

# Projeto de Ancoragens

*Antonio Luiz Ippolito*

Eng. da R. A. E. e prof. catedrático da Escola de Engenharia Mackenzie

## I — ESTUDO GERAL

### 1.º) *Considerações preliminares*

Afim de resistir à força hidrostática que se verifica nas curvas, tanto horizontais como verticais, da tubulação, é necessário que as mesmas sejam devidamente ancorada num massiço que, por isso mesmo, é chamado de *ancoragem*. As dimensões desse massiço devem ser determinadas de forma que a resultante de tôdas as forças solicitantes, produza, na base, uma distribuição compatível com a resistência do terreno de fundação.

Como o problema apresenta várias incógnitas, em geral as dimensões são previamente escolhidas e, a seguir é feito o cálculo de verificação da estabilidade do massiço. Comtudo, em alguns casos, é possível a solução por dimensionamento direto, si conseguirmos reduzir, por meio de um estudo prévio, o número de incógnitas a uma só, que, evidentemente, seria a largura  $b$  da base do massiço.

Para tal fim é necessário prefixar tôdas as outras dimensões e os dispositivos particulares de cada ancoragem, o que é possível de se conseguir após um estudo, em planta, da localização da curva, dos espaços disponíveis e outras condições locais.

Afim de simplificar a solução do problema, convém que o massiço tenha a forma de prisma reto e, possivelmente, com base retangular ou quadrada.

### 2.º) *Dispositivos particulares.*

Quanto aos dispositivos de que nos referimos acima, citaremos os seguintes:

a) Para permitir futuras fiscalizações das juntas de tubulação, estas deveriam ser colocadas na parte externa superior do massiço.

Comtudo, afim de atender ao fator econômico, convém que as curvas sejam embutidas no massiço, mormente no caso de curvas horizontais, afim de reduzir o braço de alavanca da força hidrostática.

Mas, mesmo que a curva seja embutida, ainda é possível permitir a sua fiscalização, vazando o massiço em volta da mesma. isto é, formando uma caixa de inspeção, provida de tampão móvel, de concreto armado.

Neste caso, sendo a tubulação embutida, convém que o seu eixo horizontal esteja centralizado no massiço, afim de uniformizar as espessuras do concreto em volta da mesma.

- b) Tanto para as curvas verticais como para as horizontais convém que os cotovelos assentem sobre pequenos berços de concreto, afim de facilitar a transmissão da força hidrostática.

No caso de curvas verticais, em que esta força é dirigida para o lado de fóra do massiço, convém introduzir tirantes (barras de aço), calculados para absorverem essa força axial, e devidamente ancorados no interior do massiço.

### 3.º Condições de estabilidade.

A determinação da largura  $b$  da base da ancoragem deve ser, naturalmente, subordinada à natureza do solo de fundação. Temos, pois, as duas condições seguintes:

- A) Com o tubo em carga, a tensão máxima na base não deve ultrapassar a taxa do terreno.
- B) Nas mesmas condições de carga, é preferível que a tensão mínima na base não seja negativa, isto é, que não haja tensões de tração na base, ou, pelo menos, que estas sejam as menores possíveis.

Expressa no limite, a condição B equivale ao estabelecimento da lei triangular. Sabemos que, para uma determinada taxa do terreno, não pode haver (a não ser por coincidência) um valor de  $b$  que satisfaça, ao mesmo tempo, as duas condições, no limite.

Portanto, para a solução do problema apresentamos a seguinte sugestão: calculamos, separadamente, o valor de  $b$  que satisfaz a cada uma das citadas condições, no limite. Sejam  $b_1$  e  $b_2$  esses valores.

Si resultar  $b_1 > b_2$ , isto é, si prevalecer a condição A, esse valor é aceito definitivamente, pois essa condição é obrigatória.

Si resultar  $b_2 > b_1$ , isto é, si prevalecer a condição B, podemos aceitar o valor de  $b_2$ .

Contudo, si acharmos que esse valor seja demasiado elevado podemos reduzi-lo um pouco. Neste caso devemos fazer a determinação da tensão máxima, com exclusão da zona de extensão, e verificar que não seja ultrapassada a taxa do terreno.

