15 25<br>15 15 15                     | 45   | 35             | <b>SILTE ARGILOSO, MARROM. (SOLO RESIDUAL)</b>  |                            |
|  |                |             | 14 25 29<br>15 15 15                     | 55   | 36.66<br>36.66 | <b>ROCHA BASÁLTICA ALTERADA OU MATAÇÃO.</b>   |                            |
|  |                |             |  |  |                | Limite de Perfuração  |                            |

R = Revestimento  
TR = Trado Concha  
TE = Trado Espiral  
L = Lavagem

Amostrador ø E = 50.8 mm  
ø I = 34.9 mm  
Revestimento - tubo ø 2 1/2"  
Martelo - 65 kg  
Altura de Queda = 75 cm.

Lavagem por Tempo  
Prof. Início (m) 36.66  
10 min. 1.00 cm.  
10 min. 1.00 cm.  
10 min. 0.00 cm.

Leitura Data e Hora N.A.(m)  
1 06/05/09 às 16:00 15.22  
2 06/05/09 às 16:15 15.05  
3 06/05/09 às 16:30 15.05

Obs:  
- Sondagem executada pela JD GEOTECNIA, e direção técnica da SILVA GEOTECNIA.

RESP. TÉCNICO: Eng.º Civil Maria Márcia R. Martins  
CREA: 050.144.833-4  
ESCALA: 1 : 100  
DESENHO: AM  
RELAT. N.º: G1890-09  
DATA: 02/10/2009





Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial - São José do Rio Preto-SP  
P.N. (017) 3354-3354 - CEP 15.025-080  
Email: silvageo@silvageo.com.br

# SONDAGEM A PERCUSSÃO PERFIL INDIVIDUAL

NÍCIO 29/04/2009  
TÉRMINO 29/04/2009

COTA  
836.872

RJRO N.º  
SP.03

OBRA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R T R T L | PERF.<br>GEOL.                            | N.A.<br>(m) | ENSAIO<br>PENETRO-<br>MÉTRICO | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m)  | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                    | CONS.º<br>OU<br>COMPA.º |
|--|---|-------------|-------------------------------|--|---|--|-------------------------|
|  |   |             |                               |  | 0.80  | ATERRO DE AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM.      |                         |
|  |   |             | 1 1 1<br>15 15 15             | 2  | 1.70  | AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM<br>AVERMELHADA. | "CFA"                   |
|  |   |             | 1 1<br>30 15                  | 2  |   |  |                         |
|  |   |             | 1 1<br>25 17                  | 2  |   |  | MUITO<br>MOLE*          |
|  |   |             | 1 1 1<br>15 15 15             | 2  |   |  |                         |
|  |   |             | 1 2 2<br>15 15 15             | 4  |   | ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA<br>VERMELHA.   |                         |
|  |   |             | 2 2 2<br>15 15 15             | 4  |   |  | MOLE*                   |
|  |   |             | 1 2 1<br>15 15 15             | 3  |   |  |                         |
|  |   |             | 1 2 2<br>15 15 15             | 4  | 8.80  |  |                         |
|  |   |             | 2 3 4<br>15 15 15             | 7  | 10  |  | MEDIA*                  |
|  |   |             | 4 5 9<br>15 15 15             | 14   |   |  |                         |
|  |   |             | 4 5 7<br>15 15 15             | 12   |   |  | RJJA*                   |
|  |   |             | 5 7 7<br>15 15 15             | 14   |   |  |                         |
|  |   |             | 5 12 19<br>15 15 15           | 31   |   | SILTE ARGILOSO, MARROM<br>VARIEGADO.         | DURA*                   |
|  |   |             | 5 5 9<br>15 15 15             | 17   | 15  |  | RJJA*                   |
|  |   | 15.30       | 5 15 24<br>15 15 15           | 32   |   |  | DURA*                   |
|  |   |             | 5 10 14<br>15 15 15           | 24   |   |  |                         |
|  |   |             | 5 7 7<br>15 15 15             | 14   |   |  | RJJA*                   |
|  |   |             | 7 5 11<br>15 15 15            | 19   |   |  |                         |
|  |   |             | 30 22 12<br>15 15 15          | 34   |   |  | DURA*                   |
| R = Revestimento                         | Amostrador ø E = 50.8 mm<br>ø I = 34.9 mm |             | Lavagem por Tempo             | Leitura Data e Hora N.A.(m)                  | Obs:<br>-Sondagem executada pela<br>JD GEOTECNIA, e direção<br>técnica da SILVA<br>GEOTECNIA. |  |                         |
| TR = Trado Concha                        |   |             | Prof. Início (m) -.-          | 1 29/04/09 às 13:30 15.65                    |   |  |                         |
| TE = Trado Espiral                       | Revestimento - tubo ø 2 1/2"              |             | 10 min. -.- cm.               | 2 29/04/09 às 13:45 15.30                    |   |  |                         |
| L = Lavagem                              | Martelo - 65 kg                           |             | 10 min. -.- cm.               | 3 29/04/09 às 14:00 15.30                    |   |  |                         |
|  | Altura de Queda = 75 cm.                  |             | 10 min. -.- cm.               |  |   |  |                         |
| RESP. TÉCNICO:                           | CREA:                                     | ESCALA:     | DESENHO:                      | RELAT. N.º:                                  | DATA:   |  |                         |
| Eng.º Civil Maria Márcia R. Martins      | 060.144.833-4                             | 1 : 100     | AM                            | G1890-09                                     | 02/10/2009  |  |                         |



Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial • São José do Rio Preto-SP  
FONE: (017) 3354-3354 • CEP: 15.025-080  
E-mail: [silvageo@silvageo.com.br](mailto:silvageo@silvageo.com.br)

## SONDAGEM A PERCUSSÃO PERFIL INDIVIDUAL

NICIO 29/04/2009

**TÉRMINO 29/04/2009**

COTA

836.872

EURO N.º

SP.03

OBRA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

[illegible]





Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial - São José do Rio Preto-SP  
RN. (017) 3354-3354 - CEP. 15.025-080  
Email: silvageo@silvageo.com.br

# SONDAGEM A PERCUSSÃO PERFIL INDIVIDUAL

NÍCIO 30/04/2009

TÉRMINO 30/04/2009

COTA

837.096

FURON.º

SP.04

OBRA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R. TR. TE. L. | PERF.<br>GEOL.               | N.A.<br>(m)          | ENSAIO<br>PENETRO.<br>MÉTRICO | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m) | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL  | CONS.º<br>OU<br>COMP.º |
|--|------------------------------|----------------------|-------------------------------|--|--------------|--|------------------------|
|  |                              |                      |                               |  | 0,70         | ATERRO DE AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM,<br>COM ENTULHOS.                                       |                        |
|  |                              |                      | 1 1 1<br>15 15 15             | 2  |              | AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM<br>AVERMELHADA.   | FOFA*                  |
|  |                              |                      | 1 1 1<br>15 15 15             | 2  | 2,60         |  |                        |
|  |                              |                      | 1 1 1<br>30 20                | 2  |              |  | MUITO<br>MOLE*         |
|  |                              |                      | 1 1 1<br>25 22                | 1  | 5            |  |                        |
|  |                              |                      | 1 1 2<br>15 15 15             | 3  |              | ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA,<br>VERMELHA.  |                        |
|  |                              |                      | 1 2 2<br>15 15 15             | 4  |              |  |                        |
|  |                              |                      | 1 1 2<br>15 15 15             | 3  |              |  | MOLE*                  |
|  |                              |                      | 2 2 2<br>15 15 15             | 4  | 9,20         |  |                        |
|  |                              |                      | 2 2 2<br>15 15 15             | 4  | 10           |  |                        |
|  |                              |                      | 2 3 3<br>15 15 15             | 5  |              |  | MÉDIA*                 |
|  |                              |                      | 3 3 3<br>15 15 15             | 5  |              |  |                        |
|  |                              |                      | 5 6 7<br>15 15 15             | 13   |              | SILTE ARGILOSO, MARROM.  |                        |
|  |                              |                      | 4 5 7<br>15 15 15             | 12   |              |  | RUJA*                  |
|  |                              |                      | 5 7 7<br>15 15 15             | 14   |              |  |                        |
|  |                              | 15,25                | 5 9 14<br>15 15 15            | 23   | 15,10        |  | DURA*                  |
|  |                              |                      | 8 10 11<br>15 15 15           | 21   |              |  |                        |
|  |                              |                      | 10 15 15<br>15 15 15          | 35   |              | AREIA FINA E MÉDIA, POUCO<br>ARGILOSA, MARROM AMARELADA.                                       | COMP.º                 |
|  |                              |                      | 8 10 10<br>15 15 15           | 20   |              |  |                        |
|  |                              |                      | 8 10 10<br>15 15 15           | 20   | 19,30        |  |                        |
| R = Revestimento                             | Amostrador ø E = 50,8 mm     | Lavagem por Tempo    | Leitura                       | Data e Hora                                  | N.A. (m)     | Obs:<br>- Sondagem executada pela<br>JD GEOTECNIA, e direção<br>técnica da SILVA<br>GEOTECNIA. |                        |
| TR = Trado Concha                            | ø I = 34,9 mm                | Prof. Início (m) -.- | 1                             | 30/04/09 às 09:45                            | 15,60        |  |                        |
| TE = Trado Espiral                           | Revestimento - tubo ø 2 1/2" | 10 min. -.- cm.      | 2                             | 30/04/09 às 10:00                            | 15,25        |  |                        |
| L = Lavagem                                  | Martelo - 65 kg              | 10 min. -.- cm.      | 3                             | 30/04/09 às 10:15                            | 15,25        |  |                        |
|  | Altura de Queda = 75 cm.     | 10 min. -.- cm.      |                               |  |              |  |                        |
| RESP. TÉCNICO:                               | CREA:                        | ESCALA:              | DESENHO:                      | RELAT. N.º:                                  | DATA:        |  |                        |
| Eng.º Civil Maria Márcia R. Martins          | 060.144.833-4                | 1 : 100              | AM                            | G1890-09                                     | 02/10/2009   |  |                        |





Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial - São José do Rio Preto-SP  
RN. (017) 3354-3354 - CEP. 15.025-080  
Email: silvageo@silvageo.com.br

|   |  |                           |                |                |
|---|--|---------------------------|----------------|----------------|
| <b>SONDAGEM A PERCUSSÃO</b>                                       |  | <b>INICIO</b> 03/05/2009  | <b>COTA</b>    | <b>FURON.º</b> |
| <b>PERFIL INDIVIDUAL</b>  |  | <b>TÉRMINO</b> 03/05/2009 | <b>837.096</b> | <b>SP.05</b>   |
| <b>OBRA</b> VIADUTO   |  |                           |                |                |
| <b>LOCAL</b> Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP |  |                           |                |                |
| <b>CLIENTE</b> ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA                |  |                           |                |                |

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R T R T L   | PERF.<br>GEOL. | N.A.<br>(m)   | ENSAIO<br>PENETRO-<br>MÉTRICO | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m) | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                    | CONS.º<br>OU<br>COMPA.º |
|--|----------------|---------------|-------------------------------|--|--------------|--|-------------------------|
|  |                |               |                               |  | 0.80         | ATERRO DE AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM.      |                         |
|  |                |               |                               |  | 1.80         | AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM<br>AVERMELHADA. | FOFA*                   |
|  |                |               |                               |  |              |  | MUITO<br>MOLE*          |
|  |                |               |                               |  |              | ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA,<br>VERMELHA.  |                         |
|  |                |               |                               |  | 8.53         |  | MOLE*                   |
|  |                |               |                               |  | 10           |  | MEDIA*                  |
|  |                |               |                               |  | 15           | SILTE ARGILOSO, MARROM<br>VARIEGADO.         | DURA*                   |
|  |                |               |                               |  |              |  | RUA*                    |
|  |                |               |                               |  |              |  | MEDIA*                  |
|  |                |               |                               |  |              |  | RUA*                    |
| <p>R = Revestimento Amostrador ø E = 50.8 mm Lavagem por Tempo Leitura Data e Hora N.A.(m) Obs:</p> <p>TR = Trado Concha ø I = 34.9 mm Prof. Início (m) *** 1 03/05/09 às 09:40 15.90 -Sondagem executada pela</p> <p>TE = Trado Espiral Revestimento - tubo ø 2 1/2" 10 min. *** cm. 2 03/05/09 às 09:55 15.80 JD GEOTECNIA, e direção</p> <p>L = Lavagem Martelo - 65 kg 10 min. *** cm. 3 03/05/09 às 10:10 15.80 técnica da SILVA</p> <p>Altura de Queda = 75 cm. 10 min. *** cm. GEOTECNIA.</p> |                |               |                               |  |              |  |                         |
| RESP. TÉCNICO:   |                | CREA:         |                               | ESCALA:                                      | DESENHO:     | RELAT. N.º:                                  | DATA:                   |
| Eng.º Civil Maria Márcia R. Martins  |                | 060.144.833-4 |                               | 1 : 100                                      | AM           | G1890-09                                     | 02/10/2009              |



Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial - São José do Rio Preto-SP  
RN: (017) 3354-3354 - CEP: 15.025-080  
Email: silvageo@silvageo.com.br

# SONDAGEM A PERCUSSÃO PERFIL INDIVIDUAL

NÍCIO 03/05/2009

TÉRMINO 03/05/2009

COTA  
837.096

FURON.º

SP.05

OBRA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R TR TE L                                       | PERF.<br>GEOL.                              | N.A.<br>(m)                          | ENSAIO<br>PENETRO-<br>MÉTRICO  | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m)            | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL  | CONS.º<br>OU<br>COMP.º          |
|--|---|--------------------------------------|--|--|-------------------------|--|---------------------------------|
|  |   |                                      | 4 5 6<br>15 15 15<br>4 5 6<br>15 15 15<br>4 4 5<br>15 15 15<br>4 5 5<br>15 15 15<br>25 45<br>15 10<br>45<br>5<br>45<br>5 | 14<br>11<br>9<br>10                          | 20<br>21<br>22<br>23 10 | SILTE ARGILOSO, MARROM<br>VARIEGADO.   | RUA*<br><br>MÉDIA*<br><br>DURA* |
|  |   |                                      |  |  | 24 10                   | AREIA FINA E MÉDIA, SILTOSA,<br>AMARELA.(ARENITO)  | MUITO<br>COMP.º                 |
|  |   |                                      |  |  | 25 08                   | Limite de Perfuração   |                                 |
|  |   |                                      |  |  | 30<br>35                |  |                                 |
| <p>OBS:</p> <p>• Locação e Cota da boca dos furos fornecidas pelo cliente.</p> |   |                                      |  |  |                         |  |                                 |
| R = Revestimento   | Amostrador e E = 50.8 mm<br>e I = 34.9 mm   | Lavagem por Tempo                    | Leitura  | Data e Hora                                  | N.A.(m)                 | Obs:<br>- Sondagem executada pela<br>JD GEOTECNIA, e direção<br>técnica da SILVA<br>GEOTECNIA. |                                 |
| TR = Trado Concha  |   | Prof. Início (m) -...                | 1  | 03/05/09 às 09:40                            | 15.90                   |  |                                 |
| TE = Trado Espiral   | Revestimento - tubo e 2 1/2"                | 10 min. -... cm.                     | 2  | 03/05/09 às 09:55                            | 15.80                   |  |                                 |
| L = Lavagem  | Martelo - 65 kg<br>Altura de Queda = 75 cm. | 10 min. -... cm.<br>10 min. -... cm. | 3  | 03/05/09 às 10:10                            | 15.80                   |  |                                 |
| RESP. TÉCNICO:   | CREA:                                       | ESCALA:                              | DESENHO:   | RELAT. N.º:                                  | DATA:                   |  |                                 |
| Eng.º Civil Maria Márcia R. Martins  | 060.144.833-4                               | 1 : 100                              | AM   | G1890-09                                     | 02/10/2009              |  |                                 |







Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial • São José do Rio Preto-SP  
FONE. (017) 3354-3354 • CEP. 15.025-080  
Email: [silvapeo@silvapeo.com.br](mailto:silvapeo@silvapeo.com.br)

## SONDAGEM A PERCUSSÃO

### PERFIL INDIVIDUAL

NICIO 02/05/2009

TÉRMINO 03/05/2009

COTA

837.159

EURO N.º

SP.06

|      |         |
|------|---------|
| OBRA | VIADUTO |
|------|---------|

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

[illegible]





Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial - São José do Rio Preto-SP  
RN. (017) 3354-3354 - CEP. 15.025-080  
Email: silvageo@silvageo.com.br

# SONDAGEM A PERCUSSÃO PERFIL INDIVIDUAL

NÍCIO 01/05/2009  
TÉRMINO 01/05/2009

COTA  
837.484

FURON.º  
SP.07

OBRA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R TR TE L | PERF.<br>GEOL. | N.A.<br>(m) | ENSAIO<br>PENETRO-<br>MÉTRICO | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m) | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                | CONS.º<br>OU<br>COMPA.º |
|--|----------------|-------------|-------------------------------|--|--------------|--|-------------------------|
|  |                |             |                               |  | 0.90         | ATERRO DE AREIA FINA, ARGILOSA,<br>MARROM, COM ENTULHOS. |                         |
|  |                |             | 1 1 1<br>15 15 15             | 2  |              | AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM<br>AVERMELHADA.             | FOFA*                   |
|  |                |             | 1 1 1<br>15 15 15             | 2  | 2.65         |  |                         |
|  |                |             | 1 1 1<br>15 15 15             | 2  |              |  | MUITO<br>MOLE*          |
|  |                |             | 1 1 2<br>15 15 15             | 3  | 5            |  |                         |
|  |                |             | 2 1 2<br>15 15 15             | 3  |              | ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA,<br>VERMELHA.              | MOLE*                   |
|  |                |             | 2 2 2<br>15 15 15             | 4  |              |  |                         |
|  |                |             | 2 1 2<br>15 15 15             | 3  |              |  |                         |
|  |                |             | 2 2 3<br>15 15 15             | 5  |              |  |                         |
|  |                |             | 2 4 7<br>15 15 15             | 11   | 9.30         |  | RJA*                    |
|  |                |             | 5 5 12<br>15 15 15            | 20   | 10           |  |                         |
|  |                |             | 5 10 14<br>15 15 15           | 24   |              |  | DURA*                   |
|  |                |             | 4 5 7<br>15 15 15             | 12   |              |  |                         |
|  |                |             | 4 7 7<br>15 15 15             | 14   |              |  | RJA*                    |
|  |                |             | 4 4 5<br>15 15 15             | 10   |              | SILTE ARGILOSO, MARROM<br>VARIEGADO.                     |                         |
|  |                |             | 4 4 5<br>15 15 15             | 9  | 15           |  |                         |
|  |                |             | 4 5 5<br>15 15 15             | 10   |              |  | MEDIA*                  |
|  |                |             | 3 4 5<br>15 15 15             | 9  |              |  |                         |
|  |                |             | 4 5 5<br>15 15 15             | 10   |              |  |                         |
|  |                |             | 3 4 5<br>15 15 15             | 8  |              |  |                         |

|                                     |                              |                        |          |                   |            |                           |
|-------------------------------------|------------------------------|------------------------|----------|-------------------|------------|---------------------------|
| R = Revestimento                    | Amostrador ø E = 50.8 mm     | Lavagem por Tempo      | Leitura  | Data e Hora       | N.A. (m)   | Obs:                      |
| TR = Trado Concha                   | ø I = 34.9 mm                | Prof. Início (m) 22.96 | 1        | 01/05/09 às 10:30 | 16.30      | - Sondagem executada pela |
| TE = Trado Espiral                  | Revestimento - tubo ø 2 1/2" | 10 min. 1.00 cm.       | 2        | 01/05/09 às 10:45 | 16.10      | JD GEOTECNIA, e direção   |
| L = Lavagem                         | Martelo - 65 kg              | 10 min. 1.00 cm.       | 3        | 01/05/09 às 11:00 | 16.10      | técnica da SILVA          |
|                                     | Altura de Queda = 75 cm.     | 10 min. 1.00 cm.       |          |                   |            | GEOTECNIA.                |
| RESP. TÉCNICO:                      | CREA:                        | ESCALA:                | DESENHO: | RELAT. N.º:       | DATA:      |                           |
| Eng.º Civil Maria Márcia R. Martins | 060.144.833-4                | 1 : 100                | AM       | G1890-09          | 02/10/2009 |                           |



Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial • São José do Rio Preto-SP  
FONE: (017) 3354-3354 • CEP: 15.025-080  
Email: [silvageo@silvageo.com.br](mailto:silvageo@silvageo.com.br)

