

DESENVOLVIMENTO DAS FUNDAÇÕES PROFUNDAS EM MACEIÓ-AL

JULIANE ANDRÉIA FIGUEIREDO MARQUES^{1*}; RICARDO FIGUEIREDO MARQUES²;
ABEL GALINDO MARQUES³

¹Dra. em Geotecnia, Prof^a. Adj. UFAL / Responsável técnico da AGM Geotécnica, Maceió-AL,
julianemarques@hotmail.com;

²Me. em Geotecnia / Responsável técnico da AGM Geotécnica / Prof. UNIT, Maceió-AL,
ricardofmarques@yahoo.com.br;

³Me. em Geotecnia / Responsável técnico da AGM Geotécnica, Maceió-AL;
abel@agmgeotecnica.com.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: O trabalho apresenta um breve histórico sobre o desenvolvimento do conhecimento e prática de fundações profundas da cidade de Maceió-AL. A verticalização contínua da cidade ocorreu no começo da década de 80. Nesta época foi idealizada e desenvolvida a estaca rotativa-injetada, como alternativa às dificuldades de execução das estacas tradicionais na sua região praieira. Paralelamente às estacas rotativas-injetadas, teve-se início a prática de fundações com o bloco-sapata sobre estacas. A partir de 2008, para atender a crescente demanda de construções de grande porte na parte alta da cidade foram desenvolvidas as estacas escavadas a seco com anéis ao longo do fuste. Os anéis têm a finalidade de aumentar a capacidade de carga da sua resistência lateral. Por fim, são apresentados resultados de provas de carga demonstrando o excelente desempenho das fundações correntes executadas em Maceió.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca rotativa-injetada, bloco-sapata, estaca escavada com anéis, provas de carga.

DEVELOPMENT OF DEEP FOUNDATIONS IN MACEIÓ-AL

ABSTRACT: The paper presents a brief history about the development of knowledge and practice of deep foundations in Maceió-AL. The continuous verticalization of the city occurred at the beginning of the 80's. In that time, the rotating-injected pile was idealized and developed, as an alternative to the difficulties of executing traditional piles in the lower part of the city closer to the sea. Parallel to the rotating-injected piles, the practice of foundations with footing-block on top of the piles was started. As of 2008, dry bored piles with rings along the shaft were developed to meet the growing demand for large buildings in the upper part of the city. Such rings have the purpose of increasing the load capacity of their lateral resistance. Finally, results of load tests are presented, showing the excellent performance of the current foundations executed in Maceió.

INTRODUÇÃO

No começo da década de 80 ocorreu a verticalização em grande escala de Maceió-AL. Esse crescimento vertical se deu nas regiões praieiras com destaque inicial para o bairro de Ponta Verde. O subsolo característico desta região praieira apresenta uma camada de areia compacta a muito compacta, com espessura média de 4,0 m, na profundidade em torno de 3,0 m, representando grande dificuldade à execução de fundações tradicionais à percussão.

Segundo Marques & Marques (2005) as estacas pré-moldadas, metálicas e Franki tinham grande dificuldade (ou não conseguiam) de atravessar a camada de areia compacta a muito compacta. A partir de 1985 essa dificuldade de cravação de estacas foi superada com a utilização de estacas tipo raiz. Entretanto, os altos custos operacionais de execução da estaca raiz, incompatíveis com o mercado da região, fizeram com que ocorressem mudanças gradativas na sua forma de execução até se chegar

às estacas escavadas com lama, mecanizadas, com bulbos, batizadas por estacas rotativas-injetadas com bulbos.

Marques & Marques (2005) relatam que paralelamente às estacas rotativas- injetadas, teve-se início a prática de fundações com o bloco-sapata sobre estacas. Este tipo de fundação foi implantado devido à baixa capacidade de carga que a estaca rotativa- injetada sem bulbo apresentava e à presença da camada de areia compacta próxima à cota de arrasamento das estacas. Com a utilização do bloco-sapata, transmitindo parte da carga do pilar àquela camada de areia compacta, passou-se a ter projetos de fundações profundas bastante econômicos.

A partir de 2008 com o advento da grande quantidade de construções nessa área, teve-se a necessidade de se trabalhar com tipos de fundações profundas de maior velocidade de execução e de menor custo. Assim, desenvolveu-se a técnica da execução de anéis ao longo do fuste de estacas escavadas a seco, com o objetivo de aumentar sua capacidade de suporte. A técnica de execução dos anéis consiste em acoplar ao trado de perfuração um ponteiro metálico, com comprimento entre 10 e 12 cm, o qual desce “rasgando” o solo ao longo do fuste e, em profundidades pré-definidas, o operador da máquina rotaciona o trado fazendo com que o ponteiro abra um rasgo horizontal na parede da perfuração. Estes rasgos têm espessura em torno de 15 a 20 cm e profundidade igual à dimensão do ponteiro (cerca de 10 a 12 cm), os quais formam verdadeiros anéis ao longo do fuste (Marques et al., 2012a).

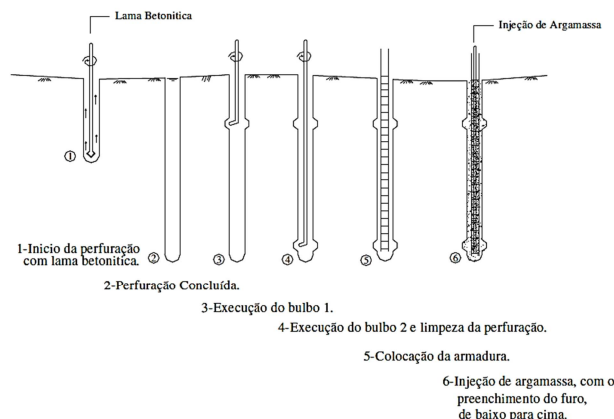
Diante da importância de contextualizar o desenvolvimento da execução de fundações profundas nas últimas décadas em Maceió-AL, o presente trabalho apresenta o relato da concepção e evolução das técnicas das fundações bem como mostra as pesquisas desenvolvidas para avaliar o desempenho das técnicas propostas.

MATERIAL E MÉTODOS

Estacas Rotativas-Injetadas

A estaca rotativa-injetada é um tipo de estaca escavada com lama, mecanizada, de pequeno diâmetro (máximo 0,45 m) podendo ser executada com ou sem bulbos. A perfuração é feita com circulação de lama tipo bentonita. São estacas armadas em todo seu comprimento e o fuste é preenchido com argamassa, pelo processo submerso por meio de bombeamento (Marques, 2004). Atualmente, essas estacas são projetadas para cargas de trabalho de até 900 kN, diâmetro de 0,45 m. Os bulbos, ou alargamentos de fuste, são executados logo após a etapa de perfuração da estaca. As etapas de execução da estaca rotativa-injetada, com bulbos, são apresentadas na figura 1. A estaca da figura 2a tem diâmetro nominal de 0,40 m e diâmetro do bulbo próximo à base de 0,90 m. A estaca da figura 2b apresenta diâmetros de 0,32 m e 0,66 m para fuste e bulbos, respectivamente (Marques & Marques, 2000).

Figura 1. Processo executivo de uma estaca rotativa-injetada com bulbos.



Marques (2004) estudou a transferência de carga dessas estacas com bulbos, por meio de *strain-gages* instalados ao longo do fuste da estaca. Foram submetidas a provas de carga estáticas 5 estacas-testes: 2 estacas com dois bulbos, 1 estaca com um bulbo superior, 1 estaca com bulbo inferior e 1 estaca sem bulbo. O diâmetro nominal das estacas foi de 0,30 m e o comprimento de 9,0 m. Os resultados são apresentados no item Resultados e Discussão do presente artigo.

Figura 2. Estacas rotativas-injetadas extraídas: 2.a) com um bulbo próximo à ponta; 2.b) com dois bulbos.



Figura 2 a



Figura 2 b

Bloco-Sapata sobre estacas

A estaca rotativa-injetada proporcionou a concepção de projetos de fundações em que o bloco de coroamento é também um elemento de fundação de transferência de carga ao terreno. Isto porque esse tipo de estaca requer grandes recalques para alcançar a ruptura, exceto quando apoiadas em rocha. Normalmente, a estaca de 0,40 m de diâmetro entra em ruptura para recalques superiores a 50 mm. Assim sendo as cargas de projeto dessas estacas correspondem a recalques que variam entre 8 a 15 mm. Marques & Marques (2005) explicam que os projetos de fundação com o bloco-sapata sobre estacas são elaborados empiricamente em função do conhecimento prévio da curva carga x recalque do conjunto (bloco-sapata-estaca) ou da estaca e do bloco-sapata, individualmente.

Estaca escavada a seco com anéis

Com o objetivo de se aumentar a capacidade de carga de estacas escavadas a seco tradicionais, através da sua resistência lateral, foi desenvolvida uma técnica de execução de pequenas saliências (denominadas “anéis”) ao longo do fuste da estaca. Segundo Marques et al. (2012a) a técnica de execução dos anéis consiste em acoplar ao trado de perfuração um ponteiro metálico (figura 3a), com comprimento entre 10 e 12 cm, o qual desce “rasgando” o solo ao longo do fuste e, em profundidades pré-definidas, o operador da máquina rotaciona o trado fazendo com que o ponteiro abra um rasgo horizontal na parede da perfuração. Estes rasgos têm espessura em torno de 15 a 20 cm e profundidade igual à dimensão do ponteiro (cerca de 10 a 12 cm), os quais formam verdadeiros anéis ao longo do fuste. A figura 3b apresenta uma estaca extraída com anéis, executada no bairro de Tabuleiro dos Martins em Maceió.

Figura 3.a) Destaque do ponteiro metálico acoplado ao trado.



Figura 3.a

Figura 3.b) Estaca extraída com anéis.



Figura 3.b

RESULTADOS E DISCUSSÃO

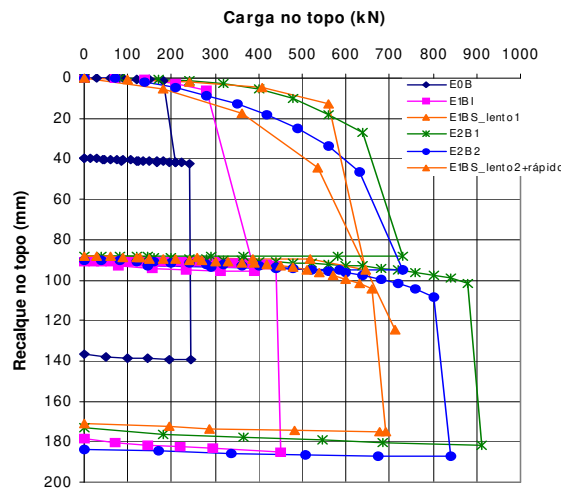
Para o estudo da estaca rotativa-injetada, tem-se a tabela 1, extraída de Marques (2004), que são os valores de carga e recalque máximos, atingidos nas provas de carga, lentas e rápidas, das 5 estacas-testes: 2 estacas com dois bulbos (E2B1 e E2B2), 1 estaca com um bulbo superior (E1BS), 1

estaca com bulbo inferior (E1BI) e 1 estaca sem bulbo (EOB). A figura 4 apresenta as curvas carga x recalque no topo de todas as estacas, ensaios lento e rápido, em que se pode observar o ganho de carga das estacas com a execução dos bulbos.

Tabela 1. Valores de carga e recalque máximos nas provas de carga lenta e rápida.

| Estaca | Ensaio | Carga máxima de ensaio (kN) | Recalque máximo (mm) |
|--------|---------|-----------------------------|----------------------|
| EOB | Lento | 209 | 41,70 |
| | Rápido | 245 | 99,70 |
| E1BI | Lento | 389 | 95,62 |
| | Rápido | 451 | 94,30 |
| E1BS | Lento 1 | 714 | 124,33 |
| | Lento 2 | 646 | 94,97 |
| E2B1 | Rápido | 690 | 87,15 |
| | Lento | 730 | 88,38 |
| E2B2 | Rápido | 910 | 93,76 |
| | Lento | 731 | 95,07 |
| E2B2 | Lento | 731 | 95,07 |
| | Rápido | 842 | 97,49 |

Figura 4. Curvas carga x recalque no topo de todas as estacas.



Em Marques et al. (2012b) é apresentada uma prova de carga em bloco-sapata, com dimensões de base de 1,5 x 1,5 m, sobre estaca rotativa-injetada, com bulbo, comprimento de 16 m e diâmetro de 0,40 m. A figura 5a mostra o perfil do terreno juntamente com o perfil da estaca, e a figura 5b apresenta o resultado da prova de carga.

Figura 5.a) Perfil do terreno.

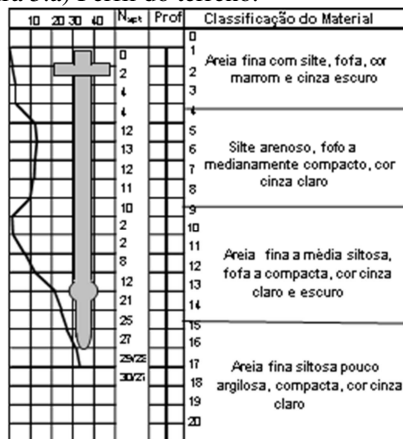


Figura 5 a

Figura 5.b) Curva carga x recalque do bloco sapata.

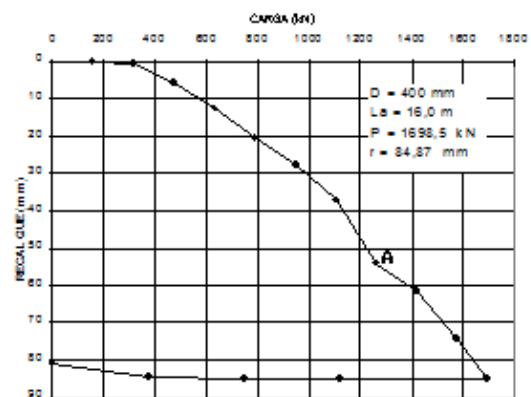


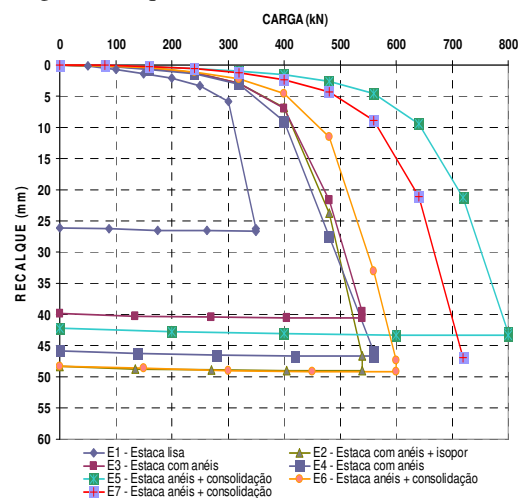
Figura 5 b

Com o objetivo de se medir, inicialmente, o desempenho apenas da estaca, colocou-se entre o bloco-sapata e o terreno (concreto-magro) um isopor com 50 mm de espessura. Da interpretação da figura 5, observa-se que: o bloco-sapata está apoiado em uma areia fina fofa, com N_{spt} entre 2 e 3

golpes; após recalcar pouco mais de 50 mm (espessura do isopor), a estaca inicia um “mergulho” para a ruptura. Aplicando-se o método de extrapolação de Van Der Veen (1953), a carga de ruptura seria de 2060 kN, mas o processo é interrompido (ponto A da figura 5b) no momento em o bloco-sapata também começa a trabalhar. Para essa nova situação a carga de ruptura obtida pelo mesmo processo de extrapolação passa para 2730 kN, representando um ganho de carga de 32%.

Sobre as estacas escavadas com anéis, a figura 6 apresenta os resultados obtidos em 7 estacas-testes estudadas por Marques et al (2012a). As estacas ensaiadas tinham 0,40 m de diâmetro nominal e 5,5 m de comprimento, sendo o diâmetro externo dos anéis estimado em 0,64 m, espaçamento de 1,0 m entre eles. Têm-se as curvas carga x recalque das sete estacas ensaiadas na figura 6: Estaca lisa (E1); Estaca com anéis e isopor na ponta (E2); Estaca com anéis (E3); Estaca com anéis (E4); Estaca com anéis e consolidação na ponta (E5); Estaca com anéis e consolidação na ponta (E6); Estaca com anéis e consolidação na ponta (E7). As provas de carga mostraram que as estacas com anéis apresentaram um aumento da capacidade de carga de até 57% em comparação à estaca escavada tradicional.

Figura 6. Curvas carga x recalque das 7 estacas escavadas a seco com e sem anéis.



CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresentou-se um relato do desenvolvimento das fundações profundas em Maceió – AL, a partir da década de 80. Inicialmente foi apresentada a estaca rotativa-injetada, com bulbos. As provas de carga mostraram que os bulbos (alargamentos propositais no fuste) podem representar ganho na capacidade de carga de até 250%, quando comparado com a estaca sem bulbo. Em seguida, apresentou-se o bom desempenho do elemento misto de fundação bloco-sapata sobre estaca. Por fim, apresentou-se a técnica simples e inovadora dos anéis ao longo do fuste de estacas escavadas a seco, os quais podem gerar aumento da capacidade de carga de até 57% em comparação à estaca escavada tradicional. O estudo apresentado é de grande importância ao profissional da engenharia e ao mercado imobiliário, oferecendo um conhecimento geral quanto às fundações profundas em Maceió.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro. 2010.
- Marques, J.A.F. Estudos de Estacas Escavadas de Pequeno Diâmetro, com Bulbos, Instrumentadas em Profundidade, em Terrenos Sedimentares. 319f. Tese de Doutorado – EPUSP, São Paulo, 2004.
- Marques, A.G. e Marques, J.A.F. Prática de Fundações no Estado de Alagoas. In: Gusmão et al. vários editores. Geotecnia no Nordeste. 2 ed. Recife: Ed Universitária da UFPE. p. 247-264; 2005.
- Marques, J.A.F.; Marques, A.G.; Marques, R.F. Estacas Escavadas com Trado Mecanizado, com Anéis ao Longo do Fuste. In: XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (XVI COBRAMSEG), Porto de Galinhas/PE, 2012a.
- Marques, A.G.; Marques, J.A.F.; Marques, R.F. Breve Histórico sobre 25 anos de Projetos e Execuções de Fundações em Bloco-Sapata sobre Estacas nas Cidades de Maceió-AL, Aracaju-SE e Recife-PE. In: XVI COBRAMSEG, Porto de Galinhas/PE, 2012b.