Sub-Adductora Moóca - Villa Deodoro

Travessia do Tamanduatehy

João Soares do Amaral Netto
Eng.º auxiliar — 3.ª S. Technica

Do plano geral de abastecimento de aguas de São Paulo, faz parte integrante a Sub-Adductora Moóca — Villa Deodoro. Esta linha, de 80 cm. de diametro, trabalhando por gravidade e actualmente em construcção, effectivará a ligação entre o reservatorio receptor do Rio Claro-Moóca e o de Villa Deodoro.

Uma das obras de arte necessarias á sua execução é a travessia do Tamanduatehy, correspondente ao ponto de mais baixa cóta, onde a pressão estatica attinge ao indice de 80 m.

O perfil da Sub-Adductora acima vem encontrar o Tamanduatehy, em uma de suas margens, na cóta (grade) 723.000, elevando-se, por intermedio de duas curvas de 1/8 (45°), a 726.500 m., e com esta o atravessa em nivel até a margem opposta.

A) — Typo de Estructura

A escolha do typo de estructura a ser adoptada deve prender-se aos esforços que a solicitam. Por determinações da Chefia da 3.ª S. Technica, foi estabelecido um duplo conjuncto rigido em concreto armado.

A pressão estatica de 80 m. faz resultar componentes consideraveis, nas bissectrizes exteriores ás curvas de 1/8, de ordem superior a 30 tons. O typo de estructura proposta, se, por um lado, vem contra certos preceitos architectonicos, por outro attende totalmente a solução technica da questão.

Os dois conjunctos são ligados por coxins (vigas), que desempenham o duplo papel: apoio á tubulação e contraventamento da estructura.

Secção Transversal do Tamanduatehy

A estructura simples apresenta um apoio engastado, outro central articulado e finalmente o terceiro livremente apoiado. Dessa forma a estructura se apresenta como hyperestatica, sendo de 3 o grau de sua indeterminação. (fig. 1).

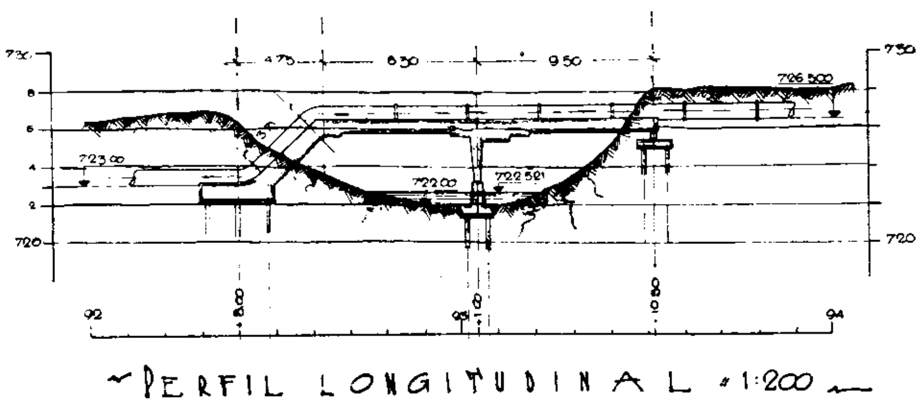


Fig. 1

Na curva inferior, o esforço devido á pressão estatica será absorvido directamente pela fundação a qual vem, portanto, desempenhar tambem o papel de ancoragem. Superiormente esse esforço é directamente transmittido á estructura por meio de tensores de $1\frac{1}{4}$", que tornam a tubulação amarrada ao conjuncto, sendo previstos dispositivos de chapa e dupla porca.

Ao trabalho normal dessa sub-adductora, — sentido Moóca-V. Deodoro (pressão estatica de 80.0 m.) — devemos acrescentar o caso particular de descarga da linha, no qual a pressão se r duz a zero.

Conjunctamente a esses dois casos geraes, faremos a analyse relativa a um augmento ou a uma diminuição de temperatura; desprezaremos as influencias provenientes das forças axiaes, bem como os esforços dynamicos resultantes do movimento da agua no interior da tubulação.

B) — **Analyse Geral da Estructura**

Chamando-se de X e Y as resultantes horizontal e vertical das cargas exteriores, podemos escrever as tres equações fundamentaes da estatica (fig. 2).

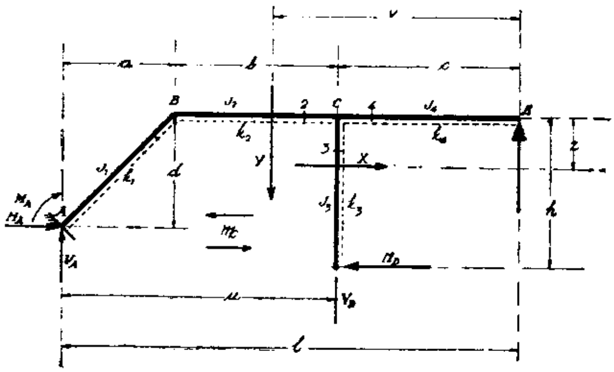


Fig. 2

(1) $V_A + V_D + V_E = Y$

(2) $- H_A + H_D = X$

(3) $M_A + l V_A - d H_A + c V_D + h H_D = Xz + Yv + \mathfrak{M} \therefore \mathfrak{M} = O$

A essas tres equações fundamentaes devemos acrescentar outras tres que venham solucionar a questão. Procuraremos exprimir todas as incognitas em funcção de tres quaesquer, sejam M_A, M_B e M_{C2}.

