

AValiação de Métodos de uso Corrente para Estimativa da Capacidade de Carga de Estacas Escavadas na Cidade de Maringá

Evaluation of current methods for estimating load-bearing capacity of bored piles in the city of Maringá

Jorge Luís Augusto Almada^a, Verônica Ricken Marques^b, Raquel Souza Teixeira^a, Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis^b, Juliana Azoia Lukiantchuki^b, Antonio Belincanta^b

^a Universidade Estadual de Londrina, Brasil.

^b Universidade Estadual de Maringá, Brasil

RESUMO – Na cidade de Maringá (Paraná, Brasil), as obras de pequeno porte utilizam estacas escavadas de pequeno diâmetro, executadas sem fluido estabilizante. Estes elementos de fundação são executados na camada superficial de solo argilo-siltoso, que apresenta comportamento laterítico e colapsível. Esta nota técnica tem como objetivo avaliar a aplicabilidade de dois métodos de uso corrente na estimativa da capacidade de carga: o método semi-empírico proposto por Decourt-Quaresma (1978) e o método denominado Empírico Regional. A viabilidade do emprego desses métodos foi analisada através dos resultados de oito ensaios de prova de carga, realizados no Campo Experimental de Geotecnia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), em estacas escavadas sem fluido estabilizante, com diâmetro nominal de 0,25 m e comprimentos variando de 4,0 a 11,6 m. Os métodos de estimativa de capacidade de carga analisados se mostraram conservadores frente aos valores obtidos nas provas de carga.

ABSTRACT – In the city of Maringá (Paraná, Brazil), small projects use small diameter bored piles, executed without stabilizing fluid. These foundation elements are executed in the silty-clay soil surface layer, which presents lateritic and collapsible behaviour. The purpose of this technical note is to evaluate the applicability of two current methods for estimation of load capacity: the semi-empirical method proposed by Decourt-Quaresma (1978) and the method called Empirical Regional. The feasibility of the use of these methods was analysed with the results of eight load tests, performed in the Geotechnics Experimental field of the State University of Maringá (UEM), in bored piles without stabilizing fluid, with nominal diameter of 0.25 m and lengths ranging from 4.0 to 11.6 m. The load capacity estimation methods analysed were shown to be conservative when compared to the values obtained in the load tests.

Palavras Chave – Estaca escavada, capacidade de carga, curva carga-recalque.

Keywords – Bored pile, load capacity, load-settlement curve.

E-mails: almadaeng@gmail.com (J. Almada), v.ricken.marques@gmail.com (V. Marques), raquel@uel.com (R. Teixeira), jhereis@uem.br (J. Reis), jazoia@yahoo.com.br (J. Lukiantchuki), abelincanta@hotmail.com (A. Belincanta)

1 – INTRODUÇÃO

O município de Maringá localiza-se na Região Noroeste do Estado do Paraná e se caracteriza por ser jovem e estar em franco processo de crescimento, tendo segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018) a sétima maior população da Região Sul do Brasil, estimada no ano de 2017 em 406.693 habitantes.

No que diz respeito à geologia, a cidade de Maringá (PR) está assente sobre a Formação Serra Geral, que se constitui de rochas vulcânicas básicas do tipo basalto maciço ou vesicular-amigdaloidal, de coloração escura, com a presença marcante na sua composição mineralógica de plagioclásio, piroxênio-augita e magnetita.

O Campo Experimental de Geotecnia da Universidade Estadual de Maringá (UEM) está localizado na zona urbana, com um subsolo considerado típico para locais de alta e média vertente da cidade de Maringá.

No Quadro 1, em conformidade com Belincanta (1998), apresenta-se a descrição das camadas do perfil do solo do Campo Experimental de Geotecnia da UEM. Adicionalmente, são apresentados os valores dos índices de resistência à penetração N_{SPT} , em função da profundidade, obtidos a partir de quatro sondagens de simples reconhecimento com ensaios SPT, realizadas no local onde foram executadas as estacas escavadas submetidas aos ensaios de prova de carga.

Quadro 1 - Perfil do solo, Campo Experimental de Geotecnia da UEM.

Prof. (m)	Descrição do solo	N _{SPT} (4 sondagens)				
		SP01	SP03	SP04	SP05	Média
1	Argila siltosa Marrom avermelhado Consistência de mole à média Solo evoluído 1ª camada	2	2	2	2	2,0
2		2	2	2	2	2,0
3		3	2	3	3	2,8
4		4	4	3	3	3,5
5		3	5	4	4	4,0
6		4	5	5	5	4,8
7		5	4	6	5	5,0
8		5	6	6	8	6,3
9		6	7	6	8	6,8
10	Argila siltosa Variegada (roxo e marrom avermelhado a amarelado) Consistência de média à rija Solo residual jovem de basalto 2ª camada	11	12	6	7	9,0
11		11	10	8	13	10,5
12		10	11	11	12	11,0
13		12	13	14	15	13,5
14		16	13	12	14	13,8
15		23	9	11	9	13,0
16		19	18	21	-	19,3
17	39	36	31	-	35,3	

No local do Campo Experimental de Geotecnia da UEM, segundo Gutierrez e Belincanta (2004), a camada superficial de solo evoluído é constituída de solo argiloso tropical, do tipo latossolo vermelho férrico, proveniente da alteração de basalto, poroso, de cor marrom avermelhado, com teor de argila variando de 52 a 78%, silte de 15 a 38% e areia de 5 a 10%, com espessura aproximada de nove metros. No Quadro 2, são apresentados valores típicos dos parâmetros de caracterização, referentes às amostras coletadas no Campo Experimental de Geotecnia da UEM, acima do nível do lençol freático.

