

138.4

VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES
P.Alegre: 12 a 16 de outubro de 1986. Vol. VI, pp.297-307.

ESTIMATIVA DA CONTRIBUIÇÃO DO BLOCO NA CAPACIDADE DE CARGA DE GRUPOS DE ESTACAS

Eduardo Cerqueira do Val, M.S.
Engenheiro Senior, Victor F.B. de Mello & Associados S/C Ltda.
Luiz Guilherme F.S. de Mello, M.Sc.
Engenheiro Consultor Colaborador, Victor F.B. de Mello & Associados S/C Ltda.

RESUMO

A partir de três metodologias conhecidas, tais sejam, determinação de recalques de grupos de estacas, estática de estaqueamentos e determinação de recalques em sapatas, sintetiza-se um método de cálculo que permite estimar os recalques de um grupo de estacas levando-se em conta a capacidade do bloco de capeamento de transmitir diretamente ao solo uma parcela da carga oriunda da estrutura. Através deste método obtém-se também a carga atuante em cada estaca e uma aproximação da distribuição de pressões no contato bloco/solo. O processo é iterativo, alcançando, na convergência, tanto equilíbrio quanto compatibilidade.

O solo é tratado como um meio elástico estratificado e pressupõe-se, portanto, o conhecimento de seus parâmetros elásticos básicos, E e ν . Requer-se também o diagrama de transferência de carga das estacas ao solo. Discute-se a determinação desses dados. Inclui-se um exemplo tirado de um caso real, no qual se compara o efeito de consideração ou não do bloco.

INTRODUÇÃO

Quando se utiliza fundação por estacas, frequentemente ocorre do solo superficial apresentar características de deformabilidade e capacidade de suporte que seriam adequadas para níveis de carregamento mais baixos e/ou tolerâncias de recalques menos exigentes. No entanto, embora essa parcela de carga que o solo poderia suportar satisfatoriamente através de uma fundação direta possa ser significativa, as dificuldades de cálculo e as incertezas quanto ao comportamento real têm usualmente conduzido a dimensionamentos nos quais o bloco de capeamento atuaria apenas como uma peça estrutural de ligação entre os pilares e as estacas. Perde-se com isso a economia atinente à consideração mais realista, do bloco atuando como um elemento de fundação, capaz de transmitir diretamente ao solo parte das cargas destinadas às estacas, conforme esquematizado na fig.1.

O princípio do método aqui apresentado é bastante simples. Consiste basicamente na associação de três técnicas conhecidas e consagradas, relacionadas à estática de estaqueamentos, ao recalque de grupos de estacas e ao recalque de fundações diretas.

O solo é tratado como um meio elástico que pode ser estratificado e o bloco é suposto infinitamente rígido em comparação às estacas. Os dados necessários para a solução são as cargas, a geometria do problema, as características elásticas dos materiais envolvidos e os diagramas de transferência de carga entre as estacas e o solo. Com base em tais dados estimam-se o recalque do bloco, a carga das estacas e as pressões de contato na interface bloco/solo. Ao contrário de outros métodos hoje disponíveis em literatura [9] neste aqui apresentado os resultados são obtidos para o caso mais geral, tanto no que diz respeito ao carregamento (forças e momentos aplicados nas direções dos três eixos coordenados), quanto no que tange à geometria do estaqueamento (estacas com todas as formas e inclinações possíveis), sem se lançar

mão do método dos elementos finitos o qual requeriria capacidade computacional muito além da disponibilidade oferecida pelos ubíquos microcomputadores [10].

O processo é iterativo e uma virtude marcante do método é que tanto equilíbrio quanto compatibilidade são atendidos após convergência das iterações. Isto abre as portas a um refinamento que consistiria na consideração de flexibilidade do bloco, geralmente importante nas análises de radiers estacoados, as quais ainda pa decem dos males inerentes às teorias de vigas sobre apoios elásticos nas quais as "molas" trabalham independentemente [16].

CARGAS NAS ESTACAS

Em 1957 Schiel [11] apresentou um método de análise de estaqueamentos que permite calcular a força em cada estaca conhecendo-se sua rigidez (carga correspondente a um recalque unitário), admitindo-se bloco "rígido".

A geometria do estaqueamento define um vetor 6 - dimensional Γ_i para cada estaca, em função das cossenos diretores do eixo das estacas e das direções associadas aos momentos em relação aos eixos coordenados.

