

Execução e Previsão de Capacidade de Carga de Estacas Rotativas-Injetadas

Juliane Andréia F. Marques e José Carlos A. Cintra
Universidade de São Paulo, Departamento de Geotecnia, São Carlos, SP

RESUMO: Este trabalho apresenta um tipo de estaca escavada de pequeno diâmetro (no máximo 45 cm) conhecida por Estaca Rotativa-Injetada, que tem sido projetada e executada em centenas de obras de pequeno a médio porte (edifícios, pontes, silos, etc.) em alguns estados do norte e nordeste do Brasil. São apresentados alguns detalhes quanto a sua aplicação, execução e desempenho, e é proposta uma formulação para a previsão da capacidade de carga desse tipo de estaca, conhecendo-se apenas os dados fornecidos pelos perfis de sondagens, com valores de SPT. Dentre suas peculiaridades, mostra-se, por exemplo, que em terrenos onde ocorrem camadas intercaladas de areias fofas e médias, o fuste da Estaca Rotativa-Injetada sofre um aumento gradativo de diâmetro (da ordem de 30%). Além disso, são efetuados intencionalmente alargamentos de fuste ("bulbos") em profundidades previamente escolhidas nos estratos mais densos. A metodologia de cálculo proposta é confrontada com 25 provas de carga realizadas nas cidades de Aracaju, Maceió e Recife, aliada à observação do bom comportamento de obras assentes sobre esse tipo de estaca, ao longo dos últimos dez anos.

PALAVRAS-CHAVES: Estaca Rotativa-Injetada, Execução, Prova de Carga, Capacidade de Carga.

1 INTRODUÇÃO

A Estaca Rotativa-Injetada originou-se na cidade de Maceió, na segunda metade da década de 80, em decorrência das grandes dificuldades existentes na execução de estacas convencionais, na região praieira daquela cidade. Essas dificuldades residiam na necessidade que se tinha de atravessar uma camada de areia (eventualmente calcário arenítico) medianamente compacta a compacta (SPT superior a 20 golpes), a 2 ou 3 m de profundidade, com espessura média estimada em 4 m, para assentar a ponta das estacas em profundidade média da ordem de 12 m.

Os altos custos operacionais de execução da estaca raiz (principalmente quando executada por equipamentos pouco apropriados), incompatíveis com o mercado da região, fizeram com que ocorressem mudanças gradativas na forma de execução da estaca raiz até chegar às Estacas Rotativas-Injetadas, as quais nada mais são do que estacas escavadas de pequeno diâmetro (no máximo 45 cm),

executadas com perfuratrizes comuns. As perfurações são feitas com circulação d'água, quando o terreno permite, ou com lama de argila caolinita, ilita ou motmorilonita, e o fuste é preenchido com argamassa pelo processo submerso, por meio de bombeamento.

2 ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

As áreas de interesse deste trabalho, nas cidades de Recife, Maceió e Aracaju, são planícies de origem flúvio-marinhas e lacustres formadas no período Quaternário (Coutinho 1988, Carvalho Filho *et al.* 1987, Lima 1990 e Schaller 1969). No aspecto geotécnico, Recife e Aracaju apresentam predominantemente perfis constituídos por areias de compactação variável e argilas orgânicas (ou turfás), muito moles a moles, intercaladas ou não. Nos primeiros metros do subsolo de Maceió, ocorrem areias fofas a compactas, sobrejacentes a uma camada de areia fina siltosa com fragmentos de

crustáceos, fofa, seguida de areias compactas ou arenito (Marques, 1985).

3 EXECUÇÃO DAS ESTACAS ROTATIVAS-INJETADAS

As Estacas Rotativas-Injetadas são executadas por meio de perfuratrizes capazes de perfurar mais de 30 m em terrenos em que ocorrem estratos de alta resistência, com diâmetros de 10 a 45 cm. As perfurações são feitas com circulação de lama ou com água (quando o terreno permite), injetada por meio de motor-bomba. As etapas de execução são mostradas na Figura 1.

