

Reavaliação dos parâmetros dos solos de Fortaleza pelo método Aoki e Velloso (1975) para estacas do tipo raiz

Cecília Medeiros Cardoso
Engenheira Civil,
GEOBRASIL Ltda
ceciliancardoso@hotmail.com

Alfran Sampaio Moura
M.Sc., UNIFOR
alfransampaio@unifor.br

Resumo

Este artigo apresenta uma reavaliação dos parâmetros de solos k e α utilizados para o cálculo da capacidade de carga de fundações em estaca do tipo raiz proposto, originalmente, por Aoki e Velloso (1975). O modelo foi adequado a alguns dos tipos de solos mais comumente encontrados na cidade de Fortaleza, Nordeste brasileiro. Inicialmente, apresenta-se um mapeamento de 54 ocorrências de edificações que apresentam fundações em estacas do tipo raiz. Em seguida, os parâmetros de solo k e α do método Aoki e Velloso (1975) são retroanalizados a partir dos resultados de sondagens à percussão (SPT) e de provas de cargas realizadas em quatro obras. Por fim, validam-se os parâmetros retroanalizados.

Palavras-chave: *Fundações. Estaca raiz. Capacidade de carga.*

Abstract

This paper approaches a re-evaluation of the parameters k and α in soils applied for the calculation of loading capacity in root stakes foundations type, originally proposed by Aoki and Velloso (1975). The method was applied to the most commonly used soils in the city of Fortaleza, Northeast Brazil. Initially, a screening was applied to 54 constructions which had root stakes foundation. Later, the parameters k and α based on Aoki and Velloso (1975) method were analyzed with regard to results from percussion surveys (SPT) and loading tests in four independent construction sites. Eventually, the parameters were checked out.

Keywords: *Building foundation. Root stakes. Loading capacity.*

1 Introdução

As fundações, como qualquer outra parte de uma estrutura, devem ser projetadas e executadas para garantir, sob ação das solicitações impostas, as condições mínimas de segurança, funcionalidade e durabilidade. O número de obras em Fortaleza vem crescendo em um ritmo acelerado, que tem levado a observar que as edificações, principalmente em áreas nobres, apresentam grande altura com subsolo. Também apresentam solicitações nas fundações acentuadamente elevadas. Nesse sentido, portanto, têm sido utilizadas as estacas tipo Raiz, como alternativa de fundações de edifícios estruturados, na cidade de Fortaleza. Dentre as vantagens deste tipo de fundação, estão a ausência de vibrações e a elevada carga de trabalho.

O propósito, aqui, é reavaliar os parâmetros de alguns solos característicos de Fortaleza, através do método semi-empírico de Aoki e Velloso (1975). Dessa forma, pretende-se iniciar a adequação do mencionado método às condições locais da referida cidade.

2 Histórico de estacas-raiz e utilização em fundações de edifícios na cidade de Fortaleza

O primeiro procedimento de execução de estaca Raiz foi desenvolvido na primeira metade da década de cinquenta. Originalmente, elas foram concebidas com o intuito de reforçar as fundações e melhorar o solo, através de um reticulado de estacas inclinadas em várias direções. As primeiras patentes foram requeridas na Itália, em 1952, pela empresa Fondedile

SPA. No entanto, a fase de maior desenvolvimento ocorreu na década de 60, quando, finalmente, a estaca Raiz passou a ser utilizada como nova técnica de fundação, atingindo diâmetros maiores, de até 50 cm. No Brasil, ela foi introduzida a partir de meados da década de setenta. Hoje em dia, é aplicada tanto em reforço de fundação como em obras novas (Presa e Pousada, 2001).

Segundo Nóbrega Jr (2006), a estaca Raiz foi implantada em Fortaleza desde 1992, na obra de expansão do Hospital IJF, no Centro da cidade. Atualmente, é uma das soluções mais adotadas. A empresa Geoteste, de Recife, foi a responsável por essa primeira obra realizada na cidade.

Segundo a NBR 6122/96, são estacas tipo Raiz aquelas em que são utilizadas injeções de argamassa para moldar o fuste. Imediatamente após a sua moldagem, é aplicada pressão no topo da estaca, com ar comprimido, uma ou mais vezes durante a retirada do tubo de revestimento. A Figura 1 mostra o processo executivo das estacas tipo Raiz.

