

Utilização de Ar Comprimido na Execução de Estacas Raiz

Douglas Inhaia dos Santos

Especialista em Engenharia Geotécnica, Universidade Paulista, São Paulo, Brasil, douglas.inhaia@gmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor associado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Giullia Carolina de Melo Mendes

Mestranda em Geotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, giucmendes@gmail.com

Alipio Oliveira Lima Neto

Engenheiro civil, Estudante de Tecnologia em Estradas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, alipio-oliveira@hotmail.com

RESUMO: A inviabilidade do uso de água na execução de estacas raiz nas fundações de pontes, devido ao excesso de volume de água nas contenções e aos impactos ambientais, possibilitou a revisão dos processos executivos dessas fundações, tendo como alternativa a utilização do ar comprimido. Para isso, foi realizado levantamento bibliográfico em literatura técnica e científica, e realizado um estudo de caso de modo a identificar as principais características do processo executivo, bem como avaliar os resultados obtidos nas provas de carga estáticas e dinâmicas das estacas executadas com água e com ar comprimido. Após análise dos resultados, não foi observada diferenças consideráveis nos resultados das provas de carga para os diferentes tipos de execução, representando um indício de comportamentos semelhantes na interação solo-estrutura para ambos os casos. Por outro lado, observou-se que, a execução da estaca raiz com ar comprimido apresenta algumas limitações, porém não impossibilitando sua execução. Dessa maneira, conclui-se que, as estacas raiz executadas com ar comprimido, nesse caso, atenderam as especificações técnicas e possibilitou significativa redução no consumo de água. Por outro lado, recomenda-se que, mais estudos dessa aplicação sejam realizados, para avaliar sua eficiência em outros tipos de solos e situações.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca Raiz, Prova de Carga Estática, Prova de Carga Dinâmica. Ar Comprimido.

ABSTRACT: The infeasibility of using water in the execution of root piles in bridge foundations, due to the excess volume of water in the containments and the environmental impacts, made it possible to review the executive processes of these foundations, having as an alternative the use of compressed air. For this, a bibliographic survey was carried out in technical and scientific literature, and a case study was carried out in order to identify the main characteristics of the executive process, as well as to evaluate the results obtained in the dynamic load tests of piles executed with water and compressed air. . After analyzing the results, no significant differences were observed in the results of the dynamic load tests for the different types of execution, representing an indication of similar behaviors in the soil-structure interaction for both cases. On the other hand, it was observed that the implementation of the root stake with compressed air has some limitations, but does not preclude its execution. Thus, it is concluded that, the root piles made with compressed air, in this case, met the technical specifications and enabled a significant reduction in water consumption. On the other hand, it is recommended that more studies of this application be carried out, to evaluate its efficiency in other types of soils and situations.

KEYWORDS: Micropile, Static Pile Load Capacity Test, Dynamic Pile Load Capacity, Compressed Air.

1 Introdução

A importância do transporte rodoviário de cargas em nosso país é inquestionável. A estratégia de desenvolvimento adotada no Brasil confere ao setor a responsabilidade de grande parte da movimentação das cargas, de modo que esse serviço com logística limitada impede ou dificulta que produtos essenciais cheguem às mãos dos consumidores, indústrias produzam e conseqüentemente, afeta diretamente o comércio.

As obras de infraestrutura contribuem para o desenvolvimento local e nacional, sendo cerca de 90% das pessoas e 60% das cargas transportadas por rodovias (PREGO 2001). Conforme cada nação se desenvolve, surge a necessidade de expandir sua infraestrutura para atender demandas internas de transporte de insumos e serviços, para suprir a demanda crescente da população.

No ato de expansão, podem ser encontrados diversos desafios, sejam eles naturais, econômicos ou técnicos, que certamente dificultam o progresso de tais obras. Um estudo apurado de cada caso se faz necessário para driblar dificuldades e assim continuar propiciando à nação o suprimento necessário para seu contínuo desenvolvimento, entre elas, soluções para fundações de obras de arte especiais.

Nesse sentido, este estudo tem por objetivo avaliar o comportamento das estaca raiz executadas em obras de infraestrutura da região da Serra do Cafezal, localizada em Miracatu-SP, onde foram executadas com a utilização de ar comprimido em substituição de circulação de água, devido as condições locais.