Quando ocorrem estratos, de maior compactidade ou consistência, próximos à superfície, pode-se, através de um movimento para frente e para trás da base móvel, sobre a base fixa da perfuratriz, alargar o fuste da estaca criando "bulbos", dentro daqueles estratos. Com isto obtém-se uma estaca com maior capacidade de carga. Os bulbos têm saliências, em relação à parede do furo, de aproximadamente 10 cm, o que corresponde à diferença entre o raio da haste de perfuração e o raio do fuste. O comprimento deles é da ordem de 35 cm. As

observações de execução, de resultados de provas de carga, etc., demonstram que não se obtêm bulbos eficientes, quando executados em profundidades superiores a 3 m. Isto ocorre porque à medida que a profundidade aumenta, a força de compressão horizontal, que o conjunto haste-peça cortante exerce sobre a parede do furo, diminui.

É perfeitamente compreensível que quanto maior o comprimento da haste de perfuração maior será sua flexibilidade. Por essa razão, quando o terreno oferece vantagens para o alargamento do fuste, executa-se um bulbo em torno do centro daquela camada de boa compactidade, o qual normalmente fica situado entre 1 e 3 m de profundidade.

No processo de perfuração com lama, utilizado na execução das Estacas Rotativas-Injetadas, como no caso de poços, a lama tem a função, entre outras, de carrear para a superfície os fragmentos de materiais triturados pela broca. Esse fato torna muito difícil, se não impossível, adotar para as lamas utilizadas nas perfurações dessas estacas, as mesmas especificações e o mesmo controle executivo da lama bentonítica empregada na execução das estacas escavadas convencionais.

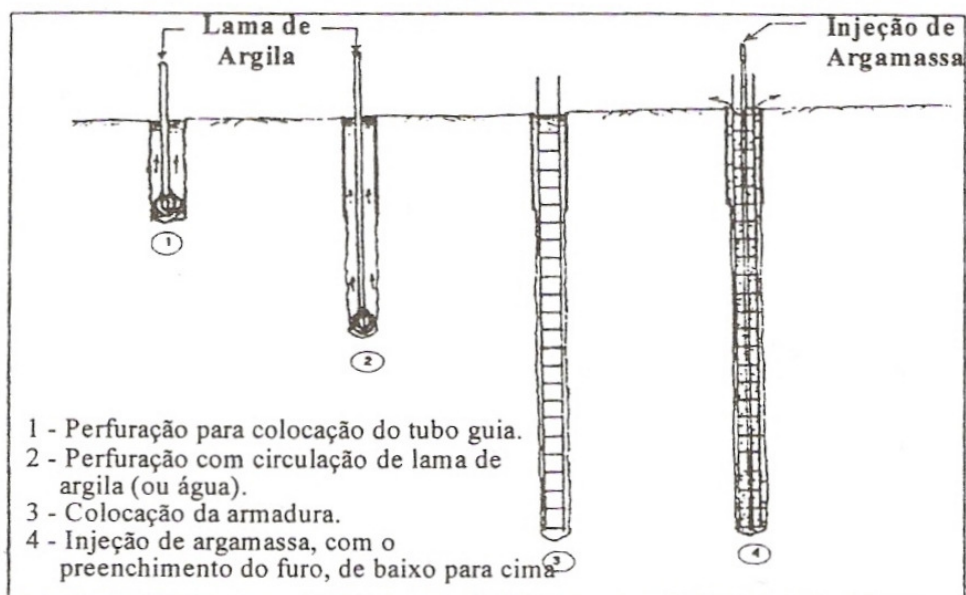


Figura 1. Etapas da execução da estaca Rotativa-Injetada.

Argilas "in natura", com baixo teor de areia (< 2%), obtidas em jazidas que abastecem indústrias de cerâmica (olarias), podem ser dissolvidas em recipientes próprios, por processos manuais, e transformadas em lamas estabilizantes de perfuração. Essas lamas, em estado virgem (antes do uso), têm peso específico de 10,5 a 10,8 kN/m³, teor de areia de 0,1 a 2,0%, pH médio de 9 e viscosidade média de 34s (funil de Marsh). Em geral após a perfuração, apresentam peso específico de 11,0 a 15,0 kN/m³, teor de areia de 2 a 20%, pH médio de 7,5 e viscosidade média de 33s.

