

**135** novembro  
noviembre  
2015

# GEOTECNIA



Sociedade Portuguesa de Geotecnia



Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica



Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica



**N.º 135 – novembro/noviembre 2015**




EDITOR	EDITOR ASSOCIADO	EDITOR ASSOCIADO
José Couto Marques, FEUP, Portugal	Alberto Sayão, PUC-Rio, Brasil	Fernando Pardo de Santayana, CEDEX, Espanha
COMISSÃO EXECUTIVA / COMISIÓN EJECUTIVA		
Ana Cristina Sieira, UERJ, Brasil Madalena Barroso, LNEC, Portugal	César Sagaseta, U. Cantabria, Espanha Paulo Cesar Maia, UENF, Brasil	José Estaire, CEDEX, Espanha Paulo Coelho, FCTUC, Portugal

*A Revista Geotecnia foi publicada pela primeira vez em junho de 1971, com Úlpio Nascimento como fundador e José Folque como primeiro Diretor. Desde essa data tem vindo a publicar-se ininterruptamente, editando-se, em média, três números por ano. Em março de 2007 passou a ser editada conjuntamente pela SPG, ABMS e ABGE, desde março de 2011 pela SPG e ABMS e a partir de julho de 2014 pela SPG, ABMS e SEMSIG.*

*La Revista Geotecnia fue publicada por primera vez en junio de 1971, con Úlpio Nascimento como fundador y José Folque como primer Director. Desde esa fecha se viene publicandose ininterrumpidamente, editando-se, en media, tres números al año. En marzo de 2007 pasó a ser editada conjuntamente por la SPG, la ABMS y la ABGE; desde marzo de 2011 por la SPG y la ABMS; y a partir de julio de 2014 por la SPG, la ABMS y la SEMSIG.*

### COMISSÃO EDITORIAL/COMISIÓN EDITORIAL 2015-2016

<p>Alexandre Gusmão, UPE, Recife, Brasil                      Alexandre Pinto, JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal                      Alexandre Saré, BP, Houston, EUA                      Almudena da Costa Garcia, U. Cantabria, Santander, Espanha                      André Lima, UVA, Rio de Janeiro, Brasil                      Anna Laura Nunes, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil                      Antonio Lloret Morancho, UPC, Barcelona, Espanha                      António Roque, LNEC, Lisboa, Portugal                      António Viana da Fonseca, FEUP, Porto, Portugal                      Armando Antão, FCT-UNL, Caparica, Portugal                      Áurea Perucho Martínez, CEDEX, Madrid, Espanha                      Bernardo Caicedo, U. de los Andes, Bogotá, Colombia                      Carlos Henrique Medeiros, UEFS, Bahia, Brasil                      Celso Lima, EDP Produção, Porto, Portugal                      Cristiano Farias Teixeira, VALE, Belo Horizonte, Brasil                      Claudio Mahler, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil                      Cristina Schmidt, Huesker, S. José dos Campos, Brasil                      Dávor Símic Sureda, UPM, Madrid, Espanha                      Deane Roehl, PUC, Rio de Janeiro, Brasil                      Denise Gerscovich, UERJ, Rio de Janeiro, Brasil                      Diego Manzanal, CONICET, Buenos Aires, Argentina                      Edgar Odebrecht, UDESC, Joinville, Brasil                      Eduardo Fortunato, LNEC, Lisboa, Portugal                      Efraín Ovando Shelley, UNAM, México                      Ennio Marques Palmeira, UnB, Brasília, Brasil                      Eurípedes Vargas Jr, PUC, Rio de Janeiro, Brasil                      Herminia Cano Linares, CEDEX, Madrid, Espanha                      Isabel Reig Ramos, UPM, Madrid, Espanha                      Izabel Duarte Azevedo, UFV, Viçosa, Brasil                      Javier Moreno Robles, CEDEX, Madrid, Espanha                      Jean Vaunat, UPC, Barcelona, Espanha                      João Paulo Bilé Serra, LNEC, Lisboa, Portugal</p>	<p>Jorge Cañizal Berini, U. Cantabria, Santander, Espanha                      Jorge Castro González, U. Cantabria, Santander, Espanha                      Jorge Vasquez, EDIA, Beja, Portugal                      Jorge Zegarra Pellane, PUCP, Lima, Perú                      José Leitão Borges, FEUP, Porto, Portugal                      José Mateus de Brito, Cenorgeo, Lisboa, Portugal                      José Neves, IST, Lisboa, Portugal                      Leonardo De Bona Becker, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil                      Luis García Castillo, U. Burgos, Burgos, Espanha                      Luis Medina Rodríguez, U. Coruña, La Coruña, Espanha                      Luiz Antônio Bressani, UFRGS, Porto Alegre, Brasil                      Marcos Arroyo Álvarez de Toledo, UPC, Barcelona, Espanha                      Maria da Graça Lopes, ISEL, Lisboa, Portugal                      Maria de Lurdes Lopes, FEUP, Porto, Portugal                      Michéle Casagrande, PUC, Rio de Janeiro, Brasil                      Monique Sobral, Maccaferri, Rio de Janeiro, Brasil                      Nuno Guerra, FCT-UNL, Caparica, Portugal                      Paulo Albuquerque, UNICAMP, Campinas, Brasil                      Paulo da Venda Oliveira, FCTUC, Coimbra, Portugal                      Paulo Henrique Dias, SEEL, Rio de Janeiro, Brasil                      Paulo Lopes Pinto, FCTUC, Coimbra, Portugal                      Pedro Guedes de Melo, Consulgeo, Lisboa, Portugal                      Percy Durand Neyra, U. Sevilla, Sevilla, Espanha                      Rafael Jiménez Rodríguez, UPM, Madrid, Espanha                      Rafaela Cardoso, IST, Lisboa, Portugal                      Raul Espinace Abarzúa, PUC de Chile, Valparaíso, Chile                      Ricardo Resende, ISCTE-IUL, Lisboa, Portugal                      Rubén Ángel Galindo Aires, UPM, Madrid, Espanha                      Tácio Campos, PUC, Rio de Janeiro, Brasil                      Telmo Jeremias, LNEC, Lisboa, Portugal                      Tiago Miranda, U. Minho, Guimarães, Portugal                      Waldemar Hachich, USP, São Paulo, Brasil</p>
--	--

