

NOTA TÉCNICA

ENSOLEIRAMENTOS REFORÇADOS COM ESTACAS

Raft foundations reinforced with piles

por
JOSÉ FOLQUE*

RESUMO — Nos solos moles, ocorrendo em grande espessura, é frequente adoptar com vantagem fundações em ensoleiramento. Para diminuir os assentamentos, por vezes muito elevados, pode-se recorrer a estacas, esparsas, que suportam uma parte das cargas e assim aliviam as tensões na parte superficial de solo de fundação.

SYNOPSIS — In soft soils, occurring in thick layers, raft foundations are very often adopted. In order to decrease the settlements, sometimes excessive, piles with spacing comparatively large can be located under the raft. The piles will take part of the total load, decreasing in this way the induced stresses in the upper zone of the foundation soil.

1 — Recentemente, em Outubro de 1990, realizou-se em Singapura uma Conferência Internacional sobre “Fundações Profundas”. Uma comunicação de muito interesse foi apresentada por Thaher e Jessberger e foca a questão de *fundações mistas*, sapatas prolongadas por estacas repartindo-se as solicitações: uma parte é transmitida *directamente* pela sapata ao terreno e a outra é absorvida pelas estacas.

Na comunicação é usado o termo “raft” para designar as sapatas com evidente impropriedade, pois estas têm conformação de pequena secção transversal em comparação com a altura. Mais adequado seria chamar-lhes “blocos”, pois na realidade trata-se dos blocos de encabeçamento de conjuntos de estacas.

É usual contar com os blocos de encabeçamento para cooperar na absorção de esforços laterais. Mas tem sido prática corrente desprezar a sua contribuição para a absorção de forças verticais. É evidente, de resto, que essa cooperação só é possível no caso de estacas flutuantes; estacas que vão trabalhar de ponta num firme rochoso não permitem a mobilização de qualquer reacção na face inferior do bloco de encabeçamento.

As fundações mistas acima referidas têm sido usadas na Alemanha, por exemplo, em Frankfurt, num edifício em torre com 260 m de altura, fundado em argilas médias com acentuada diminuição da deformabilidade em profundidade. O estudo da questão tem sido fundamentado em ensaios em modelo, realizados em centrifugadoras. Tem-se procurado confirmação analítica para os resultados aplicando as distribuições de tensões em profundidade dadas pelas fórmulas clássicas de Steinbrenner, quer para as tensões transmitidas pela sapata quer para as tensões transmitidas pela inclusão correspondente a uma estaca.

Para Portugal, crê-se, será de interesse aplicar estacas como reforço de ENSOLEIRAMENTOS de edifícios baixos, fundados sobre solos moles e formação espessa. É problema

* Investigador do LNEC.

cujo tratamento difere substancialmente do apresentado por Thaher e Jessberger. Dele se ocupa o presente trabalho.

2 — Há alguns anos o autor deste artigo (Folque, 1985) sugeriu a adição de estacas ao ensoleiramento para substancialmente reduzir os assentamentos. Tratava-se de fundar o ensoleiramento sobre um conjunto de estacas curtas, pouco espaçadas, que tinha por objectivo transportar para uma cota mais baixa a *totalidade* das cargas transmitidas à fundação. Nessa cota, é de esperar, a deformabilidade do solo será muito menor do que nas camadas superficiais.

A proposta que no presente trabalho se apresenta pode-se considerar aparentada com aquela mas é muito menos *drástica*. Consequentemente serão menores as reduções conseguidas nos assentamentos, mas por outro lado a solução será menos onerosa e pode acontecer que a melhoria conseguida seja já suficiente para tornar a solução aceitável.

Trata-se de dispor, sob o ensoleiramento, estacas curtas, flutuantes, com grande espaçamento. Elas, claro está, não tomarão a seu cargo a *totalidade* das cargas transmitidas à fundação mas tão só uma parte delas. Dessa forma a zona do solo em contacto com o ensoleiramento ficará *aliviada* e os assentamentos resultarão diminuídos.

Um cálculo de pré-dimensionamento, ou melhor, de pré-julgamento dos decréscimos de assentamentos é, dentro dos métodos habituais dos cálculos de Mecânica dos Solos, fácil de conduzir.

Seja um ensoleiramento de largura E e comprimento substancialmente superior à largura. Admita-se que se dispõem fiadas de estacas (cada fiada com n estacas) transversalmente ao ensoleiramento. O espaçamento entre estacas, e , será igual em ambas as direcções. Por outras palavras, as estacas distarão entre si de e na mesma fiada e as fiadas distarão e entre si. É óbvio que sendo q a tensão total transmitida ao nível do ensoleiramento uma parte, q_s , será por este transmitida directamente ao solo subjacente; outra parte será tomada pelas estacas. A repartição far-se-á na proporção inversa da deformabilidade virtual dos *contactos* “ensoleiramento-solo” e “ensoleiramento-estaca”.