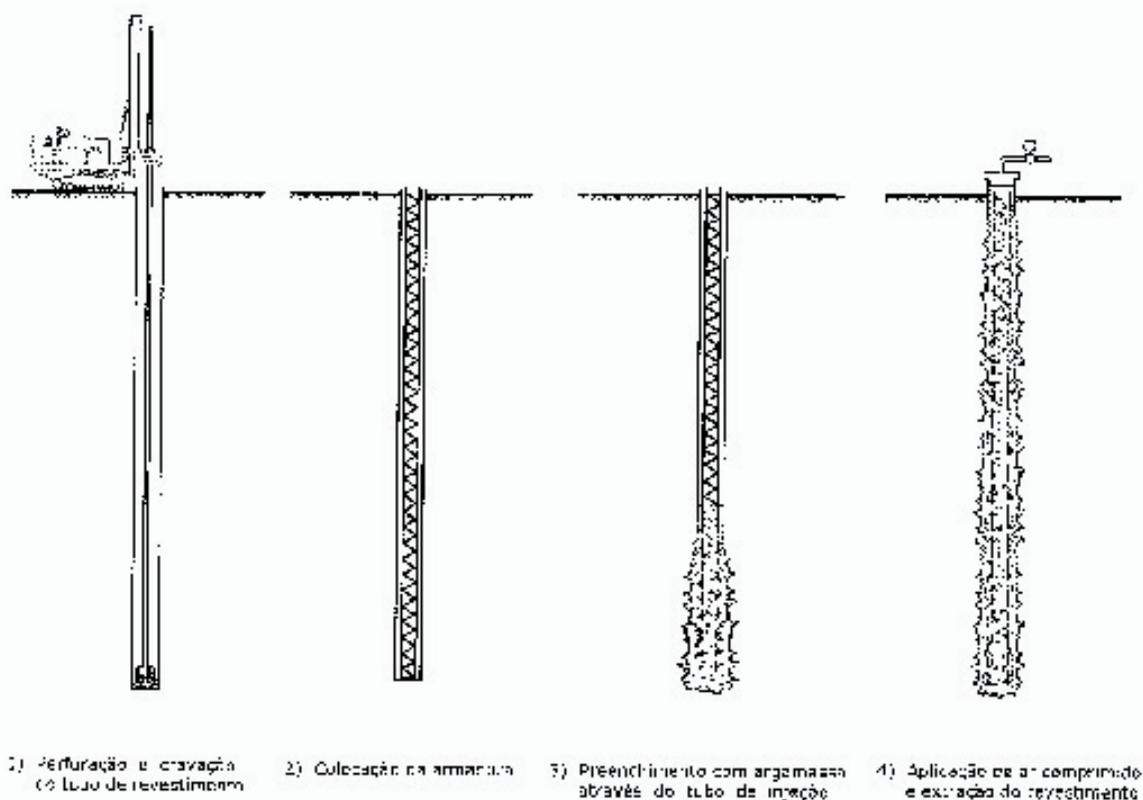


Figura 1: Processo executivo de fundações tipo estaca Raiz (Presa e Pousada, 2001).

3 Métodos para determinação da capacidade de carga de estacas tipo raiz

A carga que o terreno é capaz de suportar, sem que haja ruptura ou deformação excessiva do solo, é chamada de capacidade de carga. Nas fundações profundas, as cargas são transferidas por efeito do atrito lateral ou pela ponta, e o mecanismo de ruptura do solo não atinge a superfície do terreno.

A capacidade de carga de fundações profundas pode ser determinada por métodos estáticos, por provas de carga e por métodos dinâmicos. Em projetos corriqueiros, é prática comum a utilização de métodos estáticos e semi-empíricos (Cabral, 1986; Aoki e Velloso, 1975).

O principal método semi-empírico, utilizado para determinação de capacidade de carga de estacas no Brasil, surgiu em 1975 e foi proposto por Aoki e Velloso. Desde então, vários outros autores propuseram novos métodos (Decourt e Quaresma, 1978; Cabral, 1986; Antunes e Cabral, 1996).

3.1 Método Aoki e Velloso (1975)

O método de Aoki e Velloso pode ser utilizado para calcular a capacidade de carga de diversos tipos de estacas submetidos a carregamento por compressão, baseando-se nos resultados das sondagens à percussão (SPT). Neste método, a carga de ruptura do solo (Q_r), que dá suporte a uma estaca isolada, é calculada a partir da soma das parcelas de ponta (Q_p) e de atrito lateral (Q_l). As parcelas de ponta e de atrito na ruptura são dadas, respectivamente, pelas seguintes expressões:

$$Q_p = S \cdot \frac{K_{\#} \cdot N}{F_1} \quad (1)$$

$$Q_l = \sum U \cdot \Delta l \cdot \frac{\alpha_{\#} \cdot K_{\#} \cdot N}{F_2} \quad (2)$$

Onde: Q_p é a carga resistida pela ponta, Q_l é a carga resistida por atrito lateral, S é a área da base ou ponta da estaca, K_{AV} e α_{AV} são coeficientes que dependem do tipo de solo, F_1 e F_2 são coeficientes corretivos de escala que procuram levar em conta a diferença de comportamento entre a estaca e o cone holandês e N é o número de golpes do SPT.

O fator de segurança (FS) recomendado para o emprego desse método é igual a 2. A Tabela 1 apresenta os valores de K_{AV} e α_{AV} propostos originalmente pelo método Aoki e Velloso (1975).