<p> <b>SPG</b>                      A/ LNEC                      Av. do Brasil, 101                      1700-066 Lisboa, Portugal                      Tel.: (+351) 21 844 3859                      Fax: (+351) 21 844 3021                      E-mail: spg@lnc.pt                      http://www.spgeotecnia.pt</p>	<p> <b>ABMS</b>                      Av. Prof. Almeida Prado, 532                      IPT – Prédio 11                      Cidade Universitária                      05508-901 São Paulo-SP, Brasil                      Tel./Fax: (+55 11) 3768 7325                      E-mail: abms@abms.com.br                      http://www.abms.com.br</p>	<p> <b>SEMSIG</b>                      CEDEX, Laboratorio de Geotecnia                      C/Alfonso XII, 3                      28014 Madrid, Espanha                      Tel.: (+34) 91 335 7500                      Fax: (+34) 91 335 7322                      E-mail: info@semsig.org                      http://www.semsig.org</p>
---	---	---

*Distribuição gratuita aos membros da SPG, da ABMS e da SEMSIG. Distribución gratuita a los miembros de la SPG, de la ABMS y de la SEMSIG.*

**Execução gráfica:** Impressão na Cor Comum em Portugal. **Ejecución gráfica:** Impresa por Cor Comum em Portugal.

**ISSN 0379-9522 – Depósito Legal em Portugal:** 214545/04

- |     |  |  |
|-----|--|--|
| 3   | Editorial  | José Couto Marques   |
| 5   | Desenvolvimento da Geotecnia.<br>Condicionantes gerais e específicas   | António Silva Cardoso  |
| 41  | Consideração de detalhes executivos<br>no projeto de taludes com solo<br>grampeado                                       | Denise Maria Soares Gerscovich<br>Alberto de S. Ferraz Jardim Sayão<br>André Pereira Lima<br>Cauê Antonio Barreto Rosa   |
| 67  | Carta de suscetibilidade a<br>movimentos de massa e erosão do<br>município de Ipojuca-PE                                 | Fernanda Soares de Miranda Torres<br>Roberto Quental Coutinho<br>Cristiana Coutinho Duarte<br>Jéssica Bezerra de Menezes<br>Drielly Naamma Fonsêca<br>Pedro Augusto dos S. Pfaltzgraff |
| 89  | Métodos semiempíricos <i>versus</i><br>ensaios de carregamento dinâmico<br>em estacas                                    | Jean Felix Cabette<br>Heloisa Helena Silva Gonçalves<br>Fernando Antônio M. Marinho  |
| 115 | Estaca hélice contínua instrumentada:<br>previsão de carga de ruptura por<br>métodos semiempíricos vs. prova<br>de carga | Carla Therezinha Dalvi B. Alledi<br>Enivaldo Minette<br>Paulo José Rocha de Albuquerque<br>Uberescilas Fernandes Polido  |
| 129 | Caracterização geotécnica da rocha<br>calcária de João Pessoa/PB   | Nelci Rones Pereira de Sousa<br>Anderson Borghetti Soares  |
| 159 | Crítérios de engenharia para<br>classificação de materiais de<br>escavação em valas                                      | Silvrano Adonias Dantas Neto<br>Francisco Chagas da Silva Filho<br>Adriano Frutuoso da Silva   |

# ESTACA HÉLICE CONTÍNUA INSTRUMENTADA: PREVISÃO DE CARGA DE RUPTURA POR MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS VS. PROVA DE CARGA

Continuous flight auger pile instrumented: estimated load by  
semiempirical methods vs. load test

Carla Therezinha Dalvi Borjaille Alledi\*

Enivaldo Minette\*\*

Paulo José Rocha de Albuquerque\*\*\*

Uberescilas Fernandes Polido\*\*\*\*

**RESUMO** – Este trabalho apresenta e compara a carga obtida por prova de carga estática e por métodos semiempíricos de previsão de carga de ruptura para uma estaca hélice contínua (piloto). A estaca foi executada em um solo da formação Barreiras, em Carapina, município da Serra-ES e sua ponta apoiada em solo de elevada resistência ( $N_{SPT} \geq 50$ ). O perfil geotécnico é formado por solos arenosos, siltosos e argilosos, formando camadas ora com maior percentual de um tipo de solo ora de outro. Essas camadas com  $N_{SPT\text{médio}}$  da ordem de doze estão sobrejacentes a uma camada de argila silto-arenosa, de elevada resistência, com  $N_{SPT}$  superior a 40. A estaca com 0,40m de diâmetro e 16,8m de comprimento foi instrumentada em profundidade com *strain-gages* em quatro níveis. São analisados diversos métodos semiempíricos de previsão de carga de ruptura com base no SPT e SPT-T.

**SYNOPSIS** – This paper presents and compares the load obtained by a static load test and semi-empirical methods to predict the failure load for a continuous flight auger pile. The pile was installed on the Formation Barreiras in Carapina, municipality of Serra-ES and its tip was supported by high resistance soil ( $N_{SPT} \geq 50$ ). The geotechnical profile consists of sandy, silty and clayey soils, in layers with higher percentage of one soil type or another. These layers, with  $N_{SPT(ave)}$  of 12, overlie a high strength silty-sandy clay soil layer with  $N_{SPT}$  over 40. The pile, 0.40m in diameter and 16.8m long, was instrumented with strain-gages at four depth levels. Several semi-empirical methods to predict the failure load based on SPT and SPT-T are analysed.

**PALAVRAS CHAVE** – Estaca hélice contínua instrumentada, prova de carga, métodos semiempíricos.

---

\* Professora, Coordenadoria de Edificações, Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: borjaille@ifes.edu.br

\*\* Professor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. E-mail: emINETTE@ufv.br

\*\*\* Professor, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. E-mail: pjra@fec.unicamp.br

\*\*\*\* Engenheiro-Diretor. Geoconsult-Consultoria de Solos e Fundações Ltda.  
E-mail: uberescilas@geoconsult.com.br

## 1 – INTRODUÇÃO

As estacas hélice contínua foram introduzidas no Brasil no ano de 1987, mas somente a partir de 1993 tiveram uma ampla divulgação (Caputo *et al.*, 1997). Dessa data em diante, tem sido crescente o seu emprego em obras de fundações e de contenções.