A rigidez do bloco permite que se considere apenas a resultante das cargas externas. As forças e momentos componentes dessa resultante formam um outro vetor 6 - dimensional chamado "vetor de carga", P .

Combinando-se a rigidez individual de cada estaca S_i com os vetores das estacas Γ_i define-se o tensor \underline{S} chamado "rigidez do estaqueamento". Este tensor permite estabelecer a relação entre P e o movimento elástico do bloco, descrito pelo vetor Y , através da expressão

$$P = \underline{S} \cdot Y \quad (1)$$

onde Y é composto pelos deslocamentos e giros do bloco em torno dos eixos coordenados sendo, portanto, também 6 - dimensional. Segue, assim, que o tensor \underline{S} será uma matriz 6 x 6.

Graças à linearidade da lei de Hooke, pode-se calcular Y a partir da equação (1), que representa, no caso mais geral, um sistema linear de 6 equações a 6 incógnitas. Pelo princípio de Maxwell, \underline{S} será sempre simétrica, o que simplifica a solução do sistema.

Uma vez determinado Y , a própria definição dos vetores das estacas Γ_i permite expressar o encurtamento Δl_i de cada estaca como o produto vetorial

$$\Delta l_i = Y \times \Gamma_i \quad (2)$$

Lembrando que a rigidez individual de cada estaca, s_i , é, por hipótese, um da do conhecido, as forças axiais N_i nas estacas são calculadas mediante novo recurso à lei de Hooke:

$$N_i = s_i \Delta l_i \quad (3)$$

RECALQUES DO GRUPO

Supondo-se conhecida a distribuição de carga ao longo do fuste e na base da estaca e sua variação com o nível de carga aplicada no topo, pode-se determinar o diagrama de transferência de carga atuante em cada estaca a partir das forças N_i determinadas no item anterior. Note-se que somente forças axiais são consideradas nas estacas. Esse dado, e ainda a geometria das estacas, seu arranjo no bloco e os parâmetros elásticos do solo bastam para permitir o cálculo do recalque do solo na ponta das estacas através do método proposto por Aoki e Lopes [4] (fig.2).

Nesse método, o fuste e a ponta da estaca são convenientemente subdivididas em elementos, distinguindo-se as estacas cilíndricas daquelas prismáticas. A cada elemento é associada uma força, conforme o diagrama de transferência de carga. Denominam-se P_{ij} as cargas pontuais atuantes nos elementos j da base da estaca i e P_{ik} as cargas atuantes nos elementos k do fuste da estaca i . Essas forças, situadas no interior do meio supostamente elástico, produzirá um campo de tensões ao qual estará associado um campo de deformações. É o conhecido problema de Mindlin cuja solução é disponível em forma fechada para meio elástico homogêneo semi-infinito.

Como o solo é, inexoravelmente, compressível apenas até uma profundidade finita, lança-se mão do processo de Steinbrenner. De acordo com sua postulação, o recalque no ponto considerado pode ser expresso aproximadamente como a diferença entre o recalque nesse ponto, supondo-se o meio semi-infinito, e o recalque do ponto situado na mesma vertical, na profundidade do indeformável assumido, calculado com a mesma suposição de profundidade infinita do meio. A generalização desse processo permite contornar também o problema de meio estratificado, permitindo a utilização da prática solução de Mindlin.

Assim, cada força discretizada em cada uma das estacas produz um certo recalque no ponto considerado o qual, por conveniência, coincidirá com o centro da ponta da estaca. Pelo princípio de superposição de efeitos, sabidamente válido por se tratar de elasticidade linear, o recalque do solo imediatamente abaixo da ponta de uma estaca será dado pela soma dos recalques naquele ponto produzidos por todas as forças discretizadas ao longo do fuste e na ponta, atuantes tanto naquela estaca quanto nas outras do grupo:

$$\omega_s = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \omega_{i,j} + \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{k=1}^{n_3} \omega_{i,k} \quad (4)$$

Na expressão acima $\omega_{i,j}$ e $\omega_{i,k}$ são os recalques induzidos pelas cargas $P_{i,j}$ e $P_{i,k}$, respectivamente, n_1 é o número de estacas, n_2 é o número de elementos discretizados na base da estaca i e n_3 é o número de subdivisões do fuste da estaca i .

Como se conhece a distribuição de forças ao longo do fuste e sua rigidez, pode-se calcular a deformação de cada estaca, que será dada por:

$$w_s = \int_0^L \frac{Q(z)}{EA} dz \quad (5)$$

onde $Q(z)$ é a força normal à profundidade z .