Considere-se o ensoleiramento modulado em faixas de largura e , cada faixa assente sobre n estacas espaçadas de e .

O assentamento do ensoleiramento, admitindo uma distribuição de tensões de Boussinesq, em que se aceita que são desprezáveis os acréscimos de tensão induzida a partir da profundidade $1,5B$, será

$$\delta_s = 1,5 B \cdot 0,5 q/E_s \tag{1}$$

sendo E_s o módulo de deformabilidade do solo considerado homogéneo.

Admitindo por sua vez que a parte da sollicitação total tomada pelas estacas determina em cada uma delas a carga Q_p , virá que o assentamento da estaca será dado por:

$$\delta_p = 1,8 Q_p/L \cdot E_s \tag{2}$$

expressão proposta por Poulos (1971) em que L é o comprimento da estaca.

Os assentamentos do ensoleiramento e das cabeças das estacas são evidentemente iguais:

$$\delta_s = \delta_p$$

$$1,5 B \cdot 0,5 q/E_s = 1,8 Q_p/L \cdot E_s \tag{3}$$

$$Q_p = 0,42 B L q_s \tag{4}$$

Atendendo à totalidade das forças que actuam o “módulo” do ensoleiramento, isto é, cada faixa de largura e , vem

$$B e q = B e q_s + n Q_p \quad (5)$$

Substituindo (4) em (5) virá

$$B e q = B e q_s + 0,42 n q_s L B \quad (6)$$

E finalmente

$$q_s = e q / (e + 0,42 n L) \quad (7)$$

E também será

$$Q_p = 0,42 B e q L / (e + 0,42 n L) \quad (8)$$

3 — Para prosseguir torna-se mais fácil tomar um caso concreto.

Seja um ensoleiramento de largura $B = 12$ m e comprimento grande em comparação com B .

Tome-se um solo homogéneo com $E_s = 200$ t/m².

Considere-se que o ensoleiramento é solicitado por uma carga uniformemente distribuída (peso próprio + sobrecarga) $q = 5$ t/m².

Vão-se tomar 3 hipóteses, em todas elas considerando estacas de $L = 5$ m:

- a) o ensoleiramento é reforçado por estacas com espaçamento $e = 4$ m; cada faixa-módulo repousa assim sobre $n = 3$ estacas;
- b) a malha de estacas tem o espaçamento $e = 3$ m ao que corresponde $n = 4$ estacas;
- c) malha de estacas com espaçamento $e = 2$ m ao que corresponde $n = 6$ estacas.

4 — A seguir se apresentam os resultados dos assentamentos calculados para o ensoleiramento sem reforço e bem assim para o ensoleiramento reforçado nas 3 hipóteses mencionadas.

— Ensoleiramento sem reforço: a partir de (1) calcula-se

$$\delta_s = 225 \text{ mm}$$

— Ensoleiramento na hipótese a): a partir de (8) e (2) calcula-se, respectivamente

$$Q_p = 50 \text{ t} \qquad \delta_p = 90 \text{ mm}$$

A partir de (7) e (1) chegou-se a idêntico resultado, o que constitui confirmação do cálculo.

— Ensoleiramento na hipótese b):

$$Q_p = 33 \text{ t} \qquad \delta_p = 60 \text{ mm}$$

— Ensoleiramento na hipótese c):

$$Q_p = 17 \text{ t}$$

$$\delta_p = 30 \text{ mm}$$

RESUMO	δ
Ensoleiramento sem reforço	225 mm
Ensoleiramento com fiadas de 3 estacas	90 mm
Ensoleiramento com fiadas de 4 estacas	60 mm
Ensoleiramento com fiadas de 6 estacas	30 mm

4 — É importante ter em mente que, na prática, é de extrema importância dispor de um adequado valor de E_s . Dever-se-á por isso recorrer a ensaios de carga em placa para determinar a deformabilidade do solo superficial. A “resposta” das estacas em termos de deformabilidade deve ser averiguada a partir de ensaios de carga em estacas protótipo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FOLQUE, J. (1985) — *Fundações de pisos térreos em instalações industriais da Cintura Industrial de Lisboa*, I Encontro Nacional de Geotecnia.
- POULOS (1971) — *Behaviour of loaded piles; I — Single pile*, Proc. ASCE, SM5.
- THAHER e JESSBERGER (1990) — *Settlement reduction of high-rise buildings by a limited number of piles supporting the foundation raft*, Conference on Deep Foundations, Singapura.