Quadro 2 - Índices físicos e limites de consistência típicos das camadas constituinte do subsolo da cidade de Maringá em locais de alta e média vertente. (Gutierrez e Belincanta, 2004).

Discriminação	Símbolo e unidade	Solo evoluído (1ª camada)	Solo residual jovem (2ª camada)
Peso específico natural	γ_n (kN/m ³)	12,5 - 16,5	15,5 - 18,0
Peso específico dos grãos	γ_s (kN/m ³)	29,7 - 30,7	28,0 - 30,5
Umidade natural	w (%)	29 - 35	43 - 55
Grau de saturação	Sr (%)	37 - 70	60 - 100
Índice de vazios	e	1,50 - 2,30	1,25 - 2,00
Porosidade	n (%)	60 - 70	55 - 67
Fração argila	%	52 - 78	48 - 60
Fração silte	%	15 - 38	26 - 32
Fração areia	%	5 - 10	13 - 17
Limite de liquidez	LL (%)	53 - 61	60 - 95
Limite de plasticidade	LP (%)	39 - 45	41 - 66
Índice de plasticidade	IP (%)	14 - 22	19 - 40
Atividade coloidal	AC	0,20 - 0,35	0,34 - 0,75

Devido ao fato do solo superficial típico desta região ser de espessura considerável, normalmente estável ao processo de perfuração e com ausência do lençol freático, nas fundações das obras de pequeno porte geralmente são usadas estacas escavadas com trado mecânico, sem fluido estabilizante, com fuste totalmente embutido na primeira camada superficial de solo evoluído, podendo algumas vezes atingir a segunda camada de solo residual jovem de basalto.

Segundo a norma brasileira ABNT NBR 6.122 (2010), estaca é um elemento de fundação profunda, executado inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, ocorra a descida de pessoas. As estacas escavadas, executadas acima do lençol freático, sem a utilização de revestimento ou fluido estabilizante, são um tipo de fundação profunda, perfuradas com trado mecânico ou manual, com posterior concretagem.

O processo de perfuração realizado com trado mecânico deixa uma parcela de solo solto junto à extremidade inferior da estaca. Desta forma, o contato direto do concreto com o solo natural fica comprometido, de modo que um procedimento usual de projeto para este tipo de fundação executada nessa região consiste em desprezar a parcela de resistência de ponta.

De maneira geral, é de uso corrente na engenharia de fundações brasileira, no cálculo da capacidade de carga de fundações por estacas, a utilização dos chamados métodos semi-empíricos. Estes métodos relacionam dados de ensaio de campo, obtidos em sondagens do tipo SPT e CPT, diretamente com a capacidade de carga das estacas. Entre os métodos mais empregados na região de Maringá, merece destaque o método Décourt e Quaresma (1978).

A estimativa da capacidade de carga pelo método Décourt e Quaresma (1978), alterado por Décourt (1996), é realizada com o emprego da equação seguinte:

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

onde R é a capacidade de carga da estaca (kN); α é o coeficiente de correção da resistência de ponta, em função do tipo da estaca e do solo; β é o coeficiente de correção do atrito lateral, em função do tipo da estaca e do solo; C é o coeficiente de ajuste, tabelado em função do tipo de solo (kN/m²); N_p é o valor médio do N_{SPT} na ponta da estaca; A_p é a área da seção transversal da ponta da estaca (m²); N_L é o valor médio do N_{SPT} ao longo do fuste da estaca; U é o perímetro da seção transversal da estaca (m); L é o comprimento do fuste da estaca (m).

Nota-se que a primeira parcela da Equação 1 refere-se à resistência de ponta que, na prática de projeto, é desprezada para este tipo de estaca (escavada sem a utilização de fluido estabilizante) executada na região de Maringá. A segunda parcela refere-se à resistência de atrito/adesão lateral, portanto, representa a resistência máxima mobilizada ao longo do fuste na interface estaca-solo.

Na forma de estimativa preliminar da carga de trabalho das estacas escavadas, no caso de obras de pequeno porte, é comum a utilização de valores empíricos estabelecidos pela prática regional, sendo estes valores tabelados em função do tipo, do diâmetro e da profundidade da estaca.

De acordo com Belincanta e Reis (2003), para a Região Noroeste do estado do Paraná e em especial a cidade de Maringá, têm sido usados para as estacas do tipo escavada com trado mecânico, sem fluido estabilizante, os valores apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores unitários de carga de trabalho em estacas do tipo escavada sem fluido estabilizante, em função do diâmetro e da profundidade (Belincanta e Reis, 2003).

Diâmetro nominal (m)	Carga de trabalho (kN/m)	
	Profundidade 0 a 10 m	Profundidade de 10 a 20m
0,25	10,0	14,5
0,30	14,0	17,4
0,35	20,0	24,2
0,40	23,0	27,0
0,45	31,0	36,5
0,50	35,0	41,0

Além da previsão da capacidade de carga usando os métodos semi-empíricos ou teóricos, a norma ABNT NBR 6.122 (2010) contempla a utilização de provas de carga estática, sendo obrigatória em determinados casos.

A execução de provas de carga estática em estacas é definida pela norma brasileira ABNT NBR 12.131 (2006) que estabelece os carregamentos do tipo lento, rápido, misto e cíclico.

Na análise dos resultados das provas de carga, quando não é possível visualizar uma ruptura nítida, é necessária a interpretação da curva carga-recalque por algum critério para estimar a carga de ruptura. Neste contexto, são empregados tanto os métodos que contemplam o ajuste de curvas matemáticas, como é o caso do método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976), bem como aqueles que se utilizam de um deslocamento limite, como é o caso do método proposto pela norma ABNT NBR 6.122 (2010).

Viana e Cintra (2000) ressaltam duas hipóteses básicas que devem ser atendidas para a aplicabilidade do método de Van der Veen: a forma da curva carga-recalque medida deve ser exponencial e o modo de ruptura deve ser do tipo física.

Nas provas de carga em que não se verifica a ruptura nítida, a norma ABNT NBR 6.122 (2010) estabelece um valor convencional para a carga de ruptura, correspondente a um deslocamento limite, constituído de duas parcelas: uma relacionada a um determinado encurtamento elástico do elemento estrutural, e a outra relacionada ao diâmetro da seção transversal da estaca.

2 – MATERIAIS E MÉTODO

Os materiais e método utilizados neste trabalho são apresentados e discutidos na sequência.

2.1 – Execução das Estacas

As estacas ensaiadas foram executadas no Campo Experimental de Geotecnia da UEM, com trado mecânico, sem a utilização de revestimento e de fluido estabilizante, com diâmetro nominal de 0,25 m e comprimento de fuste variando entre 4,0 e 11,6 m.

Tendo em vista que na prática regional tem-se considerado que este tipo de estaca mobiliza apenas a resistência lateral, neste trabalho, foram adotados alguns procedimentos para eliminar a mobilização de resistência de ponta. Nas estacas E6C, E7C e E201 este procedimento se constituiu da colocação de uma coluna de EPS de baixa densidade (isopor), e nas demais estacas foi utilizada a colocação de uma coluna de solo solto de aproximadamente 0,5 m, lançado sem nenhum processo de densificação.

As estacas foram armadas com seis barras longitudinais de aço CA 50 de 8 mm de diâmetro, com estribos de aço CA 60 de 5 mm de diâmetro, espaçados de 0,1 m, e comprimento de armadura mínimo de 1,5 m.

A concretagem foi realizada em conformidade com a norma ABNT NBR 6.122 (2010), no mesmo dia da perfuração, com concreto de resistência (f_{ck}) de 25 MPa, abatimento (slump) de 0,12 m e módulo de elasticidade estimado de 28.000 MPa.

Para o sistema de reação foram utilizadas estacas do mesmo tipo, executadas com comprimento variado, individualmente armadas com uma mono-barra Incotep 22 D.

A locação das estacas de ensaio e de reação, identificadas respectivamente pelas letras “E” e “T”, inclusive com a indicação do comprimento de fuste, é apresentada na Figura 1.

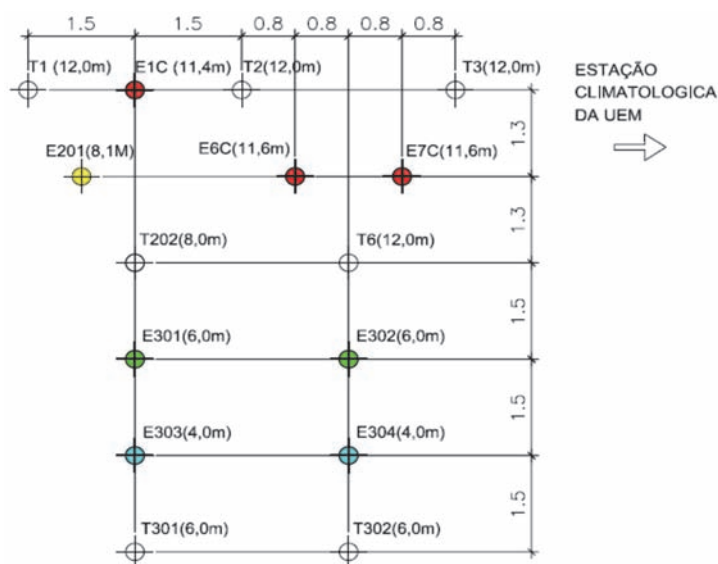


Fig. 1 – Locação esquemática das estacas de ensaio “E” e reação “T”.

2.2 – Estimativa da capacidade de carga

A estimativa de capacidade de carga das estacas foi feita pelo método semi-empírico Décourt-Quaresma (1978), alterado por Décourt (1996), e também pelo método Empírico Regional.

Na estimativa da capacidade de carga, feita com os dados contidos no Quadro 1 e pela utilização do método semi-empírico Décourt e Quaresma (1978), foi considerada somente a parcela da resistência de atrito/adeseção lateral constante da Equação 1, adotando-se para o diâmetro real da estaca o valor de 0,26 m, e para o coeficiente β o valor de 0,8, recomendado por Décourt (1996) para o caso de estaca escavada em solo argiloso. A resistência de ponta foi desconsiderada, em função dos procedimentos adotados quando da execução das estacas (utilização de coluna de isopor ou de solo solto lançado sem densificação).

Na estimativa de capacidade de carga, feita pelo método Empírico Regional, adotou-se os valores de resistência de carga de trabalho especificados no Quadro 3, sendo estes valores majorados por um coeficiente de segurança global igual a dois.

Os valores estimados da capacidade de carga em função do comprimento do fuste, para as estacas escavadas de diâmetro nominal de 0,25 m, estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Estimativa de capacidade de carga, para as estacas escavadas sem fluido estabilizante, executadas no Campo Experimental de Geotecnia da UEM.