Além do grande avanço tecnológico no processo executivo, quando comparadas com os demais tipos de fundações profundas, essas estacas têm sido cada vez mais preferidas em centros urbanos por apresentarem como características a rapidez de execução, que implica a redução do cronograma da obra, a ausência de vibração e pouco ruído (presente nos equipamentos à percussão), não causando danos nem transtornos nas vizinhanças.

Na Região Metropolitana da Grande Vitória, que envolve os municípios de Vila Velha, Cariacica, Viana, Guarapari, Serra e Fundão, além de Vitória, capital do Espírito Santo, desde 1989 têm-se utilizado com grande frequência as estacas hélice contínua. Com o crescimento, ano a ano, do uso deste tipo de estaca, torna-se imperativo o conhecimento do comportamento e desempenho dessas estacas nessa região metropolitana. Ainda são poucos os dados de campo sobre provas de carga instrumentadas para que se definam parâmetros de projeto, persistindo as dúvidas quanto às parcelas de atrito e ponta nos solos da região.

Alonso (2013), mais uma vez, expressa sua preocupação quanto à utilização dos métodos semiempíricos, pois eles “não são universais” conforme já exposto em Alonso (2000). Assim, os métodos de previsão de capacidade de carga de estacas devem ser aplicados apenas aos solos da região onde esse método foi estabelecido. O autor enfatiza que a reavaliação do método original e seus ajustes, para cada nova região geotécnica, devem ser feitos por prova de carga estática. A opinião de Alonso é confirmada por Polido (2013) que, com base em pesquisa realizada em nível nacional, verificou que os métodos semiempíricos ainda têm um caráter regional e demandam ajustes para serem utilizados de uma forma generalizada.

Este estudo enfoca a carga de uma estaca hélice contínua, de 0,40m de diâmetro, com comprimento de 16,8m, executada em perfil geotécnico da Formação Barreiras. Os resultados de carga obtidos experimentalmente, por meio de prova de carga estática em estaca piloto instrumentada, foram comparados com as previsões de carga dos principais métodos semiempíricos de prática corrente na engenharia geotécnica brasileira. Foram analisados métodos que utilizam resultados de ensaios SPT e SPT-T.

## 2 – DESCRIÇÃO DO TERRENO E DA ESTACA

A pesquisa foi realizada na Região Metropolitana da Grande Vitória, capital do Estado do Espírito Santo, situada na Região Sudeste do Brasil. A região de Vitória inclui a ilha de mesmo nome e bairros situados na parte continental. A obra selecionada na qual foi realizada a prova de carga deste trabalho, está situada no município da Serra, especificamente, no chamado Planalto de Carapina.

A estaca hélice contínua foi executada em perfil geotécnico da Formação Barreiras. Na geologia local observa-se uma discordância erosiva, subdividida em duas unidades, informalmente designadas por Tamara (1995) como Unidade Inferior e Unidade Superior, as quais apresentam processos distintos de deposição.

De acordo com esse autor, a Unidade Inferior evidencia um sistema fluvial depositado sobre condições semiáridas. Seus sedimentos apresentam-se, em grande parte, inconsolidados, mal selecionados, constituídos por areias, silte e argilas. Foram encontradas, também, camadas horizontais de areia fina e lentes de argila e camadas de argila associadas a ambientes lagunares. A Unidade Superior apresenta diferentes perfis constituídos de material com ampla variação granulométrica, formados por camadas de argilas, siltes, areias e evidências de óxidos de ferro em diferentes níveis. As características de textura e estrutura indicam que os sedimentos foram depositados em sucessivos fluxos de areia.

Para a investigação geotécnica foram executadas sondagens de simples reconhecimento com medida de torque (SPT-T). O perfil geotécnico apresenta solos arenosos, siltosos e argilosos, formando camadas ora com maior percentual de um tipo de solo ora de outro. Essas camadas com  $N_{SPT\text{médio}}$  da ordem de doze estão sobrejacentes a uma camada de argila silto-arenosa de elevada resistência,  $N_{SPT} > 40$ . O nível de água foi encontrado a uma profundidade de 6,5m. Na Fig. 1 pode-se observar o perfil do subsolo e o posicionamento da instrumentação ao longo da profundidade.

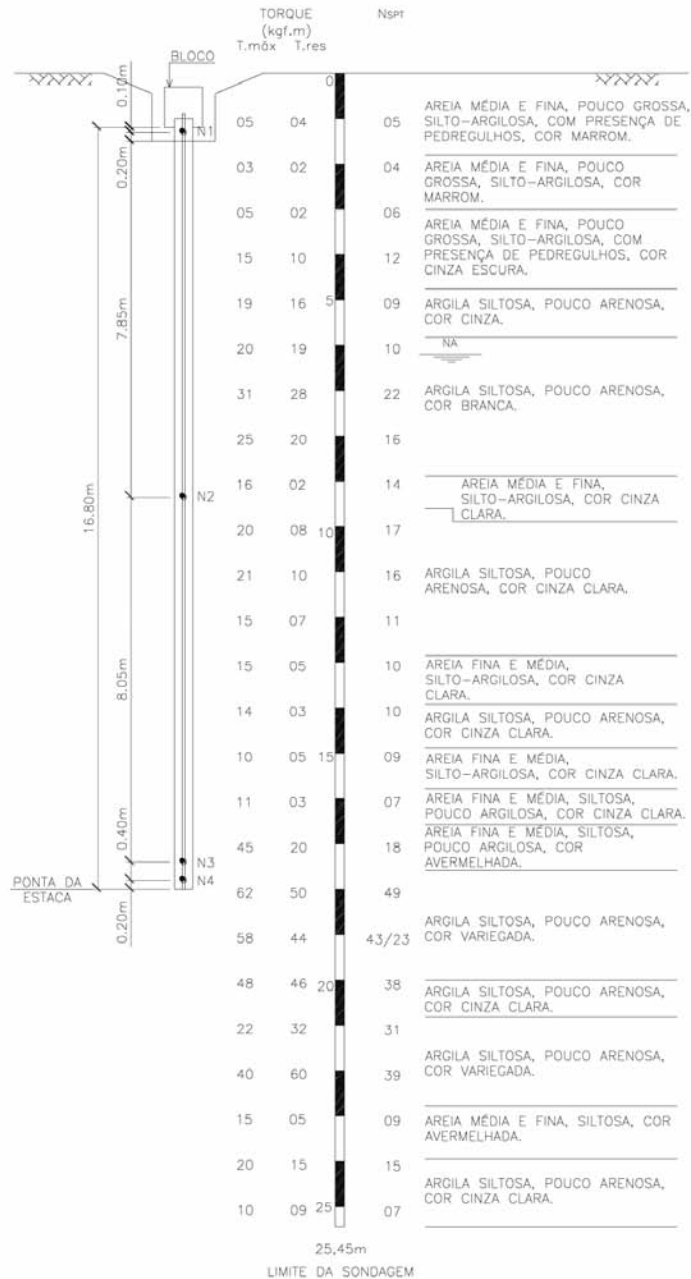


Fig. 1 – Posicionamento das barras instrumentadas ao longo da profundidade e características do subsolo.