Tabela 1: Parâmetros K_{AV} e α_{AV} propostos originalmente no método Aoki e Velloso (1975).

Tipo de Solo	K_{AV} (kPa)	α_{AV} (%)
Areia	1000	1,4
Areia siltosa	800	2,0
Areia silto argilosa	700	2,4
Areia argilosa	600	3,0
Areia argilo siltosa	500	2,8
Silte	400	3,0
Silte arenoso	550	2,2
Silte areno argiloso	450	2,8
Silte argiloso	230	3,4
Silte argilo arenoso	250	3,0
Argila	200	6,0
Argila arenosa	350	2,4
Argila areno argilosa	300	2,8
Argila siltosa	220	4,0
Argila silto arenosa	330	3,0

3.2 Método de Cabral (1986)

O método proposto por Cabral (1986) é o único desenvolvido especificamente para o cálculo da capacidade de carga de estacas do tipo Raiz. Utiliza o coeficiente β_0 , que considera a influência tanto direta, por meio da pressão de injeção, como indireta, por meio do eventual aumento do diâmetro da estaca. O fator de segurança recomendado para a parcela de ponta (FS_p) é de 3,0 e para o atrito lateral (FS_l) é de 2,0. Apesar do método de Cabral (1986) ser específico para estacas do tipo Raiz, o método Aoki e Velloso (1975) é ainda o mais utilizado em projetos de fundações de obras na cidade de Fortaleza (Moura, 1997 e Cunha et al, 1998).

O autor propõe as seguintes expressões para o cálculo das resistências de ponta (Q_p) e lateral (Q_l):

$$Q_p = \beta_0 \beta_2 N \leq 50 \text{ Kgf/cm}^2 \quad (3)$$

$$Q_l = \beta_0 \beta_1 N \leq 2 \text{ Kgf/cm}^2 \quad (4)$$

Onde: Q_p é a carga resistida pela ponta, Q_l é a carga resistida por atrito lateral, N é o número de golpes do SPT, β_1 e β_2 variam em função do tipo de solo, $\beta_0 = 1 + 0,11\delta - 0,01D$, D é o diâmetro nominal da estaca (cm) e δ é o acréscimo de pressão no intervalo (Kgf/cm^2).

4 Reavaliação dos parâmetros de alguns solos da cidade de Fortaleza pelo método Aoki e Velloso (1975) para estacas do tipo Raiz

Neste item do trabalho, são utilizados quatro resultados de sondagem à percussão e de provas de carga realizadas em obras em Fortaleza que utilizaram estacas tipo Raiz. A capacidade de carga é determinada através do método semi-empírico proposto por Aoki e Velloso (1975) e por provas de carga pelo método de Van der Veen (1953).

4.1 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho foi a seguinte:

- Coletas de dados (sondagens e provas de carga) em empresas locais, bem como publicações científicas;
- Mapeamento das obras executadas com estacas Raiz, na cidade de Fortaleza;
- Cálculo da capacidade de carga das estacas de algumas obras selecionadas pelo método semi-empírico de Aoki e Velloso (1975);
- Determinação da carga de ruptura das estacas estudadas, utilizando o método Van Der Veen (1953), a partir da realização de algumas provas de carga;
- Reavaliação dos parâmetros dos solos (K e α) do método semi-empírico de Aoki e Velloso (1975);
- Validação da reavaliação.

4.2 Coleta de dados

A coleta de dados constituiu-se no levantamento de resultados de sondagens à percussão (SPT) e de provas de carga realizadas em obras na cidade de Fortaleza, que tiveram como fundações estacas tipo Raiz. Os dados foram coletados em empresas locais executoras dessas fundações. O critério adotado para escolha das obras foi a existência de estacas tipo Raiz com provas de carga realizadas. Para o presente estudo, foram escolhidas quatro obras que utilizaram fundações com estacas do tipo Raiz de diâmetros variados (310, 350 e 410 mm). As principais características de cada obra são apresentadas a seguir:

• Obra 1

A obra 1 está situada na Rua Carlos Vasconcelos, no Bairro Aldeota. As estacas adotadas na referente obra são do tipo Raiz, de diâmetro de 410 mm. Possuem carga de trabalho igual 1400 KN e atingiram a profundidade de 14,00 m. O perfil de sondagem mostra que o terreno apresenta um aterro de cerca de 1,2 m, seguido de uma camada de areia fina, a média de cerca de 13,7 m. No fundo do perfil, tem-se uma argila arenosa, rija a dura, de 3,10 m. O nível d'água está a 5,4 m da superfície do solo e o perfil de resistência apresenta valores quase sempre crescentes (Figura 2a). A prova de carga realizada foi levada até a carga máxima de 2600 KN. Os estágios de carga foram aplicados de forma rápida, em dez estágios sucessivos de 260 KN, com leituras imediatamente após a aplicação de carga (10 minutos). O último estágio de carga levou cerca de 14 horas, até a completa estabilização das deformações. O descarregamento foi feito em quatro etapas. Observou-se, também, que a prova de carga não atingiu a ruptura (Figura 3a).

