

Avaliação de Capacidade de Carga de Estacas *Hollow Auger* por meio de Ensaios de Carregamento Dinâmico, em Pelotas/RS

Murilo Heryaldo Pinheiro Tarozzo

Unicamp, Sondosolo Geotecnia e Engenharia, Campinas, Brasil, murilo.tarozzo@gmail.com

Thaís Maria Leite Paludeto

Unicamp, Campinas, Brasil, tmpaludeto17@gmail.com

David de Carvalho

Unicamp, Campinas, São Paulo, Brasil, d33c@uol.com.br

Paulo José Rocha de Albuquerque

Unicamp, Campinas, Brasil, pjra@unicamp.br

RESUMO: Neste trabalho foi estudado o comportamento de estacas *Hollow Auger*, com 310 mm de diâmetro e com 28 m, 22 m e 15 m de comprimento, executadas em Pelotas, RS, Brasil, através da análise dos resultados de cinco ensaios de carregamento dinâmico. Foram calculadas as cargas de ruptura através dos métodos semiempíricos de previsão de capacidade de carga: Lizzi (1982), Décourt e Quaresma (1996), Aoki e Velloso (1975) e Teixeira (1996). Os cálculos foram feitos utilizando os coeficientes apresentados por cada método para estacas raiz, hélice contínua e escavada, as quais apresentam semelhanças executivas com a estaca estudada. Tomando-se como referência as cargas de ruptura obtidas nos ensaio de carregamento dinâmico, verificou-se proximidade desses valores com alguns dos valores previstos pelas fórmulas. No entanto, foi considerado que estes métodos foram elaborados com base em provas de carga estática, as quais nem sempre apresentam os mesmos valores que o ensaio de carregamento dinâmico. Na média entre os métodos, observou-se que os cálculos como raiz e hélice contínua apresentaram resultados cerca de, respectivamente, 80% e 20% superiores. Já para estacas escavadas, os resultados se mostraram próximos do esperado.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca *Hollow Auger*, Ensaio de Carregamento Dinâmico, Métodos Semiempíricos, Capacidade de Carga.

ABSTRACT: In this paper, it was studied the behavior of 310 mm diameter Hollow Auger Piles, with a drilled length of 28 m, 22 m and 15 m, in Pelotas, RS, Brazil, through the analyses of the results of five Dynamic Load Testings. This paper's goal, therefore, is to analyze the CAPWAP results and compare to semi-empirical methods: Lizzi (1982), Décourt & Quaresma (1996), Aoki & Velloso (1975) and Teixeira (1996). With that in mind, the calculations were made using the pre-determined coefficients from each method for Root Piles, Continuous Flight Auger Piles and Bored Piles, which had executive similarities with the studied pile. Adopting the ultimate loads obtained in the dynamic load tests as reference, it was found that these values were close to some of the values provided by the formulas. However, it was considered that these methods were developed based on static load tests, which do not always present the same values as the dynamic load tests. On average, it was observed that the calculations as Root Piles and Continuous Flight Auger Piles presented results, respectively, 80% and 20% higher. As for Bored Piles, the results were close to what was expected.

KEYWORDS: Hollow Auger Pile, Dynamic Load Testing, Semi-empirical methods, Load Capacity.

1 Introdução

A estaca *Hollow Auger*, é um tipo de estaca escavada moldada *in loco*, que está se inserindo no mercado de fundações, sendo uma opção disponível em diversas empresas brasileiras de execução de fundações (SOARES, 2011).

A estaca recebe esse nome devido ao tipo de trado utilizado na sua execução: “*Hollow Auger*”, na tradução “trado oco”, conforme o Manual de Execução de Fundações – Práticas Recomendadas (ABEF, 2016).

Por ser uma estaca, ainda, pouco difundida no mercado brasileiro, não há muitos estudos e detalhes relacionados ao seu comportamento e informações para calcular sua capacidade, o que dificulta o crescimento da sua aplicação.

Neste contexto, este trabalho visa verificar a capacidade de carga de estacas *Hollow Auger*, executadas em Pelotas, no Rio Grande do Sul, através do resultado de 5 ensaios de carregamento dinâmico e comparar com o resultados obtidos no cálculo utilizando fórmulas semiempíricas disponíveis na literatura.