A estaca hélice contínua (piloto), foi dimensionada da mesma forma que as estacas da obra da qual fazia parte. As estacas foram dimensionadas para resistir somente aos esforços de compressão e seguindo a prática usual de utilizar apenas o comprimento mínimo de armadura de ligação da estaca com o bloco, conforme especificado na norma brasileira ABNT NBR 6122:2010. Assim, a carga de trabalho dessa estaca foi calculada considerando a tensão média limitada a 6MPa recomendada pela mesma norma. Como a estaca piloto era de 0,40m, adotou-se a carga de trabalho igual a 750kN. A estaca foi executada com 16,8m, instrumentada em profundidade com *strain-gages* e com ponta apoiada em solo de elevada resistência ( $N_{SPT} \geq 50$ ).

Nesta estaca, além da armadura longitudinal, foi introduzido um tubo de aço galvanizado em seu centro conforme procedimento recomendado por Albuquerque (2001). Foram utilizados *strain-gages* biaxiais (120  $\Omega$ ) ligados em ponte completa com a finalidade de eliminar os efeitos de flexão e variação de temperatura, que foram fixados a uma barra de aço de 12,5mm de diâmetro e 0,40m de comprimento por meio de adesivo (cianoacrilato) e protegido por meio do emprego de resina resistente ao impacto mecânico e umidade. Estas barras foram inseridas no tubo de aço galvanizado colocado na estaca em sua execução e unidas por barras intermediárias utilizando luvas e roscas de comprimentos adequados às profundidades definidas em projeto (Figs. 2a e 2b). Por fim, injetou-se calda de cimento ( $a/c = 0,50$ ) de baixo para cima de forma a solidarizar o conjunto.



**Fig. 2a** – Barras instrumentadas.



**Fig. 2b** – Instalação da instrumentação.



### 3 – PROVA DE CARGA

Apesar da evolução dos métodos semiempíricos para se prever a carga de estacas, o meio mais confiável para se avaliar a carga que uma determinada estaca pode suportar é a prova de carga estática.

Hachich *et al.* (2008) afirmam que uma única prova de carga em uma obra apresenta um ponto novo para as correlações gerais, interessando a informação que essa prova de carga traz à própria obra em questão.

Pinto (2010) confirma que os ensaios de carga em fundações profundas continuam fundamentais para validação do seu dimensionamento, atuando como fator importante na calibração dos modelos de cálculo e na definição dos coeficientes de segurança específicos para cada modelo.

Sales e Souza (2012) ressaltam a importância de se realizar provas de carga, pois a previsão da carga de ruptura pelos métodos empíricos facilmente ultrapassa a margem de 20% de precisão, ora a favor da segurança, ora não.

A prova de carga desta pesquisa foi executada conforme recomendações da Norma Brasileira ABNT NBR 12131:2006 e pelo procedimento de carga controlada. Os carregamentos à compressão foram aplicados em estágios sucessivos, até a carga máxima obtida na prova de carga. Os deslocamentos verticais sofridos pela estaca piloto foram medidos, simultaneamente, por quatro deflectômetros mecânicos instalados no topo do bloco de coroamento e dispostos em dois eixos ortogonais de acordo com o especificado pela norma brasileira (Fig. 3). A descrição detalhada da prova de carga, destacando-se a preparação, os equipamentos e os materiais utilizados, o procedimento do ensaio e a curva carga-recalque obtida na prova de carga são apresentadas em Alledi (2013).



**Fig. 3** – Detalhe da montagem da prova de carga.



A prova de carga na estaca piloto foi conduzida até a carga máxima de 2400kN, o que representa 3,2 vezes a carga de trabalho e ao limite da segurança do sistema de reação projetado para realização desse ensaio. Na carga máxima, foi obtido um deslocamento total de apenas 3,89% do seu diâmetro, isto é, 15,54mm, mesmo sendo submetida à elevada carga. Os recalques residual e elástico obtidos foram de 9,57mm e 5,97mm. Na Fig. 4 pode-se observar as curvas carga vs. deslocamento para carga total (topo), carga de ponta e lateral.

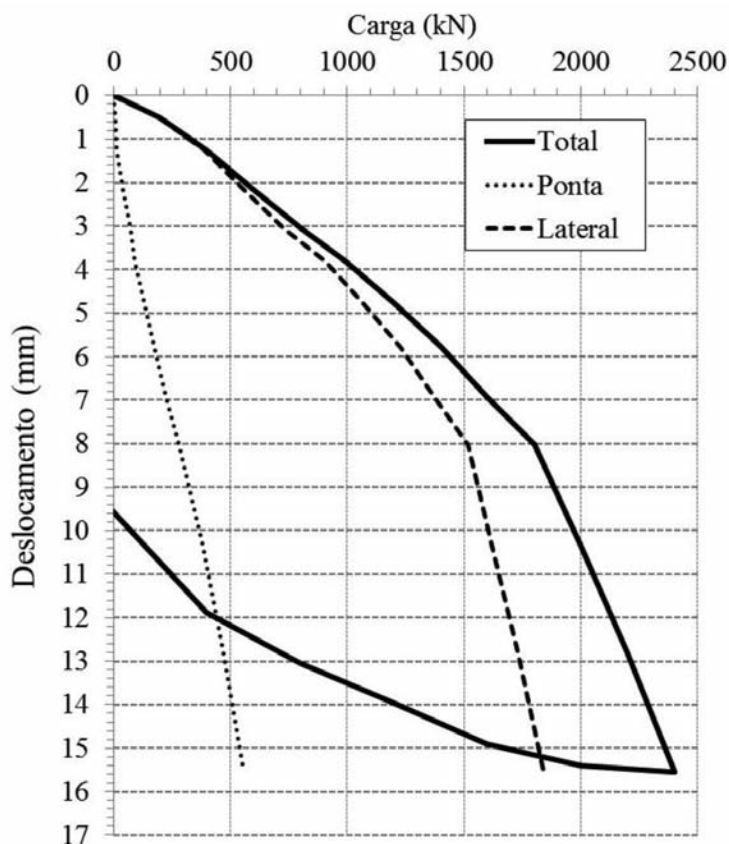


Fig. 4 – Curva carga vs. deslocamento (total, ponta e lateral).