2 Estaca Raiz

As estacas raiz são um tipo de fundação profunda e consiste na aplicação de injeção de argamassa ao longo do fuste com a aplicação de golpes de ar comprimido, que permitem execução inclinada com relação à vertical (DÉCOURT et al., 1998).

Apresentadas internacionalmente na década de 50, na Itália, essas estacas foram concebidas inicialmente para servir de reforço de fundações, com diâmetros máximos de 20 centímetros. Contudo, com o avanço de novas tecnologias, equipamentos e conhecimento da mecânica dos solos, foi possível aumentar, com segurança, o diâmetro máximo para 40 a 50 centímetros, sendo utilizadas também, como solução de projeto de alguns projetistas, na estabilidade de encostas (DÉCOURT *et al.*, 1998).

A execução da estaca raiz constitui-se pela perfuração, fixação de armadura, injeção de argamassa e retirada dos tubos de revestimento. Este último é utilizado para evitar o fechamento do furo devido a movimentação de solos, e suas características devem ser definidas de acordo com o diâmetro das estacas, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos tubos de revestimento de acordo com o diâmetro da estaca.

Diâmetro final da estaca (mm)	100	120	150	160	200	250	310	410
Diâmetro externo do tubo (")	3	3 1/2	4 1/2	5	6	8	10	14
Diâmetro externo do tubo (mm)	89	102	127	141	168	220	273	356
Espessura da parede (mm)	8	8	9	9,5	11	13	13	13
Peso por metro linear (kg/m)	15	19	28	31	43	65	81	107
Diâmetro do martelo de fundo (")	-	-	3 1/2	3 1/2	5 1/8	7 5/8	9 1/8	9 1/8

Fonte: Décourt *et al.* (1998).

Vale salientar que, na etapa de perfuração, podendo esta ser vertical ou inclinada, faz-se uso de água, lama bentonítica ou ar comprimido, durante rotação do equipamento. Considerando execução em rocha, utiliza-se equipamentos de rotoperfuração acionado por ar comprimido.

3 Prova de Carga em Estacas

Fundações por estacas devem ser dimensionadas de acordo com a previsão de sua capacidade de carga, baseada em dados de ensaios de campo. Como explica Cintra *et al.* (2013), dada a variabilidade do solo e das muitas variáveis que podem influenciar no dimensionamento e nos processos executivos, o fator de segurança global deve ser previsto no projeto de fundações e também acompanhado durante a execução do empreendimento.

Segundo Maragon (2009), a carga de ruptura deve ser definida pela menor de duas previsões: resistência estrutural da peça e a resistência do contato solo-estrutura. Contudo, dentre estas, é comum que o contato solo-estrutura apresente a menor entre estas, com sua resistência sendo determinada pela realização de provas de carga, que podem ser estáticas ou dinâmicas e a correta interpretação de seus resultados.

3.1 Prova de Carga Estática

De acordo com a ABNT (2006), a prova de carga estática consiste na aplicação de esforços estáticos à estaca, que podem ser axiais ou transversais, com os registros dos deslocamentos correspondentes. A Figura 1 apresenta um esquema típico deste ensaio.

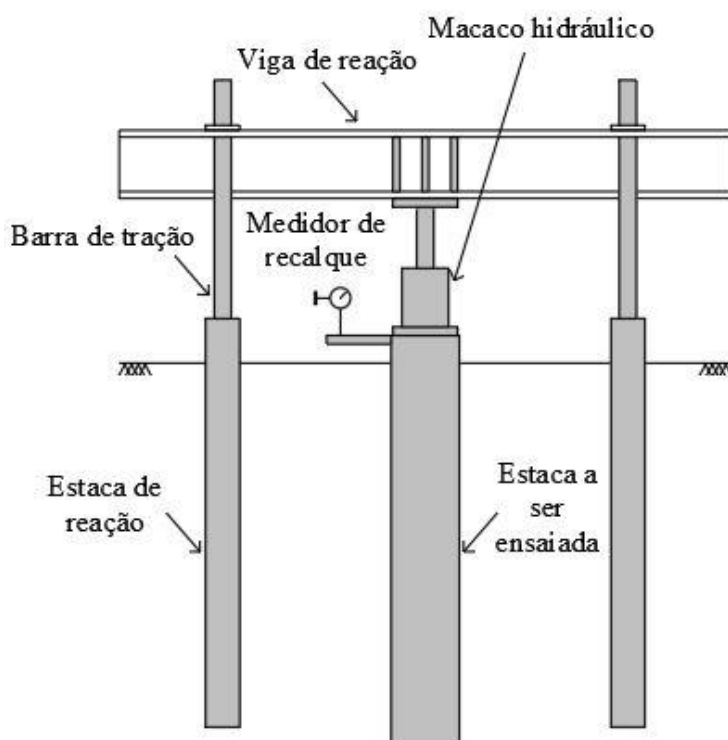


Figura 1. Esquema do ensaio de prova de carga estática. Fonte: Adaptado de Budhu (2013).