2 Estaca Hollow Auger

Segundo o Manual de Execução de Fundações – Práticas Recomendadas da ABEF (2016), trata-se de uma estaca moldada *in loco*, executada através do sistema *Hollow Auger*, com o emprego de segmentos de tubos metálicos rosqueáveis e recuperáveis.

A perfuração do subsolo é executada por rotação dos segmentos de trado, sendo que o primeiro segmento possui uma tampa articulada na extremidade. Conforme a escavação avança, segmentos são rosqueados até que seja atingida a cota de apoio desejada (ABEF, 2016).

Atingida a cota de apoio desejada, é colocada a armadura por dentro dos segmentos de trado. Inicia-se, então, a retirada do trado, sem rotação, e simultaneamente a concretagem da estaca, que é feita por injeção de argamassa. A injeção de argamassa provoca a abertura da tampa do primeiro segmento. Os passos descritos estão representados na Figura 1.

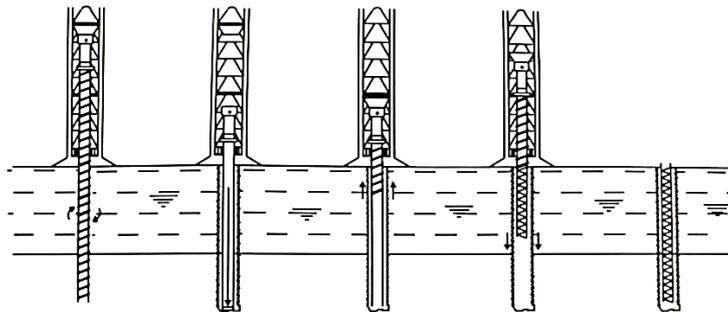


Figura 1. Processo executivo da estaca *Hollow Auger*.

O trado utilizado na execução da estaca, o *Hollow Auger*, consiste em um tubo metálico com hélices em toda sua extensão, rosqueáveis através de juntas contrapinas, e recuperáveis. São encontrados em segmentos de 1,0 e 2,0 metros. As hastes cortam o solo e seu formato mantém a estabilidade da escavação. Na figura 2, está apresentado um segmento de trado *Hollow Auger*.

Pode-se citar algumas vantagens quanto ao uso da estaca *Hollow Auger*, as quais a torna competitiva em relação a outros tipos de estacas:

- Pode ser executada abaixo do nível d'água;
- Não necessita de circulação de água durante a escavação;
- É adaptável a equipamentos usados na execução de outras estacas;
- Não gera vibrações e ruídos;
- Pode ser executada em lugares com limitações de pé direito;

- Solução para reforço de fundações;
- Aplicável em vários tipos de solos.



Figura 2. Tubos metálicos para execução da estaca *Hollow Auger*.

3 Métodos Semiempíricos

Para este trabalho, foram estudados métodos semiempíricos de previsão da capacidade de carga que usam o índice de resistência a penetração (N_{SPT}), proveniente do ensaio SPT, executado no Brasil. Os métodos utilizados foram: Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1996), Teixeira (1996) e Lizzi (1982).

4 Ensaio de Carregamento Dinâmico

O ensaio de carregamento dinâmico é um ensaio que tem como objetivo obter uma verificação da capacidade de carga e integridade estrutural de uma estaca, através de um carregamento dinâmico axial, utilizando uma instrumentação adequada e aplicando a teoria de equação de onda. (NAYAMA et al, 2009).

No ensaio de carregamento dinâmico, aplica-se um série de golpes de um pilão que cai em queda livre a partir de alturas crescentes sobre a estaca. Cada golpe produz um deslocamento axial e uma aceleração, os quais são medidos através da instalação de um par de transdutores de deformação específica e um par de acelerômetros, posicionados diametralmente na estaca (ALONSO, 2019).

A análise do ensaio de carregamento dinâmico é feita através do CAPWAP, que é um programa computacional. Os resultados são obtidos a partir dos dados de força e aceleração, considerando que as forças de reação do solo são passivas. A reação do solo é representada por modelos elastoplásticos e viscolineares, dessa maneira, o modelo de solo possui para cada ponto três incógnitas: a resistência elástica limite, a deformação elástica máxima (*quake*) e as constantes de amortecimento (*damping*) (NAYAMA et al, 2009). As análises são interativas aliadas à sensibilidade do engenheiro para modificar o modelo do solo para que se tenha um melhor ajuste entre as curvas das forças medidas (SILVA, 2011).