Analisando as curvas da Fig. 4, observa-se uma pequena inflexão dos gráficos da carga total e lateral a partir de 1800kN, mostrando que deste ponto em diante o atrito lateral se comportou de forma diferente, demonstrando uma tendência ao esgotamento do atrito, conforme pode ser verificado na Fig. 6. Com relação à carga de ponta, observa-se que foi crescente e constante ao longo de todo o ensaio.

Apesar de a prova de carga ter sido conduzida a carga superior a duas vezes a carga de trabalho da estaca, conforme prescrição da Norma Brasileira (ABNT NBR 6122:2010), o carregamento aplicado não permitiu à estaca deslocamento expressivo que pudesse configurar a ocorrência da carga última do sistema solo-estaca. Dessa forma, foram empregados quatro métodos para estimar a carga de rutura desta estaca. De acordo com as análises destes métodos e para comparar os resultados experimentais com as previsões por métodos semiempíricos, sugere-se adotar 2865kN, para a carga de rutura da estaca piloto ensaiada. Maiores informações sobre as metodologias empregadas, suas respectivas cargas de rutura e suas análises podem ser obtidas em Alledi (2013).

Como neste trabalho a estaca piloto foi instrumentada em profundidade com extensômetros elétricos (*strain-gages*), foi possível, medir as deformações ao longo do seu fuste (Fig. 5), e o valor do módulo de elasticidade da estaca. Com base nestas informações foi possível determinar as curvas de transferência de carga da estaca ao longo da profundidade, obtendo desta forma, experimentalmente, as parcelas de carga por atrito lateral e de ponta.

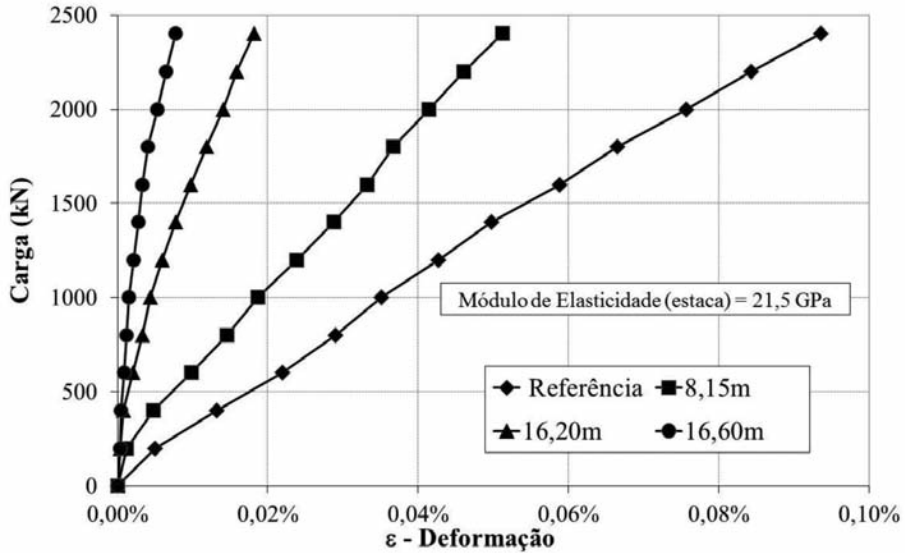


Fig. 5 – Gráfico carga vs. deformação em cada nível instrumentado.

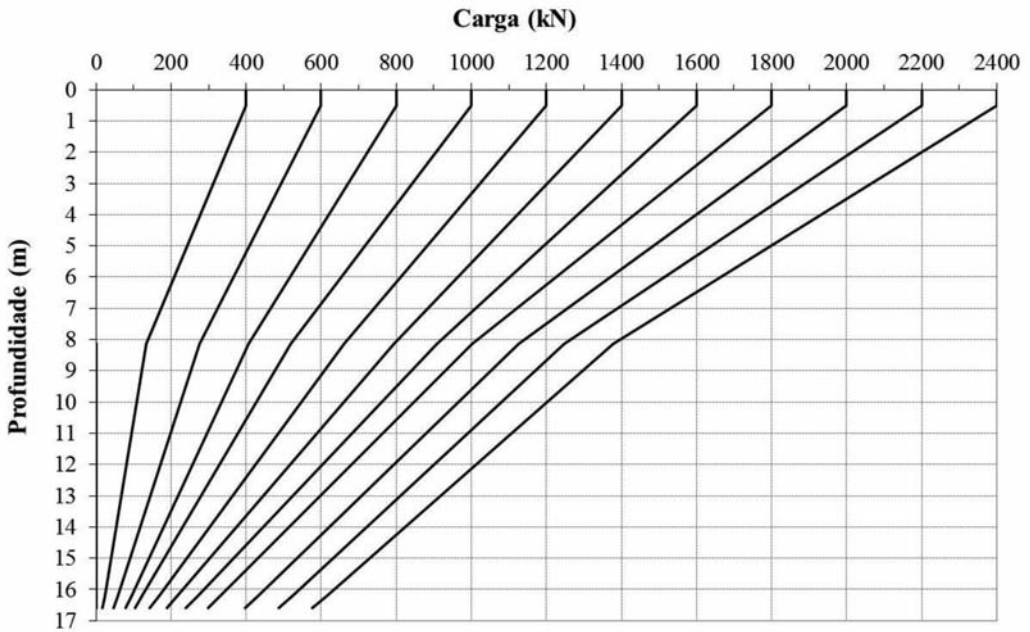
No Quadro 1, são apresentados os valores de carga no topo, as cargas em cada nível instrumentado obtidas pelos extensômetros elétricos localizados ao longo do fuste e as porcentagens de carga de ponta obtidas na prova de carga. A carga de ponta (16,8m) foi calculada por extrapolação simples (tendência de reta) dos valores de carga obtidos nos dois níveis mais profundos (16,2m e 16,6m). Na Fig. 6 apresenta-se o gráfico de transferência de carga correspondente.