Finalmente, o deslocamento (recalque) do topo da estaca será dada pela equação básica [15]

$$w = w_s + w_p \quad (6)$$

CARGAS NOS ELEMENTOS DO BLOCO

Em extensão ao que foi feito por Aoki e Lopes, aqui também se lançou mão do recurso de discretização. O bloco é subdividido em elementos retangulares de comprimento e largura L e B , respectivamente, tais que

$$1 \leq L/B \leq 2 \quad (7)$$

O recalque do elemento i é dado por:

$$\delta_i = \delta_{i,i} + \delta_{i,j} \quad (8)$$

sendo $\delta_{i,i}$ o recalque de elemento i devido à carga na área i e $\delta_{i,j}$ o recalque do elemento i devido às cargas nas áreas j . Assim, denominando-se $k_{i,j}$ o fator de influência de recalque do elemento i devido à carga j , pode-se escrever:

$$\delta_{i,j} = \frac{f_j}{E^*} k_{i,j} \quad (9)$$

onde:

$$E^* = \frac{E}{1-\nu^2} \quad (10)$$

E = módulo de elasticidade do solo

ν = coeficiente de Poisson do solo

f_j = força atuante no elemento j

Combinando-se (8) e (9), tem-se:

$$\delta_i = \frac{1}{E^*} (k_{i,1} f_1 + k_{i,2} f_2 + \dots + k_{i,n} f_n) \quad (11)$$

A equação acima, quando estendida a todos os elementos pode ser escrita na forma matricial:

$$\delta = I' f$$

onde: $\delta = [\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n]^T$
 $f = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$

$$I' = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} I_{1,1} & I_{1,2} & \dots & I_{1,n} \\ I_{2,1} & I_{2,2} & \dots & I_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{n,1} & I_{n,2} & \dots & I_{n,n} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Para montar a matriz I' assume-se que o recalque δ_i seja devido a cargas pontuais nos elementos j e a uma carga distribuída sobre uma placa rígida (não uniformemente, portanto) no elemento i . Tal enfoque visa minimizar os erros, atendendo ao princípio de St. Venant [6].

Assim, aplicando-se Boussinesq [17], tem-se:

$$\delta_{i,j} = \frac{f_j}{\pi \rho_{i,j}} \left(\frac{1 - \nu^2}{E} \right) I_r \quad (13)$$

Combinando-se (13) com (9) e (10) resulta:

$$I_{i,j} = \frac{1}{\pi \rho_{i,j}} \quad (14)$$

onde: $\rho_{i,j}$ = distância entre os centros dos elementos i e j .

No elemento i , o recalque devido à carga atuante sobre ele próprio é dado pela expressão de Tsytoich [7].

(15)

Combinando-se (15) com (9) e (10), obtêm-se:

$$I_{i,i} = \frac{I_r}{L} \quad (16)$$

O fator de influência para recalque de sapatas rígidas, I_{r0} , é dado de forma gráfica na fig.3 em função da relação L/B . No trecho de validade da equação (7), I_{r0} pode ser aproximado, com erro menor que 1%, por:

$$I_{r0} = 0.0618 + 0.823 (L/B)^{1/2} \quad (17)$$

A fim de se levar em conta a estratificação do meio, corrigem-se os fatores $k_{i,j}$, adaptando-se o método de Palmer e Barber [8]:

$$h_{ek} = (Z_{e,i} - Z_k) (E_k^* / E_{nc}^*) \quad k = 1, 2, \dots, nc \quad (18)$$

onde: h_{ek} = espessura equivalente da camada k

z = profundidade da camada

nc = número de camadas acima do indeformável

Para cargas pontuais,

$$\delta_{i,j} = f_j \sum_{k=1}^{nc} \frac{I_{k,i} - I_k}{E_k^*} \quad (19)$$

Assim,

$$I_k = \frac{1}{2(1 - \nu_k) \pi R_k} \left[2(1 - \nu_k) + \left(\frac{Z_k}{R_k} \right)^2 \right] \quad (20)$$

onde: $R_k = (Z_k^2 + f_{e,i}^2)^{1/2}, \quad k = 1, \dots, nc \quad (21)$

$$Z_k = \sum_{e=1}^k h_{e,i}, \quad k = 1, 2, \dots, nc \quad (22)$$

$$I_0 = \frac{1}{\pi \rho_{i,i}} \quad (23)$$

Portantó,
$$I_{i,j} = \sum_{k=1}^{nc-1} \frac{I_k - I_{k+1}}{E_{k+1}^*} \quad (24)$$