• Obra 2

A obra 2 situa-se na Avenida Monsenhor Tabosa, nº 1716, também no Bairro Aldeota. As estacas Raiz possuem diâmetro de 310 mm, com carga de trabalho de 700 KN e profundidade de 11,00 m. O perfil de sondagem mostra que o terreno apresenta um subsolo composto de uma fina camada de aterro de 2,2 m, seguido de areia fina a média cinza amarelada, de cerca de 2,45 m. Em seguida, tem-se uma camada de cerca de 0,55 m de argila arenosa com pedregulhos e, por fim, uma camada de argila arenosa, de cerca de 13,00 m. O nível d'água está a 2,0 m da superfície do solo. O perfil de resistência e os índices de resistência (SPT) são crescentes até 5,0 m. A partir daí, percebeu-se certa oscilação nos valores, com picos de resistência nas profundidades 5,00, 11,00 e 16,00 m (Figura 2b). Na prova de carga, foram aplicados

carregamentos em estágios sucessivos, não superiores a 20% da carga de trabalho da estaca, e descarregamento em estágios não superiores a 25% da carga total (Figura 3b). Neste caso, a forma de aplicação dos estágios de carga foi considerada lenta, e o intervalo entre estágios de carregamento durou 30 minutos.

• **Obra 3**

A obra 3 situa-se na Rua da Paz, nº 100, Bairro Meireles. As estacas Raiz possuem diâmetro de 350 mm, com carga de trabalho de 1000 KN. No perfil de sondagem, observou-se um subsolo composto de areia fina siltosa, com cerca de 2,00 m, seguida de uma camada de areia fina argilosa, com cerca de 5,00 m. No fundo do perfil, tem-se uma camada de areia siltosa, de cerca de 2,40 m. O nível d'água está a 5,7 m da superfície do solo e os índices de resistência são crescentes com a profundidade (Figura 2c). O resultado da prova de carga seguiu um plano de carregamento em oito estágios sucessivos de 225 KN. Cada carregamento foi mantido, no mínimo, por 15 minutos ou até ser obtida a estabilização do recalque. O descarregamento foi realizado em quatro estágios, a cada 15 minutos. Neste caso, a forma de aplicação dos estágios de carga foi de forma lenta. A prova de carga apresentada também não atingiu a ruptura do solo (Figura 3c). A estaca ensaiada apresentou comprimento de 9,00 m.

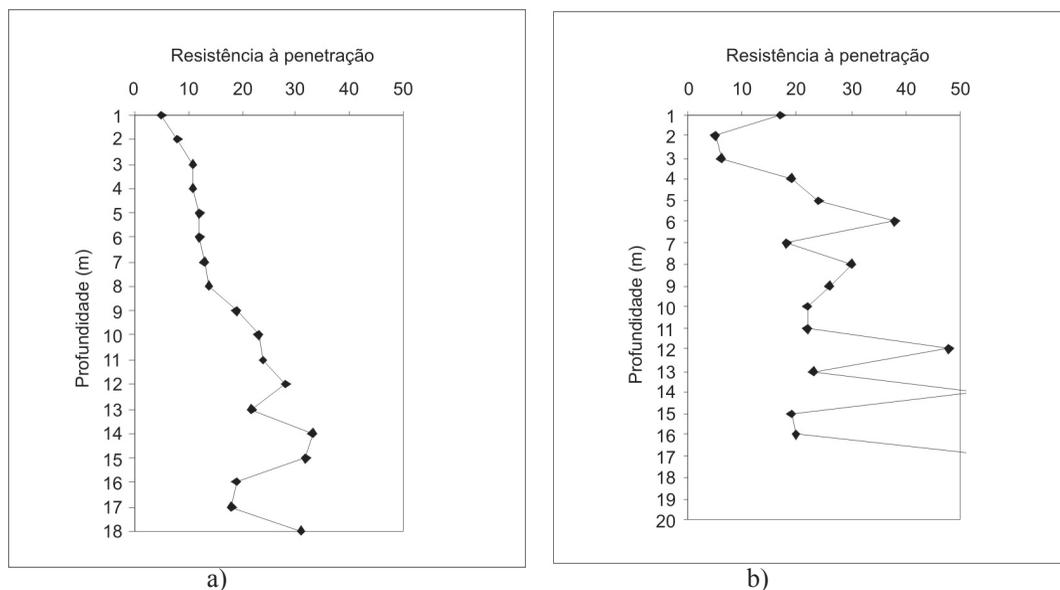
• **Obra 4**

Esta obra está situada na Rua Carlos Vasconcelos, nº 308, no Bairro Aldeota. As estacas Raiz possuem diâmetro de 350 mm, com carga de trabalho de 1100 KN. No perfil de sondagem, observou-se um subsolo composto de uma camada de areia de 3,00 m, seguido de uma camada de 6,00 m de areia siltosa e, por fim, uma camada de areia argilosa de 9,45 m. O nível d'água encontra-se a 5,25 m de profundidade da superfície do solo e o índice de resistência (SPT) é aproximadamente constante até 15m (Figura 2d). A prova de carga foi levada a nível máximo de 2200 KN, em dez estágios sucessivos de 220 KN. O descarregamento foi feito em quatro estágios. A forma de aplicação dos estágios de carga foi considerada lenta e a prova de carga não atingiu a ruptura do solo (Figura 3d). O comprimento da estaca ensaiada foi de 12,00 m.

