XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/43

Contribuição à Confiabilidade de Estacas Raiz em Solos Sedimentares – Parte 1: Interpretação de Provas de Carga Estática pelo Modelo de Massad

Roberto Ferreira do Nascimento
Mestre em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brasil, robert-bv1@hotmail.com

Bernadete Ragoni Danziger
Professora Titular, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brasil, bernadete.danziger@eng.uerj.br

RESUMO: A avaliação da capacidade de carga de estacas constitui um dos principais aspectos do projeto de fundações profundas, sendo essencial para garantir a segurança e o desempenho adequado das construções. Este trabalho apresenta a reinterpretação de um conjunto de provas de carga estática (PCEs) realizadas em estacas do tipo raiz instaladas em solos sedimentares da região de Rio Grande, Sul do Brasil, com base no modelo de Massad (1992, 1993). O banco de dados é composto por 20 ensaios obtidos de Silva (2015). O emprego do modelo possibilita avaliar os mecanismos de transferência de carga e a separação das parcelas de resistência por atrito lateral, ponta e a carga residual aprisionada na ponta, quando presente. Neste trabalho, adota-se um procedimento alternativo, aplicado ao comprimento da estaca efetivamente carregado durante o ensaio. A adoção desta abordagem justifica-se pela não mobilização integral do atrito lateral disponível quando da aplicação da carga máxima do ensaio, ou seja, apenas a porção superior do fuste foi efetivamente solicitada. Os resultados indicam predominância da resistência por atrito lateral, com mobilização parcial do atrito disponível durante o ensaio. Embora uma das premissas do modelo seja a mobilização do atrito total disponível, o procedimento alternativo mostrou-se adequado para a calibração probabilística de métodos de previsão da capacidade de carga, apresentada na Parte 2 deste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Estacas raiz, Prova de carga estática, Modelo de Massad, Capacidade de carga, Atrito lateral.

ABSTRACT: The evaluation of pile load-bearing capacity is one of the key aspects of deep foundation design and is essential to ensure the safety and satisfactory performance of structures. This study presents the reinterpretation of a set of static load tests conducted on root piles installed in sedimentary soils in the Rio Grande region, southern Brazil, based on the model proposed by Massad (1992, 1993). The database consists of 20 tests obtained from Silva (2015). The model enables the assessment of load transfer mechanisms and the separation of shaft resistance, tip resistance, and residual load at the pile tip, when present. An alternative procedure was adopted and applied to the portion of the pile length effectively mobilized during the load test. This approach was motivated by the fact that the maximum applied load did not fully mobilize the available shaft resistance, such that only the upper portion of the pile shaft was effectively mobilized. The results indicate that shaft resistance predominates, with only partial mobilization of the available resistance during the tests. Although one of the assumptions of the model is the full mobilization of the available shaft resistance, the alternative procedure proved suitable for the probabilistic calibration of pile load-capacity prediction methods, as presented in Part 2 of this study.

KEYWORDS: Root piles, Static load test, Massad method, Bearing capacity, Shaft resistance.

1. INTRODUÇÃO

A confiabilidade de fundações profundas é um aspecto essencial da engenharia geotécnica, dadas as incertezas associadas às propriedades do solo, aos métodos de previsão e aos processos executivos. A capacidade de carga das estacas é comumente estimada por métodos semiempíricos, com coeficientes obtidos a partir de correlações, podendo apresentar variabilidade significativa em função das condições geotécnicas.

A PCE constitui o método mais confiável para a avaliação do comportamento real das estacas, pois permite a obtenção da curva carga–recalque completa, abrangendo tanto as condições de serviço quanto as de ruptura, esta última, em alguns casos, determinada por extrapolação.. A interpretação do ensaio fornece, em geral, apenas a capacidade de carga global, sem distinguir as contribuições individuais do atrito lateral e da resistência de ponta.

O modelo proposto por Massad (1992, 1993) permite a interpretação das curvas carga–recalque e a separação das parcelas de resistência mobilizadas. Essa abordagem contribui para uma melhor compreensão dos mecanismos de transferência de carga e fornece parâmetros experimentais fundamentais para a avaliação da confiabilidade dos métodos de previsão da capacidade de carga, contribuindo para a redução das incertezas inerentes a essas estimativas.