Para cargas distribuídas, o recalque na superfície, assumindo retângulo rígido e combinando-se (10), (15), (16) e (17), é dado por:

$$\delta_0 = \frac{f}{E'L} \left[0,0618 + 0,823 \left(\frac{1}{B} \right)^{1/2} \right] \quad (25)$$

À profundidade z, o recalque é dado por [7]:

$$\delta_z = \frac{f}{E'L} \left[A' - \left(\frac{1-2\nu}{1-\nu} \right) B' \right] \quad (26)$$

onde:

$$A' = \frac{1}{H} \left[\ln \left(\frac{c_{i,m+1}}{c_{i,m}} \right) + m' \ln \left(\frac{c_{i+1}}{c_{i,j}} \right) \right] \quad (27)$$

$$B' = \frac{m}{H} \ln \left(\frac{r_{i,j}}{r_{i,c_i}} \right) \quad (28)$$

$$m = \frac{1}{\delta} \quad (29)$$

$$m' = \frac{2z}{\delta} \quad (30)$$

$$c_i = (1 + m^2 + m'^2)^{1/2} \quad (31)$$

Assim,

$$I_k = \frac{1}{L} \left[A' - \left(\frac{1-2\nu_k}{1-\nu_k} \right) B' \right], \quad k = 1, 2, \dots, mc \quad (32)$$

$$I_c = \frac{1}{L} \left[0,0618 + 0,823 m^{1/2} \right] \quad (33)$$

Portanto,

$$I_{ii} = \sum_{k=0}^{mc} \frac{I_k - I_{k+1}}{E_{k+1}} \quad (34)$$

As expressões (24) e (34) permitem a montagem da matriz I . O vetor f sendo conhecido, resolve-se o sistema de equações (12), obtendo-se as forças f_i que atuam nos elementos do bloco.

Finalmente, uma aproximação da tensão atuante na interface bloco/solo é dada por:

$$\sigma_i = \frac{f_i}{LB} \quad (35)$$

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO ITERATIVO

Deve-se notar que nenhum dos três processos acima descritos pode, isoladamente, resolver o problema.

O método de Schiel pressupõe o conhecimento da rigidez das estacas, porém para tanto é necessário saber o seu recalque, o qual só é determinado na análise de efeito de grupo, pelo método de Aoki e Lopes. Este, por sua vez, requer o conhecimento da carga atuante em cada estaca, a qual deveria ser dada pelo método de Schiel, conduzindo a um aparente impasse.

Aoki [2], sugere um método iterativo o qual se inicia assumindo-se uma rigidez $S_i(0)$ das estacas em função apenas de suas características geométricas e elásticas (E, A, L), o que permite calcular as cargas $N_i(0)$. Com estas, aplica-se o método de Aoki e Lopes e determina-se os recalques $w_i(0)$. Corrige-se então a rigidez individual de cada estaca, que agora será dada por $S_i^{(1)} = N_i^{(0)} / w_i^{(0)}$, re-calculando-se as cargas nas estacas que passam a ser $N_i^{(1)}$ e, em seguida, os recalques que se alteraram para $w_i^{(1)}$. O processo segue iterativamente até que $w_i^{(n)} \cong w_i^{(n-1)}$.

Testes mostraram que a convergência desse engenhoso processo é rápida, atingindo aproximação válidas para fins práticos em apenas três ou quatro iterações.

No entanto, deixa-se de levar em conta, entre outros fatores, a contribuição do bloco. Não apenas a capacidade deste trabalhar parcialmente como fundação é desprezada, mas também os recalques desenvolvem-se livremente, como se a carga atuante fosse "mole". Propõe-se, assim, que a este método seja incorporado o procedimento anteriormente descrito para determinação das forças no bloco, de modo a superar esta falha.

