

# Comparação de Resultados de Provas de Carga Estática e Dinâmica em Estacas Hélice Contínua Executadas em Camada de Solo Mole da Cidade de Maceió-AL

André da Costa Colatino

Instituto Brasileiro de Educação Continuada, Maceió, Brasil, andrecolatino@tecnosenge.com.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosfpa@hotmail.com

Lucas Menezes Marques

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, lucasmarques034@gmail.com

Luan Fontenelle Vieira Rodrigues

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, luanfontenelle@gmail.com

**RESUMO:** O presente trabalho tem por finalidade comparar os resultados de capacidade de carga através de provas de carga estática e provas de carga dinâmica em estacas do tipo hélice contínua realizadas em subsolo da cidade de Maceió-AL, que por meio das sondagens SPT apresentou características predominantes de solos moles. Através dos dados obtidos, compararam-se as análises realizadas pelos métodos CASE e CAPWAP das provas de carga dinâmicas com as curvas “carga *versus* deslocamento” obtido com as provas de carga estáticas e extrapoladas pelo método de Van der Veen. A estaca E1, o carregamento estático apresentou uma carga de ruptura 15% inferior a determinada pelo método dinâmico. Por meio da análise aprofundada, observa-se uma grande compatibilidade entre os resultados dos dois tipos de ensaio, onde é possível visualizar resultados muito próximos, tanto com o uso da avaliação pelo método CASE quanto pelo CAPWAP.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estacas Hélice Contínua, Prova de Carga Estática, Prova de Carga Dinâmica, Solo Mole.

## 1 INTRODUÇÃO

A fundação é um elemento essencial a qualquer edificação, e é de fundamental importância que seja realizada avaliações criteriosas de qualidade antes, durante e após a sua execução, tanto para se confirmar um comportamento previsto, quanto para readequar, enquanto se executa o projeto de fundações de forma a aumentar a segurança e reduzir os custos.

De acordo com Cintra e Aoki (2010), a fundação pode ser observada como um sistema composto, não apenas pelo elemento estrutural,

mas, também, pelo maciço de solo que a envolve. O objetivo desse sistema é fazer a interação entre o elemento de fundação e o solo, ocorrendo à transmissão ao solo das cargas recebidas da edificação, promovendo, dessa forma, as condições mínimas de segurança da estrutura.

O projeto de fundação inicia-se com a caracterização do subsolo por meio de investigações geotécnicas. O método mais utilizado no Brasil, nesse sentido, é a sondagem SPT, que, conforme cita a ABNT (2001), fornece dados como nível do lençol freático,

índice de resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ) e tipo de solo por camada.

Por meio da sondagem SPT, é possível realizar previsões de capacidade de carga, através dos métodos semi-empíricos, que levam em consideração os resultados de índice de resistência à penetração.

Gusmão (2008) destaca que, para a escolha do tipo de fundação que se deseja utilizar, é fundamental analisar o grande número de variáveis, pois, por mais que o tipo de terreno e suas propriedades geomecânicas de onde será erguida a edificação sejam fatores importantes, não são apenas estes que influencia nessa escolha. O engenheiro geotécnico deve levar em consideração outros vários aspectos, tais como os dados da estrutura profunda, dados da vizinhança, dados da execução e dados econômicos.

Assim, é válido destacar que o território brasileiro possui subsolos com as mais variadas características dos mais diversos tipos de solo, dentre eles o solo mole, seja siltoso ou argiloso, com consistências que corroboram baixa resistência. Nesse contexto, o dimensionamento de fundações profundas constitui-se um desafio para projetistas geotécnicos e executores, devendo ser realizado de maneira criteriosa, devido às dificuldades encontradas relacionadas à forma que as estacas tomam após escavação e preenchimento.

Como as fundações não podem sofrer inspeções visuais para detectar possíveis anomalias, por estarem enterradas, surgiu-se a necessidade de métodos de avaliação da capacidade de carga, conhecidas como provas de carga estáticas e dinâmicas. Assim, torna-se fundamental a realização de provas de carga, pois, conforme cita Albuquerque (1996), elas são utilizadas para o estudo do comportamento da interação estaca-solo, além de verificarem aspectos significativos como a capacidade de carga, deslocamentos do elemento da fundação, e ainda a transferência de carga em profundidade.