Vamos, agora, deduzir as fórmulas para o cálculo da largura, correspondentes às duas condições, e para um massiço qualquer.

A figura n.º 1 representa a secção vertical do massiço (plano das forças) e, embaixo, a secção transversal da base, simétrica em relação ao traço A B do plano das forças.

Elementos geométricos e estáticos da secção da base:

$b$  = largura

$S$  = área da secção

$D$  = centro de gravidade

$c_1$  e  $c_2$  = distâncias do centro da gravidade às fibras extremas  
(o símbolo  $c_1$  para o lado do centro de pressão)

$J$  = momento de inercia relativo ao eixo principal Y Y

$W_1$  e  $W_2$  = módulo resistentes

$k_1$  e  $k_2$  = raios resistentes.

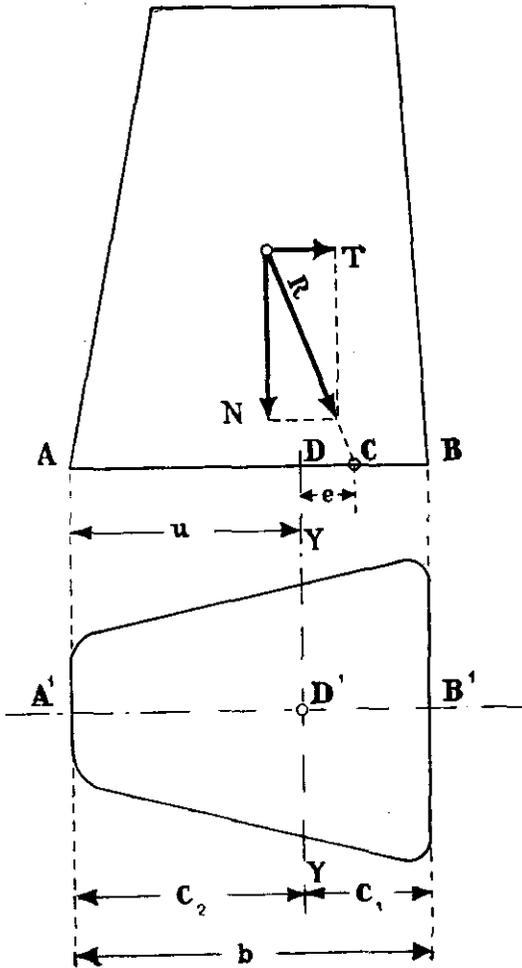


Fig. 1

Sejam:

N e T as componentes normal e tangencial das forças solicitantes

R = resultante

C = centro de pressão, na base

u = distância do centro da pressão à extremidade esquerda A

e = excentricidade.

As tensões máxima e mínima são dadas pelas expressões:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{S} + \frac{Mc_1}{J} \quad (1)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{S} - \frac{Mc_2}{J} \quad (2)$$

onde  $M =$  momento em torno do ponto D = Ne (3)

Sabemos que:

$$k_1 = \frac{W_1}{S} = \frac{J}{c_1 S} \quad (4)$$

$$k_2 = \frac{W_2}{S} = \frac{J}{c_2 S} \quad (5)$$

Donde:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{S} + \frac{Ne}{Sk_1} = \frac{N}{Sk_1} (k_1 + e) \quad (6)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{S} - \frac{Ne}{Sk_2} = \frac{N}{Sk_2} (k_2 - e) \quad (7)$$

Mas

$$e = u - c_2 \quad (8)$$

$$u = \frac{M_A}{N} \quad (9)$$

onde  $M_A$  = momento das forças em torno da extremidade esquerda A.

Por substituição:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{Sk_1} \left( k_1 + \frac{M_A}{N} - c_2 \right) = \frac{1}{Sk_1} [N (k_1 - c_2) + M_A] \quad (10)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{Sk_2} \left( k_2 - \frac{M_A}{N} + c_2 \right) = \frac{1}{Sk_2} [N (k_2 + c_2) - M_A] \quad (11)$$

*Condição A (no limite)*

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \sigma_s & \sigma_s &= \text{taxa do terreno} \\ \sigma_s Sk_1 &= N (k_1 - c_2) + M_A \quad (12) \end{aligned}$$

*Condição B (no limite)*

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} &= 0 \\ N (k_2 + c_2) &= M_A \quad (13) \end{aligned}$$

Por conseguinte, si nas equações (12) e (13) colocarmos  $N$  e  $M_A$  em função de  $b$ , teremos equações de 2.º grau cujas soluções nos darão os valores procurados de  $b$ .