Inicia-se também com uma rigidez assumida, $S_i^{(0)}$, e com o carregamento de projeto, $P^{(0)} = P$, o que resulta na primeira aproximação das cargas nas estacas, $N_i^{(0)}$, a través do método de Schiel (SCH). Prossegue-se aplicando-se o método de Aoki e Lopes (A & L) para se determinar a primeira estimativa dos recalques das estacas, $w_i^{(0)}$. Por compatibilidade impõe-se estes recalques ao bloco, através de uma interpolação plana (por causa da rigidez do bloco), obtendo-se a primeira aproximação das forças nos elementos do bloco, $f_i^{(0)}$, através da aplicação do processo de determinação

das forças no bloco (DFB). Aplica-se novamente A e L. desta vez considerando-se também as forças $f_i^{(c,s)}$ que irão afetar a parcela do recalque das estacas devida ao recalque do solo (w_s). Obtêm-se, assim, $w_i^{(c,s)}$ que, por sua vez, quando aplicado o processo DFB, conduz a novos $f_i^{(c,s)}$. As iterações nesse nível prosseguem até que $w_i^{(c,s)} \approx w_i^{(c,s-1)}$.

Neste ponto ter-se-á satisfeito compatibilidade, mas, para se conseguir equilíbrio, volta-se ao método SCH, modificando-se S_i e P de modo que $S_i^{(j)} = N_i^{(j)} / w_i^{(c,s)}$ e $P^{(j)} = P^{(j-1)} - f_i^{(c,s)}$. Isto conduz a $N_i^{(j)}$ que, com o método A e L leva a $w_i^{(j,s)}$ que, por sua vez, através de DFB, produz $f_i^{(j,s)}$ e assim por diante, até que, na convergência, chega-se a $N_i^{(n)} \approx N_i^{(n-1)}$, $w_i^{(n,s)}$ e $f_i^{(n,s)} \approx f_i^{(n-1,s)}$.

EXEMPLO

Apresenta-se a seguir um caso real em que a consideração da contribuição do bloco permitiu a redução da bitola das estacas, de ϕ 50cm para ϕ 42cm, com um efeito multiplicativo razoável visto que envolvia aproximadamente m de estacas.

Tratava-se de um edifício industrial cuja estrutura consistia basicamente de um pórtico de concreto armado formado por duas linhas de pilares. Estes conduziam à fundação o seguinte carregamento, na sua combinação mais desfavorável, que incidentalmente, vinha a ser aquela sem consideração de efeito de vento:

$$\begin{aligned} V &= 179,5 \text{ tf} \\ H_x &= 1,8 \text{ tf} \\ H_y &= 13,7 \text{ tf} \\ M_x &= 187,6 \text{ tfm} \\ M_y &= 50,0 \text{ tfm} \end{aligned}$$

Refira-se à fig.4 para a convenção de direções e sinais bem como, para a geometria do bloco e mineração das estacas. O projeto original previa estacas pre-molda das ϕ 50cm com 9,0m de comprimento útil (10,4m do nível do terreno). Por orientação do cliente, o estudo de otimização solicitado foi feito sem se alterar o projeto do bloco, o qual já estava detalhado. O comprimento analisado para as estacas ϕ 42cm foi mantido em 9,0m.

Em função das sondagens da área cujo perfil típico está apresentado na fig. 5-a, construiu-se o diagrama de transferência de carga mostrado na fig.5-b utilizando-se o método de Aoki e Velloso com os coeficientes k_c , k_s , F_1 e f_2 devidamente ajustados pela experiência local obtida em provas de carga estáticas sobre estacas cravadas para estruturas adjacentes. O diagrama foi simplificado representado por dois trechos lineares segundo a linha pontilhada da fig.5-b. Note-se que esta simplificação representa desvios pequenos em relação aos valores de cada ponto do diagrama.

Para o cálculo de deformações o subsolo foi subdividido em três camadas, determinadas através das sondagens:

CAMADA	PROF.A PARTIR DO TOPO DAS ESTACAS	MÓDULO DE YOUNG E (kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE POISSON ν
1	5,6m	200	0,40
2	9,6m	600	0,35
3	20,0m	2000	0,30

Abaixo de 20,0m o solo foi assumido incompressível. Os valores de E da tabela acima seriam presumivelmente conservadores, como recomenda a boa técnica de engenharia perante dados incertos.

O problema foi analisado pelo método usual (estática simples, sem levar em conta efeito de grupo), pelo método desenvolvido por Aoki [2] e pelo método aqui proposto. As cargas atuantes nas estacas determinadas através de cada um desses processos foram as seguintes:

ESTACA	MÉTODO USUAL	MÉTODO AOKI	MÉTODO PROPOSTO
1	26,2 tf	20,7 tf	6,6 tf
2	98,1 tf	103,6 tf	84,0 tf
3	-8,3 tf	-2,8 tf	0,8 tf
4	63,5 tf	58,0 tf	43,0 tf
	179,5 tf	179,5 tf	134,4 tf

Dos resultados acima nota-se que 45,1 tf teriam sido absorvidas pelo bloco, conforme o método proposto. A análise das forças atuantes nos elementos do bloco indica que na borda mais comprimida (vértice da estaca nº 2), a tensão aplicada ao solo seria ligeiramente superior a 3 kg/cm², considerada, portanto, suficientemente segura quanto à capacidade de carga do solo (ruptura).