4.3 Mapeamento das obras executadas com estaca raiz em Fortaleza

Através de informações obtidas na mais atuante empresa de fundações da cidade de Fortaleza, foram catalogadas 54 ocorrências de edificações, que utilizaram como fundações estacas tipo Raiz. Fez-se necessária a construção de um mapa de localização das ocorrências das obras catalogadas, até o mês de dezembro de 2005, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5. A conclusão a que se chegou foi a de que a maior quantidade de obras catalogadas está situada nos bairros Meireles, Aldeota, Praia de Iracema e Bairro de Fátima.

Vale destacar que o mapeamento realizado neste trabalho partiu de um levantamento anteriormente executado de forma preliminar por Machado (2002).



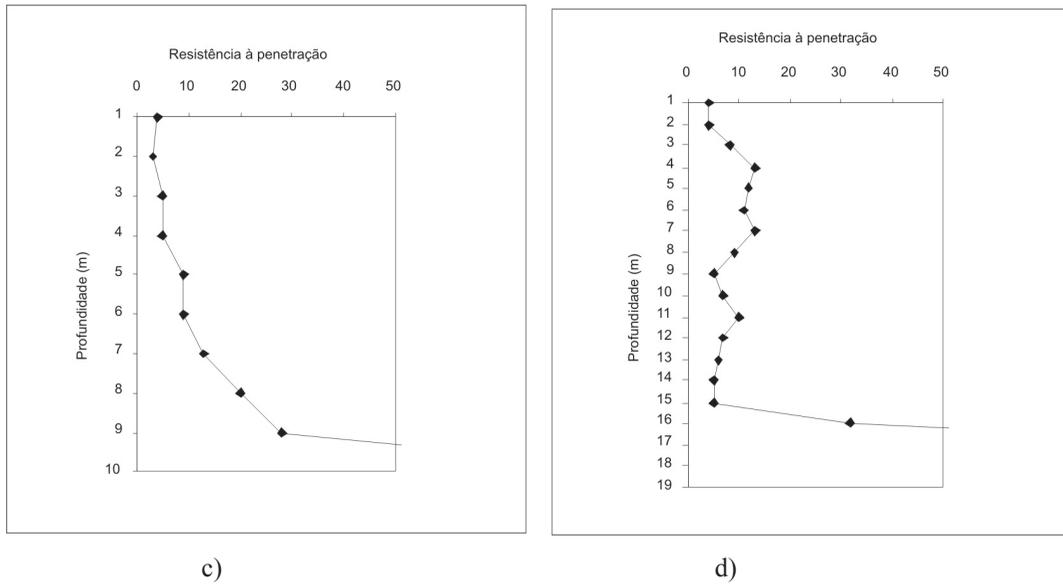


Figura 2: Sondagem à percussão a) SP – 1 da Obra nº 1; b) SP – 2 da Obra nº 2; c) SP – 1 da Obra nº 3 d) SP – 1 da Obra nº 4.

