

# Efeito do confinamento pelo solo em tubulões de concreto

Prof. Dr. Eng. Mario Franco  
JKMF

## 1. Introdução

É prática corrente a utilização de fundações em tubulões, executados quer a céu aberto quer sob ar comprimido (quando o nível do lençol freático assim o impõe). Em geral sua base alargada, submetida, como se sabe, a tensões horizontais de tração, não é armada; para evitar a necessidade de armá-la, basta verificar se a tensão de cálculo de tração (tensão característica da estrutura  $\times \gamma_f$ ) é inferior à tensão de ruptura de cálculo do concreto (tensão característica de ruptura do concreto  $\div \gamma_c$ ). Ou seja, citando Langendonck<sup>1</sup>:

*“Não haverá necessidade de armadura sempre que a máxima tensão de tração não ultrapassar o valor admissível para o material empregado (em geral podem admitir-se tensões até 1/10 da admissível à compressão, ...). No caso de blocos alongados o cálculo das tensões pode fazer-se pela teoria da elasticidade, considerando a existência de um estado duplo de tensão na sua tensão transversal. Admitindo, a favor da segurança, que as pressões do solo se distribuam uniformemente, indica a teoria que a tensão máxima de tração se verifica na face inferior do bloco e é igual a:*

$$\sigma_{t\max} = \frac{p}{\frac{\tan\beta}{\beta} - 1} \quad (1)$$

Onde  $p = P/b\ell$  é a pressão do solo sobre o bloco;  $P$  é a carga total, incluindo o peso do bloco;  $b$  é a largura do bloco e  $\ell$  o seu comprimento; e  $\beta$  é o ângulo que faz, com a horizontal, a face inclinada do bloco.

No caso de blocos não alongados, tem-se um problema a três dimensões, ainda não resolvido pela teoria da elasticidade. Parece que se lhe pode aplicar, sem desvantagem, a solução anterior.”

Fornece ainda, o trabalho citado, um gráfico que permite resolver facilmente a equação trigonométrica (1) acima indicada.

Para baixas tensões no solo (até 100 tf/m<sup>2</sup>) e para os concretos usuais, o ângulo  $\beta = 60^\circ$  (geralmente utilizado por motivos construtivos) é amplamente suficiente para atender à eq. (1). Tensões acima daquele valor são raras, e geralmente nesses casos o solo é constituído por rocha sã, de elevada resistência e alto módulo de deformação.

A eq. (1) consta da NBR-6122/96, “Cálculo e execução de fundações”, que permite, para ângulo  $\beta = 60^\circ$  e independentemente da tensão no solo, não armar a base, desde que esta esteja embutida pelo menos 20 cm em solo de características idênticas às do solo suporte<sup>2</sup>. O Projeto de Revisão daquela Norma, de 18/10/2006, afirma em seu §4.4.7.2.: “Desde que a base esteja embutida em material idêntico ao de apoio, no mínimo 20 cm, um ângulo  $\beta$  igual a  $60^\circ$  pode ser adotado, independentemente da taxa, sem necessidade de armadura.”

## 2. Revisão das hipóteses de Langendonck

Tendo em vista a possibilidade (que inexistia na época da publicação do inestimável livro clássico em 2 volumes de Langendonck) de se efetuarem com rapidez e precisão análises tridimensionais por meio do método dos elementos finitos sólidos, tomamos a iniciativa de utilizar esse método para, inicialmente, verificarmos se o critério de projeto da eq. (1), válido para blocos alongados, é aplicável a blocos de seção circular.

Para tanto, analisamos, utilizando o programa SAP-2000, um tubulão com fuste de diâmetro 1,20 m, base circular de diâmetro 3,00 m, altura da base 1,56 m, ângulo da base  $\beta = 60^\circ$  e chanfro de 20 cm. Admitindo pressão constante no solo  $p = 200$  tf/m<sup>2</sup>, a eq. (1) fornece tensão máxima de tração de:

$$\sigma_{t\max} = 1,53 p = 306 \text{ tf/m}^2$$

No entanto, a análise tridimensional por elementos finitos conduz a:

$$\sigma_{t\max} = 2,12 p = 424 \text{ tf/m}^2.$$

Revelou-se portanto contra a segurança, ao menos no caso estudado, a utilização da expressão (1) no caso tridimensional de tubulões circulares com pressão constante no solo.

<sup>1</sup> Van Langendonck, Telemaco, “Cálculo de Concreto Armado”, Vol. 2, pág. 331

<sup>2</sup> NBR-6122. “Projeto e execução de fundações” – 1996, pag. 27 - § 7.8.17.7 - Fig. 8 – Nota.