Com relação a recalques, as análises conduziram aos seguintes valores:

ESTACA	MÉTODO AOKI	MÉTODO PROPOSTO
1	0,6 mm	0,4 mm
2	2,2 mm	1,7 mm
3	0,4 mm	0,3 mm
4	1,6 mm	1,4 mm

Os valores acima significam uma redução de mais de 20% nos recalques, em média, comparável aos 25% de redução da carga nas estacas, que justificariam a redução da bitola das estacas para ϕ 42cm.

COMENTÁRIOS

Obviamente, a contribuição do bloco é fortemente dependente das condições do solo superficial. Por isso, os cuidados no preparo da construção do bloco devem ser tão rigorosos quanto aqueles que cercam a execução de fundação diretas. Recomenda-se, inclusive por medida de economia, que o bloco seja concretado diretamente contra o solo chapiscado, sem se utilizar formas, de modo a conferir melhor efeito de embutimento.

Quando as deformações são pequenas, a teoria da elasticidade adapta-se bem aos solos e os erros envolvidos são relativamente pequenos [10]. Deve-se, no entanto, sempre ter em conta que um certo grau de adensamento é inevitável quando se está tratando com solos que, além disso, são materiais inexoravelmente heterogêneos e anisotrópicos, em contraste com a idealização de cálculo. Um fato marcante é a variação (geralmente aumento) do módulo de deformabilidade com a profundidade. Para se considerá-lo sugere-se analisar o problema como solo Gibsoniano [8] ou subdividir o subsolo em mais camadas.

No exemplo aqui apresentado o diagrama de transferência de carga foi obtido a partir do método de Aoki e Velloso [3], porém qualquer outro seria válido, por exemplo Alonso [1], Poulos & Davis [9] etc. Recomenda-se, no entanto, que o engenheiro utilize aquele que lhe é mais familiar, isto é, aquele em que lhe tenha mais informações sobre as relações de causa e efeito. Para isso, a aferição do método através de provas de carga é fundamental.

Embora em tese o método proposto seja aplicável para cargas horizontais, o desenvolvimento do programa ainda não evoluiu ao ponto de incorporar tensões e deslocamentos horizontais. No exemplo apresentado, os esforços horizontais não eram significativos perante os verticais e, por isso, só foram analisados os deslocamentos verticais.

Selby & Wallace [12] apresentaram um método simples de analisar grupos de estacas sujeitas a carregamentos horizontais, porém estacas inclinadas e contribuição de bloco de capeamento foram excluídos do problema.

Cumpra também comentar que a equação (6), que conduz a um raciocínio claro e simples, não foi sempre identificada facilmente. Há análises da interação solo-estaca [14] que consideram

$$w = w_f + w_b \quad (36)$$

onde: w_f = recalque do fuste

w_b = recalque da base

como w_f e w_b são interdependentes, o problema torna-se indeterminado.

Por fim vale mencionar que grupos de estacas sempre recalcariam mais que estacas isoladas quando não levado em conta a contribuição do bloco [5]. Quando este é considerado, no entanto, como foi feito aqui, o problema deveria ser encarado como referente a estacas como redutores de recalques

CONCLUSÕES

Quando o solo superficial sob um bloco estaqueado tem características razoáveis de resistência e compressibilidade, a contribuição do bloco na transmissão das cargas diretamente ao solo pode ser significativa.

Além de se reduzirem as cargas, os recalques também diminuiriam, permitindo otimizações que podem ser vultosas, dependendo do caso.

O método aqui proposto é bastante simples e facilmente implementável nos microcomputadores hoje encontrados em todos os escritórios de engenharia, evitando que o potencial de aproveitamento do bloco como elemento de fundação seja desperdiçado.