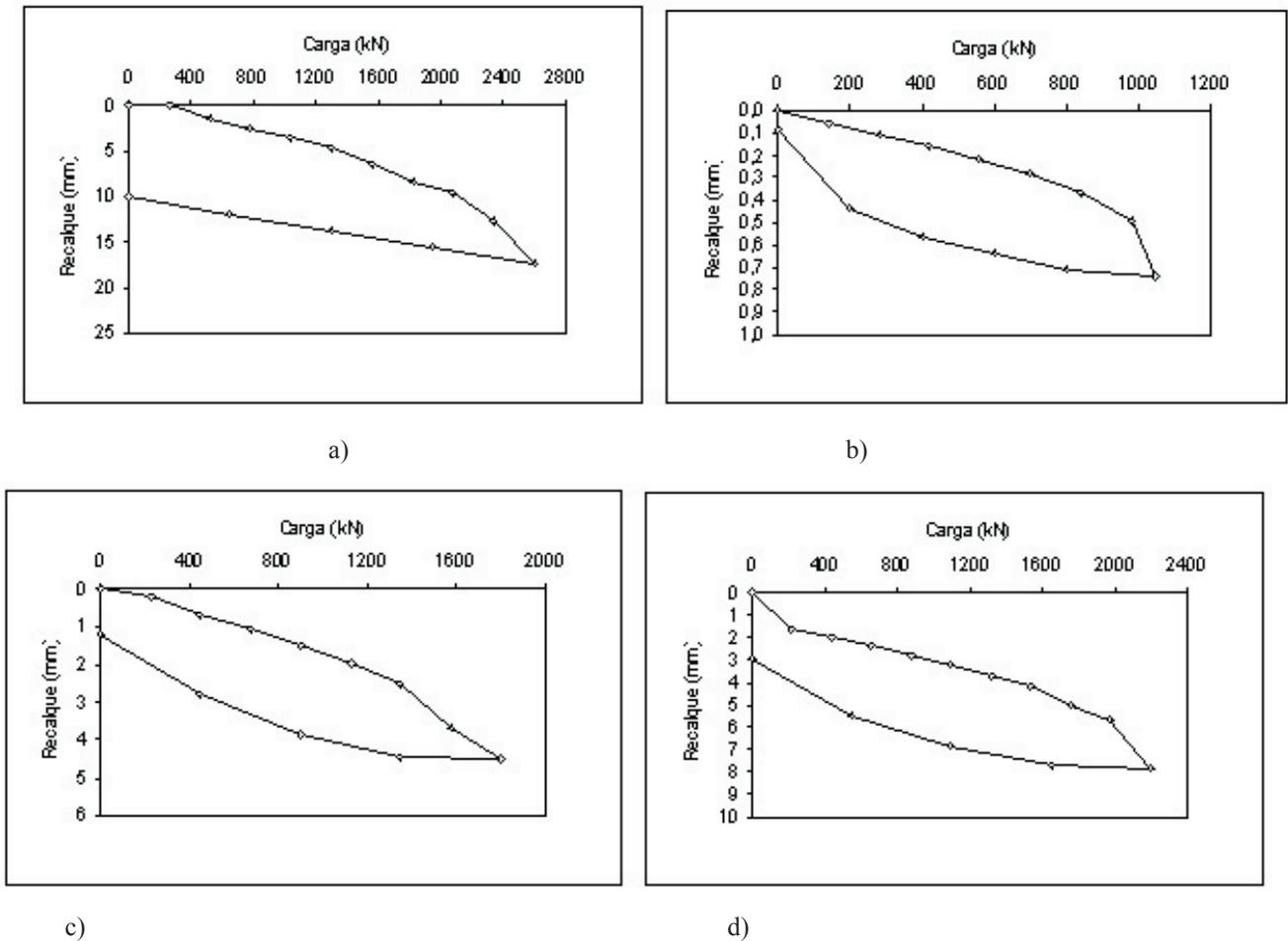


Figura 3: Resultado da prova de carga a) Obra nº 1 b) Obra nº 2 c) Obra nº 3 d) Obra nº 4.

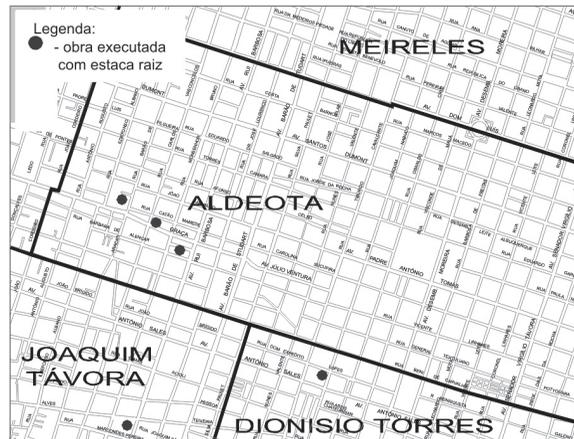


Figura 4: Distribuição espacial de obras em estaca Raiz nos bairros Meireles, Aldeota, Joaquim Távora e Dionísio Torres.



Figura 5: Distribuição espacial de obras em Estaca Raiz nos bairros Meireles e Aldeota.

4.4 Determinação da capacidade de carga das estacas Raiz pelo método semi-empírico de Aoki e Velloso (1975)

A determinação da capacidade de carga foi realizada, inicialmente, pelo método semi-empírico de Aoki e Velloso (1975). Para os cálculos, foram utilizados os parâmetros dos solos K_{AV} e α_{AV} propostos originalmente pelo método. Vale ressaltar que, na prática, esses parâmetros dos solos podem variar de uma região a outra, ocasionando erros na determinação da capacidade de carga das estacas e, por consequência, na determinação de seus comprimentos. A seguir, na Tabela 2, apresentam-se os resultados das estimativas da capacidade de carga das estacas analisadas, pelo método de Velloso (1975), nas quatro obras em estudo.