A argamassa de enchimento do fuste é confeccionada, em geral, com traço de 1:2 (cimento : areia) e fator água/cimento variável entre 0,8 e 1,0. Nessas condições, apresenta um f_{ck} médio de 22 MPa, peso específico variável em estado fluido de 1,90 a 1,95 kN/m³ e sólido de 2,00 a 2,05 kN/m³.

Sabe-se que uma lama, com alta concentração de detritos, pode ter peso específico de até 15,0 kN/m³. Por outro lado, a recirculação da lama, após a conclusão da perfuração, por mais algum tempo (15 a 20 minutos), confere-lhe um peso específico entre 10,5 kN/m³ e 11,0 kN/m³. O peso específico maior da argamassa e a força de expulsão da bomba de injeção garantem a completa substituição da lama que está dentro do furo, pela argamassa.

4 METODOLOGIA DE CÁLCULO PROPOSTA

A Metodologia de Cálculo Proposta (MCP) neste trabalho, para a previsão da capacidade de carga das Estacas Rotativas-Injetadas, fundamenta-se nas seguintes hipóteses:

1^a. Adota-se o modelo de cálculo do método Décourt-Quaresma (1978), contudo operam-se adaptações, principalmente nos valores do fator característico dos solos, nos limites dos valores de SPT e na fórmula do cálculo da adesão lateral, em alguns casos.

2^a. Para solos não coesivos, fofos a pouco compactos, considera-se um aumento médio do diâmetro do fuste da estaca, em torno de 30 %, que se inicia e termina nas imediações das

divisas entre camadas com as citadas compacidades e camadas com compacidades maiores.

3^a. No cálculo da resistência de ponta, considera-se o efeito do afinilamento do fuste, nos casos em que ocorre a variação natural do diâmetro do fuste. Para isso, soma-se ao valor da resistência de ponta convencional a resistência devido ao afinilamento do fuste, a qual se obtém multiplicando-se a capacidade de carga do solo, nas imediações em que ocorre a variação do diâmetro do fuste, pela área da coroa circular. Esta coroa circular tem, para diâmetro interno, o valor do diâmetro nominal da estaca e, para externo, o valor do diâmetro interno acrescido de 30%, aproximadamente.

4^a. No cálculo da resistência lateral, para as regiões sedimentares do Quaternário e do Terciário (Formação Barreiras) semelhantes às de Maceió e Recife, limita-se o SPT médio ao longo do fuste (\bar{N}_l) em 20. De modo semelhante, no cálculo da capacidade de carga do solo na ponta da estaca, limita-se a média dos três valores de SPT (\bar{N}_p) em 15.

5^a. No cálculo do efeito de afinilamento adota-se a média entre os dois valores de SPT, registrados no trecho em que ocorre a variação do diâmetro do fuste, mantendo-se o limite $\bar{N}_a = 20$, para $N > 20$.

6^a. Quando há alargamento proposital do fuste (bulbo), considera-se $N = 20$, para $N \geq 20$.

7^a. Para o cálculo da aderência lateral em Maceió e Recife, nos casos específicos de argilas arenosas ou areias argilosas e argilas siltosas ou siltes argilosos submersos, adota-se a fórmula:

$$r_l = 10 \left(\frac{\bar{N}}{3} + 0,3 \right), \text{ em kPa, com } \bar{N} \leq 20 \quad (1)$$

Para os demais casos nessas regiões, usa-se a expressão original de Décourt-Quaresma mas limitando o SPT médio ao longo do fuste em $\bar{N}_l \leq 20$:

$$r_l = 10 \left(\frac{\bar{N}}{3} + 1 \right), \text{ em kPa, com } \bar{N} \leq 20 \quad (2)$$

Para a cidade de Aracaju, adota-se a seguinte fórmula:

$$r_1 = 10 \left(\frac{\bar{N}}{5} + 1 \right), \text{ em kPa, com } \bar{N} \leq 20 \quad (3)$$

8ª. Para o cálculo da resistência de ponta em Aracaju, aplica-se a expressão de Décourt-Quaresma, introduzindo-se porém um limite para o SPT médio na ponta da estaca:

$$\bar{N}_p \leq 15 \text{ quando solo for areia pura e}$$

$$\bar{N}_p \leq 10 \text{ para os demais solos.}$$

9ª. Não se considera limite inferior para o SPT, em nenhum caso.