REFERÊNCIAS

1. Alonso V., "Estimativa da Transferência de Carga de Estacas Escavadas a Partir do SPT", Solos e Rochas, vol.6 n°1,1983.
2. Aoki, N., "Considerações sobre Previsão e Desempenho de Alguns Tipos de Fundações Profundas sob Ação de Cargas Verticais", Simpósio Teoria e Prática de Fundações Profundas, UFRGS, Porto Alegre, 1985.
3. Aoki, N. e Velloso, D.A., "An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles", Procs. 5th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires, vol.I,1975.
4. Aoki, N., Lopes, F.R., "Estimating Stresses and Settlements Due to Deep Foundations by the Theory of Elasticity", Procs. 5th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires, vol.I,1975.
5. Burland, J.B., Broms, B.B., de Mello, V.F.B., "Behaviour of Foundations and Structures", Procs. 9th ICSMFE, vol.2,Tokio,1977.
6. Fung, Y.C., "Continuum Mechanics", Prentice-Hall, New Jersey,1977.
7. Harr, M.E., "Foundations of Theoretical Soil Mechanics", McGraw-Hill, New York, 1966.
8. Poulos, H.G., Davis, E.H., "Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics", John Wiley & Sons, New York,1974.
9. Poulos, H.G., Davis, E.H., "Pile Foundation Analysis and Design", John Wiley & Sons, New York, 397 pp., 1980.
10. Polo, J.M., "Analysis of Settlements of Pile Groups", Ph.D.Thesis, Duke University, Durham, NC,1982.
11. Schiel, F., "Estática de Estaqueamentos", Publicação n° 10, Escola de Engenharia de São Carlos, 142 p.p.,1957.
12. Selby, A.R., Wallace, P.D., "Microcomputer Analysis of Pile Groups Under General Loading", Ground Engineering, January,1986.
13. Timoshenko, S., Goodier.J.N., "Theory of Elasticity", McGraw-Hill, New York,1951.
14. Vargas, M., "Interação Solo-Estaca", Solos e Rochas, vol.4,n° 4,1981.
15. Vesić, A.S., "Design of Pile Foundations", Synthesis of Highway Practice 42, Transportation Research Board, Washington, DC, 68 pp., 1977.
16. Vesić, A.S., "Problems of Development of a Mathematical Model to Predict Performance of a Pile Group", Federal Highway Administration Research Review Conference, Atlanta,1977.
17. Wahls,H.E., Notas de aula do curso "Advanced Soil Mechanics I", North Carolina State University, Raleigh,1982.

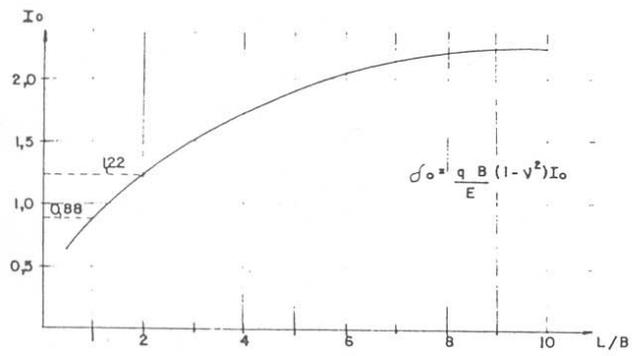
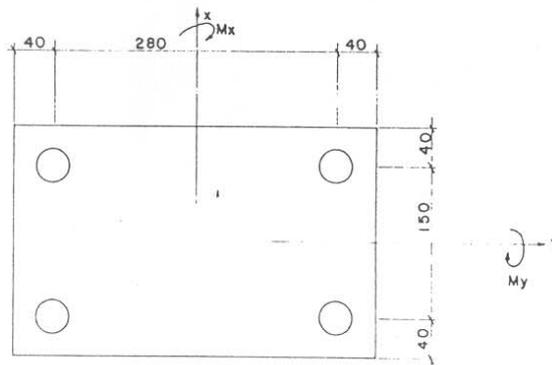