## II — APLICAÇÕES

### Problema N.º 1

Trata-se de uma ancoragem para curvas verticais, como mostra a figura n.º 2.

Dados:

Altura piezométrica  $p = 75$  m

Diâmetro da tubulação  $\delta = 0,90$  m

Distância vertical entre os eixos dos tubos = 3,00 m

Pêso específicos:

Da terra  $\gamma_t = 1,6$  T/m<sup>3</sup>

Do concreto  $\gamma_c = 2,2$  T/m<sup>3</sup>

Tensões permissíveis:

Do solo  $\sigma_s = 10$  T/m<sup>2</sup>

Do aço (tração)  $\sigma_t = 1200$  K/c<sup>2</sup>

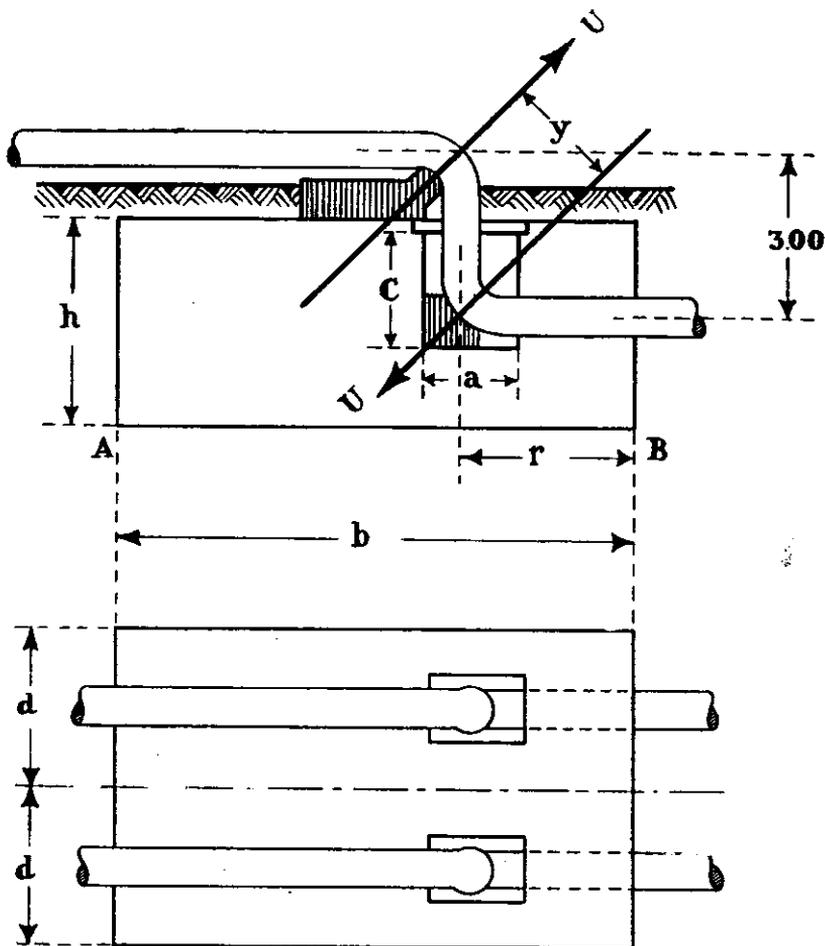


Fig. 2

1.º) *Fixação prévia dos dispositivos e das dimensões.*

a) Preliminares:

Em primeiro lugar, em virtude da posição da tubulação no local (vide planta geral no fim do artigo) e do espaço relativamente exíguo entre os vários pontos de ancoragem, resolvemos projetar um só massiço para ambas as curvas verticais, cujas forças hidrostáticas  $U$  formam um binário.