Analisando-se o Quadro 1, verifica-se que a ponta da estaca começou a ser mobilizada desde o segundo estágio de carregamento, e que a maior parte da carga aplicada no topo foi transferida ao solo pelo atrito lateral com valor percentual de 77%. Avaliando a distribuição das cargas com relação à carga de trabalho (750kN), pode-se afirmar que aproximadamente 92% da carga do topo é absorvida pelo atrito lateral e 8% para a ponta, o que demonstra o comportamento da estaca por atrito lateral, quando em carga de projeto.

Observando o gráfico de transferência de carga (Fig. 6), constata-se que, para os dois estágios finais de carregamento, ocorre tendência ao paralelismo dos segmentos de retas, indicando provável esgotamento do atrito lateral. No último estágio de carregamento (2400kN) o atrito lateral na estaca foi de 104kPa para o trecho 0,30m a 8,15m e de 76kPa para o trecho de 8,15m a 16,80m.

**Quadro 1** – Valores de carga no topo, nos níveis instrumentados e porcentagem de ponta (Alledi, 2013).

Carga no topo (kN)	Carga no nível (kN)				% de ponta
	8,15m	16,20m	16,60m	Ponta	
0	0	0	0	0	0
200	35	9	8	7	0
400	134	23	17	14	4
600	276	57	46	41	7
800	407	95	79	71	9
1000	519	123	103	93	9
1200	660	168	143	131	11
1400	793	217	189	174	13
1600	909	272	240	224	14
1800	1002	331	298	281	16
2000	1126	432	398	381	19
2200	1247	524	487	470	21
2400	1379	615	577	558	23



**Fig. 6** – Gráfico de transferência de carga.

#### 4 – MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS DE PREVISÃO DE CARGA

Neste item são apresentados os resultados de previsão de carga de ruptura calculados com base em métodos semiempíricos e comparados com os resultados experimentais obtidos na prova de carga realizada com carregamento lento. Cabe ressaltar que as estimativas da carga de ruptura por métodos semiempíricos foram efetuadas antes da realização da prova de carga. Neste trabalho, são apresentados métodos desenvolvidos, especificamente, para estacas hélice e outros que foram adaptados por seus autores com parâmetros específicos para esse tipo de estaca.

Dentre as metodologias semiempíricas existentes para estimativa da carga de ruptura, aquelas propostas no Brasil por Alonso (1996), Antunes e Cabral (1996) e Décourt e Quaresma (1978), com modificações de Décourt (1996), são muito utilizadas e de prática corrente na engenharia geotécnica brasileira. Os dois primeiros métodos foram desenvolvidos, especificamente, para estaca hélice contínua e o de Décourt e Quaresma (1978) aprimorado por Décourt (1996) com parâmetros específicos para este tipo de estaca. Além destes métodos, também são apresentados os resultados dos métodos de Peixoto (2001), Karez e Rocha (2000) e Vorcaro e Velloso (2000). O primeiro método foi desenvolvido para o cálculo de atrito lateral de estacas, inclusive hélice contínua, com base nos dados de torque do ensaio SPT-T, e os demais, também específicos para este tipo de estaca, porém para dados obtidos do SPT.

Para a previsão das cargas de ruptura por todos os métodos semiempíricos, foram adotados os seguintes critérios para valor de  $N_{SPT}$ :

$$3 \leq N_{SPT} \leq 50 \quad \text{para o fuste}$$

$$N_{SPT} \leq 120 \quad \text{para a ponta conforme proposição de Décourt *et al.* (1989).}$$

No Quadro 2, são apresentados os valores de carga de ruptura lateral ( $P_L$ ), de ponta ( $P_p$ ) e total ( $P_R$ ), calculados por meio dos métodos semiempíricos com base em ensaio SPT-T executado próximo à estaca piloto e os resultados experimentais obtidos com a prova de carga. Nas Figs. 7, 8 e 9 são apresentados os gráficos de variação da relação  $P_{prev}/P_{pe}$  para as cargas total, lateral e ponta.

Analisando-se o Quadro 2 e as Figuras 7, 8 e 9, observa-se que os valores de carga total e de atrito lateral foram subestimados pelos métodos utilizados. Porém, analisando os valores de carga de ponta pode-se observar que houve uma variação, mostrando resultados subestimados e superestimados.

No geral, no que se refere à carga total na ruptura, dos oito métodos apresentados os métodos de Alonso (1996) SPT e SPT-T, Antunes e Cabral (1996), Aoki e Velloso (1975) e Karez e Rocha (2000), apresentaram resultados variando 52% a 78% menores que os da prova de carga. Porém, o método que apresentou o resultado mais distante da prova de carga foi o de Vorcaro e Velloso (2000); isto pode estar associado ao fato deste método ter sido desenvolvido com base de dados regionais. O método de Décourt e Quaresma (1996), com base no SPT-T e SPT, embora tenha apresentado os valores de carga total de ruptura mais próximos daquela obtida na prova de carga, subestimou o valor da carga por atrito lateral e superestimou o valor de carga na ponta.

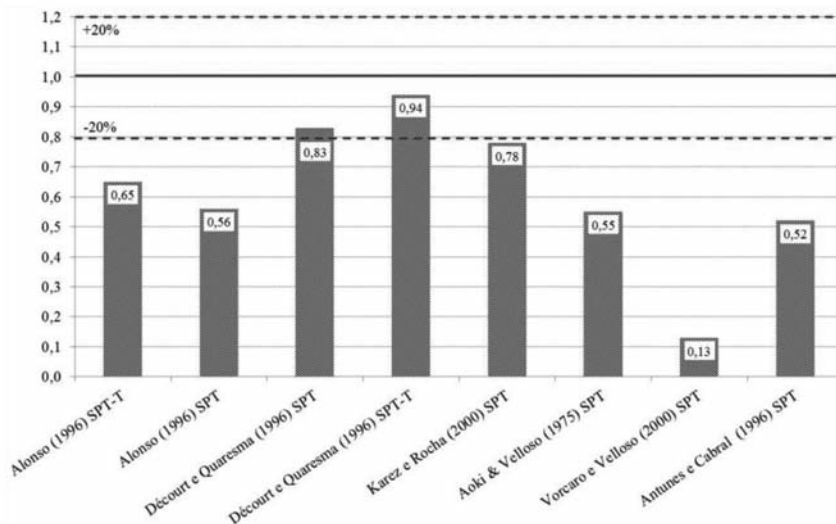
Todos os métodos subestimaram o valor do atrito lateral. A diferença significativa entre as cargas previstas e as obtidas com a prova de carga pode ser justificada pelo aumento do diâmetro nominal da estaca durante a sua execução. Os cálculos de previsão de carga pelos métodos semiempíricos foram elaborados antes da execução da estaca, utilizando-se o seu diâmetro nominal. Entretanto, durante a execução da estaca, houve um consumo elevado de concreto e consequente aumento do diâmetro nominal desta estaca, não contemplado nos cálculos dos métodos de previsão. Os dados da execução obtidos pelo sistema de monitoramento que comprovam o consumo elevado de concreto podem ser obtidos no Anexo B de Alledi (2013). O Método de Aoki e Velloso (1975), foi o que apresentou o menor valor de carga por atrito lateral na ruptura, apenas 40% do valor obtido na prova de carga. Entretanto, o mesmo método foi o que mais se aproximou dos valores experimentais obtidos para carga de ponta, com valor da ordem de 3% superior ao experimental.