O nó rigido C fornece-nos uma equação de ligação:

(4) $M_{C2} + M_{C3} = M_{C4}$

Representando-se por μ_{AB}, μ_{AC} etc., respectivamente os momentos das cargas exteriores (trechos AB, AC etc.) relativos aos pontos B e C, podemos escrever:

(5) $M_B = M_A + a V_A - d H_A + \mu_{AB}$

(6) $M_{C2} = M_A + u V_A - d H_A + \mu_{AC}$

(7) $M_{C4} = M_{C2} + M_{C3} = c V_E + \mu_{EC}$

Dessas equações teremos, combinando-as differentemente, as seguintes expressões:

(8) $V_A = \dfrac{\mu_{AB} - \mu_{AC} + M_{C2} - M_B}{b}$

(9) $H_A = \dfrac{u\mu_{AB} - a\mu_{AC} + aM_{C2} - uM_B}{bd} + \dfrac{M_A}{d}$

(10) $H_D = X + \dfrac{u\mu_{AB} - a\mu_{AC} + aM_{C2} - uM_B}{bd} + \dfrac{M_A}{d}$

(11) $M_{C3} = \mu_{DC} + hX + \dfrac{hu\mu_{AB} - ha\mu_{AC} + ahM_{C2} - huM_B}{bd} + \dfrac{hM_A}{d}$

(12) $M_{C4} = \mu_{DC} + hX + \dfrac{hu\mu_{AB} - ah\mu_{AC} - huM_B}{bd} + \dfrac{hM_A}{d} + \left(\dfrac{ah + bd}{bd}\right) M_{C2}$

De (7) tiramos $V_E = \dfrac{1}{c} (M_{C4} - \mu_{EC})$

Dessa forma conseguimos exprimir todos os valores em funcção das tres incognitas fundamentaes escolhidas: M_A, M_B e M_{C2}; não temos mais que escrever mais tres equações destinadas a completar a resolução do problema.

Com esse intuito applicaremos as "equações de condição dos deslocamentos dos nós" conjunctamente com o theorema de Clapeyron, dos 3 e 4 momentos.

Das tres equações de condição, duas são rapidamente obtidas, pois, chamando-se y_1 e y_2, respectivamente as normaes baixadas de A e B, á base AD, podemos escrever:

$$y_1 \Delta B + y_2 \Delta C_{23} = O$$
$$u \Delta A + b \Delta B = O$$

A 3.ª equação é obtida com mais difficuldade.

Após a deformação o comprimento da barra ficticia $AC - s_2$, soffre um accrescimo Δs_2.

Chamando-se y a normal baixada de B á barra ficticia s_2, podemos escrever, uma vez deformado o systema:

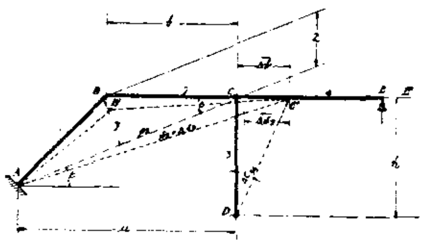


Fig. 3

$$\overline{\Delta C_{34}} = \frac{\overline{\Delta h}}{h} \quad \therefore \quad \Delta C_{34} = \frac{6\,E J_o}{s_o} \cdot \frac{\overline{\Delta b}}{h} \quad \therefore \quad \overline{\Delta b} = \frac{\overline{\Delta s_2}}{\cos.\varphi}$$

$$\Delta C_{34} = \frac{6\,E\,J_o}{s_o} \cdot \frac{\overline{\Delta s_2}}{h\cos.\varphi} \quad \therefore \quad \frac{6\,E\,J_o}{s_o}\,\overline{\Delta s_2} = y\,\Delta B,$$

sendo porem

$$\Delta B = \frac{6\,E\,J_o}{s_o}\,\overline{\Delta B}, \text{ substituindo: } \Delta C_{34} = \frac{6\,E\,J_o}{s_o} \cdot \frac{1}{h\cos.\varphi} \cdot \frac{y\,\Delta B}{6\,E J_o}\,s_o,$$

resultando $\Delta C_{34} = \dfrac{y\,\Delta\,B}{h\cos.\varphi}$ mas $y = z\cos\varphi$, vem finalmente:

$$\Delta C_{34} = \frac{z}{h}\,\Delta B = \gamma\,\Delta B$$

O systema

$$\begin{aligned} y_1\,\Delta B + y_2\,\Delta C_{23} &= O \\ u\,\Delta A + b\,\Delta B &= O \\ \Delta C_{34} - \gamma\,\Delta B &= O\,, \end{aligned}$$

resolve as indeterminações.

Os termos ΔB, ΔC_{23} etc., são facilmente obtidos por Claperyon,

$$\begin{aligned} \Delta B &= k_1 M_A + 2(k_1 + k_2) M_B + k_2 M_{C2} + 6\,k_1\,m_{1A} + 6\,k_2\,m_{2B} \\ \Delta A &= 2\,k_1 M_A + k_1 M_B + 6 k_1\,m_{1A} \\ \Delta C_{23} &= k_2\,M_B + 2k_2\,M_{C2} - 2\,k_3\,M_{C3} + 6k_2\,m_{2C} - 6k_3\,m_{3C} \\ \Delta C_{34} &= -\,2\,k_3\,M_{C3} + 2\,k_4\,M_{C4} - 6\,k_3\,m_{3C} + 6\,k_4\,m_{4C} \end{aligned}$$

Nas relações acima os termos em k são relativos aos graus de flexibilidade: $m\alpha\beta$ representam os termos de carga, tambem chamados momentos de carga.

C) — Introducção dos Valores Numericos

A estructura, conforme affirmámos no inicio, apresenta-se subdividida em dois conjunctos, — razão de introduzirmos as cargas exteriores reduzidas á metade.

A tubulação é apoiada sobre vigas transversaes, que darão cargas concentradas na estructura, excepção feita nas curvas, onde a carga é tomada como uniformemente distribuida.

Os tubos de ferro fundido empregados apresentam 4,0 m. de comprimento, tendo o peso proprio de 1690 kg. por unidade; addicionando-se o peso correspondente de agua, nas condições do regimen, 2010 kg., temos o total de 3700 kg. por 4,0 m. ou 925 kg/m. l.