FIG. 3 - FATOR DE INFLUÊNCIA DE RECALQUE EM SAPATAS RÍGIDAS EM FUNÇÃO DE L/B



(A) PLANTA

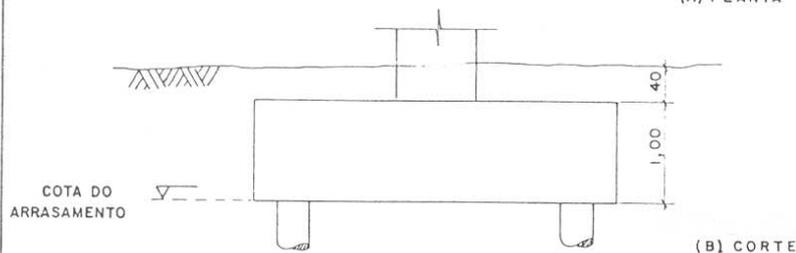


FIG. 4 GEOMETRIA ESQUEMÁTICA DO BLOCO

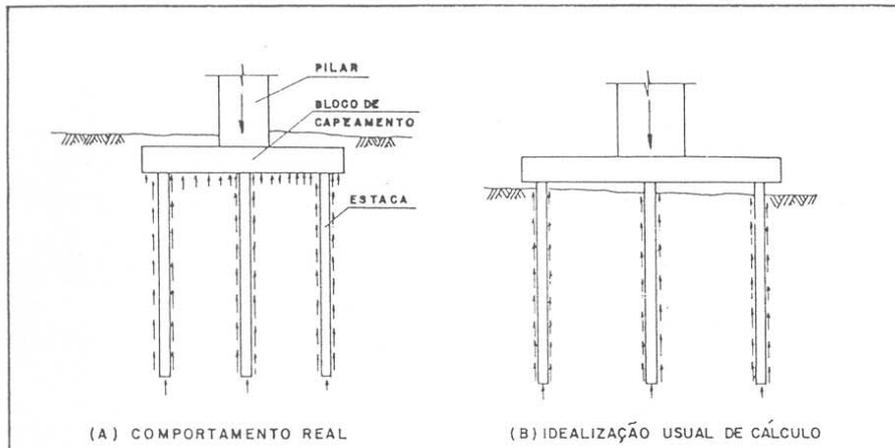


FIG. 1— TRANSMISSÃO DE CARGA DA ESTRUTURA AO SOLO NO CASO DE FUNDAÇÕES PROFUNDA

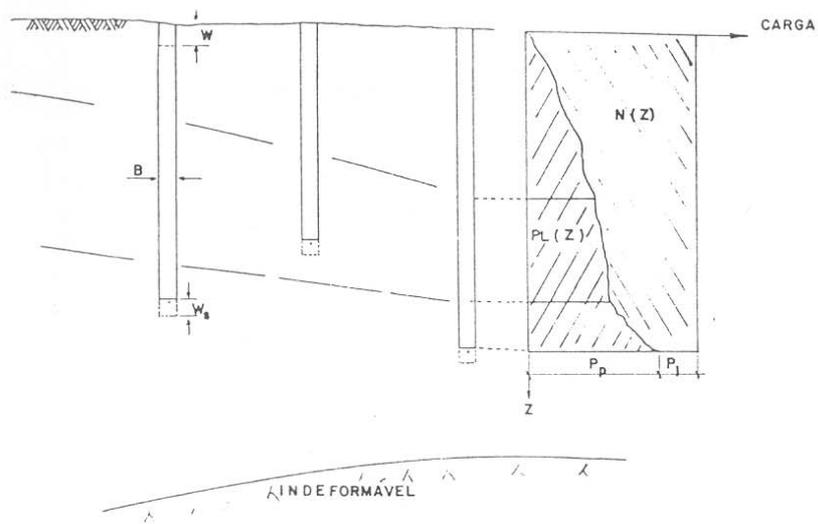


FIG. 2— ILUSTRAÇÃO DO MÉTODO DE AOKI E LOPES

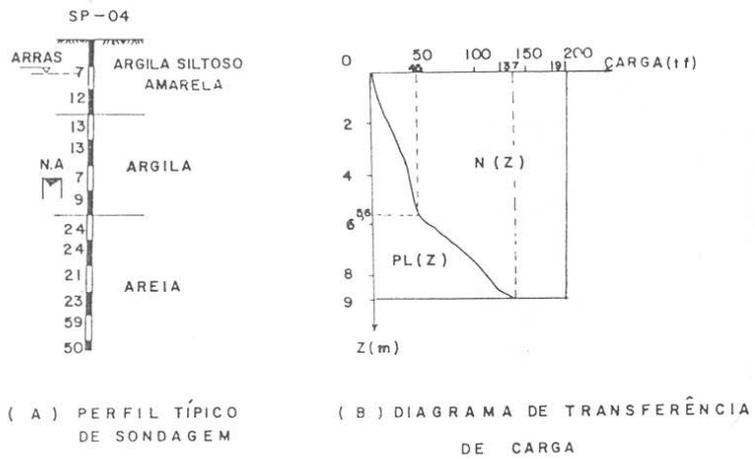


FIG.5- PERFIL DO SUBSOLO E DIAGRAMA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA