



Retroanálise de Fatores de Capacidade de Carga de Estacas Hélice Contínua em Campo Grande – MS

Clayton H. N. Dalla Cort
Mestrando em Geotecnia, Universidade de Brasília, Campo Grande - MS, Brasil
clayton@epfgeotecnia.com.br

Renato Pinto da Cunha
Professor Titular PhD, Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil
rpcunha@unb.br

José Antônio de Abreu
Eng^o MSc, EPF Geotecnia LTDA, Campo Grande - MS, Brasil
joseabreu@epfgeotecnia.com.br

Andrés Batista Cheung
Professor Associado DSc, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande - MS, Brasil
andres.cheung@ufms.br

RESUMO: Um projeto de fundações em estacas requer que seja garantida a segurança contra ruptura e contra deformações excessivas, sendo as provas de carga importantes para garantir maior confiabilidade sobre o comportamento do estaqueamento. Nesse sentido, apresenta-se a análise de três provas de carga estáticas em estacas hélice contínua executadas em Campo Grande – MS, na areia argilosa da Formação Cuaiá. Retroanalísaram-se os fatores α e β do Método de Décourt-Quaresma (1978) para capacidade de carga das estacas. Os resultados se aproximaram parcialmente dos previstos na literatura geotécnica e a metodologia poderá ser empregada tanto em trabalhos acadêmicos, quanto na rotina de escritórios de projetos.

PALAVRAS-CHAVE: fundações, geotecnia, prova de carga, estaca hélice contínua.

ABSTRACT: A pile foundation design requires that safety against collapse and excessive deformations be ensure, and load tests are importants to ensure greater reliability about the foundation. Therefore, presents three load tests analysis in continuous flight auger piles, in Campo Grande – MS, at Cuaiá Formation. The α and β Décourt-Quaresma Method (1978) factors were calibrated for the single piles geotechnical strength. The results partially approximated the results in the geotechnical literature and the methodology can be used both in academic papers and at project offices routine.

KEYWORDS: foundation, geotechnics, pile load test, continuous flight auger pile.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



1 Introdução

O estudo para um bom projeto de fundações em estacas é complexo, uma vez que ocorrem incertezas nas investigações geotécnicas, nos parâmetros de resistência, de deformabilidade e também nos modelos de cálculo.

Por isso, provas de carga em estacas têm sido cada vez mais empregadas para uma melhor previsão e confiabilidade sobre o comportamento das fundações. Porém, a simples obtenção das curvas carga-recalque e das cargas de ruptura não é suficiente, uma vez que é o mecanismo de transferência de carga que governa o comportamento carga-recalque de estacas (Velloso & Lopes, 2010).

Nesse sentido, há métodos que tentam explicar como se dá a transferência de carga da estaca para o solo em profundidade, auxiliando projetistas nas tomadas de decisão. Com esse enfoque, realizou-se um estudo para uma obra de quatro torres de doze pavimentos em Campo Grande – MS cujas fundações adotadas foram estacas hélice contínua.

2 Objetivos

Analisar três provas de carga estáticas lentas em estacas e retroanalisar os parâmetros de resistência previamente estimados por correlações semiempíricas.

3 Revisão bibliográfica

3.1 Capacidade de Carga: Décourt-Quaresma (1978)

O método de Décourt e Quaresma (1996) é um método semiempírico que utiliza o ensaio SPT (Standard Penetration Test) para a estimativa da capacidade de carga de estacas. Neste método se utilizam os fatores α e β , a partir de retroanálises de provas de carga. Esses fatores são sugeridos para a correção das resistências de ponta e de atrito lateral das estacas.

Sendo assim, a resistência geotécnica na ruptura, pode ser estimada pela seguinte equação:

$$R_u = \alpha C N_p A_p + 10 \beta U L \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \quad (1)$$

em que

R_u é a carga de ruptura geotécnica da estaca;

N_p é o valor médio do índice de resistência à penetração na ponta da estaca;

N_L é o valor médio do índice de resistência à penetração ao longo do fuste da estaca;

α é o fator em função do tipo de estaca e do tipo de solo na ponta da estaca;

β é o fator em função do tipo de estaca e do tipo de solo ao longo do fuste da estaca;

C é o coeficiente característico do solo;

U é o perímetro da seção transversal da estaca ao longo de seu fuste;

L é o comprimento da estaca;

A_p é a área da ponta da estaca.

É importante salientar que os fatores α e β derivam da influência do processo executivo da estaca e do tipo de solo de fundação. Portanto, seus valores estão condicionados às características geotécnicas dos locais em que as provas de carga utilizadas por Décourt (1996) foram realizadas, além dos efeitos de instalação das estacas ensaiadas, ou seja, os efeitos devidos aos processos

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



executivos das estacas. Assim sendo, os fatores de resistência não podem ser tomados como regra, devendo ser utilizados apenas como estimativas prévias. Logo, é conveniente que os fatores sejam reajustados por novas provas de carga, de acordo com cada situação (Aoki e Cintra, 2010).

3.2 Extrapolação de Van der Veen (1953)

Caso na prova de carga não se caracterize a ruptura nítida da estaca ensaiada, é possível que se extrapole a curva carga-recalque para a obtenção da carga de ruptura da estaca. Para isso, tem-se o Método de Van der Veen (1953) que se baseia em uma função exponencial com assíntota vertical caracterizando a carga de ruptura extrapolada. O método utiliza os pontos (Q; w) medidos na prova de carga estática aplicados na seguinte equação:

$$Q = Q_{rup}(1 - e^{-aw}) \quad (2)$$

Logo, para os pontos (Q; w) da prova de carga, a carga de ruptura Q_{rup} é aquela para a qual a equação melhor se aproxima de uma função exponencial. Sendo assim, linearizando-se a equação anterior, a carga de ruptura é aquela à qual a função abaixo melhor se aproxima de uma reta, sendo a seu coeficiente angular:

$$a \times w + \ln \left(1 - \frac{Q}{Q_{rup}} \right) = 0 \quad (3)$$

Velloso e Lopes (2010) alertam que a utilização da extrapolação de Van der Veen (1953) é confiável para provas de carga que atingirem recalques maiores que 1% dos respectivos diâmetros das estacas ensaiadas, ou seja, recalques para os quais o comportamento apresente certa plasticidade, indicando alguma curvatura na relação carga-recalque, sendo possível realizar o ajuste proposto por Van der Veen (1953).

3.3 Método de Camapum de Carvalho et al. (2010)

Com a utilização de provas de carga convencionais em estacas que não sejam instrumentadas em profundidade, a interpretação dos resultados se passa por métodos que separam os comportamentos de ponta e de atrito lateral, a partir de simples análises de curvas carga-recalque.

Um desses métodos é o de Camapum de Carvalho et al. (2010) que procura identificar trechos da curva carga-recalque em que o comportamento da estaca se altera. A metodologia se baseia em três gráficos:

a) Gráfico carga-coeficiente de deslocamento: plotam-se os valores da carga nas abscissas e os valores do coeficiente de deslocamento nas ordenadas. O coeficiente de deslocamento é o coeficiente angular das curvas carga-tempo para cada estágio de carga do ensaio.

b) Gráfico carga-recalque imediato acumulado: os valores das cargas são plotados nas abscissas e os dos recalques imediatos acumulados nas ordenadas. Os recalques imediatos acumulados são aqueles obtidos no tempo de 4 minutos após a aplicação da carga de cada estágio de carregamento.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



c) Gráfico carga-recalque secundário: o recalque secundário representa a diferença entre o recalque estabilizado do estágio de carga subtraído do valor do recalque imediato. Nesse gráfico, as cargas são plotadas nas abscissas e os recalques secundários nas ordenadas.

Cada um dos gráficos tenta separar o conjunto de pontos em três trechos (domínios) lineares, determinando os pontos em que as curvaturas se alteram. O primeiro domínio, chamado de pseudoelástico, é caracterizado pela atuação predominante da resistência por atrito lateral, em que a estaca está submetida a pequenos recalques. Nesse nível de carregamento, a resistência de ponta tem influência secundária no comportamento carga-recalque. A partir do primeiro ponto de inflexão, inicia-se o segundo trecho, em que a ponta começa a comandar o comportamento da estaca. Por fim, após o segundo ponto de inflexão, a resistência por atrito lateral está totalmente mobilizada e são desenvolvidas progressivamente deformações plásticas do solo da região da ponta da estaca, repercutindo em recalques mais elevados. Esse comportamento caracteriza o terceiro domínio das curvas.