Effeito de Pressão Estatica de 80 m

Sendo de 80 cm o diametro da tubulação, temos

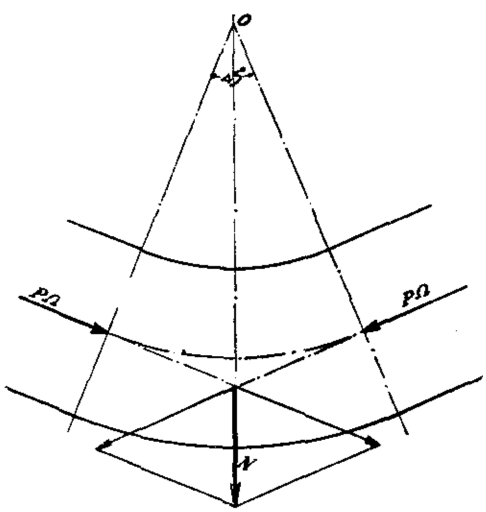


Fig. 4

$$P\,\Omega = \frac{8 \times \pi\, d^2}{4} = \frac{8 \times \pi \times \overline{80}^2}{4} = 40212 \text{ Kg.}$$

$$N = 2\,P\Omega \text{ sen } 22^\circ\,30 = 30777 \text{ Kg.}$$

Componentes de N:

$$N_V = 30777 \cos 22^\circ 30 = 28434 \text{ Kg.}$$
$$N_H = 30777 \text{ sen } 22^\circ 30 = 11778 \text{ »}$$

Já tivemos occasião de dizer que esse esforço N, será, na curva inferior, directamente absorvido pela fundação-ancoragem. Nesta analyse consideraremos unicamente o esforço N na curva superior.

Dimensionamento da Estructura

Para transpormos o Tamanduatehy precisamos, pela secção respectiva (fig. 1), 21.0 m; o ramo ascendente, 4.25 apresenta-nos um desenvolvimento horizontal de 3.0 m.

Por considerações de calculo, fixamos em 8.5 e 9.5 m os dois vãos superiores, e em 3.0 a columna articulada.

Funcções dessas hypotheses preliminares são as dimensões previstas para as varias peças: ramo ascendente 90 $\times$ 30, aos horizontaes superiores 70 $\times$ 30 e a columna variavel 70 $\times$ 30 e 30 $\times$ 30, esta ultima no ponto de articulação.

Tomamos os graus de flexibilidade (secção em concreto) relativos ao primeiro ramo $k_1 = 1$, e por intermedio da relação $\frac{J_0}{J_1} \times \frac{s_1}{s_0}$, deduzimos $k_2 = 4.25$, $k_3 = 4.30$ e $k_4 = 4.75$

Para deduzirmos k_3 (columna articulada), tomamos o momento de inercia médio entre as duas secções extremas.

Desprezamos a influencia da variação do momento de inercia das peças, por ser quasi impossivel a sua inclusão no calculo, e tambem por não apresentar uma disparidade tal que venha comprometter a estructura. Introduzindo-se essas dimensões das peças, para a determinação dos seus respectivos pesos proprios, bem como os pontos que recebem coxins e curvas, a estructura apresentará o seguinte schema de cargas:

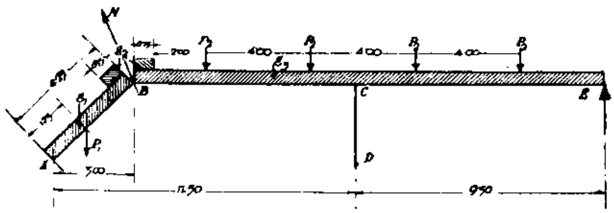


Fig. 5

Dados Numericos (relativos a um conjuncto)

$P_1 = 3.50 \times 925 \times 0.5 + 100 = 1720$ Kg.

$P_2 = 4.00 \times 925 \times 0.5 + 100 = 1950$ Kg.

$N = 30777 \times 0.5 = 15388$ Kg.

$N_H = 15388$ sen $22°30 = 5889$ Kg.

$N_V = 15388$ cos $22°30 = 14217$ Kg.

$g_1 = 0.30 \times 0.90 \times 1.00 = 2400 = 650$ Kg/m.l.

$g_2 = 0.75 \times 925 \times 0.5 = 460$ Kg.

$g_3 = 0.30 \times 0.70 \times 1.00 \times 2400 = 500$ Kg.

Antes de introduzirmos esses valores nas formulas já deduzidas, calculemos, de uma vez, todas as constantes de calculo, como sejam: os momentos das cargas exteriores, os termos de carga e as componentes X e Y, respectivamente resultantes horizontal e vertical das cargas exteriores.

a) Vão AB

Resultante Vertical F_1.

$$F_1 = 1720 + 650 \times 4.25 + 460 \times 0.75 = 4827.5 \text{ Kg.}$$

O ponto de applicação de F_1 está distante x_1 de B, sendo

$$x_1 = \frac{1720 \times 1.762 + 2762.5 \times 1.50 + 345 \times 0.2652}{4827.5} = 1.5053 \text{ m.}$$

Momentos de Carga m_{1A} e m_{1B}.