## SONDAGEM A PERCUSSÃO

### PERFIL INDIVIDUAL

NICIO 01/05/2009

TÉRMINO 01/05/2009

COTA  
837.484

FJRON N.º  
SP.07

OPERA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R T R T E L                                 | PERF.<br>GEOL.   | N.A.<br>(m)   | ENSAIO<br>PENETRO-<br>MÉTRICO  | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m)  | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL   | CONS.ª<br>OU<br>COMPA.ª |
|--|--|---|--|--|---|---|-------------------------|
|  |  |   | $\frac{3}{15} \quad \frac{4}{15} \quad \frac{4}{15}$<br>$\frac{4}{15} \quad \frac{4}{15} \quad \frac{5}{15}$<br>$\frac{3}{15} \quad \frac{3}{15} \quad \frac{3}{15}$<br>$\frac{3}{15} \quad \frac{4}{15} \quad \frac{5}{15}$ |  | 20<br>22.98<br>22.99  | SILTE ARGILOSO, MARROM<br>VARIEGADO.<br><br>ROCHA BASÁLTICA ALTERADA OU<br>MATAÇÃO.<br>Limite de Perfuração | MEDIA*                  |
|  |  |   |  |  | 25<br>30<br>35  |   |                         |
| OBS:<br>*Locação e Cota da boca dos furos fornecidas pelo cliente.         |  |   |  |  |   |   |                         |
| R = Revestimento<br>TR = Trado Concha<br>TE = Trado Espiral<br>L = Lavagem | Amostrador ø E = 50.8 mm<br>ø I = 34.9 mm<br>Revestimento - tubo ø 2 1/2"<br>Martelo - 65 kg<br>Altura de Queda = 75 cm. | Lavagem por Tempo<br>Prof. Início (m) 22.96<br>10 min. 1.00 cm.<br>10 min. 1.00 cm.<br>10 min. 1.00 cm. | Leitura<br>1 00/05/09 às 10:30 16.30<br>2 00/05/09 às 10:45 16.10<br>3 00/05/09 às 11:00 16.10   | Data e Hora<br>N.A.(m)                       | Obs:<br>-Sondagem executada pela<br>JD GEOTECNIA, e direção<br>técnica da SILVA<br>GEOTECNIA. |   |                         |
| RESP. TÉCNICO:   | CREA:  | ESCALA:   | DESENHO:   | RELAT. N.º:                                  | DATA:   |   |                         |
| Eng.ª Civil Maria Márcia R. Martins  | 060.144.833-4  | 1 : 100   | AM   | G1890-09                                     | 02/10/2009  |   |                         |



Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial - São José do Rio Preto-SP  
RN. (017) 3354-3354 - CEP. 15.025-080  
Email: silvageo@silvageo.com.br

# SONDAGEM A PERCUSSÃO PERFIL INDIVIDUAL

NÍCIO 02/05/2009  
TÉRMINO 02/05/2009

COTA  
837.488

RJON.º  
SP.08

OBRA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

| REVEST.<br>MÉTODO<br>AVANÇO<br>R T R T E L  | PERF.<br>GEOL. | N.A.<br>(m)   | ENSAIO<br>PENETRO.<br>MÉTRICO | GRÁFICO<br>GOLPES / 30 cm.<br>10 20 30 40 50 | PROF.<br>(m) | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                    | CONS.º<br>OU<br>COMP.º |
|---|----------------|---------------|-------------------------------|--|--------------|--|------------------------|
|   |                |               |                               |  | 0.70         | ATERRO DE AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM.      |                        |
|   |                |               | 1/30 1/15                     | 2  |              | AREIA FINA, ARGILOSA, MARROM<br>AVERMELHADA. | "OPA"                  |
|   |                |               | 1/20 1/15 1/15                | 2  | 2.75         |  |                        |
|   |                |               | 1/15 1/15 1/15                | 2  |              |  | MUITO<br>MOLE*         |
|   |                |               | 1/15 1/15 2/15                | 3  | 5            |  |                        |
|   |                |               | 1/15 2/15 2/15                | 4  |              | ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA,<br>VERMELHA.  |                        |
|   |                |               | 2/15 1/15 2/15                | 3  |              |  |                        |
|   |                |               | 1/15 2/15 3/15                | 5  |              |  | MOLE*                  |
|   |                |               | 2/15 2/15 3/15                | 5  | 8.60         |  |                        |
|   |                |               | 2/15 3/15 3/15                | 5  | 10           |  |                        |
|   |                |               | 3/15 4/15 6/15                | 10   |              |  | MEDIA*                 |
|   |                |               | 4/15 6/15 6/15                | 11   |              |  |                        |
|   |                |               | 4/15 6/15 7/15                | 12   |              |  | RUA*                   |
|   |                |               | 3/15 3/15 4/15                | 7  | 15           | SILTE ARGILOSO, MARROM<br>VARIEGADO.         |                        |
|   |                |               | 3/15 4/15 4/15                | 8  |              |  |                        |
|   |                | 16.00         | 3/15 3/15 5/15                | 8  |              |  | MEDIA*                 |
|   |                |               | 3/15 3/15 4/15                | 7  |              |  |                        |
|   |                |               | 3/15 4/15 4/15                | 8  |              |  |                        |
|   |                |               | 3/15 4/15 4/15                | 8  | 19.34        |  | RUA*                   |
| <p>R = Revestimento Amostrador e E = 50.8 mm e I = 34.9 mm Lavagem por Tempo Leitura Data e Hora N.A.(m) Obs:</p> <p>TR = Trado Concha e l = 34.9 mm Prof. Início (m) 20.10 1 02/05/09 às 09:50 16.20 -Sondagem executada pela</p> <p>TE = Trado Espiral Revestimento - tubo e 2 1/2" 10 min. 1.00 cm. 2 02/05/09 às 10:05 16.00 JD GEOTECNIA, e direção</p> <p>L = Lavagem Martelo - 65 kg 10 min. 1.00 cm. 3 02/05/09 às 10:20 16.00 técnica da SILVA</p> <p>Altura da Queda = 75 cm. 10 min. 0.00 cm. GEOTECNIA.</p> |                |               |                               |  |              |  |                        |
| RESP. TÉCNICO:  |                | CREA:         |                               | ESCALA:                                      |              | RELAT. N.º:                                  |                        |
| Eng.º Civil Maria Márcia R. Martins   |                | 060.144.833-4 |                               | 1 : 100                                      |              | AM   |                        |
|   |                |               |                               |  |              | G 1890-09                                    |                        |
|   |                |               |                               |  |              | DATA:  |                        |
|   |                |               |                               |  |              | 02/10/2009                                   |                        |



Rua Rubião Junior, 1810  
Pq. Industrial • São José do Rio Preto-SP  
FONE. (017) 3354-3354 • CEP. 15.025-080  
Email: [silvageo@silvageo.com.br](mailto:silvageo@silvageo.com.br)

## SONDAGEM A PERCUSSÃO

NICIO 02/05/2009

**TÉRMINO 02/05/2009**

COTA  
837.488

FUOR N.°  
SP.08

OPERA VIADUTO

LOCAL Av. São Carlos, s/n - Praça Itália - São Carlos - SP

CLIENTE ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA

[illegible]

### 3.3. Memória de cálculo

## **ÍNDICE**

### **1 OBJETIVO**

### **2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS**

### **3 CARREGAMENTOS**

- 3.1 CARGAS PERMANENTES DA SUPERESTRUTURA
- 3.2 CARGAS MÓVEIS
- 3.3 Choque Lateral
- 3.4 FRENAÇÃO E ACELERAÇÃO
- 3.5 VENTO
- 3.6 TEMPERATURA
- 3.7 RETRAÇÃO
- 3.8 CARGAS PERMANENTES DA INFRAESTRUTURA

### **4 MODELO ESTRUTURAL**

- 4.1 ARQUIVOS ELETRÔNICOS
- 4.2 PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS DE BARRA E PLACA
- 4.3 MATERIAIS
- 4.4 CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES
- 4.5 CONDIÇÕES DE APOIO

### **5 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES PRÉ-MOLDADAS**

### **6 TENSÃO NO SOLO**

### **7 TUBULÕES**

### **8 APARELHOS DE APOIO**

### **9 VIGAS LONGITUDINAIS**

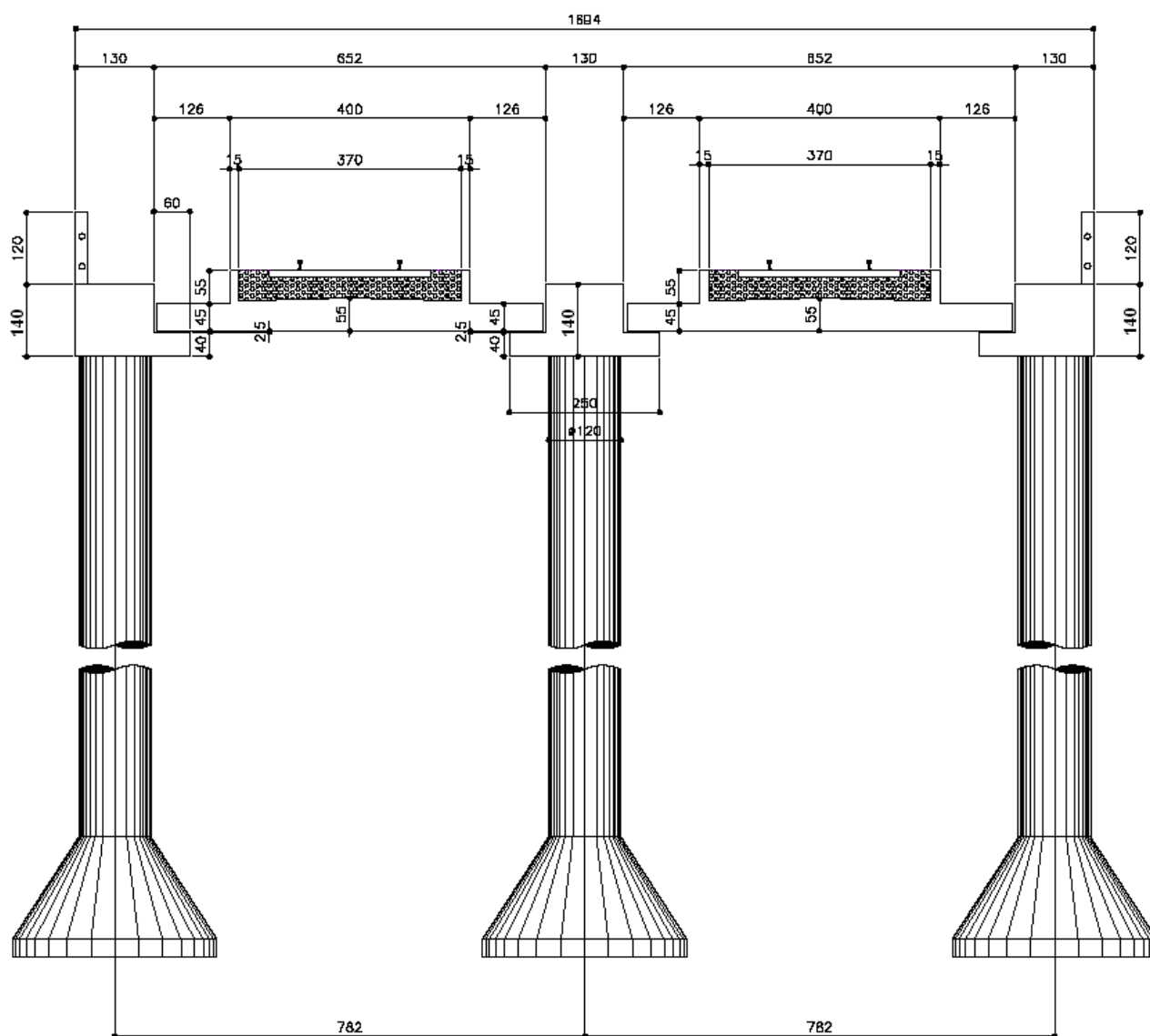
- 9.1 VIGAS LATERAIS
- 9.2 VIGA CENTRAL

## 1 - OBJETIVO

Esta memória tem por objetivo o dimensionamento da infraestrutura e superestrutura do Viaduto Ferroviário na Praça Itália em São Carlos, São Paulo.

## 2 - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

### SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA



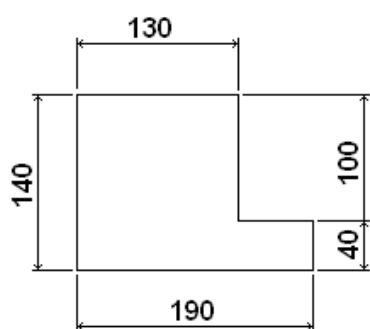
Technical drawing showing the horizontal dimensions of a three-story building facade. The drawing illustrates the layout of columns and floor slabs across three levels.

**Dimensions (Horizontal):**

- Top Level (Floor Slab):** 1100, 1350, 1350, 1614,8
- Middle Level (Floor Slab):** 1357,4, 1350, 1350, 1357,4
- Bottom Level (Floor Slab):** 1614,8, 1350, 1350, 1100

**Vertical Dimensions:**

- Column Height (Top to Middle):** 782
- Column Height (Middle to Bottom):** 782



A diagram of a stepped profile. The top horizontal edge has a width of 130. The total height of the profile is 140. The right vertical edge is divided into two segments: the upper segment has a height of 100, and the lower segment has a height of 40. The bottom horizontal edge has a total width of 250.

38



### 3 CARREGAMENTOS

#### 3.1 Cargas permanentes da superestrutura

Laje pré-moldada da superestrutura

$$h = 45 \text{ cm} \quad g = 0,5 * 0,45 * 2,5 = 0,5625 \text{ tf/m}$$

$$h = 55 \text{ cm} \quad g = 0,5 * 0,55 * 2,5 = 0,6875 \text{ tf/m}$$

Lastro

$$h = 55 \text{ cm} \quad g = 0,5 * 0,55 * 1,8 = 0,495 \text{ tf/m}$$

$$h = 45 \text{ cm} \quad g = 0,5 * 0,45 * 1,8 = 0,405 \text{ tf/m}$$

Trilhos, dormentes e acessórios

$$\text{Dormentes } 25 \times 30: 0,25 * 0,30 * 2,5 = 0,188 \text{ tf/m}$$

$$\text{Trilhos TR68: } 2 * 68 = 136 \text{ kgf/m} = 0,136 \text{ tf/m}$$

$$\text{Acessórios: } 20\% 0,136 = 0,027 \text{ tf/m}$$

$$\text{Total: } 0,188 + 0,136 + 0,027 = 0,351 \text{ tf/m}$$

Conforme item 7.1.3 da NBR 7187, consideramos 0,80 tf/m

$$P = 0,80 * 0,50 = 0,40 \text{ tf (1x)}$$

$$\text{Muretas: } 0,15 * 0,55 * 0,5 * 2,5 = 0,103 \text{ tf (2x)}$$

#### 3.2 Cargas móveis

Trem-Tipo: TB 360

$$P = 36 \text{ tf (4x)}$$

$$q = 12 \text{ tf/m (vagões cheios)}$$

$$q' = 2 \text{ tf/m (vagões vazios)}$$

$$\text{Coeficiente de impacto: } \varphi = \phi = 0.001 * (1600 - 60 * l_m^{0,5} + 2.25 l_m)$$

$$\text{Viga longitudinais: vão médio: } l_m = (11,0 + 13,5) / 2 = 12,25 \text{ m} \quad \phi = 1,418$$

$$\text{Laje : } l = 5,90 \text{ m} \quad \phi = 1,46$$

### 3.3 Choque Lateral

Conforme o item 7.2.1.4 da NBR 7187, temos:

$$F_{chl} = 0,20 * 36 = 7,20 \text{ tf}$$

### 3.4 Frenagem e aceleração

Aceleração:  $F_{ac} = 0,25 * 4 * 36 = 36,0 \text{ tf}$

Frenagem:  $F_{fr} = 0,15 * ( 4 * 36 + 12 * ( 54,15 - 8,0 ) ) = 104,67 \text{ tf}$

Conforme o item 7.2.1.5 da NBR 7187, temos que considerar atuando simultaneamente a força de frenagem em uma das linhas e na outra linha o máximo entre a força de aceleração e a metade da de frenagem.

Situação 1: ponte inteiramente carregada com vagões cheios

$$F_{ac} = 36,0 \text{ tf} \qquad F_{fr} = 104,67 \text{ tf}$$

Linha 1: 104,67 tf

Linha 2: máximo  $(36,0 ; 104,67/2) = 52,34 \text{ tf}$

Situação 2: ponte inteiramente carregada com vagões vazios

$$F_{ac} = 36,0 \text{ tf}$$

$$F_{fr} = 0,15 * ( 4 * 36 + 2 * ( 54,15 - 8,0 ) ) = 34,85 \text{ tf}$$

Linha 1: 34,85 tf

Linha 2: máximo  $(36,0 ; 34,85/2) = 36,0 \text{ tf}$

Situação 3: ponte carregada apenas com as locomotivas

$$F_{ac} = 36,0 \text{ tf}$$

$$F_{fr} = 0,15 * ( 4 * 36 ) = 7,20 \text{ tf}$$

Linha 1: 7,20 tf

Linha 2: máximo  $(36,0 ; 7,20 / 2) = 36,0 \text{ tf}$

### 3.5 Vento

$$V_0 = 40 \text{ m/s}$$

$$S_1 = 1,0$$

$$S_3 = 1,0$$

Categoria III

classe BH < 10 m

$$S_2 = 0,92$$

$$V_k = 40 * 1,0 * 1,0 * 0,92 = 36,8 \text{ m/s}$$

$$q_v = 0,613 * 36,8^2 = 830 \text{ N/m}^2 = 83,0 \text{ kgf/m}^2$$

Na superestrutura

$$\text{Altura total considerando as vigas e defesa : } h = 1,20 + 1,20 = 2,40 \text{ m}$$

$$\text{Altura total considerando o trem sobre o viaduto: } h = 0,40 + 0,02 + 1,0 + 0,19 + 3,00 = 4,61 \text{ m}$$

Consideramos um coeficiente de força de placa:  $C_f = 2,0$

$$p_v = 2,0 * 83,0 * 4,61 = 765 \text{ kgf/m} = 0,765 \text{ tf/m}$$

Na infraestrutura

$$\text{Tubulões: } C_a = 1,0 \quad p_v = 1,0 * 1,20 * 83,0 = 100 \text{ kgf/m} = 0,100 \text{ tf/m}$$

### 3.6 Temperatura

Conforme o item 11.4.2.1 da NBR 6118, adotamos:

Vigas longitudinais: variação de  $\pm 10^\circ\text{C}$

Lajes pré-moldadas: variação de  $\pm 15^\circ\text{C}$

### 3.7 Retração

Conforme o anexo A da NBR 6118, temos:

$$U = 70 \% \quad \text{abatimento entre 5 e 9 cm} \quad \varepsilon_{1s} = -3,2 * 10^{-4}$$

$$h_{fic} = \gamma \cdot 2 \cdot A_c / u_{ar}$$

$$U = 70 \%$$

$$\gamma = 1,5$$

$$\epsilon_{2s} = (33 + 2h_{fic}) / (20,8 + 3h_{fic})$$

Viga longitudinal central:

$$A_c = 2,30 \text{ m}^2 \quad u_{ar} = 7,80 \text{ m} \quad h_{fic} = 0,885 \text{ m} \quad \epsilon_{2s} = 0,734$$

Vigas longitudinais laterais:

$$A_c = 2,06 \text{ m}^2 \quad u_{ar} = 6,60 \text{ m} \quad h_{fic} = 0,936 \text{ m} \quad \epsilon_{2s} = 0,730$$

Lajes:

$$A_c = 0,25 \text{ m}^2 \quad u_{ar} = 2,0 \text{ m} \quad h_{fic} = 0,375 \text{ m} \quad \epsilon_{2s} = 0,810$$

$$\beta_s(t) - \beta_s(t_0) = 0,80$$

Vigas

$$\epsilon_{cs} = (\beta_s(t) - \beta_s(t_0)) \epsilon_{1s} \cdot \epsilon_{2s} = 0,8 * -3,2 * 10^{-4} * 0,734 = 1,88 * 10^{-4}$$

Laje

$$\epsilon_{cs} = (\beta_s(t) - \beta_s(t_0)) \epsilon_{1s} \cdot \epsilon_{2s} = 0,8 * -3,2 * 10^{-4} * 0,810 = 2,07 * 10^{-4}$$

Consideramos a retração nas vigas longitudinais como uma diminuição de temperatura de 19°C e nas lajes 21°C.