Silva (2011) afirma que a mobilização das resistências de ponta e por atrito lateral, na realidade, não se dão de forma separada. Os domínios do método apenas apresentam as parcelas preponderantes no comportamento da estaca, de acordo com o nível de solicitação.

4 Materiais e Métodos

4.1 Caracterização geológico-geotécnica

Para o projeto de fundações, realizaram-se 3 (três) campanhas de investigação, totalizando 33 (trinta e três) furos de sondagem SPT. A figura 1 ilustra o perfil do subsolo local, obtido por meio da interpolação entre as sondagens realizadas:



Figura 1: Perfil geológico-geotécnico.

Assim, o solo tem origem no Arenito da Formação Cuaiá, composto por areia argilosa, adquirindo resistência com a profundidade. O primeiro estrato é formado por areia argilosa fofa com espessura média de 7m, seguido de uma camada de areia argilosa pouco compacta e espessura de 5m. Já a terceira camada é formada por areia argilosa medianamente compacta com 9m de espessura, enquanto que a última camada amostrada é areia argilosa compacta. Não foi encontrada água nas sondagens.

Para uma melhor visualização da evolução da resistência à penetração do solo, apresenta-se o seguinte gráfico (N_{SPT} x Profundidade) referente às sondagens realizadas no local do empreendimento:

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



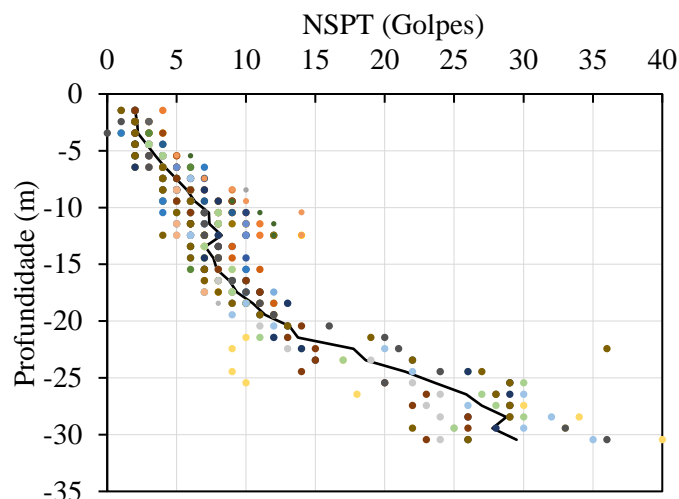


Figura 2: Valores de N_{SPT} com a profundidade.

4.2 Estacas ensaiadas

Antes da execução do estaqueamento, realizaram-se 3 (três) Provas de Carga Estáticas Lentas. As estacas ensaiadas foram do tipo Hélice Contínua com diâmetros de 40, 50 e 60cm, com comprimentos de 27, 29 e 29m, respectivamente. Cada estaca teste foi executada próxima a um furo de sondagem SPT de tal forma que as análises fossem relacionadas às estratigrafias desses furos.

Estimaram-se as capacidades de carga das estacas hélice pelo método semiempírico de Décourt-Quaresma (1978). Nessa etapa, conforme sugere Décourt (1996) para estacas hélice contínua, os fatores α e β adotados previamente foram 0,30 e 1,0, respectivamente.

A seguinte tabela apresenta as capacidades de carga estimadas (R_u) e as cargas máximas aplicadas nos ensaios (P_{ensaio}):

Tabela 1: Resumo das resistências pelo método semiempírico.

Estaca (cm)	L (m)	R_u (tf)	P_{ensaio} (tf)
Φ40	27	176,0	176,0
Φ50	29	260,7	250,0
Φ60	29	362,7	279,0

Fonte: Autor.

5 Resultados e análises dos ensaios

A seguir, apresentam-se as curvas carga-recalque obtidas nas três provas de carga:

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



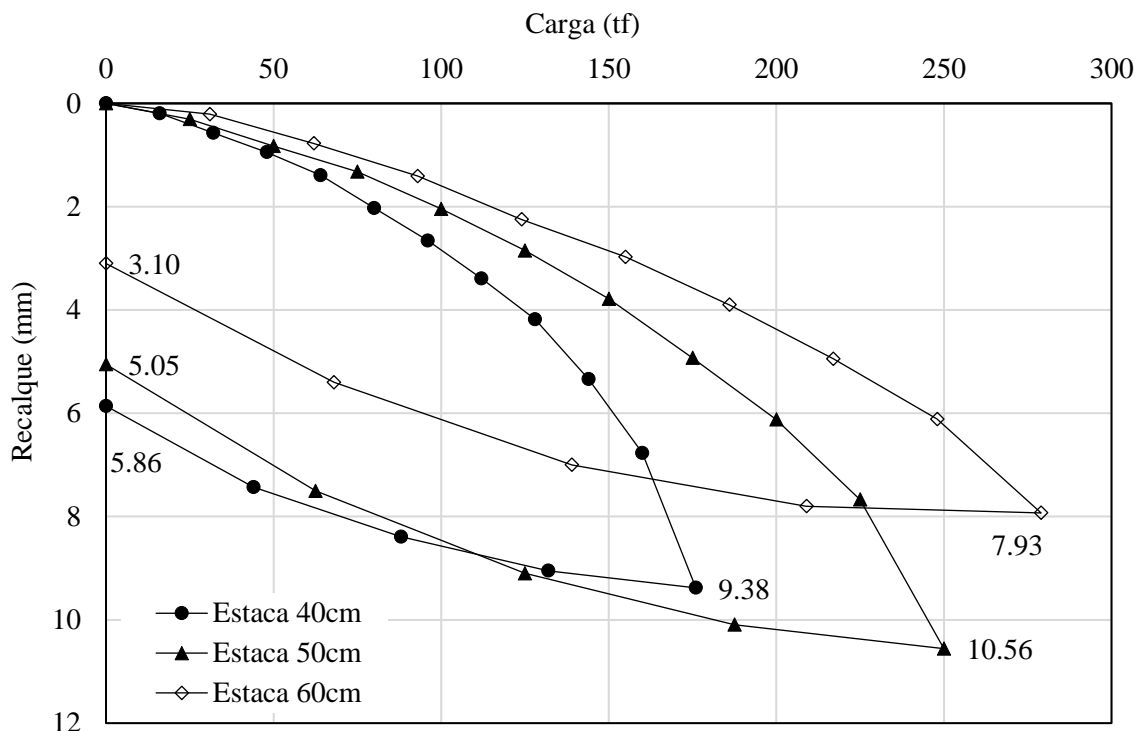


Figura 3: Curvas carga-recalque.

A tabela a seguir apresenta os valores de recalques máximos, permanentes e restituídos obtidos nos ensaios:

Tabela 2: Recalques medidos nas Provas de Carga.

Estaca (cm)	Máximo (mm)	Permanente (mm)	Restituído (mm)
Φ40	9,38	5,86	3,52
Φ50	10,56	5,05	5,51
Φ60	7,93	3,10	4,83

Fonte: Autor.

Como os recalques máximos foram maiores que 1% dos diâmetros das estacas, realizaram-se as extrapolações por Van der Veen (1953) que repercutiram nas seguintes capacidades de carga que são comparadas com as estimadas previamente pelo método semiempírico de Décourt-Quaresma (1978):

Tabela 3: Comparação entre método semiempírico e Van der Veen (1953).

Estaca (cm)	R_u	R_u
	Décourt-Quaresma (1996) (tf)	Van der Veen (1953) (tf)
Φ40	176,0	195,0
Φ50	260,7	291,0
Φ60	362,7	373,0

Fonte: Autor.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Além da obtenção das capacidades de carga das estacas, realizou-se a interpretação dos ensaios por meio do método de Camapum de Carvalho et al. (2010). Assim, para cada estaca ensaiada, geraram-se três gráficos: carga-coeficiente de deslocamento, carga-recalque imediato acumulado e carga-recalque secundário acumulado. Esses gráficos buscam identificar pontos os quais estão ligados a mudanças no comportamento de cada estaca, de acordo com os níveis de carregamento. Os gráficos resultantes se apresentam a seguir:

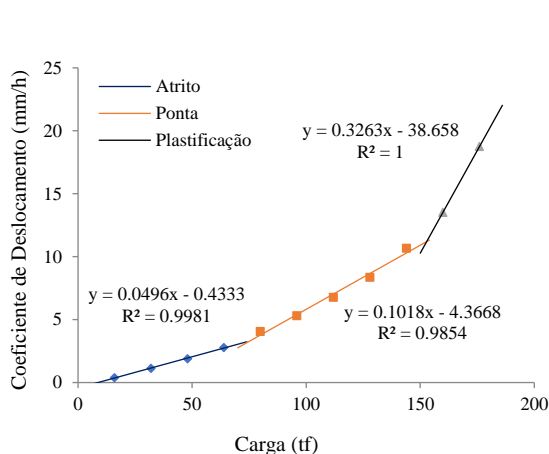


Figura 4. Curva carga vs coeficiente de deslocamento da estaca 40cm de diâmetro.