Sendo eguaes os resultados obtidos para a viga inclinada e horizontal, temos:

$$m_{1A} = \frac{650 \times \overline{3.0}^2}{24} + \frac{460 \times \overline{0.530}^2}{24 \times \overline{3.0}^2} (2 \times \overline{3.0}^2 - \overline{0.530}^2) +$$

$$+ \frac{1720 \times 1.762}{6 \times \overline{3.0}^2} (\overline{3.0}^2 - \overline{1.762}^2)$$

$$m_{1B} = \frac{650 \times \overline{3.0}^2}{24} + \frac{460 \times \overline{0.530}^2}{24 \times \overline{3.0}^2} (2 \times 3.0 - 0.530)^2 +$$

$$+ \frac{1720 \times 1.237}{6 \times \overline{3.0}^2} (\overline{3.0}^2 - \overline{1.237}^2)$$

$$m_{1A} = + 584.9036 \text{ Kms.}$$
$$m_{1B} = + 556.0480 \text{ »}$$

Momentos das Cargas Exteriores μ_{AB}.

$$\mu_{AB} = - 4827.5 \times 1.5053 = - 7266.8182 \text{ Kms.}$$

b) Vão BC

Resultante Vertical F_2.

$$F_2 = 345 + 4250 + 3900 = 8495 \text{ Kg.}$$

distante $x_2 = 4.1778$ ms. de C.

Momentos de Carga m_{2B} e m_{2C}.

Identicamente procedendo, obtemos:

$$m_{2B} = +\ 3102.8398 \text{ Kms.}$$
$$m_{2C} = +\ 3137.2076 \text{ »}$$

Momentos das Cargas Exteriores μ_{AC}.

$$\mu_{AC} = -\ 4827.5\ (1.5053 + 8.5) - 8495 \times 4.1778 + 14217 \times 8.5$$
$$\mu_{AC} = +\ 37053.307 \text{ Kms.}$$

c) Vão CE

$$F_2 = 8650, \text{ distante } x_3 = 4.9754 \text{ de } E$$
$$m_{4C} = +\ 3796.785 \text{ Kms.}$$

Resultantes X e Y.

Para X, temos $N_H = -\ 5889$ Kg., applicado no nó B.
Para Y, temos $Y = F_1 + F_2 + F_3 - N_V = 4827.5 + 8495 + 8650 - 14217$

$$X = -\ 5889 \text{ Kg.}$$
$$Y = +\ 7755.5 \text{ »}$$

A resultante Y, tem seu ponto de applicação, distante x de E, sendo:

$$x = \frac{4827.5 \times 19.5053 + 8495 \times 13.6778 + 8650 \times 4.9754 - 14217 \times 18}{7755.5} =$$
$$= -\ 0.3241 \text{ ms.}$$

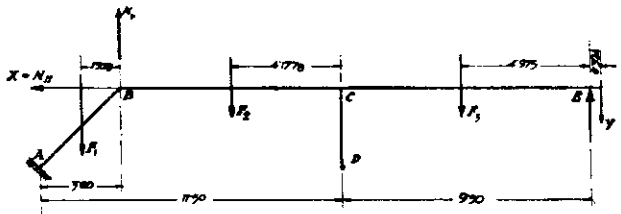


Fig. 6

D) — Determinação das Incognitas

Já tinhamos o grupo de equações:

$$\Delta B = k_1 M_A + 2(k_1 + k_2) M_B + k_2 M_{C2} + 6 k_1 m_{1B} + 6 k_2 m_{2B}$$
$$\Delta A = 2 k_1 M_A + k_1 M_B + 6 k_1 m_{1A}$$
$$\Delta C_{23} = k_2 M_B + 2 k_2 M_{C2} - 2 k_3 M_{C3} + 6 k_2 m_{2C} - 6 k_3 m_{3C}$$
$$\Delta C_{34} = -\ 2 k_3 M_{C3} + 2 k_4 M_{C4} - 6 k_3 m_{3C} + 6 k_4 m_{4C}$$

Nas relações acima, conhecemos os valores:

$$
\begin{array}{llll}
m_{1B} = + \ 556.08 \text{ Kms.} & & & \\
m_{2B} = + \ 3102.84 & » & k_1 = 1.0 & \\
m_{1A} = + \ 584.90 & » & k_2 = 4.25 & \\
m_{2C} = + \ 3137.21 & » & k_3 = 4.30 & \\
m_{3C} = \ 0000.00 & » & k_4 = 4.75 & \\
m_{4C} = \ 3796.785 & » & &
\end{array}
$$

Substituindo

$$
\begin{aligned}
\Delta B &= M_A + 10.5\, M_B + 4.25\, M_{C2} + 82458.703 \\
\Delta A &= 2\, M_A + M_B + 3509.4216 \\
\Delta C_{23} &= 4.25\, M_B + 8.50\, M_{C2} - 8.60\, M_{C3} + 79998.794 \\
\Delta C_{34} &= -\ 8.6\, M_{C3} + 9.5\, M_{C4} + 108208.3725
\end{aligned}
$$

O grupo de equações

$$
\begin{aligned}
y_1 \Delta B + y_2 \Delta C_{23} &= 0 \\
u \Delta A + b \Delta B &= 0 \\
\Delta C_{34} - \gamma \Delta B &= 0
\end{aligned}
$$

sendo

$$y_1 = y_2 = 3.0 \text{ m.} \therefore u = 11.5 \text{ m.} \therefore b = 8.5 \text{ e } y = \frac{z}{h} = \frac{2{\cdot}22}{3} = 0.74,$$

desde que sejam substituidos os valores acima de ΔB, ΔC_{23} etc. transforma-se em:

$$
A \left\{
\begin{aligned}
& M_A + 14.75\, M_B + 12.75\, M_{C3} + 162457.497 = 0 \\
& 31.5\, M_A + 100.75\, M_B + 36.125\, M_{C2} + 741257.323 = 0 \\
& 0.74\, M_A + 7.77\, M_B + 3.145\, M_{C2} + 8.6\, M_{C3} - 9.5\, M_{4C} - 47188.932 = 0
\end{aligned}
\right.
$$