Este ensaio é regido pela norma ABNT NBR 13208 (2007), que especifica métodos e procedimentos de ensaio para carregamento dinâmico em elementos de fundações profundas, com análise baseada na teoria da equação da onda.

5 Local de Estudo

O local da pesquisa situa-se no bairro de Fragata, no município de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul. Trata-se de uma rede de supermercado atacado-varejista, que apresentou diversos recalques no piso

local. Como solução, foi executada uma malha de estacas Hollow Auger. Além disso, foram realizados cinco ensaios de carregamento dinâmicos nas estacas com o intuito de avaliar suas resistências.

As camadas de solo se apresentaram constantes em diversos pontos de sondagens a percussão (SPT). De 0,00 a 2,00 m, aproximadamente, o solo foi descrito como argila muito arenosa, cinza escuro, de aterro. A partir de 2,00 m até 9,00 m o solo se mostrou como argila cinza (ou preta), em geral mole ou muito mole, com algumas passagens ocasionais (menos de 1 metro de espessura) de areia pouco argilosa e fofa. Em seguida, esta argila passa a ter uma consistência mais rija ou média, sendo classificada como argila arenosa cinza até aproximadamente 12,00 m. Uma camada de areia argilosa com pedregulhos e compacta é atingida, e continua por aproximadamente 3,00 m ou 4,00 m até os 16,00 m. Em seguida, novamente ocorre uma camada de argila cinza média ou rija, que, aos 19,00 m passa a ser argila arenosa rija. Por fim, aos 24,00 m de profundidade, é atingida uma camada de areia fina pouco argilosa, medianamente compacta que se mantém até o limite das sondagens, aos 30,45 m.

Foram realizados 10 furos de sondagens no local. Destes, dois furos (SP3 e SP5) estão localizados próximos as estacas ensaiadas por carregamento dinâmico.

Na Figura 3, a seguir, pode-se ver os valores de N_{SPT} das sondagens SP3 e SP5.

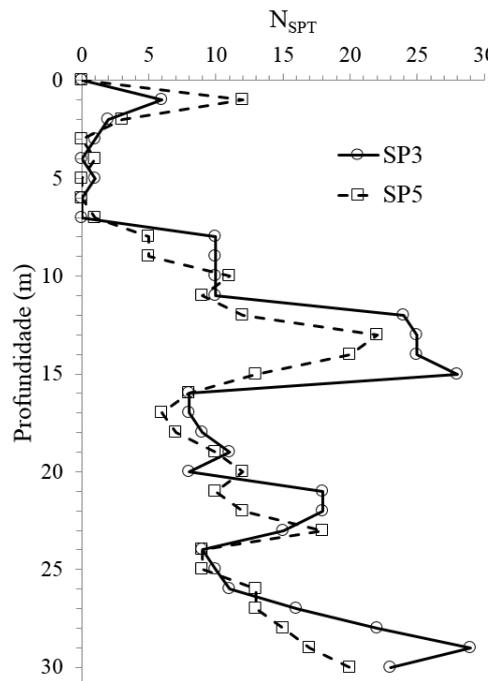


Figura 3. Valores de N_{spt} .

6 Estacas Teste

Os ensaios de carregamento dinâmico foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 13.208 (2007). A carga de trabalho de projeto era de 700kN e para o estudo de capacidade de carga, foram submetidas ao ensaio dinâmico cinco estacas *Hollow Auger* de diâmetro 310 mm. Os comprimentos executados são de 15,00 m para a estaca E1, 22,00 m para a estaca E2 e 28,00 m para as estacas E3, E4 e E5.

7 Apresentação e Análise de Resultados

Na Tabela 1 são mostrados os resultados dos ensaios de carregamento dinâmico realizados nas cinco estacas. São apresentadas a carga máxima mobilizada, assim como as parcelas de carga de ponta e carga lateral e suas proporções.

Tabela 1. Resultados dos Ensaios de Carregamento Dinâmico realizados.