Tabela 2: Resultado do cálculo da determinação da capacidade de carga das estacas, ao longo da profundidade:

Obra	Diâmetro da Estaca Raiz (mm)	SP	Carga de Trabalho (KN)	Profundidade (m)	Q _{adm} (KN)
1	410	01	1.400	14	1.550,9
	410	04	1.400	14	1.451,0
2	310	04	700	11	702,6
	310	02	700	11	747,6
Obra 03	350	01	1.000	09	2.172,5
Obra 04	350	01	1.100	12	1.218,6
	350	02	1.100	12	1.329,6

4.5 Determinação da capacidade de carga pelo método de Van Der Veen (1953)

Após a determinação da capacidade de carga das estacas pelo método Aoki e Velloso (1975), estimou-se a capacidade de carga pelo método de Van der Veen (1953), utilizando-se os resultados das provas de carga avaliadas. A Tabela 3 mostra os resultados das extrapolações realizadas nas quatro provas de cargas utilizadas.

Tabela 3: Capacidade de carga obtida através do método de Van Der Veen (1953).

Obra	Diâmetro da Estaca Raiz (mm)	Comprimento da Estaca (m)	Capacidade de Carga Van Der Veen (KN)
1	410 mm	14,00	3000 KN
2	310 mm	11,00	1100 KN
2	350 mm	9,00	2300 KN
4	350 mm	12,00	3300 KN

4.6 Reavaliação dos parâmetros dos solos do método Aoki e Velloso (1975)

Pelo método Aoki e Velloso (1975), a resistência de ponta (Q_p) e por atrito lateral (Q_l) é dada por:

$$Q_p = S \cdot \frac{K \cdot N}{F_1} \quad (5)$$

$$Q_l = \sum U \cdot \Delta L \cdot \frac{\alpha \cdot K \cdot N}{F_2} \quad (6)$$

Reagrupando as equações 4.1 e 4.2 chega-se a:

$$K = \frac{Q_p \cdot F_1}{S \cdot N} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{Q_l \cdot F_2}{\sum U \cdot \Delta L \cdot K \cdot N} \quad (8)$$

Vale mencionar que a capacidade de carga de ruptura (Q_r) foi adotada como sendo igual aos valores obtidos pelo método Van Der Veen (1953). Os valores de Q_p e Q_l foram estimados, considerando-se as mesmas proporções entre Q_l e Q_p indicadas pelo método semi-empírico de Aoki e Velloso (1975).

Os valores médios de K_{AV} e α_{AV} reavaliados estão apresentados na Tabela 4 e comparados com os correspondentes parâmetros, K e α , do método original proposto por Aoki e Velloso (1975). Os novos parâmetros K_{AV} e α_{AV} reavaliados em cada obra específica estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 4: Valores médios dos novos parâmetros K e α para alguns tipos de solos na cidade de Fortaleza, comparados com o proposto por Aoki e Velloso

Tipo de Solo	K (KPA)	K_{AV}	α (%)	α_{AV} (%)
Argila Arenosa	282	350	2,6	2,4
Areia Siltosa	420	800	1,5	2,0
Areia Argilosa	815	600	3,1	3,0

Tabela 5: Parâmetros do solo K e α determinados para alguns tipos de solos na cidade de Fortaleza.

Tipo de Solo	K (KPA)	α (%)	Obs:
Argila Arenosa	300	2,4	Parâmetros obtidos da obra nº 01 e SP01
Argila Arenosa	333	2,8	Parâmetros obtidos da obra nº 01 e SP04
Argila Arenosa	205	3,0	Parâmetros obtidos da obra nº 02 e SP02
Argila Arenosa	290	2,0	Parâmetros obtidos da obra nº 02 e SP03
Areia Siltosa	420	1,5	Parâmetros obtidos da obra nº 03 e SP01
Areia Argilosa	808	3,3	Parâmetros obtidos da obra nº 04 e SP01
Areia Argilosa	821	2,9	Parâmetros obtidos da obra nº 04 e SP02

Após a reavaliação observou-se que as maiores diferenças encontradas nos parâmetros K e α , quando comparadas com as do método Aoki e Velloso (1975), corresponderam ao solo do tipo argila arenosa. A menor diferença se deu para o solo do tipo areia siltosa.

5 Validação da reavaliação dos parâmetros dos solos para cidade de Fortaleza

A validação da reavaliação foi realizada comparando-se a capacidade de carga estimada a partir dos resultados de provas de carga com os valores estimados pelo método Aoki e Velloso (1975), porém, utilizando-se os valores de K e α reavaliados.

Na Tabela 6, estão indicados os resultados da validação da reavaliação realizada, assim como os erros obtidos com a utilização dos novos valores de k e α , na estimativa da capacidade de carga das fundações das obras de número 01 a 04.

Tabela 6: Resultados da validação da reavaliação realizada e erros obtidos.