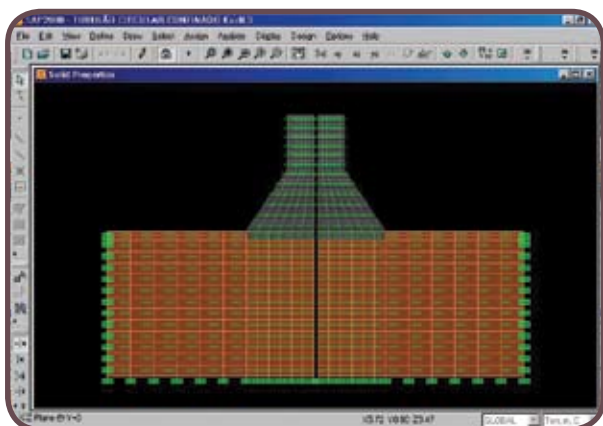


Figura 1

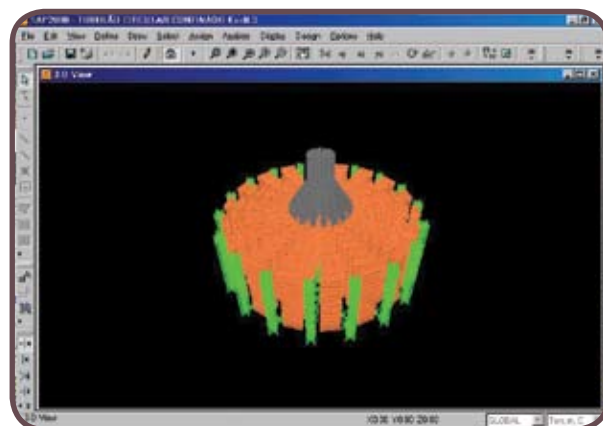


Figura 2

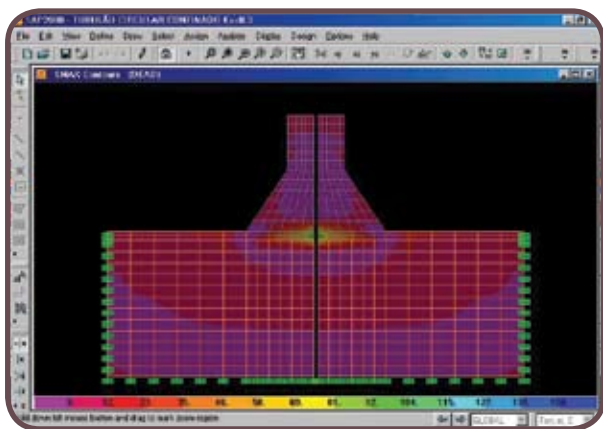


Figura 3

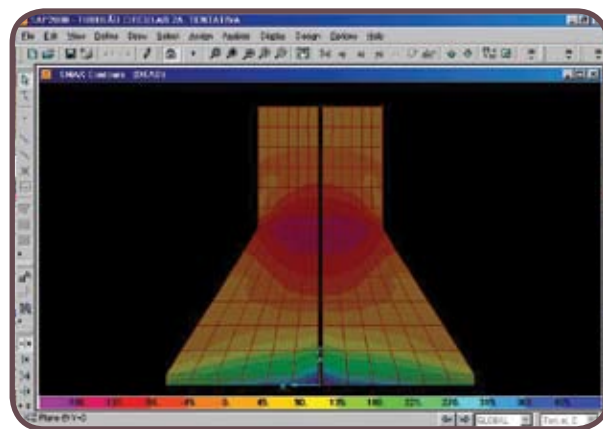


Figura 4

### 3. Revisão da influência favorável do confinamento pelo solo

Visando verificar o citado § 7.8.17.7. da Norma Brasileira de Fundações, que permite considerar a ação favorável do confinamento proporcionado pelo solo (base embutida 20 cm), foi gerado, utilizando o citado programa SAP-2000, um modelo tridimensional da base do tubulão com as dimensões e características indicadas no § 1 acima, e do solo subjacente e em seu redor (admitindo características iguais) até uma distância de 3,00 m tanto na vertical como na horizontal com relação à base (figs. 1, 2, 3 e 4). Efetuou-se um estudo paramétrico das tensões de tração  $\sigma_{tk,máx.}$  na base para valores da relação  $E_s/E_c$  variando de 0 até 0,6;  $E_s$  é o módulo de deformação do solo e  $E_c = 2 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$  é o módulo de elasticidade adotado para o concreto.