Estaca	Resistência (kN)			Resistência (%)	
	Total	Ponta	Lateral	Ponta	Lateral
E1	495	276	220	55,8	44,4
E2	553	143	409	25,9	74,0
E3	1166	256	910	22,0	78,0
E4	985	417	568	42,3	57,7
E5	1203	262	941	21,8	78,2

7.1 Previsão da Capacidade de Carga

A estaca *Hollow Auger* não possui coeficientes de cálculo pré-determinados nos métodos mais utilizados, por ser uma estaca com processo executivo ainda pouco difundido no Brasil, dificultando a determinação da sua capacidade de carga.

Desta forma, para calcular a capacidade de carga das estacas, foram utilizados os métodos de Lizzi (1982), Décourt e Quaresma (1996), Aoki e Velloso (1975) e Teixeira (1996), utilizando os coeficientes já estudados por estes autores para estacas Raiz, Hélice Contínua e Escavadas, como forma de se observar qual destas se aproximaria mais de uma estaca Hollow Auger.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados totais calculados pelos métodos citados, conforme sondagens fornecidas na Figura 3.

Tabela 2. Carga de Ruptura total (kN) prevista, com uso de coeficientes para Estacas Raiz, Hélice Contínua (H.C.) e Escavadas (Esc.).

Estaca	Lizzi (1982)			Decourt e Quaresma (1996)			Aoki e Velloso (1975)			Teixeira (1996)		
	Raiz	H.C.	Esc.	Raiz	H.C.	Esc.	Raiz	H.C.	Esc.	Raiz	H.C.	Esc.
E1	1000	-	-	970	530	520	530	530	350	970	-	710
E2	1470	-	-	1410	910	750	780	780	520	1340	-	940
E3	2160	-	-	1930	1280	970	1140	1140	760	1910	-	1350
E4	2160	-	-	1930	1280	970	1140	1140	760	1910	-	1350
E5	2160	-	-	1930	1280	970	1140	1140	760	1910	-	1350

7.2 Comparação entre Cargas Máximas

Os valores de cargas de ruptura obtidas pelos métodos semiempíricos foram comparados aos resultados máximos obtidos nos Ensaios de Carregamento Dinâmico. As Figuras 5 e 6 mostram essa comparação para estaca raiz, hélice contínua e escavada, respectivamente, onde cada grupo de barras do gráfico refere-se a um método e cada barra refere-se a cada estaca ensaiada.

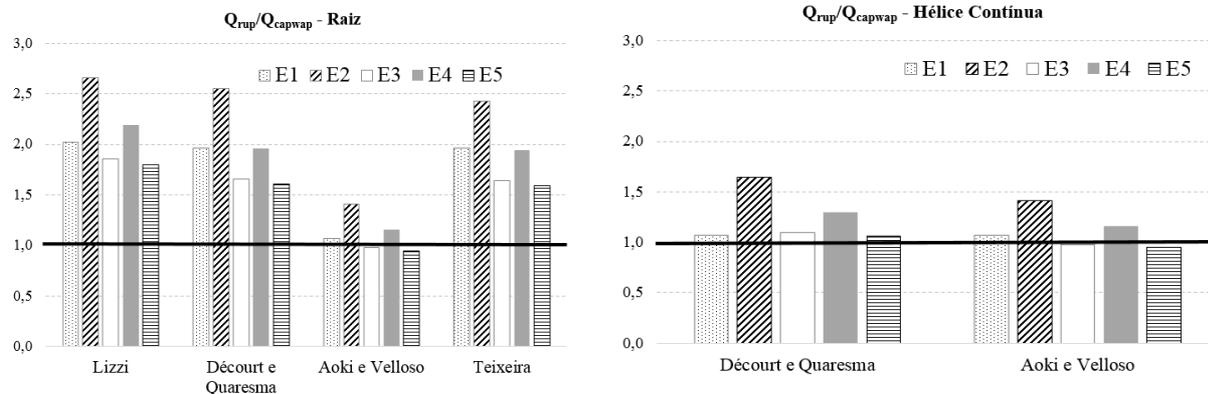


Figura 5. Comparações entre cargas de ruptura previstas pelos métodos semiempíricos para estacas raiz e hélice contínua.