### 3.8 Cargas Permanentes da Infraestrutura

$$\text{Vigas longitudinais laterais: } 2,5 * (1,3 * 1,4 + 0,6 * 0,4) = 5,15 \text{ tf/m}$$

$$\text{Viga longitudinal central: } 2,5 * (1,3 * 1,4 + 1,2 * 0,4) = 5,75 \text{ tf/m}$$

$$\text{Tubulões: } 3,1416 * 1,2^2 / 4 * 2,5 = 2,83 \text{ tf/m}$$

Sapatas:

$d_T$  – diâmetro do tubulão

$d_s$  – diâmetro da sapata

$h$  – altura total da sapata

$h = h_1 + h_2$

$h_1$  – altura do trecho cônico da sapata

$h_2$  – altura do trecho inferior da sapata

$$V_1 = \pi h_1 (d_T^2 + d_T d_s + d_s^2) / 12$$

$$V_2 = \pi h_2 d_s^2 / 4$$

$$V_3 = \pi (h_1 + h_2) d_T^2 / 4$$

$$V = V_1 + V_2 - V_3$$

$$P = 2,5 V$$

|                               |       |       |       |        |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| APOIO                         | 1     | 1     | 2 e 3 | 2 e 3  | 4     | 4     | 5     | 5     |
| $d_T$ (m)                     | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20   | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  |
| $d_s$ (m)                     | 2,40  | 2,80  | 3,10  | 3,90   | 2,20  | 2,80  | 1,70  | 2,00  |
| $h_2$ (m)                     | 0,30  | 0,30  | 0,30  | 0,30   | 0,30  | 0,30  | 0,30  | 0,30  |
| $h$ (m)                       | 1,20  | 1,50  | 1,70  | 2,40   | 1,10  | 1,50  | 1,00  | 1,00  |
| $V_1$ (m <sup>3</sup> )       | 2,375 | 3,971 | 5,414 | 11,727 | 1,868 | 3,971 | 1,167 | 1,437 |
| $V_2$ (m <sup>3</sup> )       | 1,357 | 1,847 | 2,264 | 3,584  | 1,140 | 1,847 | 0,681 | 0,942 |
| $V_3$ (m <sup>3</sup> )       | 1,357 | 1,696 | 1,923 | 2,714  | 1,244 | 1,696 | 1,131 | 1,131 |
| $V_{TOTAL}$ (m <sup>3</sup> ) | 2,375 | 4,122 | 5,755 | 12,596 | 1,765 | 4,122 | 0,717 | 1,248 |
| Peso (tf)                     | 5,94  | 10,30 | 14,39 | 31,49  | 4,41  | 10,30 | 1,79  | 3,12  |

## RESUMO DAS CARGAS

### CARGAS PERMANENTES

Lajes pré-moldadas:  $4 * 3,08 * 54,15 / 0,50 = 1334,26$  tf

Vigas:  $54,15 * (2 * 4,50 + 5,10) = 869,11$  tf

Tubulões:  $2,83 * (6 * 23,0 + 3 * 20,0 + 6 * 18,0) = 866,0$  tf

Sapatas:  $2 * (5,94 + 1,79 + 4,41 + 31,49 + 10,30) + 4 * 14,39 + 3,12 = 168,54 \text{ tf}$

Total de CP: 3237,88 tf

FRENAÇÃO E ACELERAÇÃO:  $104,67 + 52,34 = 157,01 \text{ tf}$

VENTO:

Nas vigas:  $0,765 * 54,15 = 41,42 \text{ tf}$

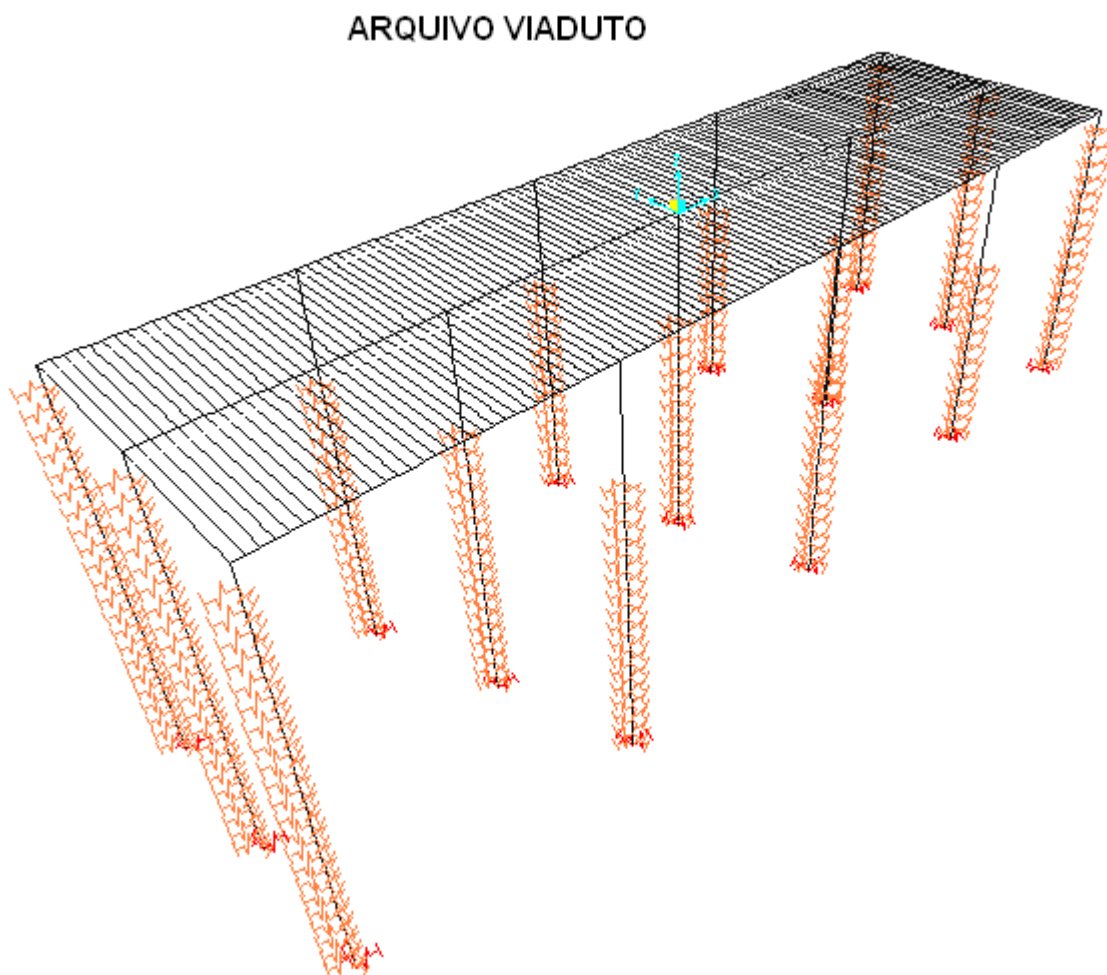
Nos tubulões:  $0,100 * 9 * 5,50 = 4,95 \text{ tf}$

Total de vento: 46,37 tf

## 4 MODELO ESTRUTURAL

### 4.1 Arquivos eletrônicos

A estrutura foi discretizada em elementos de barras e de placa nos arquivos eletrônicos LAJE e VIADUTO no software SAP2000 versão 10.0.7.



### 4.2 Propriedades dos elementos de barra e placa

Laje pré-moldada da superestrutura:  $h = 45$  a  $55$  cm

Aparelhos de apoio:  $10 \times 30 \times 2,5$  cm

Vigas longitudinais laterais

$$A = 2,06 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,3535 \text{ m}^4$$

$$I_y = 0,4549 \text{ m}^4$$

$$I_t = 0,4247 \text{ m}^4$$

Viga longitudinal central

$$A = 2,30 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,3986 \text{ m}^4$$

$$I_y = 0,7039 \text{ m}^4$$

$$I_t = 0,4247 \text{ m}^4$$

Tubulões:  $\Phi = 120 \text{ cm}$

Sapatas dos tubulões

Diâmetro  $\Phi$  e altura  $h$  (cm)

| Apoio | Tubulões laterais |     | Tubulão central |     |
|-------|-------------------|-----|-----------------|-----|
|       | $\Phi$            | $h$ | $\Phi$          | $h$ |
| 1     | 240               | 120 | 280             | 150 |
| 2     | 310               | 170 | 390             | 240 |
| 3     | 310               | 170 | 390             | 240 |
| 4     | 220               | 110 | 280             | 150 |
| 5     | 170               | 100 | 200             | 100 |

#### 4.3 Materiais

Concreto

Conforme a NBR 6118/2003, item 8.2.8, temos:

Módulo de deformação tangente inicial:  $E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2}$

Módulo de elasticidade secante:  $E_{cs} = 0,85 E_{ci}$

Tubulões e laje de aproximação:  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$$E_{cs} = 2,38 * 10^6 \text{ tf/m}^2$$

Vigas e lajes pré-moldadas da superestrutura:  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$$E_{cs} = 2,61 * 10^6 \text{ tf/m}^2$$

Neoprene:  $G = 10 \text{ kgf /cm}^2$



#### 4.4 Carregamentos e combinações

##### ARQUIVO LAJE

##### Carregamentos

CP – cargas permanentes

TREMTIPO – cargas do trem tipo

##### Combinação

$$\text{COMB1} = 1,35 \text{ CP} + 1,5 * 1,468 \text{ TREMTIPO} = 1,35 \text{ CP} + 2,202 \text{ TREMTIPO}$$

##### ARQUIVO VIADUTO

##### Carregamentos

CP – cargas permanentes

RETRAÇÃO – retração

TEMPERATURA – variação de temperatura

VENTO - vento atuante na superestrutura e infraestrutura

FRAC – frenação e aceleração

TT1 a TT8 – cargas distribuídas dos vagões cheios

LC1 a LC18 – cargas verticais concentradas dos eixos e cargas horizontais transversais do choque lateral

##### Combinações auxiliares

COMB1 a COMB12 – combinações com TT1 a TT8

COMB13 a COMB21 – combinações com LC1 a LC18

##### Envoltórias

ENV1A12- envoltória (COMB1 A COMB12)

ENV13A21- envoltória (COMB13 A COMB21)

## COMBINAÇÕES NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO E ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO

Consideramos os coeficientes de ponderação ( $\gamma_g$  e  $\gamma_q$ ), fatores de combinação ( $\psi_0$ ) e fatores de redução ( $\psi_1$  e  $\psi_2$ ) da Tabela 6 da NBR 8681 / 2003.

|                             |             |          |          |          |
|-----------------------------|-------------|----------|----------|----------|
| Ações permanentes           | $\gamma_g$  |          |          |          |
| Cargas permanentes          | 1,0 ou 1,35 |          |          |          |
| Empuxos de terra            | 1,35        |          |          |          |
| Retração                    | 1,2         |          |          |          |
| Ações variáveis principais  | $\gamma_q$  | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
| Frenagem e aceleração       | 1,5         | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Trem tipo                   | 1,5         | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Ações variáveis secundárias | $\gamma_q$  | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
| Vento                       | 1,5         | 0,6      | 0,3      | 0        |
| Temperatura                 | 1,2         | 0,6      | 0,5      | 0,3      |

## COMBINAÇÕES NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Ações permanentes: 1,35 CP + 1,2 RETRACAO

Ações variáveis principais: 1,5  $\phi$  ( ENV1a12 + ENV13a21) + 1,5 FRAC

Ações variáveis secundárias: 1,5 \* 0,6 VENTO + 1,2 \* 0,6 TEMPERATURA

Coeficiente de impacto:  $\phi = 1,418$

#### COMBINAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS (COM IMPACTO)

$$ELU1 = 1,35 CP + 1,5 \phi ( ENV1a12 + ENV13a21) + 1,5 FRAC$$

$$ELU2 = 1,35 CP + 1,5 \phi ( ENV1a12 + ENV13a21) - 1,5 FRAC$$

$$ELU3 = ELU1 + 1,2 RETRAÇÃO - 0,72 TEMPERATURA + 0,9 VENTO$$

$$ELU4 = ELU1 + 1,2 RETRAÇÃO - 0,72 TEMPERATURA - 0,9 VENTO$$

$$ELU5 = ELU1 + 0,72 TEMPERATURA + 0,9 VENTO$$

$$ELU6 = ELU1 + 0,72 TEMPERATURA - 0,9 VENTO$$

$$ELU7 = ELU2 + 1,2 RETRAÇÃO - 0,72 TEMPERATURA + 0,9 VENTO$$

$$ELU8 = ELU2 + 1,2 RETRAÇÃO - 0,72 TEMPERATURA - 0,9 VENTO$$

$$ELU9 = ELU2 + 0,72 TEMPERATURA + 0,9 VENTO$$

$$ELU10 = ELU2 + 0,72 TEMPERATURA - 0,9 VENTO$$

ENVELU – envoltória das combinações ELU1 a ELU10

#### COMBINAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DOS TUBULÕES (SEM IMPACTO)

$$ELU11 = 1,35 CP + 1,5 ( ENV1a12 + ENV13a21) + 1,5 FRAC$$

$$ELU12 = 1,35 CP + 1,5 ( ENV1a12 + ENV13a21) - 1,5 FRAC$$

$$ELU13 = ELU11 + 1,2 RETRAÇÃO - 0,72 TEMPERATURA + 0,9 VENTO$$

$$ELU14 = ELU11 + 1,2 RETRAÇÃO - 0,72 TEMPERATURA - 0,9 VENTO$$

$$ELU15 = ELU11 + 0,72 \text{ TEMPERATURA} + 0,9 \text{ VENTO}$$

$$ELU16 = ELU11 + 0,72 \text{ TEMPERATURA} - 0,9 \text{ VENTO}$$

$$ELU17 = ELU12 + 1,2 \text{ RETRAÇÃO} - 0,72 \text{ TEMPERATURA} + 0,9 \text{ VENTO}$$

$$ELU18 = ELU12 + 1,2 \text{ RETRAÇÃO} - 0,72 \text{ TEMPERATURA} - 0,9 \text{ VENTO}$$

$$ELU19 = ELU12 + 0,72 \text{ TEMPERATURA} + 0,9 \text{ VENTO}$$

$$ELU20 = ELU12 + 0,72 \text{ TEMPERATURA} - 0,9 \text{ VENTO}$$

ENVELUTUB – envoltória das combinações ELU11 a ELU20

#### COMBINAÇÕES FREQUENTES DO ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO PARA FISSURAÇÃO

Ações permanentes: CP + RETRAÇÃO

Ações variáveis principais:  $\phi * 0,5 (\text{ENV1A12} + \text{ENV13A21}) + 0,5 \text{ FRAC}$

Ações variáveis secundárias: 0,3 TEMPERATURA

$$ELS1 = CP + \phi * 0,5 (\text{ENV1A12} + \text{ENV13A21}) + 0,5 \text{ FRAC}$$

$$ELS2 = CP + \phi * 0,5 (\text{ENV1A12} + \text{ENV13A21}) - 0,5 \text{ FRAC}$$

$$ELS3 = ELS1 + \text{RETRAÇÃO} - 0,3 \text{ TEMPERATURA}$$

$$ELS4 = ELS1 + 0,3 \text{ TEMPERATURA}$$

$$ELS5 = ELS2 + \text{RETRAÇÃO} - 0,3 \text{ TEMPERATURA}$$

$$ELS6 = ELS2 + 0,3 \text{ TEMPERATURA}$$

ENVFISS - envoltória das combinações ELS1 a ELS6

## COMBINAÇÕES FREQUENTES DO ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO PARA FADIGA

Ações permanentes: CP + RETRAÇÃO

Ações variáveis principais:  $\phi$  (ENV1A12 + ENV13A21) + FRAC

Ações variáveis secundárias: 0,3 TEMPERATURA

$$ELS7 = CP + \phi ( ENV1A12 + ENV13A21) + FRAC$$

$$ELS8 = CP + \phi ( ENV1A12 + ENV13A21) - FRAC$$

$$ELS9 = ELS7 + RETRAÇÃO - 0,3 TEMPERATURA$$

$$ELS10 = ELS7 + 0,3 TEMPERATURA$$

$$ELS11 = ELS8 + RETRAÇÃO - 0,3 TEMPERATURA$$

$$ELS12 = ELS8 + 0,3 TEMPERATURA$$

ENVFAD - envoltória das combinações ELS7 a ELS12

## COMBINAÇÕES PARA TENSÃO NO SOLO

$$TS1 = CP + ENV1A12 + ENV13A21 + FRAC$$

$$TS2 = CP + ENV1A12 + ENV13A21 - FRAC$$

$$TS3 = TS1 + RETRAÇÃO - TEMPERATURA + VENTO$$

$$TS4 = TS1 + RETRAÇÃO - TEMPERATURA - VENTO$$

$$TS5 = TS2 + TEMPERATURA + VENTO$$

$$TS6 = TS3 + TEMPERATURA - VENTO$$

#### 4.5 Condições de apoio

Coeficiente de reação lateral do solo variável com a profundidade

Consideramos a contribuição lateral do solo ao longo do fuste dos tubulões conforme “  
FUNDAÇÕES

PROFUNDAS SOBRE TUBULÕES” de Waldemar Tietz ( REVISTA ESTRUTURA N<sup>o</sup> 76 ).

$b_c$  - largura convencional do tubulão

$$b_c = K * K_f * K_o * d$$

$d$  - diâmetro dos tubulões  $d = 1,20 \text{ m}$

$K_f$  – fator de forma da seção transversal do tubulão

seção circular  $\Rightarrow K_f = 0,9$

$K_o$  – influência do diâmetro

$$K_o = 1 + 1 / d \quad K_o = 1,833$$

$$K = K_1 + ( 1 - K_1 ) * L / ( 2 * ( d + 1 ) ) \leq 1,0$$

$K_1 = f ( n )$   $n$  – número de tubulões alinhados

direção longitudinal  $n = 1 \quad K_1 = 1,0$

direção transversal  $n = 3 \quad K_1 = 0,5$

$L$  – distância livre entre tubulões

Direção longitudinal:  $K = 1,0$

Direção transversal :  $L = 7,82 \text{ m} \Rightarrow K = 1,0$

Para ambas as direções:  $b_c = 1,0 * 0,9 * 1,833 = 1,98 \text{ m}$

Coeficientes de reação horizontal do solo

$$C_z = m * z \quad \text{molas : } k_m = b_c * C_z * \Delta l = b_c * m * z * \Delta l$$

| APOIO | SONDAGEM | z<br>(m) | TIPO DE SOLO   | Nmédio | m<br>(tf/m <sup>4</sup> ) |
|-------|----------|----------|----------------|--------|---------------------------|
| 1     | SP01     | 0 a 8    | argila siltosa | 2,1    | 105                       |
|       |          | 8 a 11   | silte argiloso | 13,0   | 430                       |
|       |          | 11 a 14  | silte argiloso | 33,3   | 666                       |
|       |          | 14 a 22  | silte argiloso | 16,8   | 468                       |
| 1     | SP02     | 0 a 9    | argila siltosa | 3,9    | 198                       |
|       |          | 9 a 16   | silte argiloso | 11,0   | 486                       |
|       |          | 16 a 22  | silte argiloso | 20,7   | 676                       |
|       |          | 22 a 24  | areia          | 38,0   | 760                       |
| 2     | SP03     | 0 a 9    | argila siltosa | 3,3    | 165                       |
|       |          | 9 a 18   | silte argiloso | 20,4   | 504                       |
|       |          | 18 a 24  | silte argiloso | 29,2   | 592                       |
| 2     | SP04     | 0 a 9    | argila siltosa | 2,8    | 140                       |
|       |          | 9 a 14   | silte argiloso | 10,6   | 406                       |
|       |          | 14 a 20  | areia          | 25,3   | 553                       |
|       |          | 20 a 24  | areia          | 21,0   | 510                       |
| 4     | SP05     | 0 a 8    | argila siltosa | 2,9    | 145                       |
|       |          | 8 a 12   | silte argiloso | 7,8    | 327                       |
|       |          | 12 a 15  | silte argiloso | 23,0   | 530                       |
|       |          | 15 a 23  | silte argiloso | 10,7   | 40                        |

| APOIO | SONDAGEM | z<br>(m) | TIPO DE SOLO   | Nmédio | m<br>(tf/m <sup>4</sup> ) |
|-------|----------|----------|----------------|--------|---------------------------|
| 4     | SP06     | 0 a 8    | argila siltosa | 2,8    | 140                       |
|       |          | 8 a 18   | silte argiloso | 9,2    | 373                       |
|       |          | 18 a 21  | areia          | 60,0   | 1000                      |
| 5     | SP07     | 0 a 8    | argila siltosa | 3,0    | 150                       |
|       |          | 8 a 23   | silte argiloso | 11,3   | 413                       |
| 5     | SP08     | 0 a 8    | argila siltosa | 3,2    | 160                       |
|       |          | 8 a 18   | silte argiloso | 8,2    | 340                       |
|       |          | 18 a 20  | silte argiloso | 19,0   | 490                       |

Consideramos para cada apoio uma média entre os valores do coeficiente m. Para o apoio 3 consideramos uma média entre as sondagens 3, 4, 5 e 6.

| APOIO | EL. TOPO | SONDAGEM |          |         | z<br>(m) | m<br>(tf/m <sup>4</sup> ) |
|-------|----------|----------|----------|---------|----------|---------------------------|
|       |          |          | ELEVAÇÃO | MÉDIA   |          |                           |
| 1     | 832,700  | SP01     | 833,675  | 833,782 | 0 a 8    | 150                       |
|       |          | SP02     | 833,889  |         | 8 a 13   | 450                       |
|       |          |          |          |         | 13 a 17  | 670                       |
|       |          |          |          |         | 17 a 22  | 570                       |
| 2     | 832,820  | SP03     | 833,901  | 834,013 | 0 a 8    | 150                       |
|       |          | SP04     | 834,125  |         | 8 a 15   | 450                       |
|       |          |          |          |         | 15 a 23  | 550                       |



|   |         |      |         |         |         |     |
|---|---------|------|---------|---------|---------|-----|
| 3 | 832,98  |      |         | 834,085 | 0 a 8   | 140 |
|   |         |      |         |         | 8 a 13  | 400 |
|   |         |      |         |         | 13 a 16 | 450 |
|   |         |      |         |         | 16 a 22 | 575 |
| 4 | 833,140 | SP05 | 834,125 | 834,157 | 0 a 7   | 140 |
|   |         | SP06 | 834,188 |         | 7 a 11  | 350 |
|   |         |      |         |         | 11 a 17 | 450 |
|   |         |      |         |         | 17 a 21 | 600 |
| 5 | 833,260 | SP07 | 834,513 | 834,515 | 0 a 7   | 150 |
|   |         | SP08 | 834,517 |         | 7 a 17  | 370 |
|   |         |      |         |         | 17 a 20 | 450 |

Condições de apoio na base

Deslocamentos nulos segundo os eixos X,Y e Z.