10ª. Para o fator característico do solo consideram-se os valores da Tabela 1, ajustados com provas de carga.

Tabela 1. Fator característico do solo (C).

Período Geológico	Regiões	TIPO DE SOLO	C (kPa)
QUATERNÁRIO	RECIFE MACEIÓ	Areia fina ou siltosa cálcica	300
		Areia siltosa	180
		Argila areno siltosa	160
		Silte arenoso	140
		Silte	120
		Argila siltosa argilosa	
	Silte argiloso		
	Argila	100	
	ARACAJU	Areia	200
		Areia siltosa ou silte arenoso	140
		Areia argilosa	120
		Areia silte argilosa	
		Argila siltosa ou arenosa	
	Argila ou silte	90	
TERCIÁRIO (FORMAÇÃO BARREIRAS)	RECIFE MACEIÓ ARACAJU	Areia argilo siltosa	180
		Argila areno siltosa	
		Silte argilo arenoso	
		Silte argiloso	160
Argila siltosa			

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A metodologia de cálculo de previsão da carga de ruptura, aqui proposta, foi aplicada a 25 Estacas Rotativas-Injetadas (identificadas por E1 a E25), cujos diâmetros, comprimentos e locais onde foram executadas são mostrados na Tabela 2. Nesta tabela também se apresenta, para cada prova de carga, a carga máxima de ensaio com o respectivo recalque atingido.

Na Tabela 3 mostram-se os prováveis valores de carga de ruptura segundo os critérios de Van der Veen (1953) - VDV e da NBR-6122/96, pela Metodologia de Cálculo Proposta - MCP e pelos métodos Décourt-Quaresma (1978) - DQ, Aoki-Velloso (1975) - AV, Teórico de Terzaghi (1943) - TT e Pedro Paulo Velloso (1979) - PPV.

Tabela 2. Dados das provas de carga.

Estaca	D (m)	L (m)	P _{máx} (kN)	ρ _{máx} (mm)	Local
E1	0,30	12,0	560	38,18	Aracaju
E2	0,35	8,0	340	20,46	Aracaju
E3	0,30	12,0	600	34,18	Aracaju
E4	0,35	8,0	750	37,27	Aracaju
E5	0,35	8,0	690	50,11	Aracaju
E6	0,35	16,0	720	44,36	Aracaju
E7	0,32	11,5	800	47,73	Maceió
E8	0,32	7,0	750	53,12	Maceió
E9	0,40	12,0	980	48,92	Maceió
E10	0,35	21,0	1342	35,45	Maceió
E11	0,30	3,0	450	29,03	Teresina
E12	0,30	29,0	750	16,99	Recife
E13	0,30	14,0	400	46,90	Aracaju
E14	0,32	17,5	780	7,36	Maceió
E15	0,40	10,0	1000	11,13	Maceió
E16	0,32	10,5	800	4,36	Maceió
E17	0,32	12,0	1000	20,80	Maceió
E18	0,40	8,5	1106	5,77	Maceió
E19	0,32	10,0	1264	18,93	Maceió
E20	0,32	13,0	750	9,60	Maceió
E21	0,22	10,5	600	8,18	Maceió
E22	0,32	17,0	1040	6,55	Recife
E23	0,32	7,0	840	32,83	Maceió
E24	0,30	18,0	790	3,73	Recife
E25	0,40	5,5	948	49,47	Maceió

Os resultados de carga de ruptura obtidos por esses consagrados métodos de cálculo são apresentados sem o objetivo de avaliá-los. Sabe-se perfeitamente que não foram desenvolvidos para esse determinado tipo de estaca e por isso, muito provavelmente, não devem fornecer resultados satisfatórios.

A Figura 1 mostra a comparação dos valores da carga de ruptura obtidos por aqueles métodos de previsão com os obtidos pelo critério de Van der Veen - VDV. Na Figura 2 tem-se a comparação da carga de ruptura obtida pela Metodologia de Cálculo Proposta - MCP com a encontrada pelo critério de Van der Veen.

Tabela 3. Valores de carga de ruptura obtidos nas provas de carga (VDV e NBR), pela Metodologia de Cálculo Proposta (MCP) e pelos demais métodos de previsão.

Estaca	VDV (kN)	NBR (kN)	MCP (kN)	DQ (kN)	AV (kN)	TT (kN)	PPV (kN)
E1	721	446	787	703	403	108	891
E2	388	307	427	415	292	400	390
E3	653	548	668	470	298	206	295
E4	826	610	759	169	207	469	610
E5	765	480	608	900	550	527	535
E6	871	571	960	200	194	160	185
E7	871	664	908	106	115	681	675
E8	818	557	692	754	688	455	480
E9	131	756	112	150	973	104	110
E10	160	152	145	122	136	720	785
E11	490	336	495	187	127	980	111
E12	817	816	786	882	492	715	815
E13	495	184	469	571	193	416	382
E14	864	864	924	155	178	798	970
E15	108	103	110	105	120	914	935
E16	125	125	112	813	104	617	675
E17	126	123	133	731	576	484	601
E18	126	126	141	176	257	134	183
E19	148	142	147	217	238	955	106
E20	129	128	106	131	160	100	115
E21	686	686	696	604	483	467	470
E22	113	113	121	142	210	651	531
E23	103	750	989	108	112	726	682
E24	121	121	127	151	143	816	101
E25	107	700	919	846	714	721	805

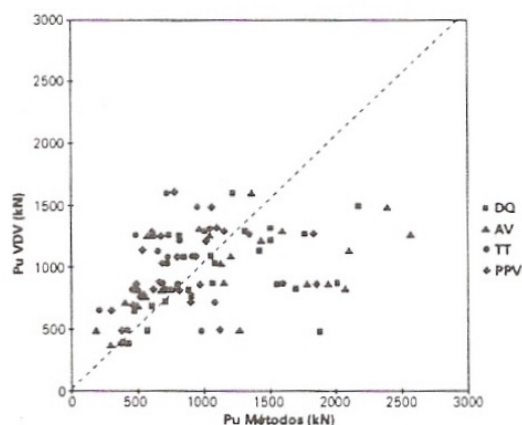


Figura 1. Comparação da carga de ruptura obtida pelos vários métodos e por VDV.

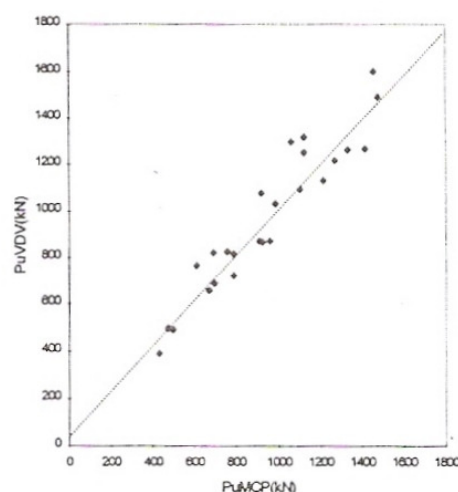


Figura 2. Comparação da carga de ruptura obtida pela MCP e por VDV.

As estacas E₁ a E₁₃ constituem a base da formulação proposta para obtenção da carga de ruptura das Estacas Rotativas-Injetadas. Isto porque, nessas estacas, a carga máxima de ensaio foi muito próxima da carga de ruptura, ou o recalque máximo atingido no ensaio foi bem superior a 10 % do diâmetro da estaca e o "mergulho" (pequenos incrementos de carga correspondendo a grandes incrementos de recalques) da curva carga x recalque para a ruptura, ficou bem definido.

Para esse grupo de estacas (E₁ a E₁₃) foi calculada a carga de ruptura pela MCP e pelos demais métodos já referenciados, com as

hipóteses de diâmetro real e nominal. Os cálculos com diâmetro real e nominal decorrem das variações que existem no diâmetro do fuste de uma Estaca Rotativa-Injetada, quando se têm camadas de areias fofas e compactas (ou medianamente compactas) intercaladas.

As Tabelas 4 e 5 apresentam, em termos percentuais de erros absolutos, a variabilidade do erro da carga de ruptura prevista pela MCP e pelos outros métodos citados, em relação aos obtidos por Van der Veen. A Tabela 4 refere-se as estacas E1 a E13 enquanto que a Tabela 5 é

referente as estacas E1 a E25 com diâmetro nominal. Para o cálculo da variabilidade dos resultados (percentuais de erros absolutos), considerou-se a diferença em módulo entre o valor de VDV e o do método analisado, dividido por VDV. Nestas tabelas, Eméd, Emín, Emáx, DP e CV significam, respectivamente, erro médio, erro mínimo, erro máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. O CV é definido pela relação entre o desvio padrão e o erro médio, percentualmente.

Tabela 4. Variabilidade dos resultados de carga de ruptura da MCP e dos demais métodos em relação a VDV, para as estacas E1 a E13.

	MCP (R)	MCP (N)	DQ (R)	DQ (N)	AV (R)	AV (N)	TT (R)	TT (N)	PPV (R)	PPV (N)
Eméd(%)	8,7	20,7	57,7	51,1	73,9	59,6	39,0	42,3	43,1	40,7
Emín(%)	1,0	1,0	1,6	2,5	4,8	14,6	5,1	3,1	1,7	0,2
Emáx(%)	20,5	51,9	220,8	282,0	435,3	159,2	105,3	100,0	137,8	127,6
DP(%)	5,6	14,0	64,0	79,8	120,7	50,9	34,0	29,0	46,2	38,9
CV(%)	64,1	68,0	110,7	156,0	163,2	85,4	87,2	68,6	107,4	95,6

Tabela 5. Variabilidade dos resultados de carga de ruptura das estacas E1 a E25, com diâmetro nominal, obtidos pela MCP e pelos demais métodos em relação a VDV.

	MCP	DQ	AV	TT	PPV
Eméd(%)	8,0	40,1	53,1	36,8	35,9
Emín(%)	0,6	1,5	9,4	3,1	0,24
Emáx(%)	20,5	282,0	159,2	100,0	127,5
DP(%)	5,4	59,6	43,8	24,0	29,9
CV(%)	67,9	148,8	82,6	65,2	83,3

Os dados da Tabela 4 mostram que o percentual de erro médio e o desvio padrão desses métodos, considerando diâmetro real por exemplo, são maiores que os da MCP de 4,5 a 8,5 e de 6,0 a 21,5 vezes, respectivamente. Ainda se observa nessa tabela que a consideração de diâmetro real piora alguns índices de variabilidade de resultados dos métodos analisados mas melhoram todos os índices obtidos pela MCP.

Os valores da Tabela 5 mostram que os bons resultados de previsão da carga de ruptura obtidos pela MCP para as estacas E1 a E13 são mantidos. O erro médio percentual, em relação a Van der Veen (Tabela 4), por exemplo, que foi de $8,7\% \pm 1,6\%$ (variação estimada entre 7,1% a 10,3%), é apenas 8,0% nos valores de carga de ruptura das estacas E1 a E25. Destacam-se nessas tabelas as diferenças enormes de amplitude de erro absoluto (Emín, Emáx) entre a MCP e os demais métodos. Verifica-se que em relação a Van der Veen, o percentual de erro médio dos métodos analisados é maior que o da MCP de 4,5 a 6,6 vezes.

A Tabela 6 apresenta a carga admissível das 25 estacas, e seus respectivos recalques. Para o cálculo e avaliação da carga admissível das Estacas Rotativas-Injetadas, considerou-se um recalque máximo de 40 mm, tomando-se como referência as sugestões de Skempton e MacDonald (1956) para recalques admissíveis

de fundações isoladas, assentes sobre areias, de edificações comuns. Dividiu-se por 2,0 a carga de ruptura obtida por Van der Veen e dividiu-se por 1,5 a carga correspondente a um recalque de 40 mm, determinada na curva carga x recalque; adotou-se então o menor dos dois valores (conforme recomendações da NBR). Em seguida, pesquisou-se o menor coeficiente de segurança a ser atribuído aos valores de carga de ruptura fornecidos pela MCP a fim de garantir cargas admissíveis previstas sempre menores que as determinadas em provas de carga. Encontrou-se o valor de 2,25.

Tabela 6. Cargas admissíveis obtidas por Van der Veen (VDV) e pela Metodologia de Cálculo Proposta (MCP) e os recalques correspondentes

Estaca	VDV		MCP	
	\bar{P} (kN)	ρ (mm)	\bar{P} (kN)	ρ (mm)
E1	360	14,85	350	14,00
E2	194	4,88	190	4,40
E3	326	7,5	297	6,30
E4	413	8,88	337	5,80
E5	382	9,0	270	5,00
E6	435	12,5	426	12,25
E7	435	8,41	403	7,20
E8	409	10,28	307	5,60
E9	656	15,0	501	9,90
E10	800	10,9	647	6,24
E11	245	5,2	220	4,30
E12	408	3,58	349	2,58
E13	247	25,7	208	22,00
E14	432	2,27	411	2,05
E15	544	2,28	490	1,90
E16	626	2,83	501	1,95
E17	630	9,32	593	8,70
E18	633	1,62	629	1,58
E19	744	8,96	657	7,20
E20	646	5,0	474	3,05
E21	343	2,2	309	1,80
E22	566	2,07	542	2,00
E23	515	12,84	439	10,00
E24	606	2,47	566	2,40
E25	538	9,0	408	5,26

A margem de erro dos resultados finais de previsão de carga admissível das 25 estacas analisadas, fornecidos pela MCP, pode ser considerada boa, levando-se em conta as

variáveis que se têm envolvidas na questão. Dentre essas variáveis destacam-se o material que constitui o fuste (algumas dessas estacas foram executadas com calda de cimento), a diversificação dos tipos de solo que constituem os subsolos em que elas foram instaladas, as anomalias (formações de ondulações, “joelhos”, placas, às vezes imprevisíveis) que seus fustes podem apresentar e a capacidade de erodibilidade hidráulica de cada solo.

As 25 estacas foram executadas em terrenos sedimentares, constituídos por sedimentos de praia, lacustre e Formação Barreiras. Os solos da Formação Barreiras têm características geológicas e geotécnicas diferentes dos sedimentos marinhos ou praieros. Dentre as estacas analisadas, somente a E9 foi executada em solo desta formação. Apesar dos resultados obtidos na prova de carga dessa estaca terem fornecido elementos bastantes favoráveis a uma boa análise, outras provas de carga são necessárias para se ter melhores previsões de carga de ruptura.

A capacidade de erodibilidade hidráulica que um solo esboça, diante do fluxo d'água da bomba de perfuração é um fator muito importante no formato do fuste e na resistência lateral. Esse fato é fortemente observado nas areias finas siltosas da cidade de Aracaju. Os valores baixos de carga de ruptura das Estacas Rotativas-Injetadas, executadas nessas areias, de alta resistência à penetração (SPT > 30), provavelmente são decorrentes dessa característica erodível que possuem.

Outros detalhes do comportamento e da própria execução deste tipo de estaca podem ser encontrados em Marques (1997).

6. CONCLUSÕES

Pelo exposto, quanto a execução e a metodologia de previsão de carga de ruptura das Estacas Rotativas-Injetadas, conclui-se que:

1°. O processo de execução das Estacas Rotativas-Injetadas lhes dá um fuste de anatomia diferente das estacas convencionais. Essa diferença é muito importante quando o perfil do subsolo é arenoso e tem camadas fofas e compactas, intercaladas.

2°. As dimensões das regiões envolvidas e as peculiaridades próprias das Estacas Rotativas-Injetadas, implicaram muitas condicionantes estabelecidas na Metodologia de Cálculo Proposta, para obtenção da carga de ruptura, com razoável precisão.

3°. As provas de carga mostraram que as Estacas Rotativas-Injetadas, instaladas em areias finas puras ou siltsosas, da cidade de Aracaju, têm menor capacidade de carga que as executadas em Maceió e Recife em areias de mesmas características geotécnicas e de resistência à penetração.

4°. O erro percentual médio dos resultados de carga de ruptura obtidos pela Metodologia de Cálculo Proposta é de apenas 15,0 a 22,2% do erro percentual médio de outros métodos analisados.

5°. Para a previsão de carga admissível de Estacas Rotativas-Injetadas, constatou-se que se deve atribuir um coeficiente de segurança mínimo de 2,25 (por exemplo 2,5 ou 3,0) à Metodologia de Cálculo Proposta. Coeficientes de segurança maiores ainda devem ser cogitados para edificações mais sensíveis a recalques.

6°. Os estudos desenvolvidos neste trabalho confirmam que um método de previsão de capacidade de carga de estaca deve contemplar as variações regionais. Apesar das três regiões (Recife, Maceió e Aracaju) terem a mesma formação geológica, os fatores característicos dos solos e a formulação proposta para Aracaju resultaram diferentes de Recife e Maceió.

REFERÊNCIAS

ABNT/NBR 6122 (1996) Projeto e Execução de Fundações.

Aoki, N. e Velloso, D.A. (1975) An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles, *V Cong. Panam. de Mec. de Suelos e Ing. de Fundaciones*, Vol. 1, p. 367-376.

Carvalho Filho, A.M.; Wanderley, P.R.M. e Anjos, C.A.M. (1987) *Mapa Geotécnico da Cidade de Maceió*, EDUFAL/ABEU, Maceió-AL., 255 p.

Coutinho, R.Q. (1988) Propriedades Geotécnicas dos Depósitos de Argilas Orgânicas Moles do Recife, *Simpósio Depósitos Quaternários das Baixadas Litorâneas Brasileiras: Origem, Características Geotécnicas e Experiência de Obras*, ABMS/ABGE, Rio de Janeiro, Vol. 2, p. 3.24-3.43.

Décourt, L. e Quaresma, A.R. (1978) Capacidade de Carga em Estacas a Partir de Valores de SPT, *VI COBRAMSEF*, Rio de Janeiro, Vol. 1, p. 45-53.

Lima, I.F. (1990) *Maceió: A Cidade Restinga*, EDUFAL, Maceió-AL, 255 p.

Marques, A.G. (1985) Notas de aulas do curso de fundações de engenharia civil da UFAL, Maceió-AL.

Marques, J.A.F. (1997) *Execução e Previsão de Capacidade de Carga de Estacas Rotativas-Injetadas*, Dissertação de Mestrado, USP/São Carlos.

Schaller, H. (1969) Revisão Estratigráfica da Bacia de Sergipe / Alagoas, *Boletim Técnico da PETROBRÁS*, Rio de Janeiro-RJ, 7 p.

Skempton, A.W. e MacDonald, D.H. (1956) The Allowable Settlement of Buildings, *Institute of Civil Engineers*, London, Vol. 5, N. 3, p. 727-784.

Terzaghi, K. (1943) *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York.

Van der Veen, C. (1953) The Bearing Capacity of a Pile, *3rd ICSMFE*, Zurich, Vol. 2, p. 84-90.

Velloso, P.P.C. (1979) Dados para a Estimativa do Comprimento de Estacas em Solo, *Ciclo de Palestras sobre Estacas Escavadas*, Clube de Engenharia - RJ.