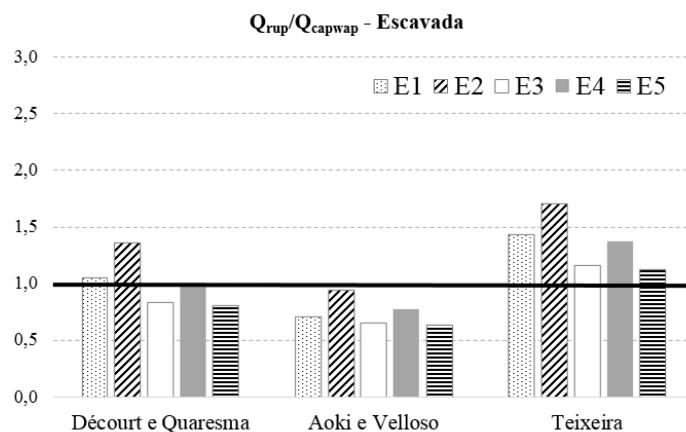


Figura 6. Comparações entre cargas de ruptura previstas pelos métodos semiempíricos para estacas escavadas.

Através da análise dos gráficos, apresentados na Figura 5 e 6, é possível verificar com qual tipo de estaca, entre as estudadas, a estaca *Hollow Auger* se assemelha quanto ao seu comportamento e qual método foi o mais preciso. Nos gráficos das Figuras 5 e 6, os valores dos métodos que se aproximam do valor 1,0 são os resultados que mais se aproximaram dos obtidos pelo Ensaio de Carregamento Dinâmico. Se os valores são maiores que 1,0, significa que o método semiempírico apresentou uma carga de ruptura maior que a obtida no ensaio. Quando os valores são menores que 1,0, o método apresentou valores menores para carga de ruptura do que a obtida no ensaio.

Analisando separadamente cada gráfico, observa-se que os valores de carga de ruptura obtidos nos métodos para Estaca Raiz, são superiores aos resultados obtidos no ensaio de Carregamento Dinâmico (Tabela 1), na faixa entre 1,5 e 2,5 vezes maior. Somente o método de Aoki e Velloso (1975) apresentou valores entre 1,0 e 1,5.

Quando se aplicou os métodos para Hélice Contínua, as cargas de ruptura se mostraram próximas aos resultados do Ensaio, tanto no método de Decourt e Quaresma (1996) quanto para Aoki e Velloso (1975), com proporções entre 1,0 e 1,5.

Quando os métodos são aplicados para Estaca Escavada, observa-se que o método de Decourt e Quaresma (1996) apresentou resultados próximos aos Ensaio, enquanto que Aoki e Velloso (1975) mostrou-se cerca de 30% inferior. O método de Teixeira (1996) mostrou resultados superiores aos ensaios de carregamento dinâmico.

Com base na análise dos resultados, verifica-se que a capacidade de carga da estaca Raiz é, em média, 80% superior a uma estaca *Hollow auger*, enquanto que a Hélice Contínua é cerca de 20% superior. Quanto a estaca escavada, os resultados para *Hollow Auger* se mostraram próximos da relação unitária.

7.3 Análise das Parcelas de Carga Lateral e Ponta

Através dos métodos semiempíricos, foi possível obter as previsões de capacidade de carga lateral e ponta para cada tipo de estaca e compará-los com os resultados fornecidos pelo Ensaio de Carregamento Dinâmico.

Tabela 3. Carga Lateral (kN) prevista, com uso de coeficientes para Estacas Raiz, Hélice Contínua (H.C.) e Escavadas (Esc.).

Estaca	Lizzi (1982)			Decourt e Quaresma (1996)			Aoki e Velloso (1975)			Teixeira (1996)		
	Raiz	H.C.	Esc.	Raiz	H.C.	Esc.	Raiz	H.C.	Esc.	Raiz	H.C.	Esc.
	E1	1000	-	-	866	577	411	408	408	272	777	-
E2	1470	-	-	1321	880	653	585	585	390	1200	-	800
E3	2160	-	-	1797	1198	831	897	897	598	1668	-	1112
E4	2160	-	-	1797	1198	831	897	897	598	1668	-	1112
E5	2160	-	-	1797	1198	831	897	897	598	1668	-	1112

Com os resultados da Tabela 3, pode-se observar que, em média, as cargas laterais calculadas como Estaca Raiz apresentaram resultados 150% superiores aos do Ensaio de Carregamento Dinâmico (Tabela 1). Para Estaca Hélice Contínua, os resultados foram 60% superiores, enquanto que para Escavada, 30% superiores.