A solução desse systema de equações será obtida, eliminando-se previamente os valores M_{C3} e M_{C4}, sabendo-se que:

$$H_A = \frac{u\, \mu_{AB} - a\, \mu_{AC} + a\, M_{C2} - u\, M_B}{b\, d} + \frac{M_A}{d}$$

sendo

$$
\begin{aligned}
u &= 11.5 \text{ m.} \\
a &= 3.0 \ » \\
b &= 8.5 \ » \\
d &= 3.0 \ »
\end{aligned}
$$

substituindo-se em H_A, teremos:

$$H_A = \frac{M_A}{3.0} + \frac{M_{C2}}{8.5} - \frac{11.5}{25.5} M_B - 7636.40$$

A equação (2)

$$H_D = H_A + X$$

substituindo-se H_A, tranformar-se-á, sabendo-se que $X = 5889$ Kg.

$$H_D = \frac{M_A}{3.0} + \frac{M_{C2}}{8.5} - \frac{11.5}{25.5} M_B - 13525.40$$

Levando-se este valor de H_D, nas relações tambem já conhecidas:

$$M_{C3} = hH_D + \mu_{DC}$$
$$M_{C4} = M_{C2} + M_{C3},$$

resolvemos a eliminação.

Sendo $\mu_{DC} = O$, resulta para M_{C3}: $(h = 3.0)$

$$M_{C3} = M_A + \frac{3.0}{8.5} M_{C2} - \frac{11.5}{8.5} M_B - 40576.2$$

$$M_{C4} = M_A + \frac{11.5}{8.5} M_{C2} - \frac{11.5}{8.5} M_B - 40576.2$$

Os dois valores acima de M_{C3} e M_{C4} introduzidos no systema A fazem resultar finalmente um systema de tres equações a tres incognitas:

$$\begin{aligned} 31.5\ M_A + 100.75\ M_B + 36.125\ M_{C2} + 741257.323 &= O \\ -\ 7.6\ M_A + 26.3853\ M_B + 9.7465\ M_{C2} + 511412.817 &= O \\ 0.16\ M_A - 8.9877\ M_B + 6.7045\ M_{C2} + 10670.352 &= O \end{aligned}$$

Procedendo-se a resolução, temos:

$M_A = +\ 19772.56$ Kms.
$M_B = -\ 8645.11$ »
$M_{C2} = -\ 13649.77$ »

A introducção das tres incognitas da estructura hyperestatica, nas formulas iniciaes, vem determinar todos os outros valores que são:

$H_A = +\ 1247.30$ Kg.
$H_D = -\ 4641{,}63$ »
$M_{C3} = -\ 13924.89$ Kms.
$M_{C4} = -\ 27574.66$ »
$V_E = +\ 1217.14$ Kg.
$V_A = -\ 5802.91$ »
$V_D = +\ 12341.20$ »

Curvas dos Momentos e Esforços Cortantes

Apresentaremos, a seguir, expressões analyticas geraes, correspondentes aos momentos de flexão em um ponto qualquer da estructura.

Trecho AB (Trecho considerado horizontalmente)

$$M_x = + 19772.59 - (1247.37 + 5082.91)x - \frac{650}{0.70711}\frac{x^2}{2} -$$
$$- 1720(x - 1.2374) - \frac{460}{0.70711}\frac{(x - 2.4749)^2}{2}$$

Trecho BC

$$M_x = +8645.11+3586.59x - 345(x - 0.375) - \frac{500x^2}{2} - 1950(x - 2.75) -$$
$$- 1950(x - 6.75)$$

Trecho CE

$$M_x = -27574.66+7432.69x - \frac{500x^2}{2} - 1950(x - 2.25) - 1950(x - 6.25)$$

Trecho DC

O trecho correspondente á columna apresenta variação linear, sendo nullo na articulação, e para um ponto qualquer de altura y de D, variando linearmente:

$$M_y = - 4641.63\ y$$

Relativamente aos esforços cortantes, não temos mais que proceder ás derivadas primeiras das expressões de M.

E) — Caso de Pressão Estatica Nulla.

A consideração deste caso de $p = 0$, é facilitada enormemente, conhecendo-se as expressões relativas ao caso de $p = 8$ Kg./cm². É bastante fazer $N = N_H = N_V = O$ nas expressões achadas para o primeiro caso; por eliminições identicas, encontraremos para as incognitas, os valores abaixo:

$M_A = -$	12878.73 Kms.	$H_A = H_D = +$	1177.143 Kg.
$M_B = +$	22.68 »	$V_E = +$	3506.98 »
$M_{C2} = -$	9352.60 »	$V_A = +$	7899.98 »
$M_{C3} = +$	3531.43 »	$V_D = +$	10565.54 »
$M_{C4} = -$	5821.175 »		

Não entraremos em detalhes das expressões de M para os differentes trechos, reservando-nos para a apresentação do quadro geral.

F) — Augmento e Diminuição de Temperatura

Vimos já os esforços originados das cargas geraes na estructura. Para completarmos este estudo incluiremos a influencia de um augmento e correspondente diminuição de temperatura.

Sendo o apoio E inteiramente livre (apoio pendular sobre placas de chumbo macío), funccionará, pois, como uma verdadeira junta de dilatação.

No conjuncto rigido $ABCD$ (fig. 2), essa influencia é evidente; consideremos o augmento soffrido pela barra ficticia AD, de comprimento $a + b$ e logo após, o augmento relativo á altura commum h.

Com auxilio das equações de deslocamento dos nós, temos immediatamente:

$$h \Delta B + h \Delta C_{23} + \Delta (a + b) = O$$
$$(a + b) \Delta A + b \Delta B + \Delta h = O$$

Estas duas equações mais a geral já deduzida:

$$\Delta C_{34} - \gamma \Delta B = O$$

resolvem a indeterminação.