Estaca	Fuste (m)	Capacidade carga (kN)	
		Décourt e Quaresma	Empírico Regional
E303	4,0	48,5	80,0
E304	4,0	48,5	80,0
E301	6,0	80,8	120,0
E302	6,0	80,8	120,0
E201	8,1	120,5	162,0
E1C	11,4	206,9	240,6
E6C	11,6	212,8	246,4
E7C	11,6	212,8	246,4

2.3 – Provas de carga estática

Na execução das provas de carga estática foi utilizado um sistema adequado para a aplicação da carga de compressão axial no topo da estaca. Este sistema é constituído de uma viga de reação, um macaco com bomba hidráulica, uma célula de carga elétrica com leitor analógico-digital (devidamente aferida), uma rótula, relógios comparadores com resolução de centésimo de milímetro e vigas de referência. As Figuras 2 e 3 apresentam os detalhes do sistema utilizado para a realização dos ensaios. Informações adicionais a respeito do sistema de reação podem ser obtidas em Almada (2016).

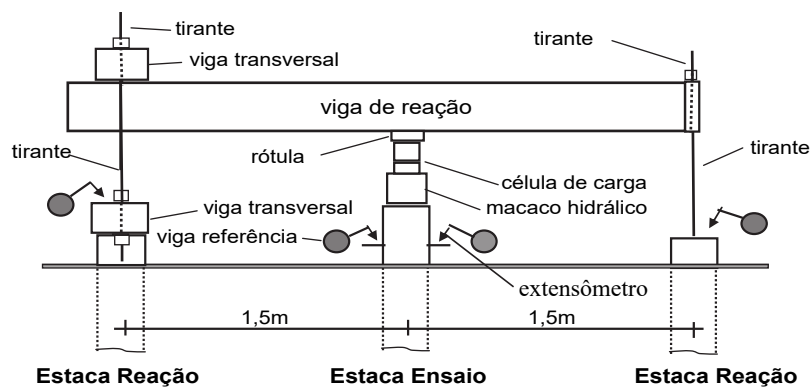


Fig. 2 – Detalhes do sistema utilizado nas provas de carga.



Fig. 3 – Vista geral do sistema utilizado nas provas de carga.

As provas de carga executadas nas estacas E303, com comprimento de 4,0 m, e E301, com comprimento de 6,0 m, seguiram o procedimento prescrito pela norma ABNT NBR 12.131 (2006) usando carregamento axial de compressão do tipo rápido, com a aplicação sucessiva de incrementos de carga iguais, de modo que:

- a) O incremento de carga aplicado em cada estágio foi inferior a 10% da carga de trabalho prevista para a estaca ensaiada;
- b) Em cada estágio, a carga foi mantida pelo tempo de 10 minutos, independentemente da estabilização dos deslocamentos;
- c) Em cada estágio os deslocamentos foram lidos no início e nos tempos subsequentes de 2, 4, 6, 8 e 10 minutos, excetuando-se o estágio de carga máxima em que foram feitas leituras adicionais até o tempo de 120 minutos;
- d) As estacas foram carregadas até a obtenção de recalques da ordem de 10% do seu diâmetro. O descarregamento foi realizado em cinco ou mais estágios, com os mesmos critérios de tempo e de leitura utilizados na etapa de carregamento;
- e) Após o descarregamento total, foram feitas duas leituras adicionais, sendo nos tempos de 30 e 60 minutos.

As provas de carga nas estacas E304, com comprimento de 4,0 m, E302, com comprimento de 6,0 m, E1C, com comprimento de 11,4 m, E6C e E7C, com comprimento de 11,6 m, foram executadas com carregamento de compressão axial, estático, do tipo lento. Estas provas de cargas foram realizadas em conformidade com a norma ABNT NBR 12.131 (2006), com a aplicação sucessiva de incrementos de carga iguais, espaçados do tempo necessário à estabilização dos deslocamentos medidos no topo da estaca, contemplando os seguintes detalhes:

- a) O incremento de carga aplicado em cada estágio foi de intensidade inferior a 20% da carga de trabalho prevista para a estaca;
- b) Em cada estágio a carga foi mantida até a estabilização dos deslocamentos e no mínimo por 30 minutos;
- c) Após a aplicação do incremento de carga, em cada estágio de carregamento, foram realizadas leituras dos deslocamentos logo após a aplicação do incremento de carga e nos tempos de 2, 4, 8, 15, 30 minutos, e, se necessário à estabilização dos deslocamentos, também nos tempos de 1, 2, 3 horas, etc., contados do início da aplicação do incremento de carga (estágio);

- d) A estabilização dos deslocamentos foi considerada atendida quando a diferença entre duas leituras consecutivas correspondeu a no máximo 5% do deslocamento havido no mesmo estágio de carregamento (diferença entre o deslocamento atual e o deslocamento estabilizado no estágio anterior);
- e) As estacas foram carregadas até a obtenção de recalques de no mínimo de 10% do diâmetro da estaca;
- f) Os descarregamentos foram feitos em quatro estágios, adotando-se o mesmo critério de estabilização definido para a fase de carregamento, com tempo de estabilização mínimo de 15 minutos;
- g) Após o descarregamento total da estaca, a leitura dos deslocamentos foi mantida até sua estabilização.

A prova de carga na estaca E201, com comprimento de 8,1 m, foi executada com carregamento de compressão axial, estático, prescrito pela norma americana ASTM D1143 (2013), diferenciando-se do procedimento anterior devido as exceções a seguir descritas:

- a) As leituras de deslocamento foram feitas nos tempos de 0; 2; 4; 7,5 minutos e posteriormente a cada 7,5 minutos, até que os deslocamentos fossem considerados estabilizados;
- b) Os deslocamentos foram considerados estabilizados quando a diferença entre duas leituras consecutivas, espaçadas entre si de 7,5 minutos, apresentaram velocidade de recalque inferior a 0,25 mm/h.