**Quadro 2** – Carga de ruptura prevista pelos métodos semiempíricos e obtida na prova de carga.

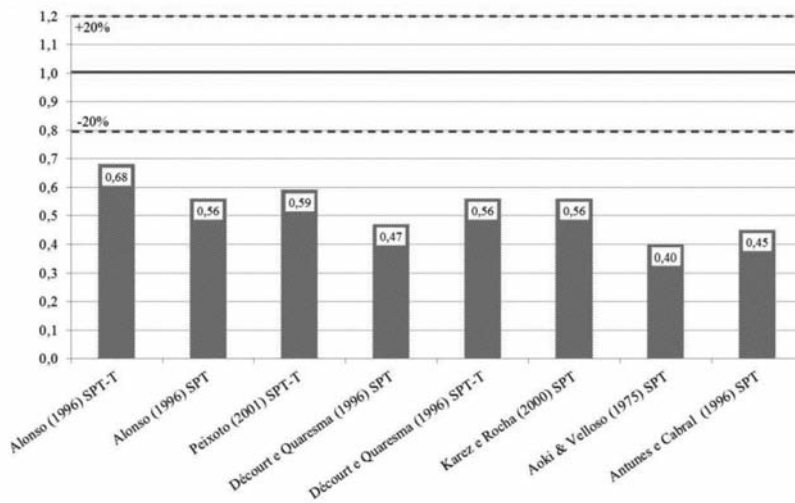
Método	Ensaio	Prevista			Prova de carga			$P_{prev}/P_{pc}$		
		$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L$	$P_p$	$P_R$
Alonso (1996)	SPT-T	1500	360	1860	2200	665	2865	0,68	0,54	0,65
	SPT	1240	380	1620				0,56	0,57	0,56
Peixoto (2001)*	SPT-T	1300	–	–				0,59	–	–
Décourt e Quaresma (1996)	SPT	1040	1350	2390				0,47	2,03	0,83
	SPT-T	1240	1450	2690				0,56	2,18	0,94
Karez e Rocha (2000)	SPT	1241	1005	2246				0,56	1,51	0,78
Aoki e Velloso (1975)	SPT	887	691	1578				0,40	1,03	0,55
Vorcaro e Velloso (2000)**	SPT	–	–	365				–	–	0,13
Antunes e Cabral (1996)	SPT	990	500	1490	0,45	0,75	0,52			

\*O método calcula somente a carga lateral.

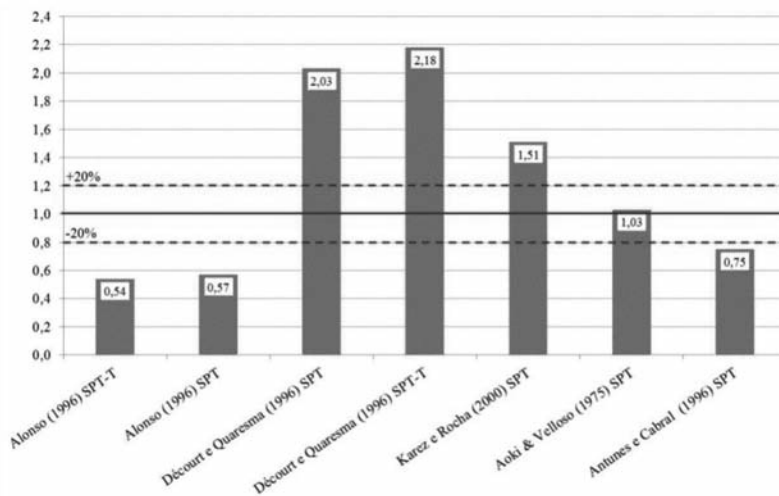
\*\*O método calcula somente a carga de ruptura total.



**Fig. 7** – Relação entre carga prevista por métodos semiempíricos e prova de carga - carga total.



**Fig. 8** – Relação entre carga prevista por métodos semiempíricos e prova de carga - carga lateral.



**Fig. 9** – Relação entre carga prevista por métodos semiempíricos e prova de carga - carga na ponta.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se comparar os resultados de previsão de carga de rutura obtidos por métodos semiempíricos com os resultados experimentais de prova de carga estática, conclui-se:

- A estaca apresentou, predominantemente, comportamento por transferência de carga por atrito lateral. A carga de ponta se mostrou crescente e constante com o aumento da carga no topo.
- A estaca apresentou capacidade de carga da ordem de mais de três vezes superior àquela estimada em projeto. Isto está associado ao fato de não se ter um banco de dados de provas de carga instrumentadas para a região, de forma que se possa ajustar os métodos empregados.



- Os métodos analisados subestimaram o valor do atrito lateral o que pode estar relacionado ao aumento do diâmetro da estaca e também pelo fato dos métodos empregados subestimarem os parâmetros de cálculo para este tipo de estaca.
- Com relação a carga de ponta, apesar de um dos métodos ter apresentado resultado muito próximo da prova de carga, nota-se uma dispersão dos resultados. Isto demonstra o cuidado que deve se ter ao utilizar tais métodos, pois podem superestimar os resultados de ponta, que é contra a segurança.
- A técnica de instrumentação e de instalação utilizada para este tipo de estaca mostrou-se adequada, com valores de deformação coerentes com a carga e os níveis avaliados.