Effectuemos uma transformação do systema, tornando-o homogeneo; sabemos que:

$$\Delta (a + b) = \frac{6 EJ_o}{s_o} \varepsilon (a + b) t$$

$$\Delta h = \frac{6 EJ_o}{s_o} \varepsilon h t$$

Nestas duas ultimas expressões ε, representa o coefficiente de dilatação

$$\varepsilon = \frac{1}{92700} \simeq 0.00001$$

Suppondo que a temperatura varie de $\pm$ 20° e introduzindo nas expressões acima teremos:

$$\Delta B + \Delta C_{23} + \frac{6EJ_o}{h s_o} \varepsilon (a + b) t = O$$

$$a \Delta A + b \Delta B + \frac{6EJ_o}{h s_o} \varepsilon h t = O$$

$$\Delta C_{34} - \gamma \Delta B = O$$

Sendo $E = 210\,000$ Kg/cm² $= 21 \times 10^8$ Kg/m², J_o e s_o correspondendo a barra typo da estructura

$$J_o = 1.822.500 \text{ cm}^4 = 0.018.225 \text{ m}^4 \therefore s_o = 4.25 \text{ m}.$$

Levando-se esses valores nas expressões de

$$\frac{6 EJ_o}{h s_o} 6 EJ_o E h t = 6 \times 21 \times 10^8 \times 10^{-5} \times 3 \times 20 \times 0.018\,225 = +32\,419.057 \text{ Km}^2$$

$$\frac{6 EJ_o}{h s_o} \cdot \varepsilon (a + b) t = \frac{6 \times 21 \times 10^8}{3 \times 4.25} \times 10^{-5} \times 11.5 \times 20 \times 0.018225 =$$
$$= + 41424.35 \text{ Km}^2.$$

O systema anterior com as duas substituições transforma-se em:

$$\Delta B + \Delta C_{23} + 41424.35 = O$$
$$11.5 \Delta A + 8.5 \Delta B + 32419.057 = O$$
$$\Delta C_{34} - 0.74 \Delta B = O$$

Neste caso particular de um angmento e correspondente diminuição de temperatura, os termos referentes ás cargas exteriores são nullos:

$$\mu_{AB} = \mu_{BC} = O \qquad m_{1A} = m_{1B} = m_{3C} = O,$$

resultando para as expressões de ΔA etc., os valores:

$$\Delta B = M_A + 10.5\ M_B + 425\ M_{C2}$$
$$\Delta A = 2M_A + M_B$$
$$\Delta C_{23} = 4.25\ M_B + 8.50\ M_{C2} - 8.5\ M_{C3}$$
$$\Delta C_{34} = -8.6\ M_{C3} + 9.5\ M_{C4}$$

resultará o systema:

$$M_A + 14.75\ M_B + 12.75\ M_{C2} - 8.6\ M_{C3} + 41424.35 = O$$
$$31.5\ M_A + 100.75\ M_B + 36.125\ M_{C2} + 32419.057 = O$$
$$0.74\ M_A + 7.77\ M_B + 3.145\ M_{C2} + 8.6\ M_{C3} - 9.5\ M_{C4} = O$$

Neste systema de 3 equações a 5 incognitas, devemos igualmente, como fizemos no 1.º caso, substituir M_{C3} e M_{C4} por relações funcções unicas de

$$M_A,\ M_B \text{ e } M_{C2}.$$

Procedendo de forma identica ao 1.º caso, obtemos o systema final:

$$31.5\ M_A + 100.75\ M_B + 36.125\ M_{C2} + 32419.057 = O$$
$$-7.6\ M_A + 26.3853\ M_B + 9.7465\ M_{C2} + 41424.350 = O$$
$$0.16\ M_A + 8.9877\ M_B + 6.7045\ M_{C2} = O$$

Resolvendo-se o systema por eliminações successivas obtemos todas as incognitas:

$M_A = +\ 2061.560$	Kms.	$H_A = H_D = 869.322$	Kg.
$M_B = -\ 640.790$	»	$V_E = +\ 178.92$	»
$M_{C2} = -\ 908.208$	»	$V_A = -\ 31.46$	»
$M_{C3} = +\ 2607.966$	»	$V_D = -\ 147.46$	»
$M_{C4} = +\ 1699.758$			

No caso de uma diminuição de temperatura $(20^o c)$, as incognitas terão os mesmos valores, porém com os signaes trocados.

A variação de $\pm\ 20^o c$ talvez possa ser considerada como exagerada, pois o normal é de se tomar $\pm\ 15^o c$; foi adoptada a variação de $20^o c$ com o intuito de se favorecer a segurança.

G) — Esforços Maximos e Minimos.

Aos dois casos geraes de pressão estatica $p_t = 8 Kg/cm^2$ (caso α) e $p = o$ (caso β), deverão ser combinados os valores relativos a um augmento ou diminuição de temperatura $(\pm\ \gamma)$.

Dessa forma teremos ao todo 6 curvas de momentos, que nos darão a envoltoria geral procurada

1) α	4) $\alpha - \gamma$
2) β	5) $\beta + \gamma$
3) $\alpha + \gamma$	6) $\beta - \gamma$

Para termos idéa da variação numerica dos momentos, procedemos ao calculo analytico para os mesmos pontos, de abscissa egual portanto, calculo esse relativo ás curvas geraes α, β e γ.

Para illustrarmos melhor a variação dos momentos apresentaremos um quadro geral, bem como um graphico dos 6 casos estudados na estructura.