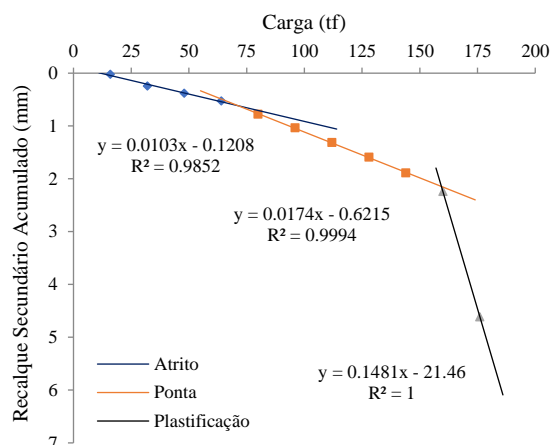


Figura 6. Curva carga vs recalque secundário da estaca 40cm de diâmetro.

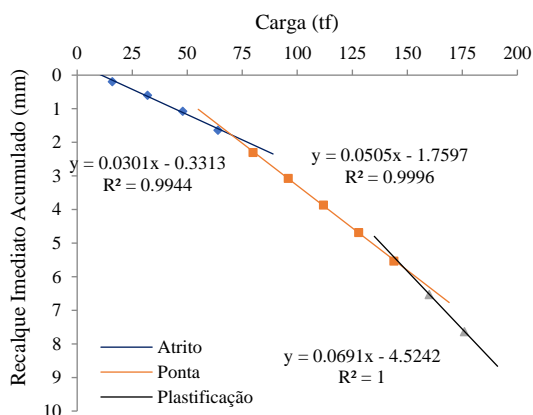


Figura 5. Curva carga vs recalque imediato da estaca de 40cm de diâmetro.

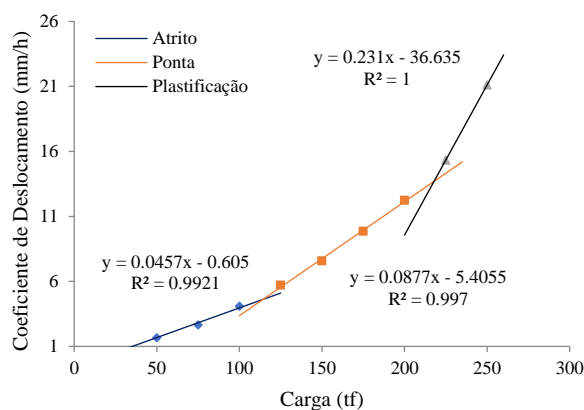


Figura 7. Curva carga vs coeficiente de deslocamento da estaca 50cm de diâmetro.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



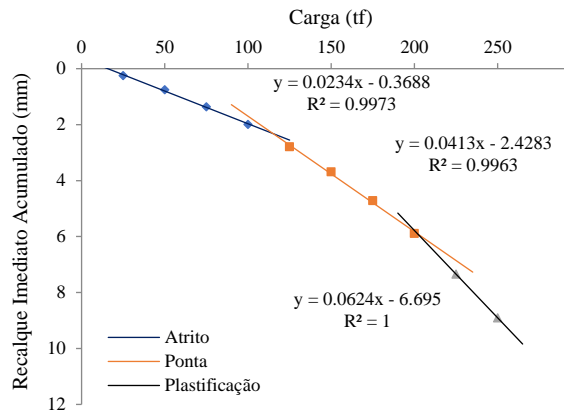


Figura 8: Curva carga vs recalque imediato da estaca 50cm de diâmetro.

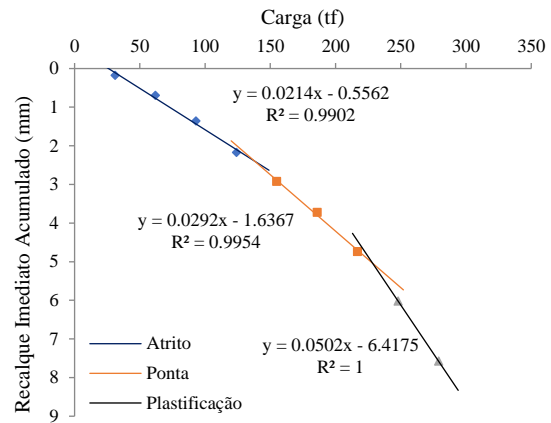


Figura 11: Curva carga vs recalque imediato acumulado da estaca 60cm de diâmetro.

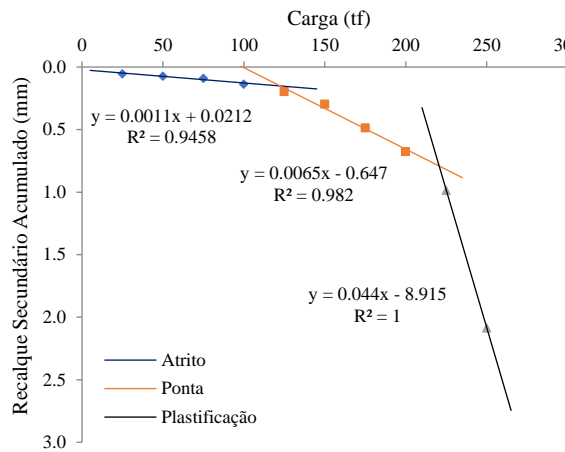


Figura 9: Curva carga vs recalque secundário da estaca 50cm de diâmetro.

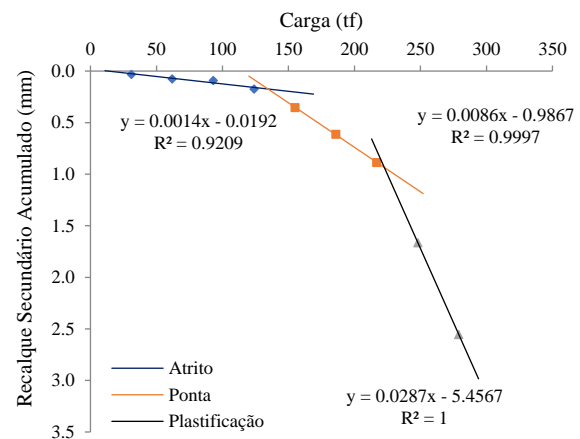


Figura 12: Curva carga vs recalque secundário da estaca 60cm de diâmetro.

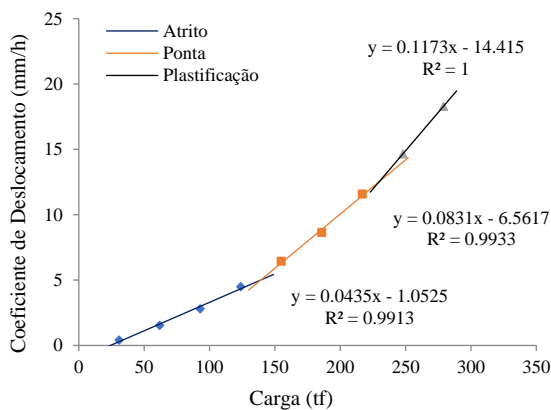


Figura 10: Curva carga vs coeficiente de deslocamento da estaca 60cm de diâmetro.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Comparando-se os gráficos apresentados, confirma-se que a velocidade dos recalques aumenta com os incrementos de carga. Além disso, também se percebe que os recalques imediatos possuem característica mais rígida, enquanto que os secundários tendem a formar curvaturas com maiores intensidades. Ou seja, a estabilização dos recalques é dependente do tempo de carregamento.

Também, as intersecções dos segmentos de retas permitiram a obtenção dos níveis carga em que os comportamentos das estacas se alteraram. Apresentam-se, portanto, as cargas determinadas pelos pontos de intersecção mostrados nos gráficos anteriores:

Tabela 4: Cargas em que se alteram os comportamentos.