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo verificar e comparar resultados de provas de carga estáticas e dinâmicas realizada

em estacas do tipo hélice contínua, que ocorreu em solos moles de baixa consistência, na cidade de Maceió-AL.

## 2 ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

A estaca hélice contínua pode ser definida como do tipo de concreto moldada *in loco*, executada por meio da introdução no terreno, por rotação, de um trado helicoidal contínuo e de injeção de concreto pela haste central do trado, simultaneamente a sua retirada. Após a concretagem, é inserida a armação, conforme descreve ABNT (2010).

A haste de perfuração desse tipo de estaca, de acordo com Hachich et al (1996), é constituída de uma hélice espiral contendo em sua extremidade inferior dentes (garras) capazes de cortar o terro. A perfuração é realizada sem que a hélice seja retirada do furo.

Durante o processo de perfuração, conforme cita Antunes e Tarozzo (1998), o trado é inserido por meio de torque para vencer a resistência do solo. Após atingida a profundidade ideal, um mangote é inserido na extremidade superior da haste do trado para condução do concreto, que é bombeado e vai preenchendo o furo a cada incremento de hélice que é retirado do mesmo.

Velloso e Lopes (2002) destacam que a colocação da armadura no processo executiva da estaca hélice contínua impõe a sua colocação após o término da concretagem, sendo introduzida manualmente por operários. Com isso, um dos pontos de atenção durante a execução das estacas está relacionado ao fornecimento de concreto bombeado, pois o mesmo deve apresentar características inerentes ao processo executivo, principalmente no que diz respeito ao *slump test*. Também é fundamental o estudo logístico da região para que não haja interrupção no fornecimento durante a concretagem da estaca.

A estaca hélice contínua pode ter a sua execução toda controlada e registrada por meio de equipamentos que monitoram a velocidade de rotação da hélice, a pressão de injeção do

concreto, a inclinação da haste, torque aplicado, profundidade perfurada e consumo de concreto. Um dos equipamentos mais utilizados nesse sentido é o *Pile Installation Recorder* (PIR).

### 3 PROVA DE CARGA ESTÁTICA

A ABNT (2006) define o princípio de prova de carga estática como sendo a aplicação de esforços estáticos à estaca, que podem ser axiais ou transversais, e o registro dos deslocamentos correspondentes. Já Cintra *et. al* (2013), cita que a prova de carga estática é realizada a partir da aplicação de uma carga conhecida no topo da estaca, em incrementos sucessivos e iguais com a simultânea monitoração dos deslocamentos verticais da cabeça da estaca até que seja atingida a ruptura ou alcançada sua carga máxima pretendida, como pode ser visto no esquema do ensaio na Figura 1.

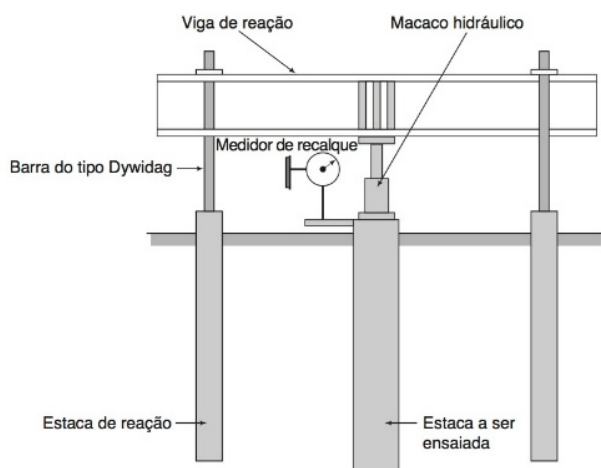


Figura 1. Esquema do ensaio de prova de carga estática (Budhu, 2013).

A utilização deste ensaio justifica-se, conforme Albuquerque (1996), em função da dificuldade em conhecer as propriedades do solo, o efeito do conjunto solo/estaca e suas alterações. Vale ressaltar que os principais motivos para realização de prova de carga são: verificar o comportamento na carga de trabalho, determinar a carga de ruptura, avaliar a integridade estrutural do elemento de fundação, determinação das parcelas de resistência lateral

e de ponta, bem como redução de custos e confiança para o projetista.

Cintra *et. al* (2013) também tratam da importância da realização da prova de carga estática em estacas de fundação, dando destaque às incertezas e variáveis inerentes dos processos de investigação do subsolo, dimensionamento e execução das estacas, dentre as quais estão o comprimento  $L$  e a capacidade de carga  $R$  do sistema solo-estaca para cada estaca e o fator de segurança global ( $F_s$ ) da fundação.