Para reduzirmos ao mínimo as dimensões do massiço escolhemos curvas de  $90^\circ$ . Ainda, devido às condições locais, a distância  $r$  entre o eixo do tubo vertical e a extremidade direita B do massiço, não poderá ser superior a 2,30 m.

b) Forma do massiço:

De conformidade com as sugestões apresentadas inicialmente, escolhemos, para êste caso, um massiço de forma prismática reta, com base retangular.

## c) Profundidade:

Como existem duas tubulações, paralelas e próximas uma da outra, convém que ambas sejam abrangidas por uma só ancoragem, sendo cada tubulação centrada, em planta, sobre metade do massiço.

Neste caso é bastante calcular meio massiço, em profundidade, correspondente a uma só tubulação.

Após várias tentativas, por meio de cálculos rápidos e aproximados, resolvemos empregar uma profundidade total de 7 metros. Portanto, para cada tubulação a profundidade será  $d = 3,50$  m.

## d) Altura do massiço:

A altura deve ser estabelecida pelas seguintes condições:

1.º) De acôrdo com as sugestões iniciais a tubulação estará verticalmente centrada na parte interior do massiço. Convém que as espessuras do concreto sejam no mínimo de 50 cm. Portanto a altura mínima será:

$$h = 0,90 + 2 \times 0,50 = 1,90 \text{ m}$$

2.º) Afim de evitar valores exagerados para a largura convém que a altura  $h$  seja tal que, com tubulação vazia, a tensão média na base seja aproximadamente igual à metade da tensão permissível, no solo.

Neste caso, como não se deseja um valor exato para  $h$ , pois, de qualquer forma a largura  $b$  será subordinada à altura escolhida, podemos efetuar um cálculo aproximado, isto é, admitir que o massiço não seja vazado e, em compensação, excluir o pêso da terra e o da tubulação.

Portanto:

$$\sigma_{\text{medio}} = \frac{1}{2} \sigma_s = \frac{N}{S}$$

Sendo:

$$N = hbd\gamma_c \quad S = bd$$

$$\frac{1}{2} \sigma_s = h\gamma_c \quad h = \frac{1}{2} \frac{\sigma_s}{\gamma_c} = \frac{10}{2 \times 2,2} = 2,3 \text{ m}$$

Para o nosso caso, pois, escolhemos uma altura  $h = 2,30$  m.

## e) Dimensões da caixa de inspeção.

Tendo em vista o diâmetro da tubulação e o raio de curvatura, escolhemos uma caixa com largura  $a = 1,80$  m e profundidade  $d = 1,30$  m. Tendo presente as sugestões já citadas e para  $h = 2,30$ , convém que a altura da caixa seja  $c = 1,60$  m.

## f) Altura da terra sobre o massiço.

De conformidade com o perfil da tubulação, a altura da terra será  $t = 0,90$  m.

## g) Berços.

De acôrdo com as nossas considerações preliminares serão colocados berços tanto sob a curva superior como sob a inferior (na caixa).

Como o pêso desses berços não irá produzir êrro apreciável nos cálculos, não há necessidade de prefixarmos as suas dimensões, as quais poderão ser escolhidas no próprio desenho do projeto.

2.º Cálculos preliminares.

a) Comprimento e pêso unitário da tubulação.

No caso em apreço, para o cálculo do pêso da parte da tubulação que atúa sôbre o massiço, admitiremos que a mesma se prolongue dois metros além das faces extremas do massiço.

Portanto, sendo de 3 metros o trecho vertical, o comprimento total do tubo será:

$$l = b + 2 \times 2,00 + 3,00 = b + 7$$

Pêso por metro linear de tubo:

Tubo de 0,90 de diâmetro = 0,50 T/m

$$\text{Água} = \frac{\pi (0.9)^2}{4} \dots\dots\dots = \frac{0,64}{4} \text{ ''}$$

Tubo cheio \dots\dots\dots = 1,14 ''

b) Fôrça hidrostática.

$$\text{Dados} \begin{cases} p = 75 \text{ m} \\ \delta = 0,90 \text{ m} \\ \alpha = 90^\circ \end{cases}$$

A fôrça F que atúa sôbre a secção transversal do tubo será:

$$F = p\Omega = \frac{p \pi \delta}{4} = \frac{75 \times 3,14 \times 9^2}{4} = 48^T$$