Obra	Comp. (m)	Tipo de Solo	Parâmetros		Capacidade de Carga (Ton.)		Erro (%)
			K (KPa)	α (%)	Prova de Carga	Reavaliação	
01	14,00	Argila Arenosa	300	2,4	3000 KN	2894,90 KN	3,50
01	14,00	Argila Arenosa	333	2,8	3000 KN	2925,50 KN	2,48
02	11,00	Argila Arenosa	205	3,0	1100 KN	1028,40 KN	6,50
02	11,00	Argila Arenosa	290	2,0	1100 KN	1120,70 KN	1,88
03	9,00	Areia Siltosa	420	1,5	2300 KN	2298,70 KN	0,01
04	12,00	Areia Argilosa	808	3,3	3300 KN	3321,00 KN	0,63
04	12,00	Areia Argilosa	821	2,9	3300 KN	3406,80 KN	3,23

Vale destacar que, para a determinação do erro de k e α , utilizou-se a seguinte expressão:

$$\epsilon = \frac{V_r - V_o}{V_r} \times 100 \quad (9)$$

Onde V_r é o valor real, considerando como sendo igual ao valor da capacidade de carga estimado a partir da realização de prova de carga, e V_o é valor estimado a partir dos parâmetros k e α reavaliados.

6 Conclusões

A realização deste artigo permitiu o estabelecimento das seguintes conclusões:

- a) As estacas raiz são uma alternativa viável para as fundações de edifícios situados em áreas urbanas, principalmente em locais de vizinhança susceptíveis a danos por efeito de vibrações de estacas cravadas;
- b) Em Fortaleza, as maiores ocorrências de obras construídas com fundações em estacas Raiz estão concentradas nos bairros Aldeota, Meireles e bairro de Fátima;
- c) Os valores dos parâmetros K reavaliados foram de 282, 420 e 815 kPa para os solos argila arenosa, areia siltosa e areia argilosa, respectivamente;
- d) Os valores dos parâmetros α reavaliados foram de 2,6, 1,5 e 3,1 % para os solos argila arenosa, areia siltosa e areia argilosa, respectivamente;
- e) Considerando-se os valores propostos originalmente pelo método Aoki e Velloso (1975), os novos valores de K e α reavaliados neste trabalho apresentam diferenças de 5% a 47% para o parâmetro K e de 0% a 25% para α .

Agradecimento

Os autores do presente artigo agradecem à Universidade de Fortaleza (UNIFOR), pelo apoio, e às empresas Fundações Ltda e Geobrasil Ltda, por cederem os dados necessários para a realização do presente estudo.

Referências

- ANTUNES, W. R.; CABRAL, D. A. Capacidade de carga de estacas hélice contínua. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E ESPECIAIS, 3., 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABEF, 1996. v. 2, p. 105-109.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 5., 1975, Buenos Aires. *Anais...* Buenos Aires: ISSMGE, 1975. p. 116-127.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6122/96: projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, 1996.
- CABRAL, D. A. O Uso de estacas raiz como fundação de obras normais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 8., 1986, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ABMS, 1986. v. 6, p. 71-82.
- COELHO, T. B. *Projeto e execução de estacas hélice contínua em Fortaleza*. 2004. 37 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação)-Curso de Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2004.
- CUNHA, R. P.; MIRANDA, A. N.; MOURA, A. S. Análise comparativa de metodologias de previsão de capacidade de carga de fundações profundas em Fortaleza-CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., 1998, Brasília, DF. *Anais...* Brasília, DF: ABMS, 1998. p. 1583-1590. 1 CD-ROM.
- DECOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 4., 1978, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS, 1978. p. 45-53.
- FONTENELE, M. M. *Retroatálise do método semi-empírico de Aoki e Velloso para determinação dos parâmetros dos solos da cidade de Fortaleza*. 2004. 41 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação)-Curso de Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2004.
- HACHICH, W. et al. *Fundações: teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. 760 p.
- MACHADO, P. P. *Estaca raiz como alternativa de fundação de edifícios em Fortaleza-CE*. 2003. 46 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação)-Curso de Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2003.
- MOURA, A. S. *Caracterização geotécnica para projetos de fundações de edifícios em Fortaleza - CE*. 1997. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1997.
- PRESA, E. P.; POUSADA, M. C. *Retrospectiva e técnicas modernas de fundações em estacas*. Salvador: ABMS-BA, 2001.
- VEEN, C. VAN DER The bearing capacity of a pile. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 3., 1953, Zurich. *Proceedings...* Zurich: ICOSOMEF, 1953. v. 2. p. 84-90.

SOBRE OS AUTORES

Cecília Medeiros Cardoso

Engenheira Civil pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR. Especialista em Engenharia Estrutural - UNIFOR. Atua como Engenheira de Fundações das empresas FUNDAÇÕES Ltda e GEOBRASIL Ltda.

Alfran Sampaio Moura

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Especialista em Engenharia Rodoviária – UFC. Mestre em Geotecnia pela Universidade de Brasília – UnB. Doutorando em Geotecnia, pela UnB. Leciona disciplinas na área de Geotecnia e Transportes na UNIFOR.