Tanto Cintra *et. al* (2013) quanto a ABNT (2006) citam que a transferência de carga à estaca deve ser feita por meio de macaco hidráulico reagindo contra um sistema de reação, que pode ser composto por cargueira ou estruturas fixadas ao terreno (estacas de reação ou tirantes), mas a ABNT (2006) ainda inclui um terceiro sistema que seria a própria estrutura da construção, contanto que devidamente verificada para todas as solicitações do ensaio.

É válido destacar que a execução de provas de carga estática pode ser do tipo carregamento rápido (Quick Mantained Load - QML) ou lento (Slow Mantained Load - SML). Para os carregamentos lentos, os estágios de aplicação da carga, não superiores a 20% da carga de trabalho, devem ser mantidos pelo tempo mínimo de 30 minutos ou até estabilização do recalque. Já para os carregamentos do tipo rápido, os acréscimos não devem ser superiores a 10% e o tempo em que são mantidos é de 5 minutos, independente da estabilização dos recalques da estaca que está sendo analisada.

Caso à estaca não seja levada até a ruptura nítida, segundo Cintra *et al* (2013), não é possível determinar a capacidade de carga diretamente, sendo necessário utilizar métodos consagrados na Engenharia Geotécnica. Dois desses métodos são o de Van der Veen e o critério estabelecido em ABNT (2010).

### 4 PROVA DE CARGA DINÂMICA

O ensaio de carregamento dinâmico, segundo a ABNT (2007), visa à avaliação de cargas mobilizadas na interface solo-estaca, eficiência do sistema de impacto, tensões de compressão e

de tração ao longo da estaca, integridade estrutural e características dinâmicas do sistema solo-estaca.

Cintra *et. al* (2013) salienta que o ensaio é realizado por meio de impactos sucessivos de um peso de massa conhecida, em queda livre, de altura determinada, posicionado centrado e axialmente à estaca com a finalidade de obter os valores de força e deslocamento sofridos pelo topo da estaca em cada impacto. Para tanto são instalados acelerômetros e transdutores de deformação específica, posicionados na mesma seção, aos pares, diametralmente opostos em relação ao eixo da estaca, como visto na Figura 2.

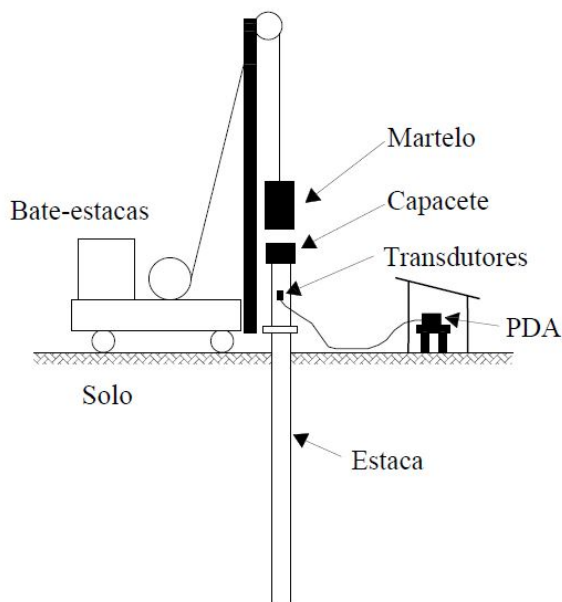


Figura 2. Esquema do ensaio de prova de carga dinâmica (Cintra *et al*, 2013).

A ABNT (2007) ressalta a importância de garantir a integridade estrutural da estaca, onde, visando garantir a suavização dos impactos de martelos automáticos ou martelos de queda livre, podem ser utilizados dispositivos de amortecimento no topo da estaca analisada.

A interpretação dos dados dos registros de campo, é feita através de dois métodos distintos, o CASE (desenvolvido no Case Institute of Technology) e o CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program).

O método CASE baseia-se em uma solução

simplificada que possibilita a estimativa imediata da resistência estática de uma estaca submetida ao impacto dinâmico, por meio da interpretação das medidas de força e velocidade em seu topo, conforme destacado por Cintra *et. al* (2013). Para Gonçalves *et. al* (2000) esse método é baseado em hipóteses simplificadas para a solução matemática como comportamento plástico ideal do solo, estaca idealmente elástica e uniforme e atrito lateral mobilizado igual para ondas descendentes e ascendentes.