A carga é aplicada no topo da estaca por macaco hidráulico e os deslocamentos são medidos por extensômetros, sendo o carregamento feito em dez estágios ou até o alcance da ruptura geotécnica e, o descarregamento, feito em quatro etapas.

3.2 Prova de Carga Dinâmica

De acordo com a ABNT (2007), o ensaio de carregamento dinâmico tem por objetivo avaliar as características dinâmicas do sistema solo-estaca, as cargas mobilizadas nesta interface, a eficiência do sistema de impacto, tensões de compressão e de tração ao longo da estaca. A referida norma também ressalta a importância da utilização de amortecedores de impacto no topo da estaca para garantir assim, a integridade estrutural desta no momento da queda do martelo durante a execução. A Figura 2 apresenta um esquema típico deste ensaio.

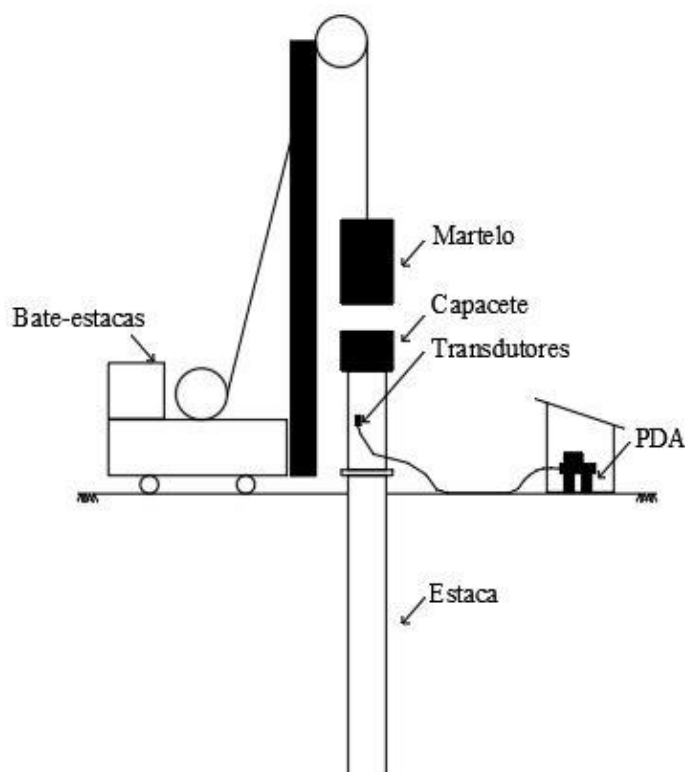


Figura 2. Esquema do ensaio de prova de carga dinâmica. Fonte: Adaptado de Cintra *et al.* (2013).

Os dados registrados em campo são interpretados por duas formas distintas, sendo o método de CASE, desenvolvido no Case Institute of Technology, e o método CAPWAP, desenvolvido pelo Case Pile Wave Analysis Program. O método CASE, de acordo com Cintra *et al.* (2013), é uma estimativa simplificada da resistência estática de uma estaca submetida a carregamento dinâmico, a partir dos dados de força e velocidade em seu topo. Já o método CAPWAP, segundo Gonçalves *et al.* (2000) consiste na modelagem computacional de um conjunto de elementos massa-mola, onde a resistência é dada apenas em função do movimento da estaca, sendo a resistência do solo uma reação passiva.

4 Estudo de Caso

Neste trabalho foi feito um estudo de caso na duplicação da rodovia Regis Bittencourt, que foi concebida para atender à crescente demanda por transporte de insumos entre as regiões de São Paulo e Curitiba. O trecho estudado se refere à duplicação desta rodovia entre os quilômetros 348 e 360, localizado na Serra do Cafezal, Miracatu-SP, estando nas proximidades de rios e nascentes.

A obra consiste na construção de 30,5 quilômetros de duplicação entre os municípios de Miracatu e Juquitiba, composta por 36 Obras de Arte Especiais (OAE), cujo principal objetivo destas era de minimizar o impacto ambiental provocado pelos grandes volumes de corte e aterro, que poderiam prejudicar os rios e nascentes da região. Nessas OAEs, adotou-se estacas raiz como solução de fundação, contudo, também por conta de causas ambientais, a circulação de água tornou-se inviável para sua execução, devido ao grande volume de lama resultante da perfuração, excedendo a capacidade das contenções e, por muitas vezes, sendo drenada por gravidade para os rios e nascentes.

Sendo assim, executou-se parte das estacas convencionalmente, com circulação de água, e após revisão dos processos executivos, optou-se pela sua substituição por ar comprimido, sendo posteriormente avaliado a eficiência dos dois métodos construtivos por provas de carga estáticas e dinâmicas.

O processo executivo em ambas as execuções se dá da seguinte forma: Perfuração com uso de rotação: nesta etapa houve a diferenciação do fluido utilizado, sendo convencionalmente, a circulação de água e, nesse estudo, também o ar comprimido. Inserção da armadura de aço. Injeção de argamassa com golpes de ar comprimido.

Utilizou-se, para tal, compressor com capacidade de 0,5MPa. Devido a extensão da obra, o perfil do subsolo apresentou-se consideravelmente variável, sendo em alguns trechos composto por solo arenoso e outros por solo argiloso, em ambos com nível d'água na ordem de 15,00m de profundidade.

5 Resultados

Foram executadas no total 21 provas de carga, sendo 6 pelo método estático (PCE) e 15 pelo método dinâmico (PDA). Em média, os ensaios foram executados em estacas de diâmetro padrão de Ø410mm após 80 dias da execução, o que garante um bom prazo para a cura da argamassa. Os resultados e demais informações estão relacionadas na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados das provas de carga estáticas e dinâmicas.

Nº Estaca	Metodo Executivo	Tipo De Ensaio	Comp. Ensaiado (m)	Carga Solicitante (kN)	Carga Resistida (kN)	Fator de Segurança
E30	Circulação De Água	PDA	15,8	1000	2940	2,9
E43	Circulação De Água	PDA	15,9	1000	2123	2,1
E48	Circulação De Água	PDA	15,8	1000	1338	1,3
E49	Circulação De Água	PDA	16,1	1000	2944	2,9
E58	Circulação De Água	PDA	10,8	1000	1100	1,1
E29	Circulação De Água	PDA	16,7	1200	2308	1,9
E36	Circulação De Água	PDA	17,7	1200	3102	2,6
E40	Circulação De Água	PDA	17,7	1200	3104	2,6
E47	Circulação De Água	PDA	17,7	1200	2353	2,0
E54	Circulação De Água	PDA	18,9	1200	2513	2,1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2. Resultados das provas de carga estáticas e dinâmicas (continuação).

Nº Estaca	Metodo Executivo	Tipo De Ensaio	Comp. Ensaiado (m)	Carga Solicitante (kN)	Carga Resistida (kN)	Fator de Segurança
E01	Ar Comprimido	PDA	14,0	1000	1219	1,2
E04	Ar Comprimido	PDA	15,0	1000	2176	2,2
E07	Ar Comprimido	PDA	15,0	1000	2130	2,1
E12	Ar Comprimido	PDA	15,0	1000	2458	2,5
E13	Ar Comprimido	PDA	15,0	1000	2613	2,6
E31	Ar Comprimido	PCE	12,3	1200	2401	2,0
E28	Ar Comprimido	PCE	18,0	1200	2414	2,0
E13	Ar Comprimido	PCE	19,0	1200	2415	2,0
E18	Ar Comprimido	PCE	14,0	1200	2432	2,0
E19	Ar Comprimido	PCE	10,0	1200	1924	1,6
E03	Ar Comprimido	PCE	22,0	1100	2100	1,9

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se então que 30% das estacas executadas com circulação de água e 27,3% das estacas executadas com ar comprimido não atingiram o fator de segurança de 2,0. Considerando FS de 1,6, nota-se que 20% das estacas de circulação de água e 9,1% das estacas em ar comprimido não o atendem. Acredita-se que nestas estacas que não atingiram FS mínimo, pode ter havido falhas na execução, ou mesmo condições no subsolo não identificadas na sondagem e, conseqüentemente, resultando em previsões menos assertivas. Ressalta-se a importância da execução de provas de carga para a verificação da capacidade de carga da estaca.

Considerando o método executivo em ar comprimido, as observações válidas quanto as suas particularidades são:

- Após a perfuração atingir uma determinada profundidade, a utilização de ar comprimido não foi satisfatória para a retirada de detritos, sendo necessária a continuidade com circulação de água. Observou-se que isso ocorria quando, na escavação, era atingido o nível de água.

- As estacas com até 15,00m de profundidade executadas com ar comprimido não necessitaram de circulação de água para apoio, pois a perfuração ocorreu bem em solos não saturados.

- A perfuração com ar comprimido não mostrou-se eficiente em solos argilosos, devido a sua plasticidade. Nesses casos então, optou-se por execução com circulação de ar comprimido.

- As estacas executadas em ar comprimido não anulam a necessidade da limpeza do furo com circulação de água após a conclusão da perfuração, dado ao acúmulo de detritos no fundo.

- Foi observado que algumas peças do equipamento de perfuração se desgastaram com mais facilidade em comparação com a água, pois o solo escavado é lançado no ar e atinge componentes mecânicos, causando desgaste por abrasão prematuramente.

- Constatou-se, mesmo com a utilização de água nos furos perfurados com ar comprimido, a redução significativa no consumo de água, na ordem de 50%.

Sendo assim, a Tabela 3 resume as principais características observadas em ambos os processos executivos.

Tabela 3. Comparação dos métodos executivos.

	Ar Comprimido	Água
Profundidade	15m	~40m
Nível D'água	Interfere	Não Interfere
Tipo De Solo	Arenosos	Indiferentes
Equipamento	Desgaste Prematuro	Desgaste De Operação
Consumo De Água	Reduzido	Não Reduzido

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a realização de uma análise das curvas fornecidas pelo CAPWAP, pôde-se observar que a modelagem se adequou bem às duas metodologias apresentadas neste trabalho, conforme mostram as Figuras 3 e 4.

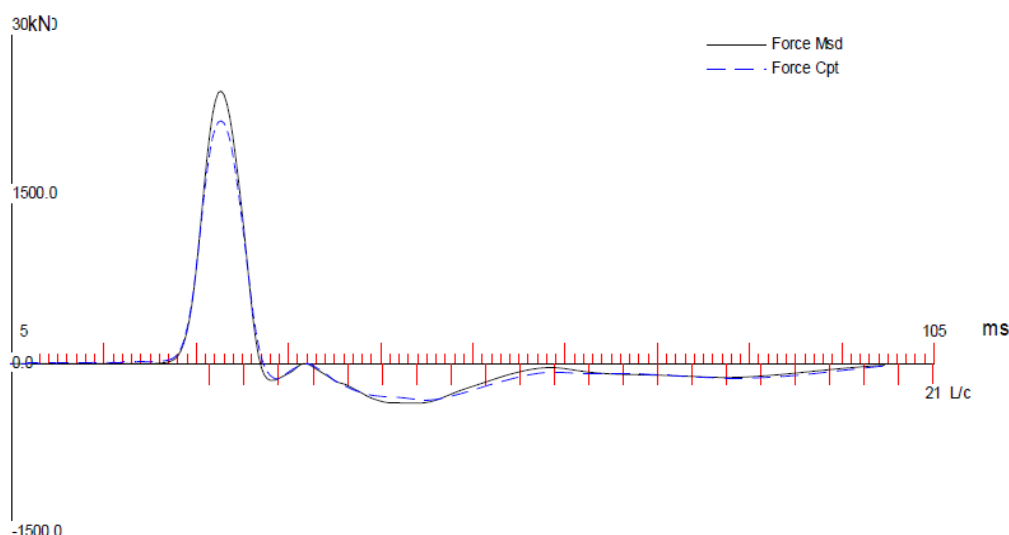


Figura 3. Curvas do CAPWAP – Estaca executada com água. Fonte: Elaborado pelo autor.