Nos ensaios realizados, com referência às curvas carga-recalque obtidas em prova de carga, considerando os pontos de carga-recalque estabilizados, foram feitos ajustes da curva exponencial, proposta por Van der Veen (1953), modificada por Aoki (1976), calculando-se inclusive a carga de ruptura. Também foram feitas as determinações das cargas de ruptura convencional das estacas, em conformidade com o procedimento recomendado pela norma brasileira ABNT NBR 6.122 (2010).

3 – RESULTADOS

Os resultados das provas de carga são apresentados na sequência na forma de quadro, sendo alguns apresentados também na forma de gráfico. Neste item também são apresentados os valores de carga de ruptura, determinados pelo método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976), e pelo método da norma brasileira ABNT NBR 6.122 (2010).

No sentido de ilustração, na Figura 4 apresenta-se a curva carga-recalque da estaca E303 ensaiada com carregamento estático do tipo rápido, e na Figura 5 apresenta-se a curva carga-recalque da estaca E6C ensaiada com carregamento estático do tipo lento. Adicionalmente, na Figura 6 apresenta-se a determinação da carga de ruptura da estaca E303 pelo método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976). Na Figura 7 apresenta-se a determinação da carga de ruptura convencional da estaca E6C realizada pelo método proposto pela norma ABNT NBR 6.122 (2010), utilizando a curva ajustada pelo método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976).

Na Figura 7, observa-se que a curva ajustada pelo método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976), é negativa nos pontos iniciais de carregamento, o que fisicamente não faz sentido, no entanto tem um bom ajuste com os pontos intermediários e finais do carregamento, que são relevantes na análise da capacidade de carga de estacas.

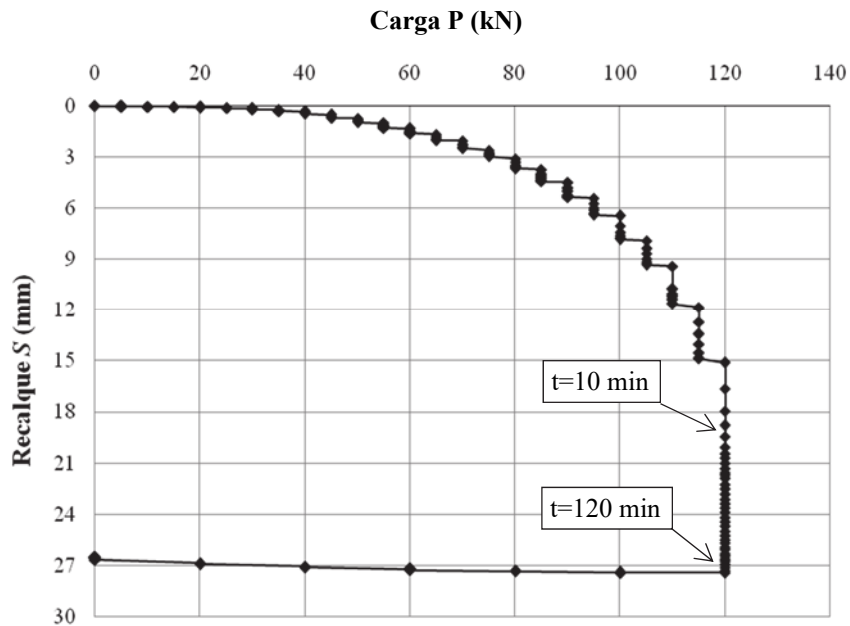


Fig. 4 – Curva carga-recalque da estaca escavada E303, diâmetro efetivo 0,26 m, comprimento 4,0 m, carregamento estático do tipo rápido.

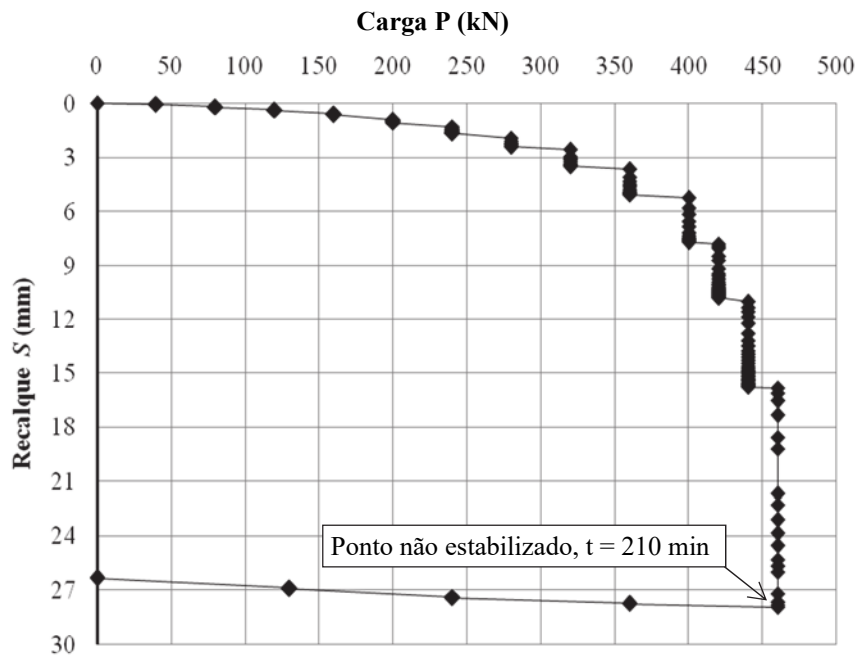


Fig. 5 – Curva carga-recalque da estaca escavada E6C, diâmetro efetivo 0,26 m, comprimento 11,6 m, carregamento estático tipo lento.