Já no método CAPWAP, Gonçalves *et. al* (2000) cita que o sistema estaca-solo é modelado computacionalmente como um conjunto de elementos massa-mola e a resistência do solo é considerada como de reação passiva, ou seja, são função apenas do movimento da estaca.

Após realizado o ensaio, as medidas de força e velocidade são comparadas com o modelo computacional, que tem seus parâmetros ajustados interativamente para coincidir com as respostas medidas e o resultado desse ajuste é assumido como sendo a resistência real. Esse procedimento é realizado computacionalmente com o software CAPWAP, conforme destacado por Cintra *et. al* (2013).

## 5 METODOLOGIA

Para a realização do estudo, foram executadas sondagens do tipo SPT para caracterização do subsolo, na qual foi possível determinar a consistência das diversas camadas, verificando-se a existência de solos moles na região analisada de Maceió, Alagoas.

Em seguida, executaram-se as estacas do tipo Hélice Contínua, a qual possuíam diâmetro de 400 mm e comprimento em torno de 16 m, sendo dimensionadas para uma capacidade de carga de 40 tf.

Posteriormente, foram realizadas provas de carga estática em duas das estacas Hélice Contínua. Os resultados foram analisados e, logo após, elaborados gráficos de carga x recalque. A construtora responsável pela obra

contratou uma empresa especializada para a realização das provas de carga dinâmicas em nove estacas que posteriormente forneceu um relatório composto pelos resultados das análises CASE e CAPWAP realizadas.

Com a obtenção destes resultados, foi possível a realização de um comparativo entre as capacidades de carga determinadas a partir dos dois tipos de ensaio.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Aspectos geotécnicos da obra

O local onde foram executadas as estacas localiza-se em uma região de vale, muito próxima à calha de um riacho cujo subsolo possui características de argila com presença de matéria orgânica e de consistência muito mole a mole até aproximadamente 9 m de profundidade. Após essa profundidade é observado um material ainda argiloso, mas de consistência mais dura, de acordo com os resultados da sondagem vista na Figura 3.

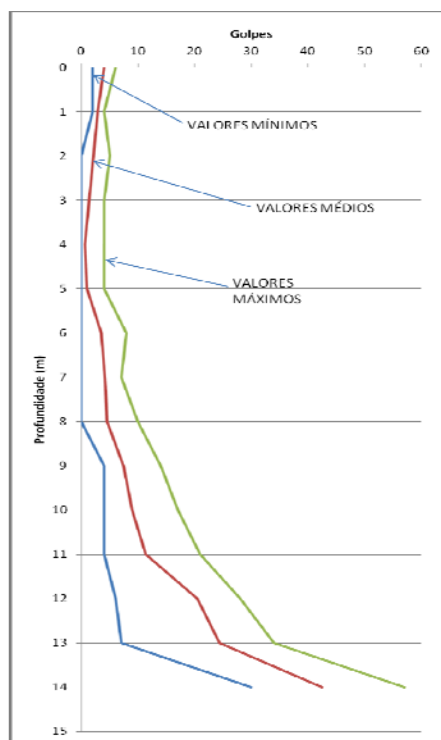


Figura 3. Variação dos valores de SPT (mínimo, médio e máximo) para o subsolo analisado.

A Tabela 1 apresenta a descrição das camadas do subsolo detectadas nos perfis geotécnicos dos furos de sondagem disponíveis para análise.

Tabela 1. Estratigrafia do subsolo.

Profundidade (m)	Material Predominante
0	
1	
2	Argila
3	
4	
5	
6	
7	Argila Arenosa
8	
9	Argila
10	Areia Argilosa
11	
12	
13	Areia
14	

A partir dos valores do SPT (médios) e do tipo de solo, é possível estabelecer a consistência/compacidade das camadas, observado na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação quanto à Consistência e Compacidade de acordo com a profundidade e material predominante.