Verificou-se que para valores de  $E_s/E_c \geq 0,3$  há de fato uma importante contribuição do confinamento oferecido pelo solo, obtendo-se tensões características de tração no concreto abaixo de 120 tf/m<sup>2</sup>. Para valores de  $E_s/E_c < 0,3$  o efeito favorável do confinamento decresce rapidamente, já não se podendo contar com ele. O gráfico da fig. 5 indica em abscissas a relação  $E_s/E_c$  e em ordenadas o valor da tensão máxima característica

de tração no concreto da base.

Verificou-se também que o embutimento, em toda sua altura, da base em solo com as características do solo suporte, não conduz a tensões de tração no concreto inferiores às obtidas com embutimento de apenas 20 cm.

### 4. Conclusões

- 4.1. No caso de tubulões de seção circular (ou ligeiramente ovalisada) deverá ser revisto o critério de Langendonck referente ao cálculo da tensão máxima de tração. Sugere-se, à falta de uma análise tridimensional por elementos finitos sólidos, e admitindo pressão constante no solo, aumentar em 40% as tensões determinadas através da equação trigonométrica (1).
- 4.2. Pode ser levado em conta o efeito favorável do confinamento proporcionado pelo solo nas tensões de tração na base, desde que se estabeleçam limites inferiores quer para o módulo de elasticidade do solo (que deverá ser determinado através de ensaios) quer para a resistência do concreto à tração.

**4.3.** Não havendo informações suficientes quanto ao módulo de elasticidade do solo, e sempre que a tensão de tração de cálculo do concreto ultrapasse a respectiva resistência de cálculo, a base deverá ser armada. O cálculo da armadura necessária em cada direção poderá ser efetuado pelo método da biela-tirante, que fornece para base de planta circular o seguinte valor das armaduras necessárias (Aço CA-50):

$$A_{sx} = A_{sy} = \frac{P_k (D - d)}{29,27 (H - 0,10)} \quad (2)$$

Onde:

$A_{sx}$  e  $A_{sy}$  são as armaduras totais em duas direções ortogonais, em  $\text{cm}^2$ ;

$P_k$  é a carga característica de cálculo, em tf;

$D$  é o diâmetro da base, em m;

$d$  é o diâmetro do fuste, em m;

$H$  é a altura da base, em m.

No exemplo acima estudado, temos:

$P_k = 1414 \text{ tf}$ ;  $D = 3,00 \text{ m}$ ;  $d = 1,20 \text{ m}$ ;  $H = 1,56 \text{ m}$ ;

$A_{sx} = A_{sy} \cong 60 \text{ cm}^2 \Rightarrow 20\phi 20 \text{ mm } c/15 \text{ cm}$

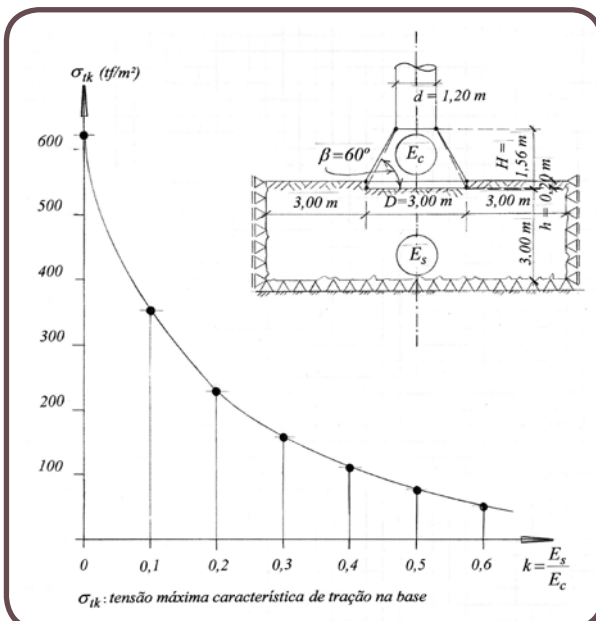


Figura 5

**4.4.** A rigor, dentro dos princípios fundamentais da NBR-6118, todos os esforços de tração devem ser equilibrados por armaduras, o que levaria à obrigatoriedade de se armar sempre as bases dos tubulões. O assunto merece discussão.

**4.5.** Deverá ser estudado, experimentalmente ou por meio de programas não lineares de elementos finitos sólidos, o comportamento pós-ruptura da base confinada pelo solo.◆

AGORA  
É CONCRETO:  
A CYRELA  
É ASSOCIADA  
À IBRACON.