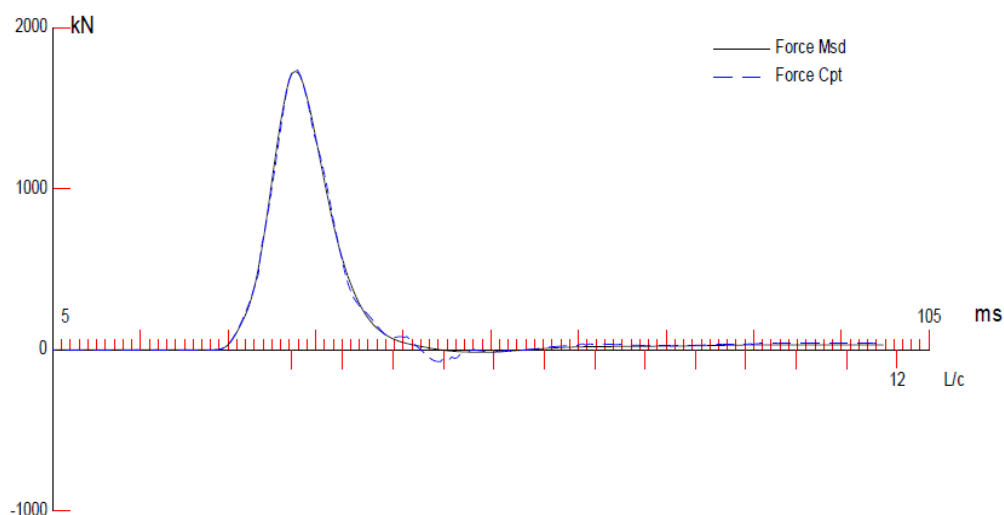


Figura 4. Curvas do CAPWAP – Estaca executada com ar comprimido. Fonte: Elaborado pelo autor.

6 Conclusão

Verificou-se, a partir dos resultados obtidos nas provas de carga que os fatores de segurança para ambos os métodos construtivos são próximos entre si, com a maior parte sendo superior a 2,0. As estacas com FS maior que 2,0, nos dois casos, foi na ordem de 30%, enquanto que, se considerar FS de 1,6, na utilização de circulação de água, essa porcentagem cai para 20% e em ar comprimido, para 9%. Nesse sentido, conclui-se que, a eficiência das estacas raiz executadas com ar comprimido não diferem significativamente das que utilizam circulação de água, mostrando-se uma excelente alternativa para circunstâncias como as apresentadas neste artigo. Não obstante, as metodologias executivas analisadas não demonstraram divergências significativas nas curvas do CAPWAP, o que seria um indício que o atrito lateral em estacas executadas com ar e água ocorre de maneiras semelhantes.

As estacas executadas com ar comprimido possuem certas limitações, como menor profundidade de perfuração em terrenos submersos, bem como a dificuldade ou mesmo a impossibilidade de utilização em solos argilosos, sendo necessária, nesses casos, concluir a perfuração parcial ou totalmente com água. Outro ponto negativo é o desgaste prematuro de peças de rolamento do equipamento de perfuração, recomendando-se então, a verificação regular destas peças para evitar acidentes de trabalho.

Devido as limitações apresentadas, essa solução deve ser adotada com cuidado, de modo que garanta segurança, economia e diminuição dos impactos ambientais, levando em conta o tipo de solo local, profundidade do nível d'água e o desgaste da peça em função da profundidade e diâmetro da estaca à ser executada. Recomenda-se que mais estudos sejam realizados, para permitir uma melhor adequação do processos executivos, levando em conta a utilização de apenas umas dessas formas, ou ambas combinadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará pela oportunidade de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. **NBR 12131: Estacas – Prova de Carga Estática**. Rio de Janeiro, 2006.

Associação Brasileira De Normas Técnicas, ABNT. **NBR 13208: Estacas - Ensaio de carregamento dinâmico**. Rio de Janeiro, 2007.

Budhu, M. **Fundações e Estruturas de Contenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CINTRA, J. C. A., *et al.*, **Ensaio estáticos e Dinâmicos**. São Paulo, 1. Ed., Oficina de Textos, 2013. 144 p.

DÉCOURT, L. *et al.*, **Fundações – Teoria e Prática**. São Paulo: 2 ed. PINI, 1998. 751 p.

Gonçalves, C. *et al.* **Controle de fundações profundas através de métodos dinâmicos**. São Paulo, 2000.

MARANGON, M. **Geotecnia de fundações**. Notas de Aula. p. 47, 2009.

PREGO, A. S. S. **Memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro: ABPv, 2001. 530 p.