A fôrça hidrostática U que se produz ao longo da bissetriz da ângulo será:

$$U = 2 F \text{ sen } \frac{1}{2} \alpha = 2 \times 48 \text{ sen } 45^\circ = 68^T$$

A fôrças hidrostáticas produzidas nas 2 curvas verticais formam um binário cujo braço é igual a

$$y = 3 \cos 45^\circ = 2,12 \text{ m}$$

O momento  $M_n$  do binário será

$$M_n = U_y = 68 \times 8,12 = 144,2 \text{ T m}$$

c) Volume da caixa de inspeção

$$V_c = 1,8 \times 1,3 \times 1,6 = 3,74 \text{ m}^3$$

3.º) Determinação da largura

a) Cálculo dos elementos em função da incógnita b

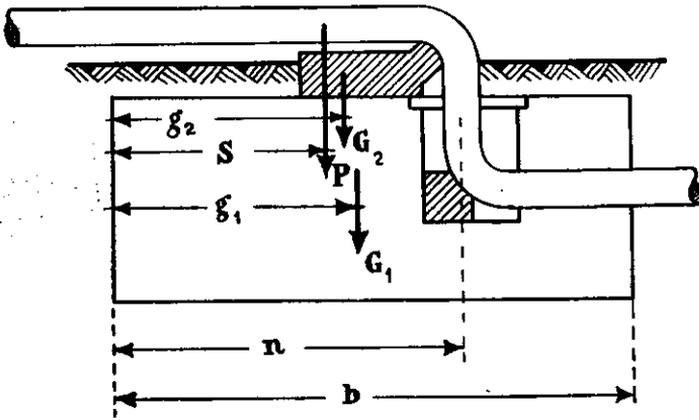


Fig. 3

## 1) Cargas

$$\text{Pêso do massiço} \quad G_1 = (hbd - V_c) \gamma_c = 17,716b - 8,24$$

$$\text{Pêso da terra} \quad G_2 = tdb\gamma_c = 5b$$

Pêso da tubulação

$$\text{Vasia} \quad P_v = 0,5(b+7) = 0,5b + 3,5$$

$$\text{Cheia} \quad P_c = 1,14(b+7) = 1,14b + 8$$

## 2) Braços referidos à extremidade A

$$\text{Relativo ao massiço } g_1 = \frac{(\frac{1}{2} h b^2 d \gamma_c - V_c n \gamma_c)}{G_1}$$

$$= \frac{8,85 b^2 - 8,24(b-2)}{17,71 b - 8,24}$$

$$\text{Relativo à terra } g_2 = \frac{b}{2}$$

$$\text{" à tubulação (aproximadamente) } S = \frac{b}{2}$$

## 3) Componente normal total

$$N = G_1 + G_2 + P_c = 23,9b - 0,3 \quad (14)$$

## 4) Momento, referido à extremidade A

$$M_A = G_1 g_1 + G_2 g_2 + P_c s - M_n = 11,9 b^2 - 4,3 b + 160,7 \quad (15)$$

## b) Cálculo de largura, pela condição A

Pela expressão (12)

$$\sigma_s Sk_1 = N(k_1 - c_2) + M_A$$

Para uma secção retangular

$$S = bd$$

$$c_2 = \frac{b}{2}$$

$$k_1 = \frac{b}{2}$$

$$\frac{\sigma_s b^2 d}{6} = -\frac{2}{6} N b + M_A$$

$$\sigma_s^2 d + 2 Nb - 6 M_A = 0 \quad (16)$$

Substituindo os termos de  $N$  e  $M_A$  dados pelas (14) e (15); pondo  $\sigma_s = 10/m$   $d = 3,5$  e simplificando, temos:

$$11,1 b^2 + 25 b - 962,2 = 0$$

Donde  $b_1 = \underline{8,25 \text{ m}}$

c) Cálculo da largura, pela condição B

Pela expressão (13)

$$M_A = N (k_2 + c_2)$$

Substituindo os termos de  $k_2$  e  $c_2$  respectivamente por  $\frac{b}{6}$  e  $\frac{b}{2}$ , teremos

$$3 M_A - 2 Nb = 0 \quad (17)$$

Substituindo os termos de  $M_A$  e  $N_1$  e simplificando:

$$12,9 b^2 + 12,2 b - 482,1 = 0$$

Donde  $b_2 = 5,65 \text{ m}$

*Nota:* As expressões (16) e (17) são particulares para o caso de bases retangulares.

d) Conclusões

Pelos resultados acima obtidos verificamos que  $b_1 > b_2$ , e que portanto prevaleceu a condição A, que é obrigatória. Por conseguinte devemos adotar uma largura de 8,25 m.