Tabela 4. Carga de Ponta (kN) prevista, com uso de coeficientes para Estacas Raiz, Hélice Contínua (H.C.) e Escavadas (Esc.).

Estaca	Lizzi (1982)			Decourt e Quaresma (1996)			Aoki e Velloso (1975)			Teixeira (1996)		
	Raiz	H.C.	Esc.	Raiz	H.C.	Esc.	Raiz	H.C.	Esc.	Raiz	H.C.	Esc.
	E1	-	-	-	109	38	109	128	128	85	196	-
E2	-	-	-	97	34	97	200	200	133	146	-	146
E3	-	-	-	140	84	140	249	249	166	243	-	243
E4	-	-	-	140	84	140	249	249	166	243	-	243
E5	-	-	-	140	84	140	249	249	166	243	-	243

Analisando os resultados de Carga de Ponta, da Tabela 4, observa-se que, para estacas Raiz, os resultados foram cerca de 27% inferiores aos do Ensaio de Carregamento Dinâmico (Tabela 1). Para Hélice Contínua e Escavada, os resultados foram, respectivamente, 44% e 37% inferiores.

8 Conclusão

Calcular a capacidade de carga usando os coeficientes para estaca raiz seria desfavorável a segurança, exceto para o método de Aoki e Velloso (1975). Os métodos para Hélice Contínua e Escavada são favoráveis a segurança.

Em relação as parcelas de cargas laterais e de ponta, observou-se que os resultados se mostraram imprecisos para todos os métodos e estacas calculados.

Considerando-se os três tipos de estacas e os métodos analisados, verifica-se que o comportamento de uma estaca *Hollow Auger* se assemelha a uma estaca Escavada.

No entanto, a análise foi feita considerando o fato de que os métodos estudados neste trabalho foram aplicados a partir de resultados de Ensaio de Carregamento Dinâmico. Esta distinção é importante, uma vez que os métodos foram desenvolvidos pelos autores a partir de resultados de Prova de Carga Estática, cujos resultados nem sempre são similares aos de Ensaio de Carregamento Dinâmico. Portanto, apesar da convergência de alguns resultados, estes somente podem ser adotados como um norte, já que não são conclusivos. É necessário um estudo maior, através da análise de Provas de Carga Estáticas, para avaliação das capacidades de carga e validação dos resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores do texto agradecem a Sondosolo Geotecnia e Engenharia pelo fornecimento dos dados necessários para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia. (2016). Manual de Execução de Fundações e Geotecnia – Práticas Recomendadas. São Paulo.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2007). 13208: Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico. Rio de Janeiro: Moderna, 12 p.
- Alonso, U. R. (2019) Previsão e controle das fundações, São Paulo: Blucher, 3ª Edição, 154p.
- Aoki, N.; Velloso, D. A. (1975). An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. V Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires, v. 1, p. 367 – 376.
- Décourt, L.; Quaresma, A. R. (1978). Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES, 6., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS, p.45-53, v.1.
- Décourt, L. (1996) *A ruptura de fundações avaliada com base no conceito de rigidez*. 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, SEFE III. São Paulo, ABEF/ABMS, v. 1, p. 215-224.
- Lizzi, F. (1982). *The static restoration of monuments*. Sagep Editrice. Gênova - Itália. 146 p
- Niyama, S.; Aoki, N.; Chamecki, P. R. (2009). Verificação de Desempenho. Fundações: Teoria e Prática, PINI, 2ª Edição, São Paulo, Cap. 20, p.723-751.
- Silva, T. M. (2011) Ensaio de Carregamento Dinâmico em Estacas no Complexo de Suape. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Tecnologia das Construções) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife.
- Soares, W. C. (2011) Radier Estaqueado com Estacas Hollow Auger em solo arenoso. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – DEC – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Teixeira, A. H. (1996). *Projeto e execução de fundações*, Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, SEFE III, v. 1, São Paulo, p. 33-50.