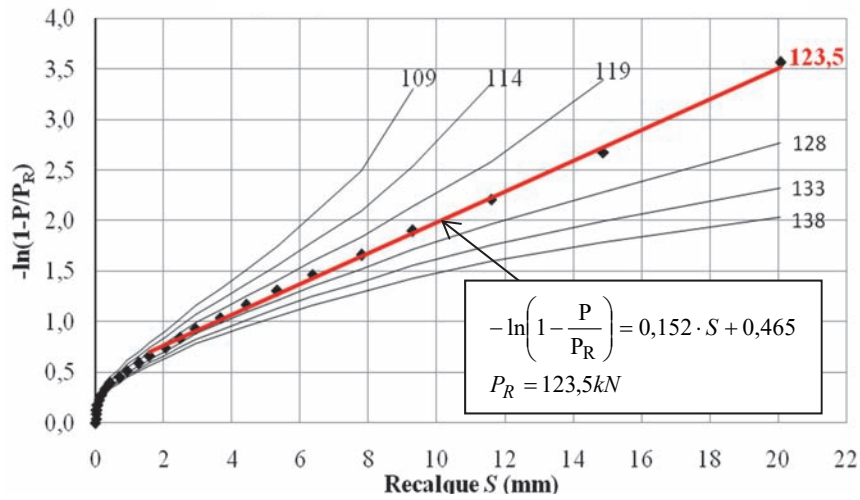


Fig. 6 – Estimativa da carga de ruptura da estaca E303, método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976).

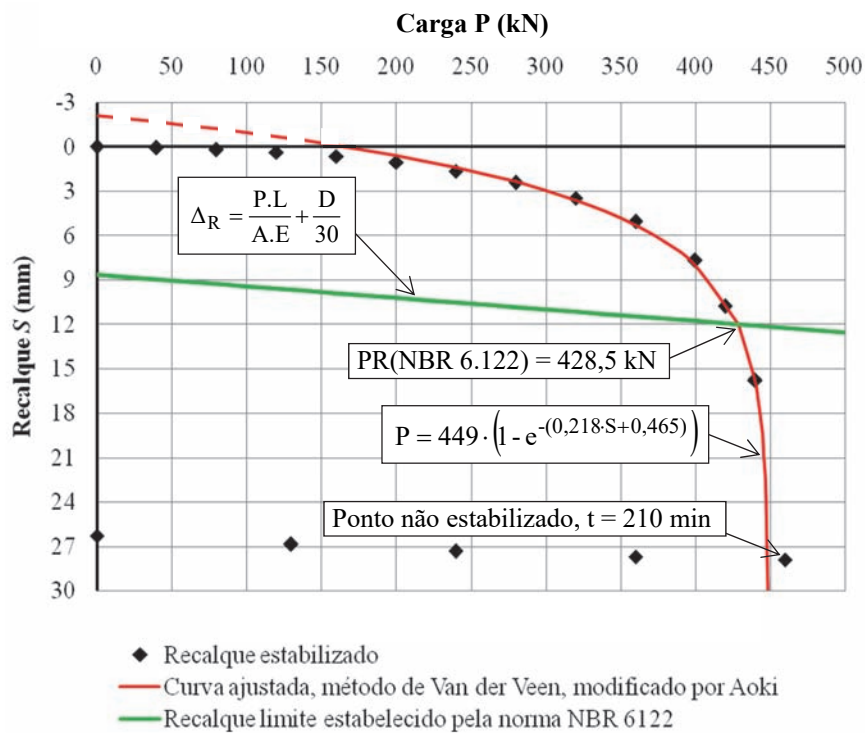


Fig. 7 – Estimativa da carga de ruptura convencional da estaca E6C, método da ABNT NBR 6.122 (2010), utilizando a curva ajustada de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976).

No Quadro 5, são apresentadas, além das características das estacas, também o tipo de carregamento, o tempo de duração, o recalque máximo correspondente à carga máxima aplicada no ensaio, as estimativas de capacidade de carga na ruptura, calculadas pelos métodos de Décourt e Quaresma (1978) e Empírico Regional. Também são apresentadas as cargas de ruptura determinadas pelos métodos de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976), e pela norma brasileira ABNT NBR 6.122 (2010), com o auxílio da curva ajustada pelo método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976). Os valores de capacidade de carga estimada e de carga de ruptura de ensaio são apresentados no Quadro 5, tanto na forma de carga total em kN, quanto de carga unitária média ao longo do fuste em kN/m.

Quadro 5 – Características das estacas ensaiadas e das provas de carga realizadas, capacidades de carga estimadas pelos métodos empregados neste trabalho e cargas de ruptura medidas nas provas de carga.