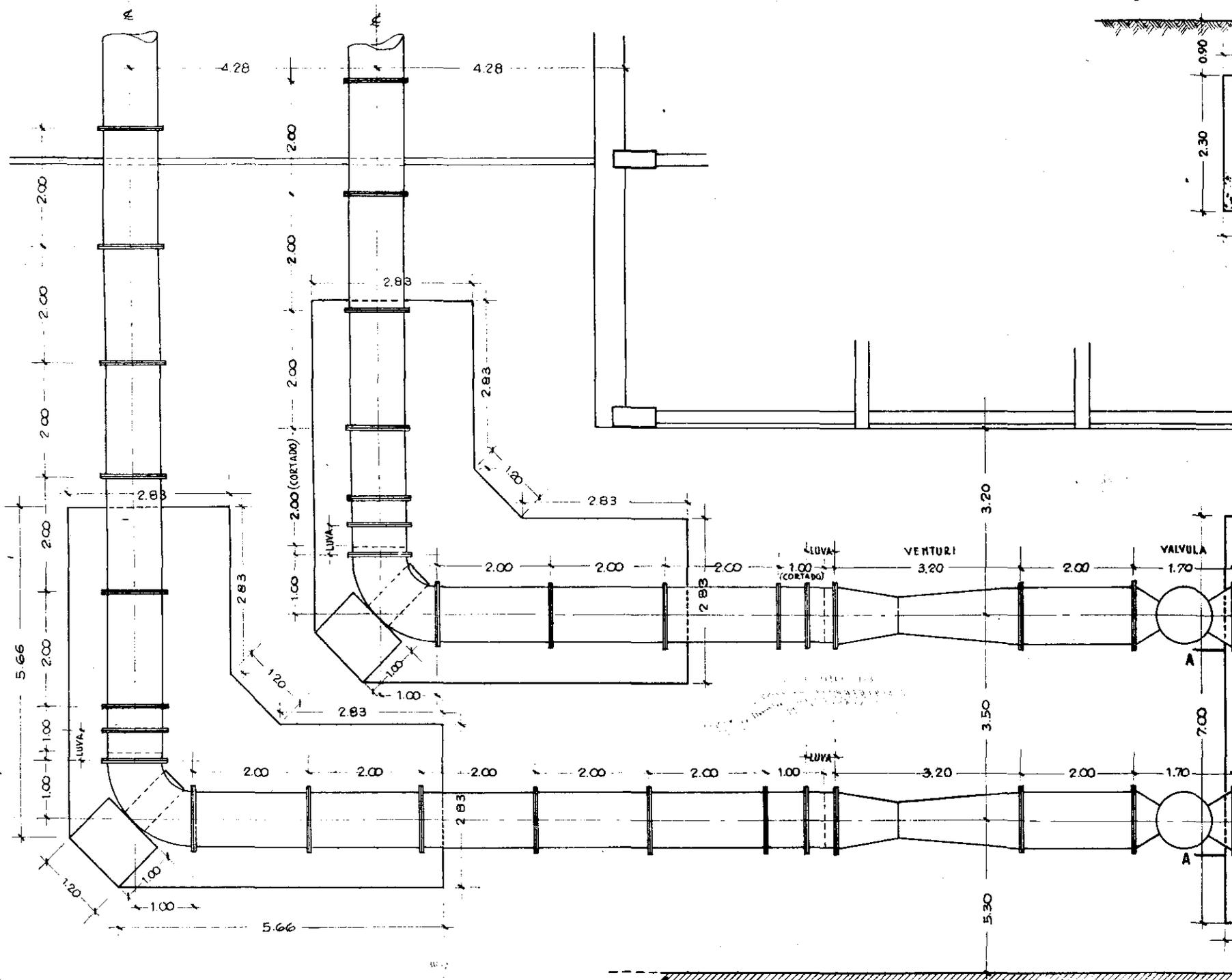
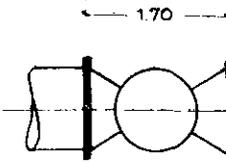
Comtudo, em virtude da exiguidade do espaço, resolvemos reduzir êsse valor, recomendando, porém, que seja feita a consolidação do terreno da fundação por meio de um bom estaqueamento. Vamos pois, adotar uma largura de 7,20 m e façamos a verificação.