Envolvente geral dos momentos

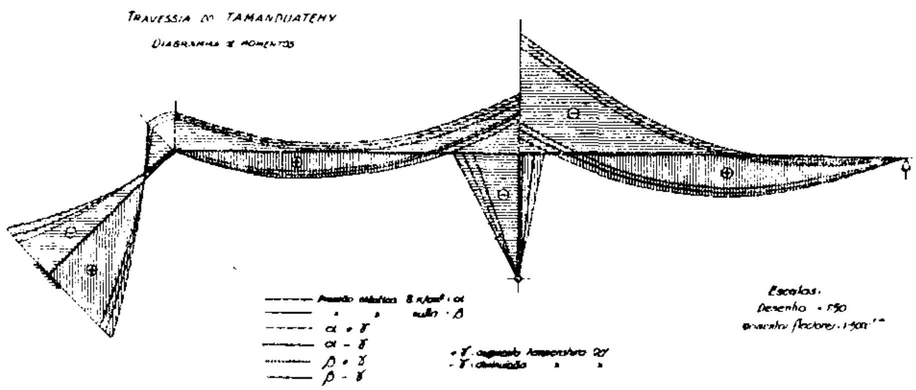


Fig. 7

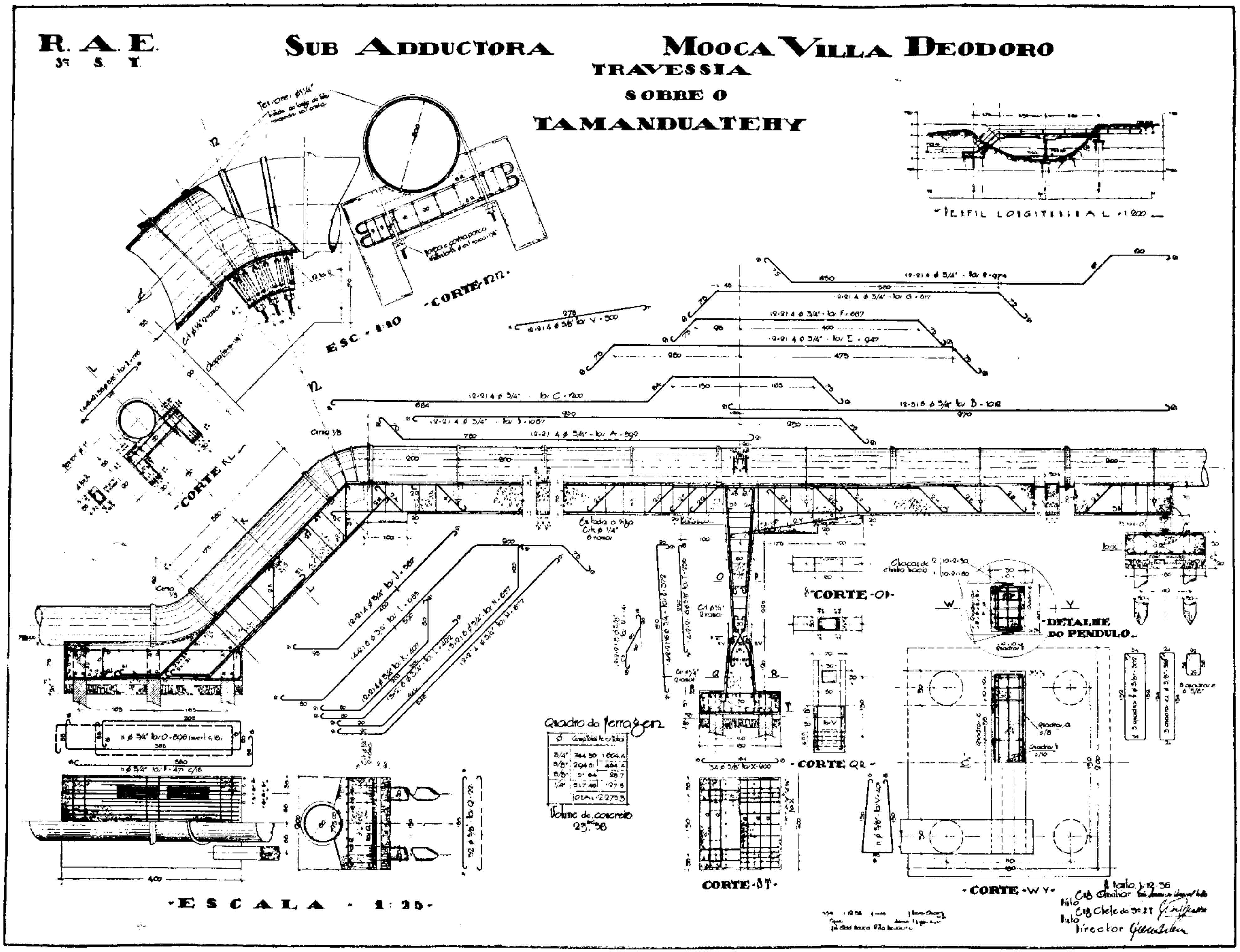
H) — Conclusão

Uma vez obtidas as curvas de momentos, não temos mais que estabelecer a ferragem necessaria, desde que as secções escolhidas sejam satisfactorias.

Interessante é observar, no *portico estudado*, a *influencia decisiva* da componente N, que vem dar em C_4, um momento negativo consideravel; no caso em que é nulla, observa-se uma quéda nesse momento, fazendo com que a estructura trabalhe mais favoravelmente.

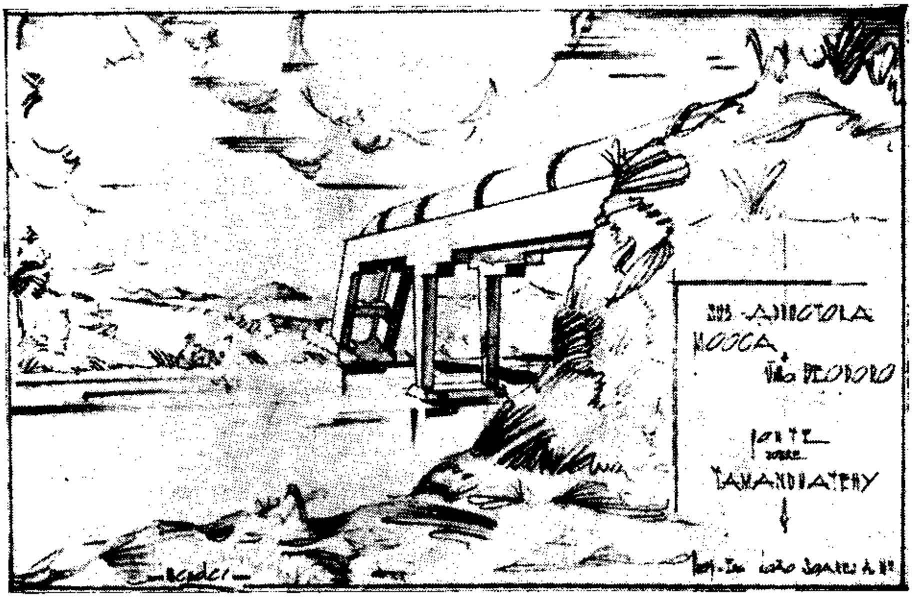
Observa-se tambem que o dimensionamento da estructura foi bem idealizado, salvo no ponto critico, onde forçosamente tivemos de lançar mão de consolos. A reproducção de consolos em outros pontos foi determinada por razões estheticas.