Descrição		E303	E304	E301	E302	E201	E1C	E6C	E7C		
Diâmetro efetivo (m)		0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26		
Comprimento fuste (m)		4,0	4,0	6,0	6,0	8,1	11,4	11,6	11,6		
Tipo de carregamento		rápido	lento	rápido	lento	*	lento	lento	lento		
Duração do ensaio (h)		7,8	37,7	9,7	27,5	10,5	29,4	28,5	45,3		
Recalque máximo (mm)		27,5	27,0	20,5	34,8	37,4	28,6	27,9	40,8		
Carga máxima ensaio (kN)		120,0	130,6	220,0	205,5	350,0	500,0	460,0	475,0		
Capacidade de carga estimada (ruptura)	kN	Método Décourt Quaresma		48,5	48,5	80,8	80,8	120,5	206,9	212,8	212,8
	kN	Método Empírico Regional		80,0	80,0	120,0	120,0	162,0	240,6	246,4	246,4
	kN/m	Método Décourt Quaresma		12,1	12,1	13,5	13,5	14,9	18,1	18,3	18,3
	kN/m	Método Empírico Regional		20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	21,1	21,2	21,2
Carga de ruptura do ensaio	kN	Método de Van der Veen		123,5	128,0	223,0	196,0	308,0	488,0	449,0	458,0
	kN	Método da NBR 6122 (2010)		103,6	118,7	200,0	191,0	307,1	474,4	428,5	431,6
	kN/m	Método de Van der Veen		30,9	32,0	37,2	32,7	38,0	42,8	38,7	39,5
	kN/m	Método da NBR 6122 (2010)		25,9	29,7	33,3	31,8	37,9	41,6	36,9	37,2

* Prova de carga executada com o critério de estabilização da ASTM D 1143 (2013), velocidade máxima de recalque de 0,25 mm/h.

Desconsiderando o tipo de carregamento, no Quadro 6 são apresentados, na forma de média e em função do comprimento de fuste, os valores de carga de ruptura unitária determinados pelo método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976), os valores de carga de ruptura convencional unitária determinados pelo método da ABNT NBR 6.122 (2010), utilizando a curva ajustada pelo método de Van der Veen (1953), modificada por Aoki (1976). Também são apresentados os valores de capacidade de carga unitária estimados pelos métodos de Décourt e Quaresma (1978) e Empírico Regional. No Quadro 7 são apresentados os valores da relação entre a

carga de ruptura convencional (NBR 6.122:2010) e a capacidade de carga estimada pelos métodos aqui analisados.

Quadro 6 – Valores médios da carga de ruptura unitária ao longo do fuste em kN/m, determinados pelos métodos de Van der Veen, modificado por Aoki e da ABNT NBR 6.122 (2010), e de capacidade de carga estimados pelos métodos de Décourt e Quaresma (1978) e Empírico Regional.

Método	Comprimento médio de fuste			
	4,0 m	6,0 m	8,1 m	11,5 m
Carga média de ruptura Van der Veen (1953), mod. Aoki (1976) (kN/m)	31,5	35,0	38,0	40,3
Carga média de ruptura convencional NBR 6.122 (2010) (kN/m)	27,8	32,6	37,9	38,6
Capacidade de carga média estimada Décourt e Quaresma (kN/m)	12,1	13,5	14,9	18,2
Capacidade de carga média estimada Empírico regional (kN/m)	20,0	20,0	20,0	21,2

Quadro 7 – Relação entre a carga de ruptura convencional (NBR 6122:2010) e a capacidade de carga estimada pelos métodos de Décourt-Quaresma e Empírico Regional, respectivamente.

Método	Carga de ruptura de ensaio / Capacidade de carga estimada			
	Comprimento de fuste			
	4,0 m	6,0 m	8,1 m	11,5 m
Décourt e Quaresma	2,1 a 2,4	2,4 a 2,5	2,5	2,0 a 2,3
Empírico Regional	1,3 a 1,5	1,6 a 1,7	1,9	1,7 a 2,0

4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As cargas de ruptura convencional, obtidas pela aplicação do método da ABNT NBR 6.122 (2010), foram sistematicamente de valor inferior às cargas de ruptura física, determinadas pela aplicação do método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976). Isto ocorre porque a ruptura convencional refere-se a um recalque finito, enquanto que a ruptura física está associada a um recalque infinito.

Tomando como base os resultados apresentados nos Quadros 5 e 6, desconsiderando o tipo de carregamento e considerando como referência o método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976), as cargas de ruptura unitária ao longo do fuste, em termos de média, foram: 31,5 kN/m para as estacas de 4,0 m; 35,0 kN/m para as estacas de 6 m; 38,0 kN/m para a estaca de 8,1 m, e 40,3 kN/m para as estacas com fuste variando de 11,4 a 11,6 m. Estes valores se alteram, no caso da utilização da carga de ruptura convencional (ABNT NBR 6122:2010) determinada com a curva carga-recalque ajustada pelo método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976), sendo em termos de média: 27,8 kN/m para as estacas de 4,0 m; 32,6 kN/m para as estacas de 6,0 m; 37,9 kN/m para a estaca de 8,1 m e 38,6 kN/m para as estacas com fuste variando de 11,4 a 11,6 m.

Na análise da capacidade de carga estimada pelo método semi-empírico Décourt e Quaresma, verifica-se que para as estacas E303, E304, E301, E302 e E201, que estão totalmente embutidas na camada superficial de solo evoluído (profundidade de até 9 m), a relação da carga de ruptura convencional obtida em prova de carga com aquela estimada pelo método semi-empírico Décourt e Quaresma, é de tendência crescente com a profundidade.

Em conformidade com os valores contidos no Quadro 7, esta relação é de 2,1 a 2,4 para as estacas de 4,0 m; de 2,4 a 2,5 para as estacas de 6,0 m; e de 2,5 para a estaca de 8,1 m. Para as estacas E1C, E6C e E7C, de comprimento médio de 11,5 m, que estão parcialmente embutidas na camada de solo residual jovem de basalto, a relação é de 2,0 a 2,3. Para todas estas oito estacas ensaiadas, a relação entre a carga de ruptura convencional (ABNT NBR 6.122:2010) e a capacidade de carga estimada pelo método Décourt e Quaresma variou entre 2,0 a 2,5.