Profundidade (m)	Material Predominante	Consistência/Compacidade
1		Mole
2		Mole
3	Argila	Muito mole
4		Muito mole
5		Muito mole
6		Muito mole
7	Argila Arenosa	Mole
8		Mole
9		Mole
10	Argila	Média
11	Areia Argilosa	Medianamente compacta
12		Medianamente compacta
13	Areia	Compacta
14		Compacta
15		Muito compacta

## 6.2 Prova de Carga Estática

Para a realização da análise, executaram-se ensaios de carregamento tipo lenta nas estacas hélice contínua E1 e E2. Resultando nos dados de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Resumo dos dados das provas de carga estática.

		Estaca E1	Estaca E2
<b>Carga de trabalho (tf)</b>		40	40
<b>Carga máxima (tf)</b>		120	77
<b>Recalque (mm)</b>	Máximo	11,32	82,90
	Permanente	7,51	73,42
<b>Relação Recalque/D (%)</b>		1,87	18,35
<b>Carga de ruptura (tf)</b>	Van der Veen (1953)	120	88
	ABNT (2010)	-	45

Como visto os resultados indicado na Tabela 3, à estaca E1 apresentou recalques muito abaixo do esperado para o tipo de estaca e solo, assim não foi possível calcular a carga de ruptura a partir do método da ABNT (2010) para esse elemento. Além disso, a capacidade de carga dessa estaca ficou acima dos valores especificados em projeto com boa margem de folga.

Já a estaca E2 não demonstrou os resultados de capacidade de carga esperada, por não apresentar fator de segurança superior a 2, estando ainda, para o critério de extrapolação da ABNT (2010), muito próximo a 1. Observa-se também que essa estaca mostrou um comportamento de recalque considerado elevado, sendo superior a 10% do diâmetro da seção e que os valores extrapolados pela ABNT (2010) e pelo método de Van der Veen (1953) não se enquadram, visto que a estaca sofreu ruptura nítida.

Para a determinação da carga admissível foi considerado o resultado do método mais conservador e, portanto, mais favorável à segurança, que nesse caso, foi o método ABNT (2010). As Figuras 4 e 5 apresentam as curvas “carga *versus* recalque” do ensaio de prova de carga estática.

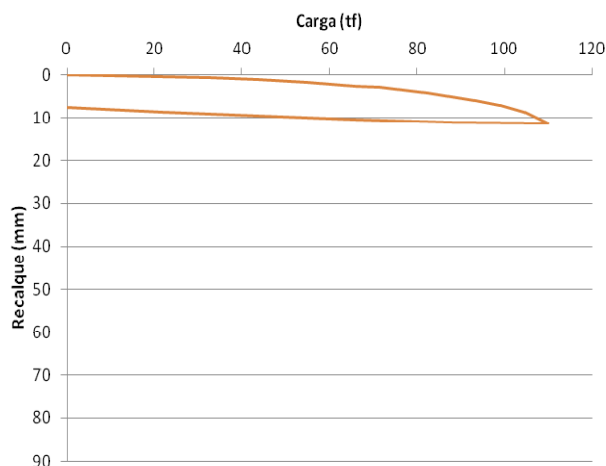


Figura 4. Gráfico Carga x Recalque obtido para a estaca E1.

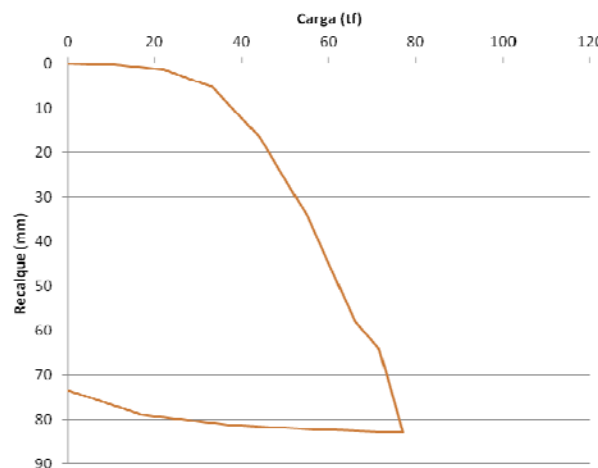


Figura 5. Gráfico Carga x Recalque obtido para a estaca E2.

## 6.2 Prova de Carga Dinâmica

Os resultados das provas de carga dinâmica executadas na obra foram incluídas as análises CASE e CAPWAP. Os tópicos a serem analisados dos ensaios dinâmicos são dependentes do método escolhido, sendo eles o CASE (RMX - Resistência máxima mobilizada e DMX - Deslocamento máximo) e CAPWAP (RL - Resistência lateral, R<sub>P</sub> - Resistência de ponta e R<sub>U</sub> - Resistência última).