Rotação livre segundo o eixo vertical Z.

Rotação segundo os eixos X e Y : molas  $k_{mx} = k_{my} = I.C_h$

$$I = \pi * \Phi_b^4 / 64 \quad (\text{seções circulares})$$

$$C_h = 30000 \text{ tf} / \text{m}^3$$

|                               |       |       |        |        |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|
| APOIO                         | 1     | 1     | 2 e 3  | 2 e 3  |
| $\Phi_b$ (m)                  | 2,40  | 2,80  | 3,10   | 3,90   |
| $k_{mx} = k_{my}$ (tf.m /rad) | 48858 | 90516 | 136000 | 340683 |
| APOIO                         | 4     | 4     | 5      | 5      |
| $\Phi_b$ (m)                  | 2,20  | 2,80  | 1,70   | 2,00   |
| $k_{mx} = k_{my}$ (tf.m /rad) | 34497 | 90516 | 12300  | 23562  |

## 5 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES PRÉ-MOLDADAS

Concreto:  $f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$   $\gamma_c = 1,4$

Modelamos a laje no arquivo LAJE do SAP2000

CARGAS PERMANENTES (CP)

Peso próprio da laje

$$h = 45 \text{ cm} \quad g = 0,5 * 0,45 * 2,5 = 0,563 \text{ tf/m}$$

$$h = 55 \text{ cm} \quad g = 0,5 * 0,55 * 2,5 = 0,688 \text{ tf/m}$$

Lastro

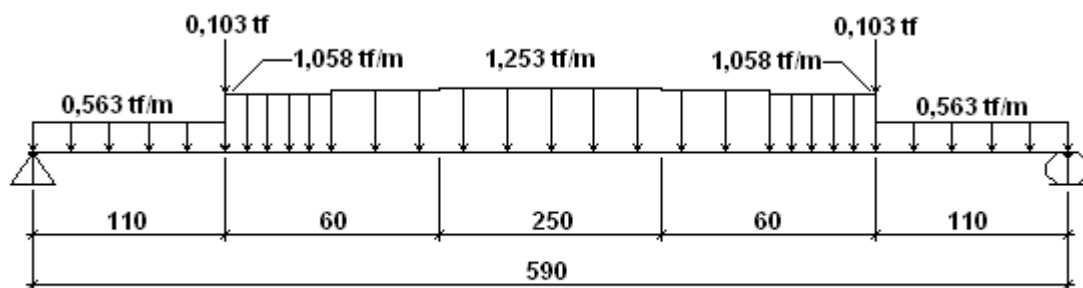
$$h = 55 \text{ cm} \quad g = 0,5 * 0,55 * 1,8 = 0,495 \text{ tf/m}$$

$$h = 45 \text{ cm} \quad g = 0,5 * 0,45 * 1,8 = 0,405 \text{ tf/m}$$

Trilhos, dormentes e acessórios

$$0,4 / 2,5 = 0,160 \text{ tf/m}$$

$$\text{Muretas: } 0,15 * 0,55 * 0,5 * 2,5 = 0,103 \text{ tf}$$



## CARGAS ACIDENTAIS (TREM TIPO)

Trem tipo TB 360

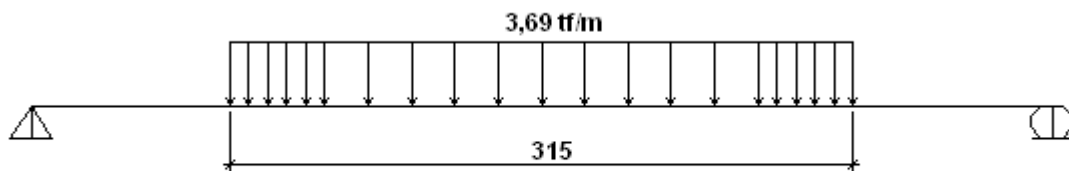
Carga concentrada por eixo:  $P = 36,0 \text{ tf}$

Área de distribuição da carga

Direção transversal:  $a = 1,60 + 2 * (0,55 + 0,45 / 2) = 3,15 \text{ m}$

Direção longitudinal:  $b = 2 * (0,55 + 0,45 / 2) = 1,55 \text{ m}$

Carga distribuída no eixo da laje:  $p = 0,5 * 36,0 / (3,15 * 1,55) = 3,69 \text{ tf/m}$



## ESFORÇOS SOLICITANTES E DIMENSIONAMENTO

Vão :  $L = 5,90 \text{ m}$

coeficiente de impacto : 1,468

Flexão

$M_g = 4,96 \text{ tf.m}$

$M_q = 12,57 \text{ tf.m}$  (sem impacto )

$M_d = 1,35 * 4,65 + 1,468 * 1,5 * 12,57 = 34,37 \text{ tf.m}$

$b_w = 50 \text{ cm}$

$h = 55 \text{ cm}$

$d = 49 \text{ cm}$

$A_s = 18,0 \text{ cm}^2$

temos 8  $\Phi 20 \text{ mm}$

Verificação da fissuração:

$$Acr = 50 * 20,80 = 1040 \text{ cm}^2$$

Combinação frequente do estado limite de utilização:

$$M_{d,ser} = 4,96 + 0,5 * 1,468 * 12,57 = 14,18 \text{ tf.m}$$

$$1^a \text{ fórmula: } w_k = 0,071 < 0,300$$

$$2^a \text{ fórmula: } w_k = 0,096 < 0,300 \quad \text{OK}$$

Combinação rara do estado limite de utilização:

$$M_{d,ser} = 4,96 + 1,468 * 12,57 = 23,41 \text{ tf.m}$$

$$1^a \text{ fórmula: } w_k = 0,194 < 0,300$$

$$2^a \text{ fórmula: } w_k = 0,158 < 0,300 \quad \text{OK}$$

Verificação da fadiga conforme item 23 da NBR 6118/2003:

Em pontes ferroviárias  $\psi_1 = 1,0$

$$\gamma_f = 1,0 \quad \alpha = E_s / E_c = 10$$

$$M_{d,ser} = 4,96 \text{ tf.m} \quad \sigma_s = 458 \text{ kgf/cm}^2$$

$$M_{d,ser} = 23,41 \text{ tf.m} \quad \sigma_s = 2162 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma_f \Delta \sigma_s = 2162 - 458 = 1704 \text{ kgf/cm}^2 < 1750 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (tabela 23.2 da NBR 6118/2003)} \quad \text{OK}$$

Cisalhamento

$$\text{Seção do apoio : } h = 45 \text{ cm} \quad d = 39 \text{ cm}$$

$$V_g = 2,91 \text{ tf}$$

$$V_q = 5,81 \text{ tf (sem impacto)}$$

$$V_{sd} = 1,35 * 2,91 + 1,5 * 1,468 * 5,81 = 16,73 \text{ tf}$$

$$V_{rd1} = 12,95 \text{ tf} < V_{sd} \quad \text{devemos armar a cisalhamento}$$

$$A_{sw}/s = 1,15 \text{ cm}^2/\text{m} \quad A_{swmin} = 5,12 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Verificação da fadiga conforme item 23 da NBR 6118/2003:

$$V_{sd,ser} = 2,91 + 1,468 * 5,81 = 11,44 \text{ tf}$$

$$0,5 V_c = 0,5 * 14,97 = 7,49 \text{ tf}$$

$$V_{sw} = 11,44 - 7,49 = 3,95 \text{ tf}$$

$$\sigma_{sd} = 850 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{tabela 23.2})$$

$$A_{sw} = 3,95 / (0,9 * 0,39 * 0,85) = 13,23 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{temos } \Phi 8 \text{ mm c/ 15 (6 ramos): } 20,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Flechas no estádio I:

Cargas permanentes: 1,49mm

Trem tipo: 3,66 mm (sem impacto)

$$\text{Total: } \delta = 1,49 + 1,468 * 3,66 = 6,86 \text{ mm} \quad 1:860 \quad \text{OK}$$

Inércia equivalente, conforme item 17.3.1 da NBR 6118:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{ct} = f_{ctm} = 2,56 \text{ MPa}$$

$$I_c = 50 * 55^3 / 12 = 693229 \text{ cm}^4 \quad y_t = 55 / 2 = 27,5 \text{ cm} \quad \alpha = 1,5$$

$$M_r = \alpha f_{ct} I_c / y_t = 9,68 \text{ tf.m}$$

$$\text{Armadura adotada: } 5 \Phi 25 \text{ mm} \quad \rho = 0,01002$$

$$n = E_s / E_{cs} = 10 \quad \rho_n = 0,1002$$

$$I_{II} = 332915 \text{ cm}^4$$

$$M_a = 14,18 \text{ tf.m (combinação freqüente)}$$

$$I_{eq} = 447468 \text{ cm}^4$$

$$I_{eq} / I_c = 0,645$$

$$\text{Flecha no estádio II: } \delta = 6,86 / 0,645 = 10,64 \text{ mm} \quad 1:555 \quad \text{OK}$$

## 6 TENSÃO NO SOLO

Conforme parecer de geotecnia, temos as seguintes tensões admissíveis:

Apoios 1 a 3: 0,5 MPa

Apoios 4 e 5: 1,0 MPa

| APOIO | Diâmetro<br>das sapatas<br>(cm) | Nó do arquivo<br>VIADUTO |
|-------|---------------------------------|--------------------------|
| 1     | 240                             | 710 e 2080               |
|       | 280                             | 692                      |
| 2 e 3 | 310                             | 2068, 2069, 2078 e 2079  |
|       | 390                             | 2073 e 2074              |
| 4     | 220                             | 2067 e 2077              |
|       | 280                             | 2072                     |
| 5     | 170                             | 627 e 2066               |
|       | 200                             | 650                      |

A seguir resumimos os valores máximos e mínimos das reações de apoio e das tensões no solo.

Nó 2080 APOIO 1

Diâmetro: 2,40 m

A = 4,524 m<sup>2</sup>

W = 1,3572 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub><br>(tf) | F <sub>2</sub><br>(tf) | F <sub>3</sub><br>(tf) | M <sub>1</sub><br>(tf.m) | M <sub>2</sub><br>(tf.m) | N<br>(tf) | M<br>(tf.m) | Tensão (tf/m <sup>2</sup> )<br>média de bordo |      |
|------------|-----|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|-------------|---|------|
| TS1        | Max | 0,81                   | -0,70                  | 165,73                 | -0,04                    | 1,15                     | 165,73    | 1,16        | 36,6  | 37,5 |
| TS1        | Min | 0,51                   | -1,25                  | 111,90                 | -0,14                    | 0,94                     |           |             |   |      |
| TS2        | Max | 0,27                   | -0,71                  | 150,62                 | -0,11                    | -0,27                    | 150,62    | 0,53        | 33,3  | 33,7 |
| TS2        | Min | -0,02                  | -1,26                  | 96,79                  | -0,21                    | -0,48                    |           |             |   |      |
| TS3        | Max | 0,38                   | -0,90                  | 154,25                 | -0,29                    | -0,01                    | 154,25    | 0,45        | 34,1  | 34,4 |

|        |     |      |       |        |       |       |        |      |      |      |
|--------|-----|------|-------|--------|-------|-------|--------|------|------|------|
| TS3    | Min | 0,09 | -1,46 | 100,42 | -0,39 | -0,22 |        |      |      |      |
| TS4    | Max | 0,38 | -0,58 | 154,25 | 0,08  | -0,01 | 154,25 | 0,23 | 34,1 | 34,3 |
| TS4    | Min | 0,09 | -1,13 | 100,42 | -0,02 | -0,22 |        |      |      |      |
| TS5    | Max | 0,95 | -0,84 | 169,69 | -0,20 | 1,55  | 169,69 | 1,58 | 37,5 | 38,7 |
| TS5    | Min | 0,66 | -1,39 | 115,86 | -0,30 | 1,34  |        |      |      |      |
| TS6    | Max | 0,95 | -0,51 | 169,69 | 0,17  | 1,55  | 169,69 | 1,56 | 37,5 | 38,7 |
| TS6    | Min | 0,66 | -1,07 | 115,86 | 0,07  | 1,34  |        |      |      |      |
| Máximo |     |      |       |        |       |       |        |      | 37,5 | 38,7 |

#### Nó 692 APOIO 1

|                  |                |                          |                |                |                |                           |        |                             |          |      |
|------------------|----------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|--------|-----------------------------|----------|------|
| Diâmetro: 2,80 m |                | A = 6,158 m <sup>2</sup> |                |                |                | W = 2,1551 m <sup>3</sup> |        |                             |          |      |
| Combinação       | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub>           | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N                         | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |      |
|                  | (tf)           | (tf)                     | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)                      | (tf.m) | média                       | de bordo |      |
| TS1              | Max            | 2,16                     | 0,69           | 289,44         | 0,02           | 2,99                      | 289,44 | 2,99                        | 47,0     | 48,4 |
| TS1              | Min            | 1,25                     | -0,14          | 167,82         | -0,16          | 2,23                      |        |                             |          |      |
| TS2              | Max            | 0,97                     | 0,69           | 271,28         | 0,06           | -0,28                     | 271,28 | 1,05                        | 44,1     | 44,5 |
| TS2              | Min            | 0,05                     | -0,14          | 149,65         | -0,12          | -1,04                     |        |                             |          |      |
| TS3              | Max            | 1,48                     | 0,57           | 279,77         | -0,30          | 1,11                      | 279,77 | 1,20                        | 45,4     | 46,0 |
| TS3              | Min            | 0,57                     | -0,27          | 158,15         | -0,48          | 0,34                      |        |                             |          |      |
| TS4              | Max            | 1,48                     | 0,82           | 279,77         | 0,35           | 1,11                      | 279,77 | 1,16                        | 45,4     | 46,0 |
| TS4              | Min            | 0,57                     | -0,01          | 158,15         | 0,16           | 0,34                      |        |                             |          |      |
| TS5              | Max            | 2,39                     | 0,57           | 292,78         | -0,30          | 3,64                      | 292,78 | 3,67                        | 47,5     | 49,3 |
| TS5              | Min            | 1,48                     | -0,27          | 171,15         | -0,48          | 2,88                      |        |                             |          |      |
| TS6              | Max            | 2,39                     | 0,82           | 292,78         | 0,34           | 3,64                      | 292,78 | 3,66                        | 47,5     | 49,2 |
| TS6              | Min            | 1,48                     | -0,01          | 171,15         | 0,16           | 2,88                      |        |                             |          |      |
| Máximo           |                |                          |                |                |                |                           |        |                             | 47,5     | 49,3 |

Nó 710 APOIO 1

Diâmetro: 2,40 m

A = 4,524 m<sup>2</sup>

W = 1,3572 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | 1,36           | 1,49           | 202,81         | 0,11           | 1,03           | 202,81 | 1,04   | 44,8                        | 45,6     |
| TS1        | Min | 0,77           | 0,69           | 136,93         | 0,03           | 0,71           |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | 1,13           | 1,50           | 197,90         | 0,15           | 0,34           | 197,90 | 0,37   | 43,7                        | 44,0     |
| TS2        | Min | 0,54           | 0,70           | 132,03         | 0,07           | 0,02           |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | 0,96           | 1,37           | 194,83         | -0,02          | -0,20          | 194,83 | 0,53   | 43,1                        | 43,5     |
| TS3        | Min | 0,37           | 0,57           | 128,95         | -0,09          | -0,52          |        |        |                             |          |
| TS4        | Max | 0,96           | 1,71           | 194,83         | 0,38           | -0,20          | 194,83 | 0,64   | 43,1                        | 43,5     |
| TS4        | Min | 0,37           | 0,90           | 128,95         | 0,30           | -0,52          |        |        |                             |          |
| TS5        | Max | 1,50           | 1,31           | 205,56         | -0,12          | 1,45           | 205,56 | 1,47   | 45,4                        | 46,5     |
| TS5        | Min | 0,91           | 0,50           | 139,68         | -0,19          | 1,13           |        |        |                             |          |
| TS6        | Max | 1,50           | 1,64           | 205,56         | 0,28           | 1,45           | 205,56 | 1,48   | 45,4                        | 46,5     |
| TS6        | Min | 0,91           | 0,84           | 139,68         | 0,20           | 1,13           |        |        |                             |          |
| Máximo     |     |                |                |                |                |                |        |        | 45,4                        | 46,5     |

Nó 2069 APOIO 2

Diâmetro: 3,10 m

A = 7,548 m<sup>2</sup>

W = 2,9247 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | 1,10           | 2,67           | 375,01         | 1,87           | 0,82           | 375,01 | 2,04   | 49,7                        | 50,4     |
| TS1        | Min | -1,13          | 0,75           | 246,46         | 1,10           | 0,05           |        |        |                             |          |



|        |     |       |       |        |       |       |        |      |      |      |
|--------|-----|-------|-------|--------|-------|-------|--------|------|------|------|
| TS2    | Max | -1,52 | 2,65  | 377,54 | 1,90  | -1,09 | 377,54 | 2,66 | 50,0 | 50,9 |
| TS2    | Min | -3,75 | 0,73  | 248,99 | 1,13  | -1,86 |        |      |      |      |
| TS3    | Max | -1,09 | 4,18  | 383,24 | 0,22  | -0,73 | 383,24 | 1,60 | 50,8 | 51,3 |
| TS3    | Min | -3,32 | 2,26  | 254,69 | -0,55 | -1,50 |        |      |      |      |
| TS4    | Max | -1,09 | 0,15  | 383,24 | 4,67  | -0,73 | 383,24 | 4,90 | 50,8 | 52,5 |
| TS4    | Min | -3,32 | -1,77 | 254,69 | 3,89  | -1,50 |        |      |      |      |
| TS5    | Max | 1,86  | 4,89  | 372,17 | -0,59 | 1,35  | 372,17 | 1,92 | 49,3 | 50,0 |
| TS5    | Min | -0,37 | 2,97  | 243,62 | -1,37 | 0,58  |        |      |      |      |
| TS6    | Max | 1,86  | 0,86  | 372,17 | 3,85  | 1,35  | 372,17 | 4,08 | 49,3 | 50,7 |
| TS6    | Min | -0,37 | -1,06 | 243,62 | 3,08  | 0,58  |        |      |      |      |
| Máximo |     |       |       |        |       |       |        |      | 50,8 | 52,5 |