A inclusão de um consolo em uma estructura, calculada com momentos de inercia constantes nas peças, traz como consequencia immediata um augmento dos momentos flectores; isto é evidente, pois a um augmento de rigidez de uma peça corresponde um trabalho effectivo maior.


R. A. E.
3ª S. T.
SUB ADDUCTORA MOOCA VILLA DEODORO
TRAVESSIA
SOBRE O
TAMANDUATEHY
PERFIL LONGITUDINAL 1:200
CORTE M.M.
ESC. 1:10
CORTE K.L.
CORTE O.P.
DETALHE DO PENDULO
CORTE Q.R.
CORTE S.T.
CORTE W.Y.
Quadro da ferragem
Ø | Comp. Total | Ferro Total
3/4" | 744.30 | 1664.4
5/8" | 294.51 | 464.4
5/8" | 5.64 | 28.7
1/4" | 517.48 | 127.5
TOTAL 2275.3
Volume de concreto
23,58
ESCALA 1:25
Director

Quadro Geral dos Momemtos kms.

Vãos	Abscissas	Augmento e dim. de temperat. $\pm\gamma$	Pressão $p_1 = 8$ K/cm^2 α	Pressão $P_2 = 0$ β	$\alpha+\gamma$	$\alpha-\gamma$	$\beta+\gamma$	$\beta-\gamma$
Trecho AB	0.0000	± 2061.56	+ 19772.56	— 12878.73	+ 21834.12	+ 17711.00	— 10817.17	— 14940.29
	0.5000	± 1611.17	+ 16132.82	— 9632.26	+ 17743.68	+ 14521.35	— 8021.09	— 11243.43
	1.2374	± 946.89	+ 10344.47	— 5163.43	+ 11291.37	+ 9397.57	— 4216.53	— 6110.32
	2.0000	± 259.99	+ 2521.93	— 2583.32	+ 2781.92	+ 2261.93	— 2323.32	— 2843.32
	2.4749	∓ 157.76	— 2022.55	— 1184.32	— 2180.32	— 1864.79	— 1342.09	— 1026.55
	3.0000	∓ 640.76	— 8645.11	+ 22.68	— 9285.90	— 8004.32	— 618.11	+ 663.48
Trecho BC	0.0000	∓ 640.79	— 8645.11	+ 22.68	— 9285.90	— 8004.32	— 618.11	+ 663.48
	0.7500	∓ 664.38	— 6225.17	+ 2057.27	— 6889.55	— 5560.78	+ 1392.88	+ 2721.66
	2.7500	∓ 727.30	— 1491.99	+ 5762.83	— 2219.29	— 764.68	+ 5035.52	+ 6490.14
	4.7500	∓ 790.23	— 1658.81	+ 3568.39	— 2449.03	— 868.58	+ 2778.16	+ 4358.62
	6.7500	∓ 853.15	— 5825.63	— 626.05	— 6678.77	— 4972.48	— 1479.19	+ 227.09
	8.5000	∓ 908.21	— 13649.72	— 9352.60	— 14557.93	— 12741.51	— 10260.81	— 8444.40
Trecho CE	0.0000	± 1.699.76	— 27574.66	— 5821.17	— 25874.99	— 29274.90	— 4121.42	— 7520.93
	0.7500	± 1.565.57	— 22140.56	— 2104.53	— 20574.99	— 23706.13	— 538.97	— 3670.10
	2.2500	± 1.297.18	— 12116.11	+ 4484.99	— 10818.94	— 13413.41	+ 5782.18	+ 3187.81
	6.2500	± 581.50	+ 1315.71	+ 8757.07	+ 1897.22	+ 734.41	+ 9338.58	+ 8175.57
	8.0000	± 268.39	+ 1264.02	+ 4697.98	+ 1532.41	+ 995.63	+ 4966.37	+ 4429.59
	9.5000	± 000.00	000.00	000.00	000.00	000.00	000.00	000.00
Trecho DC	0.0000	000.00	000.00	000.00	000.00	000.00	000.00	000.00
	3.0000	± 2.607.97	— 13924.89	+ 3531.43	— 11316.92	— 16532.86	+ 6139.39	+ 923.46



Levando em conta essa condição mais desfavoravel, procedemos ao calculo, incluindo na secção respectiva um augmento de ferragem; com uma verificação da secção final adoptada pode-se observar que a mesma secção satisfaz a um momento: $M + 30\% \, M$

Um outro detalhe de verificação de certa importancia (ramo $A \, B$, por exemplo) é o calculo de certas peças, que ora trabalham a flexo-tracção, ora a flexo-compressão; exige portanto mais attenção do calculista, visto a obrigatoriedade do uso de equações do terceiro grau para a determinação da linha neutra.

Quanto ás fundações, são todas ellas estaqueadas: as curvas dos momentos foram obtidas, conhecendo-se previamente a reacção das estacas.

Para encerrar essa exposição e melhor esclarecer o leitor apresentamos em separado todos os detalhes do projecto.