R. A. E. \_\_\_\_\_

ESTAÇÃO ELEVATORIA E RESERVATORIO "BARÃO DE CAPANEMA" \_\_\_\_\_

ANCORAGENS E MODIFICAÇÕES NA TUBULAGEM \_\_\_\_\_



— P L A N T A —

— 1:50 —

— R E S I D E N C I A N.º \_\_\_\_\_



## 4.º) Verificação da estabilidade

## a) Cálculos preliminares

$$\text{Cargas: } G_1 = 17,7 \text{ b} - 8,24 = 119,3^T$$

$$G_2 = 5 \text{ b} = 36^T$$

$$P_c = 1,14 \text{ b} + = 16,1^T$$

$$P_v = 0,5 \text{ b} + 3,5 = 7,1^T$$

$$\text{Braços: } g_1 = \frac{8,85 \text{ b} - 2,24 (\text{b} - 2)}{17,71 \text{ b} - 8,24} = 3,49 \text{ m}$$

$$g_2 = 3,60 \text{ m}$$

$$s = 3,87 \text{ (cálculo exato)}$$

## b) Cálculo das tensões, com tubo cheio

$$N = G_1 + G_2 + P_c = 171,7^T$$

$$M_A = G_1 g_1 + G_2 g_2 + P_c + M_u = 753,4 \text{ Tm}$$

$$u = \frac{M_A}{N} = 4,39 \text{ m}$$

$$e = u - \frac{b}{2} = 0,79 \text{ m}$$

$$k_1 = k_2 = k = \frac{b}{2} = 1,20 \text{ m}$$

$$\frac{e}{k} = 0,657 \text{ m}$$

$$S = bd = 35,2 \text{ m}^2$$

$$\frac{N}{S} = \frac{171,7}{35,2} = 6,81 \text{ }^T/\text{m}^2$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{S} \left(1 - \frac{e}{k}\right) = \frac{2,4 \text{ }^T/\text{m}^2}{}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{S} \left(1 + \frac{e}{k}\right) = \frac{11,3 \text{ }^T/\text{m}^2}{}$$

## c) Cálculo das tensões, com tubo vazio

$$N = G_1 + G_2 + P_v = 162,7^T$$

$$M_A = G_1 g_1 + G_2 g_2 + P_v s = 574,4 \text{ Tm}$$

$$u = \frac{M_A}{N} = 3,53 \text{ m}$$

$$e = \frac{b}{2} - u = 0,09 \text{ m}$$

$$\frac{e}{k} = 0,058$$

$$\frac{N}{S} = \frac{162,7}{35,2} = 6,56 \text{ }^T/\text{m}^2$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{S} \left( 1 + \frac{e}{k} \right) = \frac{6.8 \text{ T/m}^2}{S}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{S} \left( 1 - \frac{e}{k} \right) = \frac{6.1 \text{ T/m}^2}{S}$$

d) Verificação do equilíbrio estático

Como os componentes tangenciais e normais do binário se anulam entre si, não há necessidade de se verificar a estabilidade a escorregamento e rotação.

5.º) Cálculo dos detalhes

a) Tirantes

Para fixar a parte superior da tubulação ao massiço serão colocados tirantes (barras de secção circular), ancorados no interior do massiço por meio de chapas de aço.

$$\text{A força axial que atua em cada ramo} = \frac{1}{2} U = 34 \text{ T}$$

$$\text{A área líquida necessária das barras será de } S = \frac{34000}{1500} = 23,4 \text{ c}^2.$$

Usaremos 4 barras de 1¼", cuja área bruta é de 31,7 c².