#### Nó 2074 APOIO 2

Diâmetro: 3,90 m

A = 11,946 m<sup>2</sup>

W = 5,8236 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | 5,82           | 2,05           | 578,01         | 0,14           | 4,84           | 578,01 | 4,84   | 48,4                        | 49,2     |
| TS1        | Min | 1,83           | -0,32          | 371,62         | -0,04          | 2,95           |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | -2,78          | 2,05           | 589,20         | 0,17           | -3,30          | 589,20 | 5,19   | 49,3                        | 50,2     |
| TS2        | Min | -6,77          | -0,33          | 382,80         | -0,02          | -5,19          |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | 3,22           | 4,15           | 587,69         | -2,79          | 2,41           | 587,69 | 3,83   | 49,2                        | 49,9     |
| TS3        | Min | -0,78          | 1,78           | 381,29         | -2,98          | 0,52           |        |        |                             |          |
| TS4        | Max | 3,22           | -0,06          | 587,69         | 3,09           | 2,41           | 587,69 | 3,92   | 49,2                        | 49,9     |
| TS4        | Min | -0,78          | -2,43          | 381,29         | 2,90           | 0,52           |        |        |                             |          |
| TS5        | Max | 6,72           | 4,16           | 574,68         | -2,80          | 5,68           | 574,68 | 6,41   | 48,1                        | 49,2     |
| TS5        | Min | 2,73           | 1,78           | 368,28         | -2,99          | 3,79           |        |        |                             |          |

|     |     |      |       |        |      |      |        |      |      |      |
|-----|-----|------|-------|--------|------|------|--------|------|------|------|
| TS6 | Max | 6,72 | -0,05 | 574,68 | 3,08 | 5,68 | 574,68 | 6,46 | 48,1 | 49,2 |
| TS6 | Min | 2,73 | -2,42 | 368,28 | 2,89 | 3,79 |        |      |      |      |

Máximo 49,3 50,2

#### Nó 2079 APOIO 2

Diâmetro: 3,10 m

A = 7,548 m<sup>2</sup>

W = 2,9247 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | 4,09           | -1,12          | 317,58         | -1,14          | 2,59           | 317,58 | 3,26   | 42,1                        | 43,2     |
| TS1        | Min | 2,36           | -2,32          | 235,66         | -1,98          | 1,92           |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | -1,17          | -1,09          | 328,01         | -1,20          | -1,22          | 328,01 | 2,78   | 43,5                        | 44,4     |
| TS2        | Min | -2,89          | -2,29          | 246,09         | -2,04          | -1,89          |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | 1,56           | 0,96           | 328,73         | -3,51          | 0,78           | 328,73 | 4,42   | 43,6                        | 45,1     |
| TS3        | Min | -0,17          | -0,24          | 246,81         | -4,35          | 0,11           |        |        |                             |          |
| TS4        | Max | 1,56           | -2,35          | 328,73         | 0,23           | 0,78           | 328,73 | 0,99   | 43,6                        | 43,9     |
| TS4        | Min | -0,17          | -3,54          | 246,81         | -0,61          | 0,11           |        |        |                             |          |
| TS5        | Max | 4,96           | 0,35           | 313,74         | -2,80          | 3,21           | 313,74 | 4,86   | 41,6                        | 43,2     |
| TS5        | Min | 3,23           | -0,84          | 231,82         | -3,65          | 2,54           |        |        |                             |          |
| TS6        | Max | 4,96           | -2,95          | 313,74         | 0,94           | 3,21           | 313,74 | 3,35   | 41,6                        | 42,7     |
| TS6        | Min | 3,23           | -4,15          | 231,82         | 0,10           | 2,54           |        |        |                             |          |

Máximo 43,6 45,1

#### Nó 2078 APOIO 3

Diâmetro: 3,10 m

A = 7,548 m<sup>2</sup>

W = 2,9247 m<sup>3</sup>

| Combinação |  | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N    | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|--------|-----------------------------|----------|
|            |  | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf) | (tf.m) | média                       | de bordo |

|        |     |       |       |        |       |       |        |      |      |      |
|--------|-----|-------|-------|--------|-------|-------|--------|------|------|------|
| TS1    | Max | 1,41  | -1,39 | 331,23 | 0,52  | 2,01  | 331,23 | 2,08 | 43,9 | 44,6 |
| TS1    | Min | 0,68  | -2,24 | 238,86 | -0,02 | 1,46  |        |      |      |      |
| TS2    | Max | -0,53 | -1,40 | 331,14 | 0,52  | -1,04 | 331,14 | 1,67 | 43,9 | 44,4 |
| TS2    | Min | -1,25 | -2,25 | 238,78 | -0,02 | -1,59 |        |      |      |      |
| TS3    | Max | 1,29  | -0,63 | 331,07 | -1,51 | 1,83  | 331,07 | 2,75 | 43,9 | 44,8 |
| TS3    | Min | 0,57  | -1,48 | 238,70 | -2,05 | 1,28  |        |      |      |      |
| TS4    | Max | 1,29  | -1,88 | 331,07 | 1,75  | 1,83  | 331,07 | 2,53 | 43,9 | 44,7 |
| TS4    | Min | 0,57  | -2,73 | 238,70 | 1,21  | 1,28  |        |      |      |      |
| TS5    | Max | 1,45  | -0,83 | 331,28 | -0,95 | 2,07  | 331,28 | 2,55 | 43,9 | 44,8 |
| TS5    | Min | 0,72  | -1,68 | 238,91 | -1,49 | 1,52  |        |      |      |      |
| TS6    | Max | 1,45  | -2,07 | 331,28 | 2,31  | 2,07  | 331,28 | 3,10 | 43,9 | 45,0 |
| TS6    | Min | 0,72  | -2,93 | 238,91 | 1,77  | 1,52  |        |      |      |      |
| Máximo |     |       |       |        |       |       |        |      | 43,9 | 45,0 |

#### Nó 2073 APOIO 3

Diâmetro: 3,90 m

A = 11,946 m<sup>2</sup>

W = 5,8236 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | 2,66           | 1,52           | 552,90         | 0,18           | 4,20           | 552,90 | 4,36   | 46,3                        | 47,0     |
| TS1        | Min | 1,10           | -0,21          | 344,30         | -1,17          | 2,65           |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | -0,94          | 1,52           | 552,84         | 0,18           | -2,45          | 552,84 | 4,16   | 46,3                        | 47,0     |
| TS2        | Min | -2,50          | -0,21          | 344,23         | -1,17          | -4,00          |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | 2,60           | 2,39           | 552,68         | -2,20          | 4,10           | 552,68 | 5,42   | 46,3                        | 47,2     |
| TS3        | Min | 1,05           | 0,66           | 344,08         | -3,55          | 2,55           |        |        |                             |          |
| TS4        | Max | 2,60           | 0,65           | 552,68         | 2,56           | 4,10           | 552,68 | 4,83   | 46,3                        | 47,1     |
| TS4        | Min | 1,05           | -1,08          | 344,08         | 1,21           | 2,55           |        |        |                             |          |

|        |     |      |       |        |       |      |        |      |      |      |
|--------|-----|------|-------|--------|-------|------|--------|------|------|------|
| TS5    | Max | 2,68 | 2,39  | 552,98 | -2,20 | 4,23 | 552,98 | 5,52 | 46,3 | 47,2 |
| TS5    | Min | 1,12 | 0,66  | 344,37 | -3,55 | 2,69 |        |      |      |      |
| TS6    | Max | 2,68 | 0,65  | 552,98 | 2,55  | 4,23 | 552,98 | 4,94 | 46,3 | 47,1 |
| TS6    | Min | 1,12 | -1,08 | 344,37 | 1,21  | 2,69 |        |      |      |      |
| Máximo |     |      |       |        |       |      |        |      | 46,3 | 47,2 |

Nó 2068 APOIO 3

Diâmetro: 3,10 m

A = 7,548 m<sup>2</sup>

W = 2,9247 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | 0,82           | 2,13           | 330,24         | 0,28           | 0,89           | 330,24 | 0,93   | 43,8                        | 44,1     |
| TS1        | Min | 0,17           | 0,86           | 215,74         | -0,27          | 0,39           |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | -0,14          | 2,13           | 330,24         | 0,28           | -0,63          | 330,24 | 1,17   | 43,8                        | 44,2     |
| TS2        | Min | -0,80          | 0,86           | 215,74         | -0,27          | -1,13          |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | 0,86           | 2,61           | 330,15         | -0,95          | 0,93           | 330,15 | 1,77   | 43,7                        | 44,3     |
| TS3        | Min | 0,20           | 1,34           | 215,65         | -1,50          | 0,43           |        |        |                             |          |
| TS4        | Max | 0,86           | 1,37           | 330,15         | 2,30           | 0,93           | 330,15 | 2,48   | 43,7                        | 44,6     |
| TS4        | Min | 0,20           | 0,10           | 215,65         | 1,75           | 0,43           |        |        |                             |          |
| TS5        | Max | 0,81           | 2,81           | 330,28         | -1,51          | 0,88           | 330,28 | 2,24   | 43,8                        | 44,5     |
| TS5        | Min | 0,16           | 1,54           | 215,77         | -2,06          | 0,38           |        |        |                             |          |
| TS6        | Max | 0,81           | 1,57           | 330,28         | 1,74           | 0,88           | 330,28 | 1,95   | 43,8                        | 44,4     |
| TS6        | Min | 0,16           | 0,30           | 215,77         | 1,19           | 0,38           |        |        |                             |          |
| Máximo     |     |                |                |                |                |                |        |        | 43,8                        | 44,6     |

Nó 2067 APOIO 4

Diâmetro: 2,20 m

A = 3,801 m<sup>2</sup>

W = 1,0454 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | -0,04          | 0,44           | 327,03         | -0,11          | 0,17           | 327,03 | 0,38   | 86,0                        | 86,4     |
| TS1        | Min | -0,07          | 0,22           | 219,06         | -0,33          | -0,02          |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | 0,10           | 0,44           | 321,64         | -0,12          | -0,11          | 321,64 | 0,45   | 84,6                        | 85,0     |
| TS2        | Min | 0,06           | 0,22           | 213,67         | -0,33          | -0,30          |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | -0,15          | 0,31           | 337,99         | -0,22          | 0,42           | 337,99 | 0,61   | 88,9                        | 89,5     |
| TS3        | Min | -0,18          | 0,09           | 230,02         | -0,44          | 0,23           |        |        |                             |          |
| TS4        | Max | -0,15          | 0,68           | 337,99         | 0,07           | 0,42           | 337,99 | 0,45   | 88,9                        | 89,3     |
| TS4        | Min | -0,18          | 0,46           | 230,02         | -0,15          | 0,23           |        |        |                             |          |
| TS5        | Max | 0,00           | 0,23           | 323,25         | -0,28          | 0,09           | 323,25 | 0,51   | 85,0                        | 85,5     |
| TS5        | Min | -0,03          | 0,02           | 215,28         | -0,49          | -0,10          |        |        |                             |          |
| TS6        | Max | 0,00           | 0,61           | 323,25         | 0,02           | 0,09           | 323,25 | 0,23   | 85,0                        | 85,3     |
| TS6        | Min | -0,03          | 0,39           | 215,28         | -0,20          | -0,10          |        |        |                             |          |
| Máximo     |     |                |                |                |                |                |        |        | 88,9                        | 89,5     |

Nó 2072 APOIO 4

Diâmetro: 2,80 m

A = 6,158 m<sup>2</sup>

W = 2,1551 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | 0,05           | 0,23           | 579,09         | 0,08           | 1,44           | 579,09 | 1,54   | 94,0                        | 94,8     |
| TS1        | Min | -0,13          | -0,03          | 368,18         | -0,55          | 0,51           |        |        |                             |          |

|        |     |       |       |        |       |       |        |      |      |      |
|--------|-----|-------|-------|--------|-------|-------|--------|------|------|------|
| TS2    | Max | 0,19  | 0,23  | 567,40 | 0,08  | -0,23 | 567,40 | 1,29 | 92,1 | 92,7 |
| TS2    | Min | 0,01  | -0,03 | 356,48 | -0,55 | -1,16 |        |      |      |      |
| TS3    | Max | 0,02  | 0,07  | 588,72 | -0,24 | 1,90  | 588,72 | 2,09 | 95,6 | 96,6 |
| TS3    | Min | -0,17 | -0,19 | 377,80 | -0,88 | 0,97  |        |      |      |      |
| TS4    | Max | 0,02  | 0,38  | 588,72 | 0,41  | 1,90  | 588,72 | 1,94 | 95,6 | 96,5 |
| TS4    | Min | -0,17 | 0,12  | 377,80 | -0,23 | 0,97  |        |      |      |      |
| TS5    | Max | 0,06  | 0,07  | 575,77 | -0,24 | 1,28  | 575,77 | 1,55 | 93,5 | 94,2 |
| TS5    | Min | -0,12 | -0,19 | 364,86 | -0,88 | 0,35  |        |      |      |      |
| TS6    | Max | 0,06  | 0,38  | 575,77 | 0,41  | 1,28  | 575,77 | 1,34 | 93,5 | 94,1 |
| TS6    | Min | -0,12 | 0,12  | 364,86 | -0,23 | 0,35  |        |      |      |      |
| Máximo |     |       |       |        |       |       |        |      | 95,6 | 96,6 |

Nó 2077 APOIO 4

Diâmetro: 2,20 m

A = 3,801 m<sup>2</sup>

W = 1,0454 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | -0,11          | -0,29          | 381,51         | 0,46           | 0,60           | 381,51 | 0,76   | 100,4                       | 101,1    |
| TS1        | Min | -0,15          | -0,47          | 293,73         | 0,28           | 0,30           |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | 0,16           | -0,29          | 376,14         | 0,46           | 0,04           | 376,14 | 0,53   | 99,0                        | 99,5     |
| TS2        | Min | 0,12           | -0,47          | 288,36         | 0,28           | -0,26          |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | -0,20          | -0,57          | 389,80         | 0,23           | 0,81           | 389,80 | 0,84   | 102,5                       | 103,4    |
| TS3        | Min | -0,24          | -0,75          | 302,02         | 0,05           | 0,51           |        |        |                             |          |
| TS4        | Max | -0,20          | -0,13          | 389,80         | 0,60           | 0,81           | 389,80 | 1,01   | 102,5                       | 103,5    |
| TS4        | Min | -0,24          | -0,31          | 302,02         | 0,42           | 0,51           |        |        |                             |          |
| TS5        | Max | -0,08          | -0,49          | 378,65         | 0,30           | 0,53           | 378,65 | 0,60   | 99,6                        | 100,2    |
| TS5        | Min | -0,12          | -0,67          | 290,87         | 0,12           | 0,23           |        |        |                             |          |

|     |     |       |       |        |      |      |        |      |      |       |
|-----|-----|-------|-------|--------|------|------|--------|------|------|-------|
| TS6 | Max | -0,08 | -0,05 | 378,65 | 0,66 | 0,53 | 378,65 | 0,85 | 99,6 | 100,4 |
| TS6 | Min | -0,12 | -0,23 | 290,87 | 0,48 | 0,23 |        |      |      |       |

103,5

Máximo 102,5

#### Nó 2066 APOIO 5

Diâmetro: 1,70 m      A = 2,270 m<sup>2</sup>      W = 0,4823 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | 0,00           | 0,14           | 164,49         | -0,03          | -0,01          | 164,49 | 0,06   | 72,5                        | 72,6     |
| TS1        | Min | -0,06          | 0,07           | 111,56         | -0,06          | -0,02          |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | 0,27           | 0,13           | 172,26         | -0,03          | -0,01          | 172,26 | 0,06   | 75,9                        | 76,0     |
| TS2        | Min | 0,21           | 0,06           | 119,33         | -0,06          | -0,03          |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | -0,40          | 0,09           | 153,37         | -0,02          | 0,01           | 153,37 | 0,05   | 67,6                        | 67,7     |
| TS3        | Min | -0,47          | 0,03           | 100,44         | -0,05          | -0,01          |        |        |                             |          |
| TS4        | Max | -0,40          | 0,24           | 153,37         | -0,04          | 0,01           | 153,37 | 0,07   | 67,6                        | 67,7     |
| TS4        | Min | -0,47          | 0,17           | 100,44         | -0,07          | -0,01          |        |        |                             |          |
| TS5        | Max | 0,14           | 0,06           | 168,33         | -0,02          | -0,01          | 168,33 | 0,05   | 74,2                        | 74,3     |
| TS5        | Min | 0,08           | -0,01          | 115,39         | -0,05          | -0,02          |        |        |                             |          |
| TS6        | Max | 0,14           | 0,20           | 168,33         | -0,03          | -0,01          | 168,33 | 0,07   | 74,2                        | 74,3     |
| TS6        | Min | 0,08           | 0,14           | 115,39         | -0,06          | -0,02          |        |        |                             |          |

Máximo 75,9 76,0

#### Nó 650 APOIO 5

Diâmetro: 2,00 m      A = 3,142 m<sup>2</sup>      W = 0,7854 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | -0,15          | 0,01           | 278,78         | 0,01           | -0,02          | 278,78 | 0,10   | 88,7                        | 88,9     |
| TS1        | Min | -0,28          | 0,00           | 157,50         | -0,05          | -0,08          |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | 0,62           | 0,01           | 297,52         | 0,01           | -0,07          | 297,52 | 0,14   | 94,7                        | 94,9     |
| TS2        | Min | 0,49           | -0,01          | 176,24         | -0,05          | -0,13          |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | -0,58          | -0,07          | 269,37         | 0,03           | 0,00           | 269,37 | 0,07   | 85,7                        | 85,8     |
| TS3        | Min | -0,71          | -0,09          | 148,09         | -0,04          | -0,06          |        |        |                             |          |
| TS4        | Max | -0,58          | 0,10           | 269,37         | 0,00           | 0,00           | 269,37 | 0,09   | 85,7                        | 85,9     |
| TS4        | Min | -0,71          | 0,08           | 148,09         | -0,07          | -0,06          |        |        |                             |          |
| TS5        | Max | -0,01          | -0,07          | 282,03         | 0,03           | -0,03          | 282,03 | 0,10   | 89,8                        | 89,9     |
| TS5        | Min | -0,14          | -0,08          | 160,75         | -0,04          | -0,09          |        |        |                             |          |
| TS6        | Max | -0,01          | 0,10           | 282,03         | 0,00           | -0,03          | 282,03 | 0,11   | 89,8                        | 89,9     |
| TS6        | Min | -0,14          | 0,08           | 160,75         | -0,07          | -0,09          |        |        |                             |          |
| Máximo     |     |                |                |                |                |                |        |        | 94,7                        | 94,9     |

Nó 627 APOIO 5

Diâmetro: 1,70 m

A = 2,270 m<sup>2</sup>

W = 0,4823 m<sup>3</sup>

| Combinação |     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N      | M      | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|-----------------------------|----------|
|            |     | (tf)           | (tf)           | (tf)           | (tf.m)         | (tf.m)         | (tf)   | (tf.m) | média                       | de bordo |
| TS1        | Max | -0,07          | -0,07          | 206,55         | 0,07           | -0,02          | 206,55 | 0,08   | 91,0                        | 91,2     |
| TS1        | Min | -0,16          | -0,13          | 138,96         | 0,04           | -0,05          |        |        |                             |          |
| TS2        | Max | 0,45           | -0,05          | 216,69         | 0,07           | -0,03          | 216,69 | 0,09   | 95,5                        | 95,7     |
| TS2        | Min | 0,36           | -0,11          | 149,10         | 0,03           | -0,06          |        |        |                             |          |
| TS3        | Max | -0,51          | -0,18          | 198,76         | 0,08           | -0,01          | 198,76 | 0,09   | 87,6                        | 87,7     |
| TS3        | Min | -0,60          | -0,24          | 131,17         | 0,05           | -0,03          |        |        |                             |          |



|     |     |       |       |        |      |       |        |      |        |           |
|-----|-----|-------|-------|--------|------|-------|--------|------|--------|-----------|
| TS4 | Max | -0,51 | -0,02 | 198,76 | 0,06 | -0,01 | 198,76 | 0,07 | 87,6   | 87,7      |
| TS4 | Min | -0,60 | -0,09 | 131,17 | 0,03 | -0,03 |        |      |        |           |
| TS5 | Max | 0,08  | -0,14 | 209,24 | 0,07 | -0,02 | 209,24 | 0,09 | 92,2   | 92,4      |
| TS5 | Min | -0,01 | -0,20 | 141,65 | 0,04 | -0,05 |        |      |        |           |
| TS6 | Max | 0,08  | 0,02  | 209,24 | 0,06 | -0,02 | 209,24 | 0,08 | 92,2   | 92,3      |
| TS6 | Min | -0,01 | -0,04 | 141,65 | 0,03 | -0,05 |        |      |        |           |
|     |     |       |       |        |      |       |        |      | Máximo | 95,5 95,7 |