A Tabela 4 apresenta o resumo dos dados obtidos através das análises CASE para as estacas do tipo hélice contínua ensaiadas.

Tabela 4. Resultados de Prova de Carga Dinâmica pelo método de análise CASE.

Estaca	Carga Trabalho (tf)	RMX (tf)	DMX (mm)	FS	Relação DMX/D (%)
E1	40	142	7	2,6	1,46
E5	40	118	8	3,0	2,00
E6	40	*	10	-	2,50
E10	40	145	6	3,6	1,50
E13	40	146	7	3,7	1,75
E16	40	140	8	3,5	2,00
E17	40	136	6	3,4	1,50
E21	40	147	7	3,7	1,75
E24	40	85	7	2,1	1,75

A estaca E6 apresentou problemas de integridade com danos estruturais que impossibilitaram a avaliação da resistência máxima e seu fator de segurança.

A análise através do método CAPWAP permite observar as parcelas de resistência decorrentes do suporte da ponta da estaca e também do atrito lateral, separadamente. Os resultados das análises das provas de carga dinâmica, nas estacas em estudo, através desse método encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados de Prova de Carga Dinâmica pelo método de análise CAPWAP.

Estaca	Carga Trabalho (tf)	R <sub>U</sub> (tf)	R <sub>L</sub> (tf)	R <sub>P</sub> (tf)	FS
E1	40	140,8	103,7	37,1	<b>2,6</b>
E5	40	118	80,7	37,3	<b>3,0</b>
E6	40	*	*	*	*
E10	40	145,9	126,2	19,7	<b>3,6</b>
E13	40	150	112,6	37,4	<b>3,8</b>
E16	40	140	84,2	55,8	<b>3,5</b>
E17	40	140	110,8	29,2	<b>3,5</b>
E21	40	147	94,2	52,7	<b>3,7</b>
E24	40	92,5	75,6	16,9	<b>2,3</b>

Em relação à distribuição das resistências ao longo das estacas, foi possível analisar por meio do método CAPWAP que nas estacas ensaiadas, a parcela referente ao atrito lateral é sempre a maior contribuição à capacidade de carga das estacas, e todas as estacas, tanto no método CASE e CAPWAP, obtiveram um fator de segurança maior que 2.

### 6.3 Análise e comparação dos resultados na estaca E1

Conforme visto, a estaca E1 foi submetida por ensaios de carregamento estático e dinâmico, permitindo realizar a comparação dos resultados obtidos em ambos os métodos. Comparou-se o valor obtido na prova de carga estática e extrapolado por Van der Veen (1953) com os resultados obtidos na análise da prova de carga dinâmica e seus métodos CASE e CAPWAP. A Tabela 6 apresenta o resumo dos dados para as provas de carga na estaca E1 e seus métodos de análise.

Tabela 6. Quadro resumo dos dados da estaca E1.

Prova de Carga Estática		
Carga última (tf)	Recalque máximo (mm)	Fator de Segurança
120	11,32	3,0
CASE		
RMX (tf)	DMX (mm)	Fator de Segurança
142	7	2,6
CAPWAP		
R <sub>u</sub> (tf)	Fator de Segurança	
140,8	2,6	

Observa-se que os resultados dos métodos CASE e CAPWAP apresentaram-se próximos, sendo o CAPWAP um pouco mais conservador. Ambos apresentaram resistências últimas próximo a 140 tf e com fator de segurança acima de 2.

Para a mesma estaca, o ensaio de carga estática (PCE) apresentou uma carga de ruptura de aproximadamente 15% inferior à determinada pelo método dinâmico (ECD). Os recalques avaliados para o topo da estaca também foram superiores àqueles apresentados no ensaio dinâmico, como visto na Figura 6.



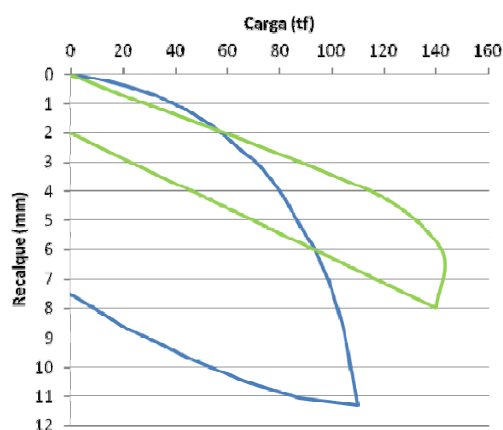


Figura 6. Curvas Carga x Recalque de PCE (azul) e ECD (verde) para a estaca E1.