Décourt (2002), em análise de provas de carga realizadas na cidade de Londrina, Região Norte do Estado do Paraná, cujos solos são de características semelhantes aos da cidade de Maringá, tem observado que as argilas lateríticas se apresentam com rigidez superior àquelas não lateríticas de mesmo valor de índice de resistência à penetração do ensaio SPT. A relação obtida pelo autor em termos de capacidade de carga entre solo laterítico e não laterítico foi em média 1,76, o que é compatível com as relações obtidas neste trabalho que variou de 2,0 a 2,5, quando da utilização do método semi-empírico Décourt e Quaresma (1978) alterado por Décourt (1996).

Na análise da capacidade de carga, estimada pelo método Empírico Regional, verifica-se que para as estacas E303, E304, E301, E302 e E201 que estão totalmente embutidas na camada superficial de solo evoluído (profundidade de até 9 m), as cargas de ruptura convencional obtidas em ensaio de prova de carga, quando relacionadas com as respectivas capacidades de carga estimadas pelo método Empírico Regional, também se apresentam com valores diferenciados, de tendência crescente com a profundidade.

Em conformidade com os valores contidos no Quadro 7, estas relações são de 1,3 a 1,5, para as estacas de 4,0 m; de 1,6 a 1,7 para as estacas de 6,0 m; de 1,9 para a estaca de 8,1 m. Para as estacas E1C, E6C e E7C, de comprimento médio de 11,5 m, que estão parcialmente embutidas na camada de solo residual de basalto, a relação é de 1,7 a 2,0. Para todas estas oito estacas ensaiadas, a relação entre a carga de ruptura convencional (ABNT NBR 6.122:2010) e a capacidade de carga estimada pelo método Empírico Regional variou entre 1,3 a 2,0.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, considerando-se desprezável a resistência de ponta em função dos procedimentos adotados quando da execução das estacas (colocação na base da estaca de coluna de isopor ou de solo solto sem densificação) e não considerando os possíveis efeitos da umidade do solo quando da realização dos ensaios de prova de carga, conclui-se que para as estacas analisadas os valores de capacidade de carga, estimados tanto pelo método semi-empírico Décourt e Quaresma quanto pelo método Empírico Regional, apresentaram-se conservadores. Os valores obtidos indicam que esses métodos de estimativas de capacidade de carga são consistentes para as diferentes profundidades, permitindo com isto o estabelecimento de coeficientes de ajuste.

Um complemento dessa pesquisa no sentido de promover uma consolidação desses resultados consiste na realização de um número maior de ensaios em estacas executadas neste tipo de solo, inclusive instrumentadas com sensores elétricos instalados ao longo da profundidade.

6 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas Calijuri Fundações, Extracon Mineração e Obras e Incotep Sistemas de Ancoragem, que contribuíram para a execução dos trabalhos de campo.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 12.131 (2006). *Estacas – Prova de Carga Estática – Método de Ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Rio de Janeiro, 8 pg.

- ABNT NBR 6.122 (2010). *Projeto e Execução de Fundação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Rio de Janeiro, 91 pg.
- Almada, J. L. A. (2016). *Avaliação de capacidade de carga de estacas escavadas com trado mecânico, sem fluido estabilizante, na cidade de Maringá/Pr*. Maringá, Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Maringá. pp.115.
- Aoki, N. (1976). *Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas*. Curso de Extensão Universitária em Engenharia de Fundações – Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro, pp. 44.
- ASTM D1143 (2013). *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load*. American Society for Testing and Materials. pp. 15.
- Belincanta, A. (1998). *Avaliação de fatores intervenientes no índice de resistência à penetração do SPT*. São Carlos, Doctoral Thesis in – Escola de Engenharia de São Carlos.
- Belincanta, A.; Reis, J. H. C. (2003). *Uma abordagem geral sobre fundações profundas do tipo moldada in loco, de uso corrente na região de Maringá. Maringá-Pr*. In I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense, GEOPAR, Maringá, anais... Maringá: Universidade Estadual de Maringá.
- Décourt, L.; Quaresma, A. R. (1978). *Capacidade de Carga em Estacas a Partir de Valores de SPT*. In VI COBRAMSEF. Vol. 1, pp 45 – 53.
- Décourt, L. (1996). *Estacas – análise e projeto de fundações profundas*. In: Hachich et al. (Ed.). *Fundações: teoria e prática*. São Paulo: PINI, cap. 8.1, pp. 265-301.
- Décourt, L. (2002). *Capacidade de carga de estacas executadas no campo experimental de engenharia geotécnica da UEL - Londrina. Algumas ponderações*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 12., São Paulo. Anais... São Paulo: ABMS, pp. 1509-1606, v.3.
- Gutierrez, N. H. M.; Belincanta, A. (2004). *Características Básicas dos Solos Constituintes do Subsolo da Cidade de Maringá: Locais de Alta a Média Vertente*. In: IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul – GEOSUL 2, Curitiba – Pr, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos – ABMS.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). acessado em 09/02/2018, <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/maringa/panorama>.
- Van der Veen (1953). *The Bearing Capacity of a Pile*. In 3rd ICSMFE, Zurich, Switzerland, vol. 2, pp. 84 a 90.
- Viana, A. P. F.; Cintra, J. C. A. (2000). *Aplicabilidade do método de Van der Veen para Extrapolação de Curvas Carga-recalque*. 4º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia (SEFE IV), vol. 1, pp. 85 – 92, São Paulo.