## RESUMO

| APOIO | Tensão (tf/m <sup>2</sup> ) |          |
|-------|-----------------------------|----------|
|       | média                       | de bordo |
| 1     | 47,5                        | 49,3     |
| 2     | 50,8                        | 52,5     |
| 3     | 46,3                        | 47,2     |
| 4     | 102,5                       | 103,5    |
| 5     | 95,5                        | 95,7     |

Nos apoios 1 e 3 temos  $\sigma_{sm} < 5,0$  MPa

No apoio 2 temos  $\sigma_{sm} = 5,08$  Mpa  $\approx 5,0$  Mpa ( 1,6 % maior)

Nos apoios 1 a 3 temos  $\sigma_{sb} < 6,5$  MPa

Nos apoio 5 temos  $\sigma_{sm} < 10,0$  MPa

No apoio 4 temos  $\sigma_{sm} = 10,25$  Mpa  $\approx 10,0$  Mpa ( 2,5 % maior)

Nos apoios 4 e 5 temos  $\sigma_{sb} < 13,0$  MPa

## 7 TUBULÕES

Concreto:  $f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$   $\gamma_c = 1,6$

Diâmetro: 120 cm Armadura : 27  $\phi$  25  $\rho = 1,17 \%$

### BARRAS

| APOIO | Lateral   | Central   | Lateral   |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5     | 1 a 357   | 664 a 686 | 549 a 663 |
| 4     | 358 a 380 | 404 a 426 | 450 a 472 |
| 3     | 473 a 492 | 493 a 512 | 513 a 532 |
| 2     | 533 a 638 | 567 a 636 | 601 a 640 |
| 1     | 723 a 740 | 705 a 722 | 618 a 646 |

Dimensionamos com os esforços solicitantes simultâneos.

| Apoio              | Barra | Combinação          | $N_d$  | $M_{2d}$ | $M_{3d}$ | $M_d$  |
|--------------------|-------|---------------------|--------|----------|----------|--------|
| As                 |       |                     | (tf)   | (tf.m)   | (tf.m)   | (tf.m) |
| (cm <sup>2</sup> ) |       |                     |        |          |          |        |
| 1                  | 705   | $M_{3d} \text{max}$ | 314,17 | 5,17     | -368,53  |        |
| 368,57             |       | 169,4               |        |          |          |        |
| Central            |       | $M_{2d} \text{max}$ | 239,71 | 98,87    | -299,89  |        |
| 315,77             |       | 139,6               |        |          |          |        |

|         |     |                     |        |        |          |        |
|---------|-----|---------------------|--------|--------|----------|--------|
| Topo    |     | N <sub>d</sub> max  | 328,73 | 5,17   | -363,541 | 363,58 |
| 164,1   |     |                     |        |        |          |        |
|         |     | N <sub>d</sub> min  | 106,64 | 4,12   | 117,58   | 117,65 |
| 34,7    |     |                     |        |        |          |        |
| 1       | 706 | M <sub>3d</sub> max | 317,98 | 7,65   | -291,06  |        |
| 291,16  |     | 112,4               |        |        |          |        |
| Central |     | M <sub>2d</sub> max | 243,52 | 92,23  | -233,26  |        |
| 250,83  |     | 93,9                |        |        |          |        |
| -1,0 m  |     | N <sub>d</sub> max  | 332,55 | 7,65   | -286,85  | 286,95 |
| 107,6   |     |                     |        |        |          |        |
|         |     | N <sub>d</sub> min  | 110,46 | 7,29   | 73,29    | 73,65  |
| 9,6     |     |                     |        |        |          |        |
| 2       | 567 | M <sub>3d</sub> max | 554,57 | 2,72   | 233,28   |        |
| 233,29  |     | 46,5                |        |        |          |        |
| Central |     | M <sub>2d</sub> max | 534,90 | 130,91 | 102,46   |        |
| 166,24  |     | /                   |        |        |          |        |
| Topo    |     | N <sub>d</sub> max  | 730,37 | 2,73   | 148,93   | 148,96 |
| /       |     |                     |        |        |          |        |
|         |     | N <sub>d</sub> min  | 391,59 | 53,70  | -56,45   | 77,91  |
| /       |     |                     |        |        |          |        |
| 2       | 533 | M <sub>3d</sub> max | 342,04 | 182,02 | 165,08   |        |
| 245,73  |     | 76,6                |        |        |          |        |
| Lateral |     | M <sub>2d</sub> max | 435,20 | 247,12 | 89,29    |        |
| 262,75  |     | 78,6                |        |        |          |        |
| Topo    |     | N <sub>d</sub> max  | 435,20 | 247,12 | 89,29    | 262,75 |
| 78,6    |     |                     |        |        |          |        |
|         |     | N <sub>d</sub> min  | 242,11 | 114,66 | -1,109   | 114,67 |
| 4,9     |     |                     |        |        |          |        |

|         |        |                     |        |         |         |
|---------|--------|---------------------|--------|---------|---------|
| 3       | 513    | M <sub>3d</sub> max | 282,49 | -179,60 | 91,76   |
|         | 201,69 | 53,9                |        |         |         |
| Lateral |        | M <sub>2d</sub> max | 351,98 | -237,97 | 46,82   |
|         | 242,53 | 73,0                |        |         |         |
| Topo    |        | N <sub>d</sub> max  | 351,98 | -237,97 | 46,82   |
|         | 73,0   |                     |        |         | 242,53  |
|         |        | N <sub>d</sub> min  | 229,60 | -173,27 | 35,34   |
|         | 46,6   |                     |        |         | 176,83  |
| 4       | 404    | M <sub>3d</sub> max | 551,97 | 2,64    | -235,45 |
|         | 235,46 | 48,4                |        |         |         |
| Central |        | M <sub>2d</sub> max | 543,38 | 130,22  | -151,25 |
|         | 199,58 | 21,0                |        |         |         |
| Topo    |        | N <sub>d</sub> max  | 725,99 | 2,63    | -151,04 |
|         | /      |                     |        |         | 151,06  |
|         |        | N <sub>d</sub> min  | 379,72 | 47,94   | 100,84  |
|         | /      |                     |        |         | 111,65  |
| 4       | 450    | M <sub>3d</sub> max | 361,56 | -183,59 | -202,64 |
|         | 273,44 | 94,3                |        |         |         |
| Lateral |        | M <sub>2d</sub> max | 432,24 | -247,57 | -125,80 |
|         | 277,70 | 90,2                |        |         |         |
| Topo    |        | N <sub>d</sub> max  | 449,22 | -234,13 | -163,12 |
|         | 94,6   |                     |        |         | 285,36  |
|         |        | N <sub>d</sub> min  | 298,86 | -171,24 | 52,86   |
|         | 36,4   |                     |        |         | 179,21  |

| Apoio<br>As       | Barra | Combinação                   | N <sub>d</sub><br><br>(tf) | M <sub>2d</sub><br><br>(tf.m) | M <sub>3d</sub><br><br>(tf.m) | M <sub>d</sub><br><br>(tf.m) |
|-------------------|-------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                   |       |                              |                            |                               |                               |                              |
|                   |       |                              |                            |                               |                               |                              |
|                   |       |                              |                            |                               |                               |                              |
| 5<br>376,87       | 664   | M <sub>3d</sub> max<br>175,3 | 315,77                     | 6,05                          | 376,82                        |                              |
| Central<br>216,34 |       | M <sub>2d</sub> max<br>73,0  | 228,64                     | 99,19                         | 192,26                        |                              |
| Topo<br>169,8     |       | N <sub>d</sub> max           | 330,24                     | 6,04                          | 371,45                        | 371,50                       |
|                   |       | N <sub>d</sub> min           | 70,43                      | 4,99                          | -143,36                       | 143,45                       |
| 57,1              |       |                              |                            |                               |                               |                              |
| 5<br>295,06       | 665   | M <sub>3d</sub> max<br>115,0 | 319,59                     | 0,27                          | 295,06                        |                              |
| Central<br>254,05 |       | M <sub>2d</sub> max<br>95,9  | 244,53                     | 92,39                         | 236,66                        |                              |
| -1,0 m<br>110,1   |       | N <sub>d</sub> max           | 334,06                     | 8,20                          | 290,55                        | 290,67                       |
|                   |       | N <sub>d</sub> min           | 111,95                     | 7,84                          | -68,63                        | 69,08                        |
| 6,8               |       |                              |                            |                               |                               |                              |
| 5<br>339,49       | 549   | M <sub>3d</sub> max<br>160,4 | 208,34                     | -157,26                       | 300,87                        |                              |
| Lateral<br>259,28 |       | M <sub>2d</sub> max<br>106,4 | 200,93                     | -188,89                       | 177,62                        |                              |
| Topo<br>161,4     |       | N <sub>d</sub> max           | 214,62                     | -171,36                       | 295,90                        | 341,94                       |
|                   |       | N <sub>d</sub> min           | 88,03                      | -102,67                       | -69,09                        | 123,75                       |
| 42,1              |       |                              |                            |                               |                               |                              |
| 5<br>286,91       | 566   | M <sub>3d</sub> max<br>123,5 | 212,15                     | -159,19                       | 238,70                        |                              |

|         |              |        |         |         |
|---------|--------------|--------|---------|---------|
| Lateral | $M_{2d,max}$ | 204,75 | -181,0  | 152,115 |
| 236,43  | 90,3         |        |         |         |
| -1,0 m  | $N_d,max$    | 218,44 | -161,75 | 234,49  |
| 121,1   |              |        |         | 284,87  |

Adotamos as seguintes armaduras:

Apoios 2, 3 e 4: 27  $\phi$  25 mm: 132,5 cm<sup>2</sup>

Apoios 1 e 5:

Tubulões laterais: seção do topo: 27  $\phi$  25 mm + 27  $\phi$  16 mm: 186,5 cm<sup>2</sup>

seções abaixo de 1,0 m: 27  $\phi$  25 mm: 132,5 cm<sup>2</sup>

Tubulões centrais: seção do topo: 36  $\phi$  25 mm: 176,7 cm<sup>2</sup>

Seções abaixo de 1,0 m: 27  $\phi$  25 mm: 132,5 cm<sup>2</sup>

## 8 APARELHOS DE APOIO

Dimensões do aparelho de apoio

$$a = 10 \text{ cm} \quad b = 30 \text{ cm} \quad h = 2,5 \text{ cm}$$

Fator de forma

$$\beta = ab / (2h(a + b)) = 10 * 30 / (2 * 2,5 * (10 + 30)) = 1,50$$

DIMENSIONAMENTO PELA NBR 9062

Condição de não levantamento da borda menos carregada

Cargas verticais

(Ver dimensionamento da laje)

$$N_g = 2,91 + 0,30 * 0,45 * 0,50 * 2,5 = 3,08 \text{ tf}$$

$$N_q = 5,81 \text{ tf (sem impacto)}$$

$$\sigma_g = 3080 / (10 * 30) = 10,3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_g + q = (3080 + 5810) / (10 * 30) = 29,6 \text{ kgf/cm}^2$$

Do processamento do arquivo LAJE, temos as rotações impostas pela laje pré-moldada:

$$CP: \theta_g = 8,153 * 10^{-4} \text{ rad}$$

$$TREM TIPO: \theta_q = 1,950 * 10^{-3} \text{ rad}$$

$$h_1 = h \sigma_g / (10G\beta + 2 \sigma_g) = 2,5 * 10,3 / (10 * 10 * 1,5 + 2 * 10,3) = 0,151 \text{ cm}$$

$$2h_1 / a = 2 * 0,151 / 10 = 0,030$$

$$tg \theta_g = 8,153 * 10^{-4} < 0,030 \quad \text{OK}$$

$$h_2 = h \sigma_{g+q} / (10G\beta + 2 \sigma_{g+q}) = 2,5 * 29,6 / (10 * 10 * 1,5 + 2 * 29,6) = 0,353 \text{ cm}$$

$$2h_2 / a = 2 * 0,353 / 10 = 0,071$$

$$\tau_{\theta g} + 1,5 \tau_{\theta q} = 8,153 * 10^{-4} + 1,5 * 1,950 * 10^{-3} = 3,740 * 10^{-3} < 0,071 \quad \text{OK}$$

Tensão de cisalhamento

$$\tau_N = 1,5 (N_g + 1,5 N_q) / (\beta a b) = 1,5 * (3080 + 1,5 * 5810) / (1,5 * 10 * 30) = 39,3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_H = (H_g + 0,5 H_q) / (a b)$$

$$H_g + 0,5 H_q = 0,603 \text{ tf} \quad (\text{ver abaixo})$$

$$\tau_H = (603 / (10 * 30)) = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{\theta} = G a^2 (\tau_{\theta g} + 1,5 \tau_{\theta q}) / (2 h_i h)$$

$$\tau_{\theta} = 10 * 10^2 * 3,740 * 10^{-3} / (2 * 2,5 * 2,5) = 0,30 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_N + \tau_H + \tau_{\theta} = 39,3 + 2,0 + 0,3 = 41,6 \text{ kgf/cm}^2 < 5G = 50 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

Cargas horizontais

| Carregamento          | HI<br>(tf) | Ht<br>(tf) |
|-----------------------|------------|------------|
| Cargas permanentes    | /          | 0,264      |
| Retração              | /          | 0,046      |
| Hg                    | /          | 0,310      |
| Frenagem e aceleração | 0,480      | 0,026      |
| Temperatura           | /          | 0,032      |



|           |       |       |
|-----------|-------|-------|
| Vento     | /     | 0,014 |
| Trem tipo | /     | 0,414 |
| Hq        | 0,480 | 0,486 |

$$Hq = (0,480^2 + 0,486^2)^{0,5} = 0,683 \text{ tf}$$

$$Hg+q = (0,480^2 + (0,310 + 0,486)^2)^{0,5} = 0,930 \text{ tf}$$

$$Hg+0,5q = (0,240^2 + (0,310 + 0,243)^2)^{0,5} = 0,603 \text{ tf}$$

Deslizamento

$$H < \mu N \quad \mu = 0,1 + 0,2 / \sigma_m$$

Cargas permanentes:

$$Hg = 0,310 \text{ tf}$$

$$Ng = 3,08 \text{ tf}$$

$$\sigma_m = 10,3 \text{ kgf/cm}^2 = 1,03 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,1 + 0,2 / 1,03 = 0,294 \quad \mu N = 0,294 * 3,08 = 0,906 \text{ tf} > 0,310 \text{ tf} \quad \text{OK}$$

Cargas permanentes + acidentais:

$$Hg+q = 0,930 \text{ tf}$$

$$Ng + Nq = 3,08 + 5,81 = 8,89 \text{ tf}$$

$$\sigma_m = 29,6 \text{ kgf/cm}^2 = 2,96 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,1 + 0,2 / 2,96 = 0,168 \quad \mu N = 0,168 * 8,89 = 1,490 \text{ tf} > 0,930 \text{ tf} \quad \text{OK}$$

## 9 VIGAS LONGITUDINAIS

Concreto:  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$   $\gamma_c = 1,4$

| VIGA    | Barras    |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|         | Vão 1     | Vão 2     | Vão 3     | Vão 4     |
| LATERAL | 4 a 35    | 36 a 62   | 63 a 89   | 90 a 111  |
| CENTRAL | 113 a 139 | 140 a 166 | 167 a 193 | 194 a 220 |
| LATERAL | 221 a 242 | 243 a 269 | 270 a 296 | 297 a 328 |

Incluímos nas diversas combinações, os momentos flectores e esforços cortantes devidos ao Trem tipo majorados com o coeficiente de impacto.

### DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO

Na verificação da fissuração consideramos:

Tabela 6.1 - Classe de agressividade ambiental: II (moderada)

Tabela 13.3 – Abertura máxima característica das fissuras:  $w_k \leq 0,30 \text{ mm}$

Item 17.3.3.2 :

1ª fórmula :  $\phi_i \cdot \sigma_{si} \cdot 3 \sigma_{si} / (12,5 \cdot \eta_i \cdot E_{si} \cdot f_{ctm})$

2ª fórmula :  $\phi_i \cdot \sigma_{si} \cdot (4 / (\rho_{ri} + 45)) / (12,5 \cdot \eta_i \cdot E_{si})$

$\eta_i = 2,25$   $E_{si} = 2100 \text{ tf/cm}^2$

$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$

$f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$   $f_{ctm} = 2,57 \text{ Mpa}$

$\rho_{ri} = A_s / A_{cri}$

cálculo no estágio II :  $\alpha_e = E_s / E_c = 15$

Na verificação da fadiga, conforme item 23 da NBR 6118/2003, consideramos:

Em pontes ferroviárias  $\psi_1 = 1,0$

$$\gamma_f = 1,0$$

$$\alpha = E_s / E_c = 10$$

$$\gamma_f \Delta \sigma_s < 1750 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{conforme a tabela 23.2 da NBR 6118/2003}$$

#### DIMENSIONAMENTO A CISALHAMENTO

$$V_{sd} \leq V_{rd2}$$

$$V_{sd} \leq V_{rd3}$$

$$V_{c0} = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$$

$$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,3$$

$$f_{ck}^{2/3}$$

$$V_{rd3} = V_c + V_{sw}$$

$$V_{sw} = (A_{sw/s}) 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}$$

$$f_{ywd} = f_{yk} / \gamma_s$$

$$\alpha_v = 1 - f_{ck} / 250$$

$$\text{taxa mínima : } \rho_{sw} = 0,2 f_{ctm} / f_{yk}$$

Modelo 1:

$$V_{rd2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = V_{c0}$$

Modelo 2:

$$V_{rd2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = V_{c1}$$

$$V_{sd} \leq V_{c0} \Rightarrow V_{c1} = V_{c0}$$

$$V_{sd} = V_{rd2} \Rightarrow V_{c1} = 0$$

$$V_{c0} < V_{sd} < V_{rd2} \Rightarrow$$

interpolação

#### DIMENSIONAMENTO A TORÇÃO

$$T_{sd} \leq T_{rd2}$$

$$T_{sd} \leq T_{rd3}$$

$$T_{sd} \leq T_{rd4}$$

$$T_{rd2} = 0,50 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot A_e \cdot h_e$$

$$\alpha_{v2} = 1 - f_{ck} / 250$$

$$h_e \leq A / \mu$$

$$A = b_w \cdot h$$

$$\mu = 2 ( b_w + h )$$

$$h_e \geq 2 C_1$$

$$T_{rd3} = (A_{s90/s}) 2 \cdot A_e \cdot f_{ywd}$$

$$T_{rd4} = (A_{sl/u}) 2 \cdot A_e \cdot f_{ywd}$$

## CISALHAMENTO E TORÇÃO SIMULTÂNEOS

$$V_{sd} / V_{rd2} + T_{sd} / T_{rd2} \leq 1,0$$

$$A_{stotal} = A_{sw/s} + 2 * A_{s90/s} \geq A_{smin}$$

## CROQUIS DAS SEÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO

Nos dimensionamentos a seguir, os valores de  $N_d$  são sempre de tração.

Dimensionamos primeiramente a seção à flexão simples, verificamos a fissuração e a fadiga e em seguida verificamos a armadura resultante à flexo-tração oblíqua com o programa OBLIQUA 1.0 do Centro de Estudos de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná..