Estaca (cm)	Carga (tf)	
	1° Ponto de Intersecção	2° Ponto de Intersecção
Φ40	72	154
Φ50	118	214
Φ60	137	240

Percebe-se pelas tabelas 3 e 4 que as cargas de trabalho (cerca da metade das cargas de ruptura das estacas) pertencem ao início do segundo domínio dos gráficos apresentados. Sendo assim, sob solicitações de serviço, os recalques ainda serão reduzidos e a ponta terá recém iniciado sua contribuição nos comportamentos das estacas isoladas (Silva, 2011).

6 Retroanálise

6.1 Fatores de capacidade de carga

Conforme já mencionado, Décourt (1996) sugere a adoção dos fatores α e β iguais a 0,30 e 1,00 para estacas do tipo hélice contínua. Sabe-se, porém, que esses fatores foram determinados por meio de um número limitado de provas de carga e em regiões com formações geológicas diferentes da que está se estudando.

Pela interpretação das curvas carga-recalque, pelo método de Camapum de Carvalho et al (2010), o primeiro ponto de intersecção indica a carga na qual a resistência por atrito lateral deixa de comandar o comportamento da estaca, estando totalmente mobilizada no segundo ponto de intersecção das retas. Assume-se aqui, portanto, que a resistência por atrito lateral estará totalmente mobilizada no segundo ponto de intersecção. Assim, por meio da formulação de Décourt-Quaresma (1978), calibra-se o fator β :

$$\beta = \frac{R_L}{10UL \times \left(\frac{N_L}{3} + 1\right)} \quad (4)$$

Ou seja, admitiu-se as cargas pertencentes ao segundo ponto de intersecção do método de Camapum de Carvalho et al (2010) como as respectivas resistências por atrito lateral e calibraram-se os fatores β .

Da mesma forma, como as cargas de ruptura das estacas foram obtidas pelo Método de Van der Veen (1953), as diferenças entre os valores das cargas de ruptura e as resistências por atrito lateral resultam nas respectivas resistências de ponta das estacas ensaiadas. Logo, também pela formulação de Décourt-Quaresma:

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





$$\alpha = \frac{R_p}{CN_p A_p} \quad (5)$$

Os fatores α e β ajustados para o estaqueamento em questão, portanto, são os apresentados na tabela a seguir:

Tabela 5: Fatores α e β retroanalisados por meio dos ensaios.

Estaca (cm)	α	β
Φ40	0,30	1,01
Φ50	0,34	0,96
Φ60	0,41	0,89
Média	0,35	0,95
Desvio Padrão	0,06	0,06
CV	16%	6%

Pela tabela acima, percebe-se que os fatores α e β obtidos se aproximaram dos valores sugeridos por Décourt (1996) de 0,30 e 1,0 respectivamente.

7 Conclusões

Conclui-se que as provas de carga e a metodologia empregada conduziram a resultados que convergiram aos previstos pela literatura. Os fatores α e β retroanalisados (0,35 e 0,95) se aproximaram dos sugeridos por Décourt (1996) para estacas hélice contínua na ruptura (0,30 e 1,00). Os autores entendem que estudos semelhantes podem ser realizados, porém com o uso de provas de carga instrumentadas em profundidade, de tal forma que a distribuição da resistência por atrito seja medida na realidade e as hipóteses simplificadoras nas análises sejam menores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 16903: estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- Camapum de Carvalho, J.; Silva, C.M.; Aquino, F.R.; Aguiar, L. A.; Mota, N.M.B.; Albuquerque, P.J.R. (2010). *Análises dos resultados de provas de carga estáticas sobre fundações profundas*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), 15., 2010, Gramado. Anais. Gramado, 2010. 1 CD-ROM. 8 p.
- Cintra, J. C.; Aoki, N. *Fundações por estacas, projeto geotécnico*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- Décourt, L.; Albieiro, J. H.; Cintra, J. C. A. *Análise e projeto de fundações profundas* (Cap. 8). In: Hachich, W. C. et al. (org.). *Fundações, teoria e prática*. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1996.
- Décourt, L.; Quaresma, A. R. *Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT*. In: CBMSEF, 6., 1978, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 1978. V. 1, p. 45-53.
- Silva, C.M. (2011). *Energia e confiabilidade aplicadas aos estaqueamentos tipo hélice contínua*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 070/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 311 p.
- Van der Veen, C. *The bearing capacity of a pile*. Proceedings, 3rd ICSMFE, Zurich, v. 2, p. 84-90, 1953.
- Velloso, D. A.; Lopes, F. R. *Fundações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