Descontando a rosca das extremidades, a área líquida será de 27,7 c².

Usaremos 2 chapas de 150 × 100 × 20.

b) Tampão móvel (laje pré-moldada em 3 partes)

Admitimos uma espessura de 15 cm, afim de facilitar os apoios laterais. Os ferros serão colocados paralelamente ao lado de 1,30 m.

Admitindo uma carga de 2.000 k/m (incluindo a terra), teremos

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{2.000 \times 1,3^2 \times 100}{8} = 44.000 \text{ Kc}$$

$$\text{Altura útil } h = 10 \text{ cm } Z = 0,9 \times 10 = 9$$

$$S_r = \frac{44.000}{9 \times 1500} = 3,4 \text{ c}^2$$

Usaremos 5  $\phi$  3/8" (3,6 c²) 1 c/25c

Distribuição  $\phi$  1/4" c/20 c.



SÃO PAULO — Vista tomada da altura do Largo de São Francisco, vendo-se a nova Avenida Campos Eliseos, em construção, e parte do setor norte da cidade. (Gentileza da Empresa Nacional de Fotografias Aéreas).

**CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS E DESPEJOS \***

<i>Processo de tratamento ordinariamente conhecido por:</i>	<i>Princípios em jôgo na combinação costumeira</i>	<i>São removidos por êste tratamento:</i>	<i>Qualidade do efluente</i>	<i>Classificação de tratamento</i>
(1) Sedimentação	1 - Mecânicos (grades) 2 - Separação hidráulica	Substâncias em suspensão. Remoção de 25 a 50% do BOD.	Livre de corpos flutuantes e de substâncias produtoras de gosmas. Livre de substâncias que formam bancos de lodo. Efluente contendo substâncias coloidais, substâncias orgânicas dissolvidas e bactérias em alta concentração.	Primário
(2) Sedimentação e cloração	1 - Mecânicos (grades) 2 - Separação hidráulica 3 - Desinfecção	Idêntico ao n.º 1, mais bactérias.	Idêntica ao n.º 1, exceto relativamente à baixa concentração de bactérias.	Primário.
(3) Precipitação química (ou, mais propriamente, coagulação química)	1 - Mecânicos (grades) 2 - Coagulação 3 - Separação hidráulica 4 - Desinfecção	Substâncias coloidais e em suspensão e bactérias. Redução de 50 a 75% do BOD.	Livre de corpos flutuantes e de substâncias produtoras de gosmas. Livre de substâncias que formam bancos de lodo. Efluente límpido, incolor e de baixa concentração bacteriana, mas contendo substâncias orgânicas solvidas.	Intermediário
(4) Filtros biológicos de alta capacidade	1 - Mecânicos (grades) 2 - Separação hidráulica 3 - Biológicos 4 - Desinfecção	Substâncias coloidais e em suspensão e bactérias. Redução de 60 a 75% do BOD.	Idêntica à do n.º 3.	Intermediário
(5) Filtros biológicos de capacidade convencional (Tratamento de oxidação).	1 - Mecânicos (grades) 2 - Separação hidráulica (pré- e -post) 3 - Biológicos 4 - Desinfecção	Substâncias em suspensão, coloidais e dissolvidas e bactérias. Redução de 80 a 95% do BOD.	Idêntica à do n.º 5, excetuando a concentração muito baixa de bactérias.	Completo
(6) Lodos ativados (Tratamento de oxidação).	1 - Mecânicos (grades) 2 - Separação hidráulica (pré- e -post) 3 - Biológicos 4 - Desinfecção	Substâncias em suspensão, coloidais e dissolvidas e bactérias. Redução de 90 a 95% do BOD.	Idêntica à do n.º 5.	Completo
(7) Filtros intermitentes de areia (Tratamento de oxidação).	1 - Mecânicos (grades) 2 - Separação hidráulica 3 - Biológicos 4 - Desinfecção	Substâncias em suspensão, coloidais e dissolvidas e bactérias. Redução de 90 a 95% do BOD.	Idêntica à do n.º 5, excetuando a concentração muito baixa de bactérias.	Completo