### 9.1 Vigas laterais

$b_w = 130$  cm (momentos positivos) ou  $190$  cm (momentos negativos)

$h = 140$  cm

$A_{smin} = 31,4 \text{ cm}^2 \quad 7 \phi 25 \text{ mm}$

### FLEXÃO

| Seção                        | Apoio 1      | Vão 1        | Apoio 2      | Vão 2        | Apoio 3      |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $b_w$ (cm)                   | 190          | 130          | 190          | 130          | 190          |
| $d$ (cm)                     | 134          | 132          | 132          | 134          | 132          |
| $M_{3d}$ (tf.m)              | -340,1       | 681,6        | -804,8       | 314,7        | -517,7       |
| $M_{d,ser}$ (tf.m)           | -184,9       | 360,5        | -440,3       | 140,7        | -271,7       |
| $A_s$ (cm <sup>2</sup> )     | 60,1         | 135,7        | 156,7        | 55,7         | 92,2         |
| As adotada                   | 13 $\phi$ 25 | 28 $\phi$ 25 | 32 $\phi$ 25 | 12 $\phi$ 25 | 19 $\phi$ 25 |
| $A_{cri}$ (cm <sup>2</sup> ) | 3153         | 3478         | 3803         | 3153         | 3478         |

|                                       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\sigma_{si}$ (kgf /cm <sup>2</sup> ) | 2386  | 2243  | 2416  | 1960  | 2441  |
| 1ª fórmula                            | 0,250 | 0,221 | 0,256 | 0,168 | 0,261 |
| 2ª fórmula                            | 0,245 | 0,139 | 0,145 | 0,215 | 0,201 |

|                        |              |              |              |             |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Seção                  | Vão 3        | Apoio 4      | Vão 4        | Apoio 5     |
| bw (cm)                | 130          | 190          | 130          | 190         |
| d(cm)                  | 134          | 132          | 134          | 134         |
| M <sub>3d</sub> (tf.m) | 362,8        | -524,4       | 370,1        | -215,8      |
| Md,ser (tf.m)          | 174,5        | -289,8       | 196,6        | -120,7      |
| As (cm <sup>2</sup> )  | 65,2         | 95,7         | 66,7         | 37,7        |
| As adotada             | 14 $\phi$ 25 | 20 $\phi$ 25 | 14 $\phi$ 25 | 8 $\phi$ 25 |

|                                       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Acri (cm <sup>2</sup> )               | 3153  | 3478  | 3153  | 3153  |
| $\sigma_{si}$ (kgf /cm <sup>2</sup> ) | 2098  | 2480  | 2363  | 2483  |
| 1ª fórmula                            | 0,193 | 0,270 | 0,245 | 0,270 |
| 2ª fórmula                            | 0,203 | 0,196 | 0,229 | 0,385 |

Em todos os casos temos  $w_k < 0,300$  mm      OK

#### VERIFICAÇÃO DA FADIGA

|                                    |              |              |              |              |              |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Seção                              | Apoio 1      | Vão 1        | Apoio 2      | Vão 2        | Apoio 3      |
| As adotada                         | 15 $\phi$ 25 | 28 $\phi$ 25 | 32 $\phi$ 25 | 15 $\phi$ 25 | 20 $\phi$ 25 |
| Md,ser (tf.m)                      | -229,2       | 476,6        | -565,0       | 216,0        | -361,4       |
| $\sigma_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> ) | 2536         | 2903         | 3032         | 2390         | 3034         |

|  |       |       |        |      |        |
|--|-------|-------|--------|------|--------|
| Mg (tf.m)                                | -79,2 | 196,9 | -258,9 | 62,2 | -161,5 |
| $\sigma_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> )       | 876   | 1199  | 1389   | 688  | 1356   |
| $\bar{\sigma}_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> ) | 1660  | 1704  | 1643   | 1702 | 1678   |

|  |              |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Seção                                    | Vão 3        | Apoio 4      | Vão 4        | Apoio 5      |
| As adotada                               | 15 $\phi$ 25 | 21 $\phi$ 25 | 17 $\phi$ 25 | 10 $\phi$ 25 |
| Md,ser (tf.m)                            | 251,2        | -367,7       | 257,6        | -142,0       |
| $\sigma_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> )       | 2779         | 2947         | 2757         | 2322         |
| Mg (tf.m)                                | 94,3         | -154,3       | 79,5         | -35,8        |
| $\sigma_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> )       | 1043         | 1237         | 780          | 585          |
| $\bar{\sigma}_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> ) | 1736         | 1710         | 1747         | 1737         |

Em todos os casos temos  $\bar{\sigma}_s < 1750$  kgf /cm<sup>2</sup> OK

#### VERIFICAÇÃO À FLEXO-TRAÇÃO OBLÍQUA

Verificamos a seguir as armaduras adotadas com os esforços  $M_{3d}$ ,  $M_{2d}$  e  $N_d$  (tração), utilizando o programa OBLIQUA 1.0. Verificamos inicialmente com a armadura calculada sem fadiga e quando necessário acrescentamos armadura para resistir aos esforços  $M_{2d}$  e  $N_d$  de tração.

|                 |              |              |                |              |                |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| Seção           | Apoio 1      | Vão 1        | Apoio 2        | Vão 2        | Apoio 3        |
| As adotada      | 13 $\phi$ 25 | 28 $\phi$ 25 | 32 $\phi$ 25   | 12 $\phi$ 25 | 19 $\phi$ 25   |
| $M_{3d}$ (tf.m) | -340,1       | 681,6        | -804,8         | 314,7        | -517,7         |
| $M_{2d}$ (tf.m) | 0,7          | 64,5         | 55,3           | 31,4         | 67,4           |
| $N_d$ (tf)      | 37,2         | 27,9         | 16,9           | 23,3         | 23,5           |
| As adicional    | 12 $\phi$ 10 | /            | 12 $\phi$ 12,5 | 12 $\phi$ 10 | 18 $\phi$ 12,5 |

| Seção                  | Vão 3        | Apoio 4      | Vão 4        | Apoio 5      |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| As adotada             | 14 $\phi$ 25 | 20 $\phi$ 25 | 14 $\phi$ 25 | 8 $\phi$ 25  |
| M <sub>3d</sub> (tf.m) | 362,8        | -524,4       | 370,1        | -215,8       |
| M <sub>2d</sub> (tf.m) | 37,0         | 49,3         | 32,1         | 0,7          |
| Nd (tf)                | 30,3         | 26,1         | 36,1         | 41,1         |
| As adicional           | 12 $\phi$ 10 | 12 $\phi$ 10 | 12 $\phi$ 10 | 12 $\phi$ 10 |

As armaduras adicionais são distribuídas igualmente nas 2 faces laterais e na face contrária (superior ou inferior) à armadura tracionada pelo momento principal M<sub>3d</sub>.

## CISALHAMENTO

Para o esforço cortante utilizamos o modelo 1:

$$d = 132\text{cm} \quad V_{rd2} = 873,69 \text{ tf} \quad V_c = 148,77 \text{ tf}$$

Para o cálculo da torção temos:

$$A = 130 * 140 = 18200 \text{ cm}^2 \quad u = 2 (130 + 140) = 540 \text{ cm}$$

$$h_e \leq A / u = 18200 / 540 = 33,7 \text{ cm} \quad h_e \geq 2 * c_1 = 2 * 5,5 = 11,0 \text{ cm}$$

$$\text{Adotamos } h_e = 33,7 \text{ cm} \quad A_e = (130 - 33,7) (140 - 33,7) = 10236 \text{ cm}^2$$

$$T_{rd2} = 325,28 \text{ tf.m} \quad A_{swmin} = 15,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

| Seção                                  | Apoio 1 | Vão 1 | Apoio 2e | Apoio 2d | Vão 2 |
|--|---------|-------|----------|----------|-------|
| V <sub>sd</sub> (tf)                   | 241,04  | 31,15 | 303,12   | 243,94   | 34,37 |
| A <sub>sw/s</sub> (cm <sup>2</sup> /m) | 17,86   | 15,03 | 29,88    | 18,43    | 15,03 |

|                                   |        |       |        |        |       |
|-----------------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|
| $T_{sd}$ ( tf.m )                 | 217,92 | 75,97 | 185,18 | 185,55 | 45,41 |
| $A_{s90/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)  | 24,47  | 8,53  | 20,80  | 20,84  | 5,10  |
| $T_{sd}/T_{rd2} + V_{sd}/V_{rd2}$ | 0,946  | 0,269 | 0,916  | 0,850  | 0,179 |
| $A_{st}$ (cm <sup>2</sup> /m)     | 66,83  | 32,09 | 71,48  | 60,10  |       |
| 25,23                             |        |       |        |        |       |
| $Asl$ (cm <sup>2</sup> )          | 99,20  | 34,55 | 84,22  | 84,39  | 20,65 |

|                                   |          |          |       |          |          |
|-----------------------------------|----------|----------|-------|----------|----------|
| Seção                             | Apoio 3e | Apoio 3d | Vão 3 | Apoio 4e | Apoio 4d |
| $V_{sd}$ (tf)                     | 223,71   | 230,95   | 21,72 | 231,35   | 231,91   |
| $A_{sw/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)   | 14,51    | 15,91    | 15,03 | 15,99    | 16,10    |
| $T_{sd}$ ( tf.m )                 | 181,66   | 173,44   | 58,87 | 189,49   | 130,79   |
| $A_{s90/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)  | 20,40    | 19,48    | 6,61  | 21,28    | 14,69    |
| $T_{sd}/T_{rd2} + V_{sd}/V_{rd2}$ | 0,815    | 0,798    | 0,206 | 0,847    | 0,668    |
| $A_{st}$ (cm <sup>2</sup> /m)     | 55,31    | 54,87    | 28,25 | 58,55    |          |
| 45,47                             |          |          |       |          |          |
| $Asl$ (cm <sup>2</sup> )          | 82,62    | 78,88    | 26,78 | 86,18    | 59,49    |

|                                   |       |         |
|-----------------------------------|-------|---------|
| Seção                             | Vão 4 | Apoio 5 |
| $V_{sd}$ (tf)                     | 41,19 | 174,85  |
| $A_{sw/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)   | 15,03 | 5,05    |
| $T_{sd}$ ( tf.m )                 | 82,44 | 175,26  |
| $A_{s90/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)  | 9,26  | 19,68   |
| $T_{sd}/T_{rd2} + V_{sd}/V_{rd2}$ | 0,301 | 0,739   |
| $A_{st}$ (cm <sup>2</sup> /m)     | 33,55 | 44,42   |
| $Asl$ (cm <sup>2</sup> )          | 37,49 | 79,71   |

Armadura adotada para cisalhamento: 6  $\phi$  10 c/15: 31,4 cm<sup>2</sup>/m > 29,88 cm<sup>2</sup>/m OK

Armadura adotada para torção: 2  $\phi$  10 + 1  $\phi$  16 c/15: 23,8 cm<sup>2</sup>/m  $\approx$  25,47 cm<sup>2</sup>/m OK

Em todos os casos temos  $T_{sd}/T_{rd2} + V_{sd}/V_{rd2} < 1,0$  OK



## DEFORMAÇÕES

Flechas no estádio I, resultantes do processamento:

| $\delta_I$ (mm) |     |       |                  |        |
|-----------------|-----|-------|------------------|--------|
| SEÇÃO           | NÓ  | DEAD  | ENV1A12+ENV13A21 | TOTAL  |
| (com impacto)   |     |       |                  |        |
| APOIO 1         | 1   | -0,97 | -0,78            | -1,74  |
| VÃO 1           | 21  | -6,17 | -6,73            | -12,90 |
| APOIO2          | 38  | -1.84 | -1.53            | -3.37  |
| VÃO 2           | 53  | -2.12 | -3.31            | -5.43  |
| APOIO 3         | 65  | -1.31 | -1.19            | -2.49  |
| VÃO 3           | 78  | -2.62 | -3.32            | -5.94  |
| APOIO4          | 92  | -1.17 | -1.02            | -2.19  |
| VÃO 4           | 104 | -1.69 | -2.13            | -3.82  |
| APOIO 5         | 114 | -0.52 | -0.46            | -0.98  |

Descontando os recalques dos apoios, temos:

| SEÇÃO         | NÓ  | DEAD  | ENV1A12+ENV13A21 | TOTAL  |
|---------------|-----|-------|------------------|--------|
| (com impacto) |     |       |                  |        |
| VÃO 1         | 21  | -4.76 | -5.57            | -10.34 |
| VÃO 2         | 53  | -0.55 | -1.95            | -2.50  |
| VÃO 3         | 78  | -1.39 | -2.21            | -3.60  |
| VÃO 4         | 104 | -0.84 | -1.39            | -2.23  |

Flecha no estádio II, para o vão 1:

Inércia equivalente, conforme item 17.3.1 da NBR 6118:

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad f_{ct} = f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$$

$$I_c = 0,3535 \text{ m}^4 \quad y_t = 0,642 \text{ cm} \quad \alpha = 1,5$$

$$M_r = \alpha f_{ct} I_c / y_t = 239,51 \text{ tf.m}$$

$$\text{Armadura adotada: } 30 \Phi 25 \text{ mm} \quad \rho = 0,0086$$

$$n = E_s / E_{cs} = 10 \quad \rho_n = 0,086$$

$$I_{II} = 0,1510 \text{ m}^4$$

$$M_a = 476,6 \text{ tf.m (combinação freqüente)}$$

$$I_{eq} = 0,1767 \text{ m}^4$$

$$I_{eq} / I_c = 0,500$$

$$\text{Flecha imediata no estágio II: } \delta_{II} = 10,34 / 0,500 = 20,7 \text{ mm}$$

$$\text{vão : } 16,15 \text{ m} \quad 1:780 \quad \text{OK}$$

Flecha diferida conforme item 17.3.2.1.2 da NBR 6118:

$$\alpha_f = \Delta \xi / (1 + 50 \rho')$$

$$\Delta \xi = 2,0 - 0,84 = 1,16 \quad \rho' = 147,3 / (130 * 132) = 0,0086$$

$$\alpha_f = 0,812$$

$$\text{Flecha final devida às cargas permanentes: } \delta_{IIg} = (1 + 0,812) 4,76 / 0,500 = 17,25 \text{ mm}$$

$$\text{Flecha final total: } \delta_{II} = 17,25 + 5,57 / 0,500 = 28,4 \text{ mm} \quad 1:569 \quad \text{OK}$$

## RESUMO DAS ARMADURAS LONGITUDINAIS

Adicionamos à armadura de flexão a armadura de torção

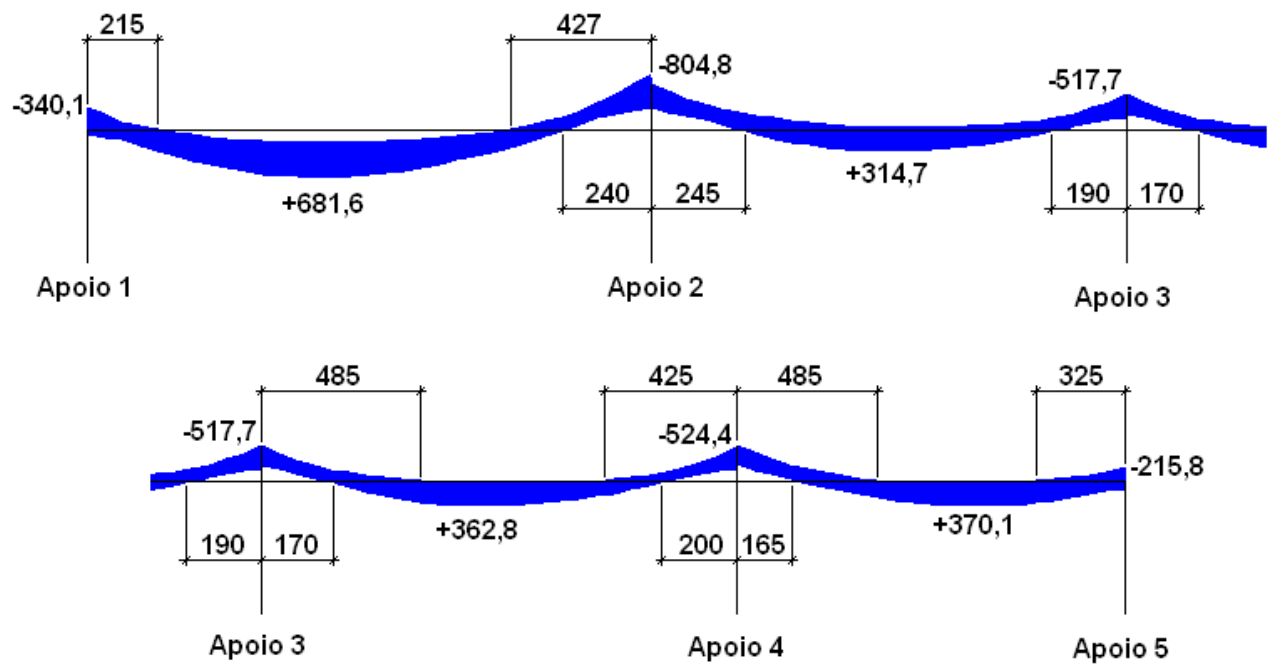
| Seção | Face superior | Face inferior | Faces laterais |
|-------|---------------|---------------|----------------|
|-------|---------------|---------------|----------------|

|         |              |              |                               |
|---------|--------------|--------------|-------------------------------|
| Apoio 1 | 20 $\phi$ 25 | 4 $\phi$ 25  | 7 $\phi$ 20                   |
| Vão 1   | 2 $\phi$ 25  | 30 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 16 ou 8 $\phi$ 12,5  |
| Apoio 2 | 36 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 20                   |
| Vão 2   | 2 $\phi$ 25  | 16 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 16 ou 7 $\phi$ 12,5  |
| Apoio 3 | 24 $\phi$ 25 | 6 $\phi$ 25  | 7 $\phi$ 20                   |
| Vão 3   | 2 $\phi$ 25  | 16 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 16 ou 9 $\phi$ 12,5  |
| Apoio 4 | 25 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 20                   |
| Vão 4   | 3 $\phi$ 25  | 19 $\phi$ 25 | 6 $\phi$ 16 ou 11 $\phi$ 12,5 |
| Apoio 5 | 14 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 25  | 5 $\phi$ 20                   |

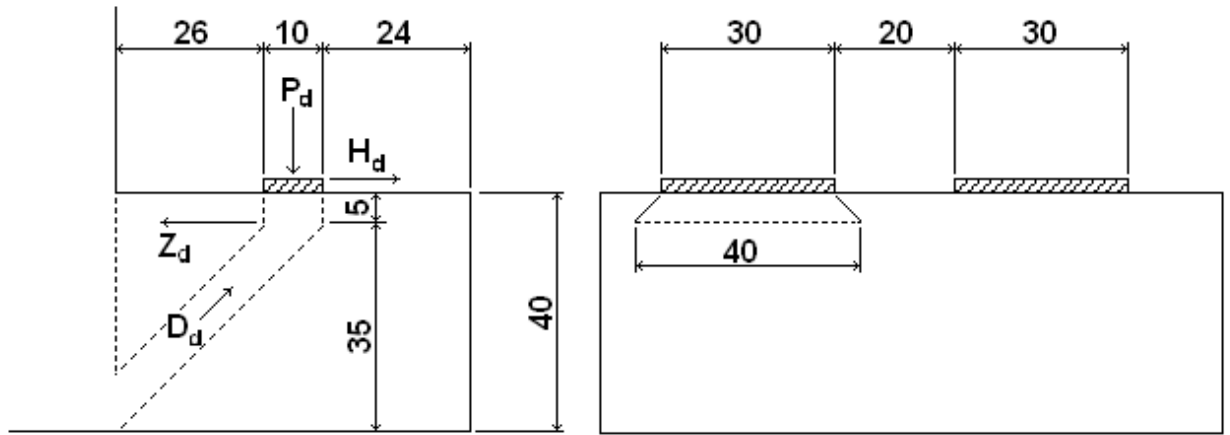
Uniformizando as armaduras, temos:

| Seção   | Face superior | Face inferior | Faces laterais |
|---------|---------------|---------------|----------------|
| Apoio 1 | 20 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 25   | 7 $\phi$ 20    |
| Vão 1   | 3 $\phi$ 25   | 30 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 16    |
| Apoio 2 | 36 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 25   | 7 $\phi$ 20    |
| Vão 2   | 3 $\phi$ 25   | 16 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 16    |
| Apoio 3 | 24 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 25   | 7 $\phi$ 20    |
| Vão 3   | 3 $\phi$ 25   | 16 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 16    |
| Apoio 4 | 25 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 25   | 7 $\phi$ 20    |
| Vão 4   | 3 $\phi$ 25   | 19 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 16    |
| Apoio 5 | 14 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 25   | 7 $\phi$ 20    |

## Envoltória de momentos fletores nas vigas laterais (tf.m)



## CONSOLO DE APOIO DAS LAJES PRÉ-MOLDADAS



$$a = 31 \text{ cm}$$

$$d = 40 - 5 = 35 \text{ cm}$$

$$a / d = 0,89 \rightarrow \text{consolo curto}$$

$$P_d = 16,73 \text{ tf (reação de apoio das lajes pré-moldadas)}$$

$$H_d = 1,35 * 0,31 + 1,5 * 0,49 = 1,15 \text{ tf (ver aparelhos de apoio)}$$

Tirante:

$$Z_d = 16,73 * 31 / 35 + 1,15 = 15,97 \text{ tf}$$

$$A_s = 15,97 * 1,15 / 5,0 = 3,67 \text{ cm}^2$$

$$A_s/m = 3,67 / 0,4 = 9,18 \text{ cm}^2 / m$$

$$\phi 12,5 \text{ c}/12,5$$

Biela de compressão:

$$\theta = \arctg (35 / 31) = 48,5^\circ$$

$$D_d = 16,73 / \sin \theta = 22,35 \text{ tf}$$

$$b = 10 \sin \theta = 7,5 \text{ cm}$$

$$\sigma_{cd} = 22,35 / (0,40 * 0,075) = 745 \text{ tf/m}^2 = 74,5 \text{ kgf/cm}^2 < 0,85 f_{cd} = 182 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