## 7 CONCLUSÃO

Dessa forma, com as análises referentes aos ensaios de carregamento estático e dinâmico em estacas do tipo hélice contínua executadas em solos argilosos de consistência mole, podem-se constatar insuficientes quando observadas apenas o resultados de provas de carga estática. Entretanto, quando visto os dados obtidos das provas de carga dinâmica, as mesmas apresentaram satisfatórias, ocorrendo apenas uma estaca com o fator de segurança menor que 2.

Vale salientar que as sondagens mostraram que o solo cujo qual as estacas foram executadas é predominantemente composto por argila, com índices de penetração muito baixos nas camadas intermediárias, após os 2 m e com aumento das resistências após os 12 m, além da presença de matéria orgânica, o que diminui substancialmente a resistência do subsolo.

Por meio da análise mais aprofundada da estaca E1, através dos métodos estático e dinâmico, observa-se uma coerência entre os resultados dos diferentes tipos de ensaio, onde é possível visualizar resultados muito próximos, tanto com o uso da avaliação pelo método CASE quanto pelo CAPWAP. No entanto, o método ABNT (2010), estabelecido na literatura, apresentou-se mais conservador, favorecendo a segurança, sendo preferível quando se dispõe de resultados de ambos os ensaios.

Nota-se por meio dos dados apresentados que a prova de carga dinâmica se mostra uma excelente ferramenta de avaliação e controle de execução de fundações, independente do tipo de solo, principalmente pela possibilidade de se verificar o modelo de estaca projetado e suas parcelas de resistência calculadas com a realidade executada, já que através da análise numérica CAPWAP, é possível obter a contribuição do atrito lateral metro a metro, à resistência total encontrada pelo ensaio, bem como a parcela de contribuição referente à ponta da estaca.

Portanto, conclui-se que os métodos dinâmicos e estáticos são adequados e equivalentes para avaliação e controle de elementos de fundação executados “*in situ*” em solos moles, com ênfase às provas de carga dinâmicas que apresentaram dados para além da determinação da carga última da estaca.

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), campus Fortaleza, pela bolsa do autor<sup>3</sup>.

## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, P. J. R. (1996) *Análise do Comportamento de Estaca Pré-Moldada de Pequeno Diâmetro, Instrumentada, em Solo Residual de Diabásio da Região de Campinas*. Dissertação de Mestrado. FEAGRI. Unicamp. 170 p.
- Antunes, W. R.; Tarozzo, H. (1998) *Estacas Tipo Hélice Contínua*. In: MAIA, C. M. M., et al. *Fundações: teoria e prática*. 2ª. ed. São Paulo: PINI, 1998. Cap. 9, p. 345-348.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2001) *NBR 6484: Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro: [s.n.].
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2006) *NBR 12131: Estacas - Prova de carga estática - Método de ensaio*. Rio de Janeiro: [s.n.].
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2007) *NBR 13208: Estacas - Ensaio de carregamento dinâmico*. Rio de Janeiro: [s.n.].
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2010) *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro: [s.n.].
- Budhu, M. (2013). *Fundações e Estruturas de Contenção*. 1ª. ed. Rio de Janeiro: LTC.



- Cintra, J. C. A. *et al* (2013) *Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos*. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de textos.
- Cintra, J. C.; Aoki, N (2010) *Fundações por estacas: projeto geotécnico*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Gonçalves, C. *et al*. (2000) *Controle de fundações profundas através de métodos dinâmicos*. São Paulo: [s.n.].
- Gusmão, A. D. (2008) *Prática de fundações profundas no Nordeste*, In: Seminário De Engenharia De Fundações Especiais E Geotecnia VI, SEFE, São Paulo. Anais. v. 1, 207 f.
- Hachich, W. *et al*. (1996). *Fundações Teórica e Prática*. 1 edição, Ed. PINI, São Paulo.
- Velloso, D. A.; Lopes, F. R. (2002). *Fundações: Volume 2 – Fundações Profundas*. Rio de Janeiro: Editora Oficina de Textos.