É importante ressaltar, no entanto, que a utilização de uma prova de carga não é estatisticamente representativa para conclusões definitivas com relação aos métodos de previsão de capacidade carga para estacas hélice contínua executadas em solo da Formação Barreiras.

## 6 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da empresa Geoconsult – Consultoria de Solos e Fundações Ltda pelo incentivo na realização da prova de carga deste trabalho, da empresa Areia Branca Engenharia Ltda., pela seriedade para realizar o ensaio SPT-T, da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, pelo apoio na montagem da instrumentação e ao Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, pela liberação para que a primeira autora pudesse concluir seus estudos de Doutorado.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, P.J.R. (2001). *Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de cargas instrumentadas em profundidade*. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 263f.
- Alledi, C.T.D.B. (2013). *Transferência de carga de estacas hélice contínua instrumentadas em profundidade*. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 293f.
- Alonso, U.R. (1996). *Estacas hélice contínua com monitoramento eletrônico: previsão da capacidade de carga através do ensaio SPT-T*. III Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia - SEFE, São Paulo: ABMS. Vol.2, pp.141-151.
- Alonso, U.R. (2000). *Reavaliação do método de capacidade de carga de estacas hélice contínua proposto por Alonso em 96 para duas regiões geotécnicas distintas*. IV Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia - SEFE, São Paulo: ABMS. Vol. 2, pp.425-429.
- Alonso, U.R. (2013). *Capacidade de carga de estacas comprimidas tipo hélice contínua executadas em folhelhos*. I Conferência em Tecnologia de Fundações (CTF), Campinas-SP. 1 CD-ROM. 11p.
- Antunes, W.R.; Cabral, D.A. (1996). *Carga resistente de estacas hélice contínua*. III Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia (SEFE), São Paulo, ABMS. Vol.2, pp. 105-110.

- Aoki, N.; Velloso, D. (1975). *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. V Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires. Vol. 1, pp.367-376.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2006). NBR 12131. *Estacas- Prova de carga estática: método de ensaio*. Rio de Janeiro, 8p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2010). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro. 91p.
- Caputo, A.N.; Tarozzo, H.; Alonso, U.R.; Antunes, W.R. (1997). *Estaca hélice contínua: projeto, execução e controle*. ABMS. São Paulo: Núcleo Regional de São Paulo. 59p.
- Décourt, L.; Quaresma, A.R. (1978). *Carga resistente de estacas a partir de valores de SPT*. VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações (COBRAMSEF), Rio de Janeiro: ABMS. Vol. 1, pp.45-53.
- Décourt, L. (1996). *Análise e projeto de fundação profunda: estacas*. Fundações - Teoria e Prática, W. Hachich; F. F. Falconi; J. L. Saes. (Editores). São Paulo. Cap. 8.1, pp.265-301.
- Décourt, L.; Belincanta, A.; Quaresma Filho, A.R. (1989). *Brazilian experience on SPT*. XII International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Supplement, Contributions by the Brazilian Society for Soil Mechanics. Rio de Janeiro: ABMS/ISSMGE, pp.49-54.
- Hachich, W.; Falconi, F.F.; Santos, M.S. (2008). *Segurança de Fundações: Incorporação de Resultados de Provas de Carga*. XI Congresso Nacional de Geotecnia. Coimbra: SPG-FCTUC. Vol. 2., pp.313-320.
- Karez, M.; Rocha, E.A.C. (2000). *Estacas tipo hélice contínua previsão da capacidade de carga*. IV Seminário de Engenharia de Fundações Especiais – SEFE. São Paulo: ABMS. Vol.1, pp.274-278.
- Peixoto, A.S.P. (2001) *Estudo do ensaio SPT-T e sua aplicação na prática de engenharia de fundações*. Tese (Doutoramento em Engenharia), Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas. 468f.
- Pinto, P.L. (2010). *Projecto de fundações: prática actual e alguns aspectos inovadores*. V Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, Gramado: ABMS, pp.1-7.
- Polido, U.F. (2013). *Experiência com estaca hélice contínua na Região Sudeste: algumas questões práticas*. Conferência em Tecnologia de Fundações (CTF), Campinas-SP. 1 CD-ROM. 28p.
- Sales, M.M.; Sousa, T.N. (2012). *Ajuste empírico do comportamento não linear de estacas hélice contínua monitoradas*. XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Porto de Galinhas-PE. 1 CD-ROM. 7p.
- Tamara, G. (1995). *Contribuição ao estudo do Grupo Barreiras na Região Metropolitana de Vitória-ES*. 73 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro.
- Vorcaro, M.C.; Velloso, D.A. (2000). *Avaliação da carga última em estacas hélice contínua por regressão linear múltipla*. IV Seminário de Engenharia de Fundações Especiais – SEFE, São Paulo: ABMS. Vol.2, pp.315-330.

- 3 **Editorial**  
*José Couto Marques*
- 5 **Desenvolvimento da Geotecnia. Condicionantes gerais e específicas**  
*Antônio Silva Cardoso*
- 41 **Consideração de detalhes executivos no projeto de taludes com solo grampeado**  
*Denise Maria Soares Gerscovich, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão,  
André Pereira Lima, Cauê Antonio Barreto Rosa*
- 67 **Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca-PE**  
*Fernanda Soares de Miranda Torres, Roberto Quental Coutinho,  
Cristiana Coutinho Duarte, Jéssica Bezerra de Menezes, Drielly Naamma Fonsêca,  
Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff*
- 89 **Métodos semiempíricos versus ensaios de carregamento dinâmico em estacas**  
*Jean Felix Cabette, Heloisa Helena Silva Gonçalves, Fernando Antônio Medeiros Marinho*
- 115 **Estaca hélice contínua instrumentada: previsão de carga de ruptura por métodos semiempíricos vs. prova de carga**  
*Carla Therezinha Dalvi Borjaille Alledi, Enivaldo Minette,  
Paulo José Rocha de Albuquerque, Uberescilas Fernandes Polido*
- 129 **Caracterização geotécnica da rocha calcária de João Pessoa/PB**  
*Nelci Ronex Pereira de Sousa, Anderson Borghetti Soares*
- 159 **Crítérios de engenharia para classificação de materiais de escavação em valas**  
*Silvrano Adonias Dantas Neto, Francisco Chagas da Silva Filho,  
Adriano Frutuoso da Silva*