## 9.2 Viga central

$b_w = 130 \text{ cm}$  (momentos positivos) ou  $250 \text{ cm}$  (momentos negativos)

$h = 140 \text{ cm}$

$A_{smin} = 31,4 \text{ cm}^2 \quad 7 \phi 25 \text{ mm}$

### FLEXÃO

| Seção                                    | Apoio 1      | Vão 1        | Apoio 2      | Vão 2        | Apoio 3      |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $b_w \text{ (cm)}$                       | 250          | 130          | 250          | 130          | 250          |
| $d \text{ (cm)}$                         | 132          | 129          | 129          | 132          | 129          |
| $M_{3d} \text{ (tf.m)}$                  | -428,0       | 932,9        | -1109,6      | 667,8        | -946,3       |
| $M_{d,ser} \text{ (tf.m)}$               | -229,9       | 464,7        | -579,6       | 296,0        | -474,5       |
| $A_s \text{ (cm}^2\text{)}$              | 76,7         | 192,8        | 214,9        | 127,7        | 180,8        |
| As adotada                               | 16 $\phi 25$ | 40 $\phi 25$ | 44 $\phi 25$ | 27 $\phi 25$ | 37 $\phi 25$ |
| $A_{cri} \text{ (cm}^2\text{)}$          | 3478         | 3803         | 3803         | 3478         | 3803         |
| $\sigma_{si} \text{ (kgf /cm}^2\text{)}$ | 2471         | 2152         | 2455         | 1937         | 2364         |
| 1ª fórmula                               | 0,268        | 0,203        | 0,264        | 0,164        | 0,245        |
| 2ª fórmula                               | 0,232        | 0,112        | 0,120        | 0,123        | 0,129        |
| Seção                                    | Vão 3        | Apoio 4      | Vão 4        | Apoio 5      |              |
| $b_w \text{ (cm)}$                       | 130          | 250          | 130          | 250          |              |
| $d \text{ (cm)}$                         | 132          | 132          | 134          | 132          |              |
| $M_{3d} \text{ (tf.m)}$                  | 660,8        | -1133,8      | 927,6        | -419,4       |              |
| $M_{d,ser} \text{ (tf.m)}$               | 291,9        | -592,3       | 461,2        | -224,2       |              |

|                                       |              |              |              |              |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| As (cm <sup>2</sup> )                 | 126,2        | 220,1        | 191,5        | 75,1         |
| As adotada                            | 26 $\phi$ 25 | 45 $\phi$ 25 | 40 $\phi$ 25 | 16 $\phi$ 25 |
| Acri (cm <sup>2</sup> )               | 3478         | 3803         | 3803         | 3478         |
| $\sigma_{si}$ (kgf /cm <sup>2</sup> ) | 1979         | 2456         | 2136         | 2410         |
| 1ª fórmula                            | 0,172        | 0,264        | 0,200        | 0,255        |
| 2ª fórmula                            | 0,129        | 0,118        | 0,111        | 0,227        |

Em todos os casos temos  $w_k < 0,300$  mm OK

#### VERIFICAÇÃO DA FADIGA

| Seção                                    | Apoio 1      | Vão 1        | Apoio 2      | Vão 2        | Apoio 3      |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| As adotada                               | 22 $\phi$ 25 | 46 $\phi$ 25 | 50 $\phi$ 25 | 35 $\phi$ 25 | 37 $\phi$ 25 |
| Md,ser (tf.m)                            | -287,8       | 646,8        | -773,7       | 458,0        | -657,2       |
| $\sigma_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> )       | 2342         | 2628         | 2907         | 2404         | 2907         |
| Mg (tf.m)                                | -79,9        | 222,3        | -313,9       | 128,7        | -263,8       |
| $\sigma_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> )       | 650          | 903          | 1180         | 676          | 1162         |
| $\bar{\sigma}_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> ) | 1692         | 1725         | 1727         | 1728         | 1740         |

| Seção                              | Vão 3        | Apoio 4      | Vão 4        | Apoio 5      |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| As adotada                         | 35 $\phi$ 25 | 51 $\phi$ 25 | 46 $\phi$ 25 | 21 $\phi$ 25 |
| Md,ser (tf.m)                      | 453,0        | -790,7       | 643,1        | -281,7       |
| $\sigma_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> ) | 2378         | 2917         | 2613         | 2395         |
| Mg (tf.m)                          | 125,4        | -321,5       | 220,5        | -77,5        |

|  |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|
| $\sigma_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> )       | 658  | 1186 | 896  | 659  |
| $\bar{\sigma}_s$ (kgf /cm <sup>2</sup> ) | 1720 | 1731 | 1717 | 1736 |

Em todos os casos temos  $\bar{\sigma}_s < 1750$  kgf /cm<sup>2</sup> OK

#### VERIFICAÇÃO À FLEXO-TRAÇÃO OBLÍQUA

Verificamos a seguir as armaduras adotadas com os esforços  $M_{3d}$ ,  $M_{2d}$  e  $N_d$  (tração), utilizando o programa OBLIQUA 1.0.

| Seção           | Apoio 1      | Vão 1        | Apoio 2      | Vão 2        | Apoio 3      |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| As adotada      | 16 $\phi$ 25 | 40 $\phi$ 25 | 44 $\phi$ 25 | 27 $\phi$ 25 | 37 $\phi$ 25 |
| $M_{3d}$ (tf.m) | -428,0       | 932,9        | -1109,6      | 667,8        | -946,3       |
| $M_{2d}$ (tf.m) | 0,4          | 48,5         | 33,6         | 43,8         | 53,5         |
| $N_d$ (tf)      | 49,7         | 37,8         | 21,6         | 26,0         | 25,3         |
| As adicional    | 12 $\phi$ 10 | 12 $\phi$ 10 | 12 $\phi$ 10 | /            |              |

| Seção           | Vão 3        | Apoio 4      | Vão 4        | Apoio 5      |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| As adotada      | 26 $\phi$ 25 | 45 $\phi$ 25 | 40 $\phi$ 25 | 16 $\phi$ 25 |
| $M_{3d}$ (tf.m) | 660,8        | -1133,8      | 927,6        | -419,4       |
| $M_{2d}$ (tf.m) | 43,8         | 38,5         | 49,7         | 0,4          |
| $N_d$ (tf)      | 25,6         | 21,3         | 35,2         | 47,1         |



As adicional      12  $\phi$  10      12  $\phi$  10      /      12  $\phi$  10

As armaduras adicionais são distribuídas igualmente nas 2 faces laterais e na face contrária (superior ou inferior) à armadura tracionada pelo momento principal  $M_{3d}$ .

## CISALHAMENTO

Seção igual à das vigas laterais

Dimensionamento com esforços máximos, não simultâneos.

| Seção                             | Apoio 1 | Vão 1 | Apoio 2e | Apoio 2d | Vão 2 |
|-----------------------------------|---------|-------|----------|----------|-------|
| $V_{sd}$ (tf)                     | 373,20  | 40,43 | 452,30   | 407,31   | 35,42 |
| $A_{sw/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)   | 43,45   | 15,03 | 58,77    | 50,06    | 15,03 |
| $T_{sd}$ ( tf.m )                 | 129,00  | 48,57 | 110,93   | 116,28   | 48,09 |
| $A_{s90/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)  | 14,49   | 5,45  | 12,46    | 13,06    | 5,40  |
| $T_{sd}/T_{rd2} + V_{sd}/V_{rd2}$ | 0,824   | 0,196 | 0,859    | 0,824    | 0,188 |
| $A_{st}$ (cm <sup>2</sup> /m)     | 72,42   | 25,94 | 83,68    | 76,17    |       |
| 25,83                             |         |       |          |          |       |
| $Asl$ (cm <sup>2</sup> )          | 58,67   | 22,09 | 50,45    | 52,89    | 21,87 |

| Seção                             | Apoio 3e | Apoio 3d | Vão 3 | Apoio 4e | Apoio 4d |
|-----------------------------------|----------|----------|-------|----------|----------|
| $V_{sd}$ (tf)                     | 396,73   | 394,56   | 38,19 | 410,14   | 454,42   |
| $A_{sw/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)   | 48,01    | 47,59    | 15,03 | 50,60    | 59,17    |
| $T_{sd}$ ( tf.m )                 | 123,42   | 108,29   | 40,04 | 121,46   | 105,68   |
| $A_{s90/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)  | 13,86    | 12,16    | 4,50  | 13,64    | 11,87    |
| $T_{sd}/T_{rd2} + V_{sd}/V_{rd2}$ | 0,834    | 0,785    | 0,167 | 0,843    | 0,845    |

|   |       |         |       |       |
|---|-------|---------|-------|-------|
| A <sub>st</sub> (cm <sup>2</sup> /m)                                  | 75,73 | 71,91   | 24,02 | 77,88 |
| 82,91   |       |         |       |       |
| Asl (cm <sup>2</sup> )  | 56,13 | 49,25   | 18,21 | 55,24 |
|   |       |         |       | 48,06 |
| Seção   | Vão 4 | Apoio 5 |       |       |
| V <sub>sd</sub> (tf)  | 41,96 | 371,63  |       |       |
| A <sub>sw/s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)                                | 15,03 | 43,15   |       |       |
| T <sub>sd</sub> ( tf.m )  | 50,56 | 128,83  |       |       |
| A <sub>s90/s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)                               | 5,68  | 14,47   |       |       |
| T <sub>sd</sub> /T <sub>rd2</sub> + V <sub>sd</sub> /V <sub>rd2</sub> | 0,203 | 0,821   |       |       |
| A <sub>st</sub> (cm <sup>2</sup> /m)                                  | 26,39 | 72,08   |       |       |
| Asl (cm <sup>2</sup> )  | 23,00 | 58,59   |       |       |

Em todos os casos temos  $T_{sd}/T_{rd2} + V_{sd}/V_{rd2} < 1,0$  OK

Dimensionamento com esforço cortante  $V_{sd}$  e momento torsor  $T_{sd}$  simultâneos.

| Seção                               | Apoios 1/5 | Apoios 1/5 | Apoios 1/5 | Apoios 2e/4d | Apoios 2e/4d |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|
| $V_{sd} \text{ (tf)}$               | 373,20     | 243,74     | 255,82     | 452,30       | 310,99       |
| $A_{sw/s} \text{ (cm}^2\text{/m)}$  | 43,45      | 18,39      | 20,73      | 58,77        | 31,41        |
| $T_{sd} \text{ ( tf.m )}$           | 6,09       | 129,00     | 128,95     | 5,10         | 110,93       |
| $A_{s90/s} \text{ (cm}^2\text{/m)}$ | 0,68       | 14,49      | 14,48      | 0,57         | 12,46        |
| $T_{sd}/T_{rd2} + V_{sd}/V_{rd2}$   | 0,446      | 0,676      | 0,689      | 0,533        | 0,697        |
| $A_{st} \text{ (cm}^2\text{/m)}$    | 44,82      | 47,36      | 49,69      | 59,91        |              |
| 56,32                               |            |            |            |              |              |
| $A_{sl} \text{ (cm}^2\text{)}$      | 2,77       | 58,67      | 58,65      | 2,32         | 50,45        |

|                                   |              |              |              |              |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Seção                             | Apoios 2d/4e | Apoios 2d/4e | Apoios 3e/3d | Apoios 3e/3d |
| $V_{sd}$ (tf)                     | 410,14       | 273,29       | 396,73       | 261,97       |
| $A_{sw/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)   | 50,60        | 24,11        | 48,01        | 21,92        |
| $T_{sd}$ (tf.m)                   | 2,65         | 121,46       | 2,80         | 123,42       |
| $A_{s90/s}$ (cm <sup>2</sup> /m)  | 0,30         | 13,64        | 0,31         | 13,86        |
| $T_{sd}/T_{rd2} + V_{sd}/V_{rd2}$ | 0,478        | 0,686        | 0,463        | 0,679        |
| $A_{st}$ (cm <sup>2</sup> /m)     | 51,20        | 51,39        | 48,64        | 49,64        |
| $A_{sl}$ (cm <sup>2</sup> )       | 1,20         | 55,24        | 1,28         | 56,13        |

## DEFORMAÇÕES

Flechas no estágio I, resultantes do processamento:

|               |     |        | $\delta_i$ (mm)  |         |
|---------------|-----|--------|------------------|---------|
| SEÇÃO         | NÓ  | DEAD   | ENV1A12+ENV13A21 | TOTAL   |
| (com impacto) |     |        |                  |         |
| APOIO 1       | 3   | -1,198 | -1,360           | -2,558  |
| VÃO 1         | 127 | -5,225 | -7,517           | -12,742 |
| APOIO2        | 141 | -2,534 | -2,833           | -5,367  |
| VÃO 2         | 154 | -3,726 | -6,493           | -10,219 |
| APOIO 3       | 168 | -1,97  | -2,398           | -4,371  |
| VÃO 3         | 181 | -3,359 | -6,300           | -9,659  |
| APOIO4        | 195 | -1,947 | -2,233           | -4,180  |
| VÃO 4         | 209 | -4,723 | -7,211           | -11,934 |
| APOIO 5       | 4   | -0,885 | -1,064           | -1,949  |

Descontando os recalques dos apoios, temos:

| SEÇÃO | NÓ  | DEAD   | ENV1A12+ENV13A21<br>(com impacto) | TOTAL  |
|-------|-----|--------|-----------------------------------|--------|
| VÃO 1 | 127 | -3,359 | -5,420                            | -8,779 |
| VÃO 2 | 154 | -1,473 | -3,878                            | -5,350 |
| VÃO 3 | 181 | -1,399 | -3,985                            | -5,384 |
| VÃO 4 | 209 | -3,307 | -5,562                            | -8,869 |

Flecha no estádio II, para o vão 4:

Inércia equivalente, conforme item 17.3.1 da NBR 6118:

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad f_{ct} = f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$$

$$I_c = 0,3986 \text{ m}^4 \quad y_t = 0,596 \text{ cm} \quad \alpha = 1,5$$

$$M_r = \alpha f_{ct} I_c / y_t = 290,9 \text{ tf.m}$$

$$\text{Armadura adotada: } 46 \text{ } \Phi \text{ } 25 \text{ mm} \quad \rho = 0,0132$$

$$n = E_s / E_{cs} = 10 \quad \rho_n = 0,132$$

$$I_{II} = 0,2054 \text{ m}^4$$

$$M_a = 646,8 \text{ tf.m (combinação freqüente)}$$

$$I_{eq} = 0,2230 \text{ m}^4$$

$$I_{eq} / I_c = 0,559$$

$$\text{Flecha imediata no estádio II: } \delta_{II} = 8,87 / 0,559 = 15,9 \text{ mm}$$

$$\text{vão : } 13,50 \text{ m} \quad 1:851 \quad \text{OK}$$

Flecha diferida conforme item 17.3.2.1.2 da NBR 6118:

$$\alpha_f = \Delta \xi / (1 + 50 \rho')$$

$$\Delta\xi = 2,0 - 0,84 = 1,16$$

$$\rho' = 225,8 / (130 * 132) = 0,0132$$

$$\alpha_f = 0,700$$

$$\text{Flecha final devida às cargas permanentes: } \delta_{IIg} = (1 + 0,700) 3,31 / 0,559 = 10,07 \text{ mm}$$

$$\text{Flecha final total: } \delta_{II} = 10,07 + 5,56 / 0,559 = 20,0 \text{ mm}$$

1:675

OK

## RESUMO DAS ARMADURAS LONGITUDINAIS

Adicionamos à armadura de flexão a armadura de torção

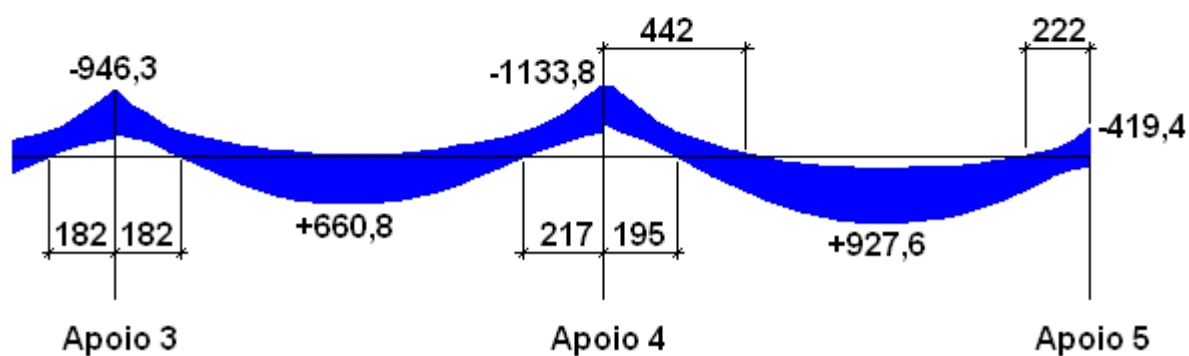
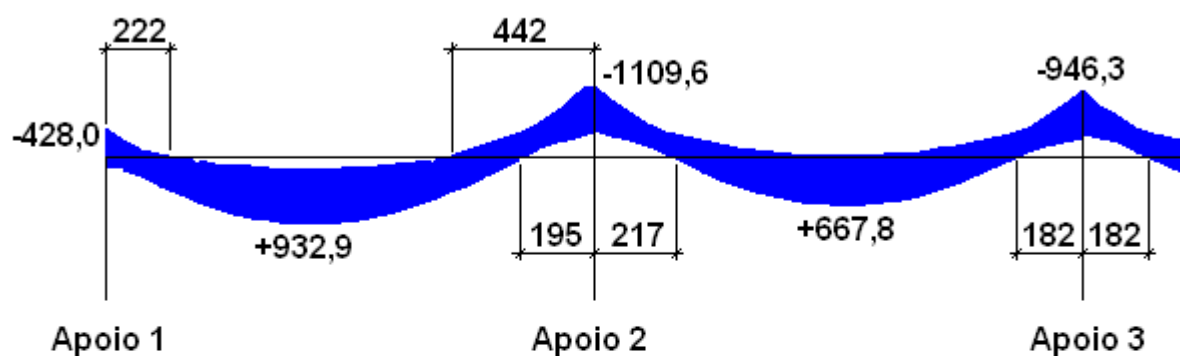
| Seção   | Face superior | Face inferior | Faces laterais |
|---------|---------------|---------------|----------------|
| Apoio 1 | 25 $\phi$ 25  | 4 $\phi$ 25   | 6 $\phi$ 20    |
| Vão 1   | 2 $\phi$ 25   | 47 $\phi$ 25  | 5 $\phi$ 16    |
| Apoio 2 | 53 $\phi$ 25  | 4 $\phi$ 25   | 6 $\phi$ 20    |
| Vão 2   | 2 $\phi$ 25   | 36 $\phi$ 25  | 3 $\phi$ 16    |
| Apoio 3 | 40 $\phi$ 25  | 4 $\phi$ 25   | 6 $\phi$ 20    |
| Vão 3   | 2 $\phi$ 25   | 36 $\phi$ 25  | 4 $\phi$ 16    |
| Apoio 4 | 54 $\phi$ 25  | 4 $\phi$ 25   | 6 $\phi$ 20    |
| Vão 4   | 2 $\phi$ 25   | 47 $\phi$ 25  | 3 $\phi$ 16    |
| Apoio 5 | 24 $\phi$ 25  | 4 $\phi$ 25   | 6 $\phi$ 20    |

Uniformizando as armaduras, temos:

| Seção | Face superior | Face inferior | Faces laterais |
|-------|---------------|---------------|----------------|
|-------|---------------|---------------|----------------|

|         |              |              |             |
|---------|--------------|--------------|-------------|
| Apoio 1 | 25 $\phi$ 25 | 4 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 20 |
| Vão 1   | 2 $\phi$ 25  | 47 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 16 |
| Apoio 2 | 54 $\phi$ 25 | 4 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 20 |
| Vão 2   | 2 $\phi$ 25  | 36 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 16 |
| Apoio 3 | 40 $\phi$ 25 | 4 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 20 |
| Vão 3   | 2 $\phi$ 25  | 36 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 16 |
| Apoio 4 | 54 $\phi$ 25 | 4 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 20 |
| Vão 4   | 2 $\phi$ 25  | 47 $\phi$ 25 | 5 $\phi$ 16 |
| Apoio 5 | 25 $\phi$ 25 | 4 $\phi$ 25  | 6 $\phi$ 20 |

### Envoltória de momentos fletores na viga central (tf.m)



#### **4. TERMO DE ENCERRAMENTO**

## **TERMO DE ENCERRAMENTO**

Este relatório contém 102 páginas incluindo esta, numericamente ordenadas do nº 1 ao nº 102 relativas à memória de cálculo das estruturas.