Este trabalho tem como objetivo reinterpretar PCEs em estacas do tipo raiz utilizando o modelo de Massad, visando separar as parcelas de resistência por atrito e ponta. Os resultados constituem a base experimental para a calibração probabilística dos métodos de previsão apresentados na Parte 2.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Determinação da carga de ruptura por extrapolação da curva carga–recalque

Foram utilizados dois métodos de extrapolação da curva carga–recalque para a estimativa da carga de ruptura. O método de Van der Veen (1953), modificado por Aoki (1976), foi adotado por se tratar de um procedimento amplamente conhecido e difundido na prática geotécnica brasileira. Adicionalmente, utilizou-se o método proposto por Massad (1986).

A confiabilidade da extrapolação das curvas obtidas em provas de carga pelo método de Van der Veen (1953) tem sido objeto de discussão na literatura. Extrapolações realizadas a partir de curvas carga–recalque limitadas a baixos níveis de carregamento (ou seja, em um trecho inicial, quase elástico) podem resultar em valores de carga de ruptura superestimados. Velloso e Lopes (2011) consideram que somente é possível obter uma extrapolação razoável dessas curvas pelo método de Van der Veen quando o recalque máximo atingido na prova de carga é de, pelo menos, 1% do diâmetro da estaca. Todas as 20 estacas do banco de dados analisado neste artigo atendem a essa premissa.

2.1.1. Método de Van Der Veen (1953) e sua Modificação proposta por Aoki (1976)

O método de Van der Veen (1953) é amplamente utilizado no Brasil para a extrapolação da curva carga–recalque. Aoki (1976) observou que a reta resultante do processo iterativo não passava pela origem, indicando a presença de um intercepto distinto de zero, e este procedimento passou a ser conhecido como Método de Van der Veen modificado por Aoki (1976). Assim, a expressão foi reescrita como:

$$P = P_r(1 - e^{-aw+b}) \quad (1)$$

A carga de ruptura é obtida experimentando-se diferentes valores de carga (superiores a carga máxima de ensaio), até que se obtenha uma reta no gráfico de abscissa $-\ln(1 - {}^{P}/_{P_r})$ e ordenada w, em que:

P é a carga nas diferentes etapas de carregamento do ensaio;
w é o recalque correspondente à carga P;
P_r é a carga de ruptura extrapolada, correspondente à melhor reta de regressão;
a, b são, respectivamente, o coeficiente angular e o coeficiente linear da melhor reta de regressão obtida.

2.1.2. Método de Massad (1986)

Determinar P_r pelo método de Massad (1986), em síntese, consiste na obtenção de diversas cargas P_n, associadas a uma série de recalques equi-espaçados de um valor Δ arbitrário, obtendo-se os pares ordenados (P_n, P_{n+1}), de modo que a relação entre eles, indicada na Figura 1, possa ser escrita pela equação a seguir:

$$P_{n+1} = a' + b'P_n \quad (2)$$

Os valores de P_n e P_{n+1} convergem progressivamente, de modo que Pr corresponde ao valor para o qual P_n se iguala a P_{n+1}. Dessa forma, a carga Pr pode ser calculada pela equação:

$$P_r = \frac{a'}{1 - b'} \quad (3)$$

O procedimento descrito pode ser visualizado de forma simplificada a seguir. Os valores P_1, P_2, P_3, …, P_n são representados no eixo das abscissas (x), enquanto os valores correspondentes P_2, P_3, P_4, …, P_{n+1} são dispostos no eixo das ordenadas (y), formando pares ordenados que definem a reta destacada no gráfico da Figura 1. Esta mesma figura refere-se a um exemplo de prova de carga do banco de dados, correspondente à Estaca E4, para incrementos de recalque Δ = 1 mm. A imagem apresenta ainda a equação da reta ajustada por regressão linear, utilizada para a determinação dos parâmetros (a' e b'), conforme proposto por Massad (1986). O coeficiente linear corresponde ao parâmetro a', representando graficamente o ponto de interseção da reta com o eixo y. Já o coeficiente angular, ou inclinação da reta, corresponde ao parâmetro b'.

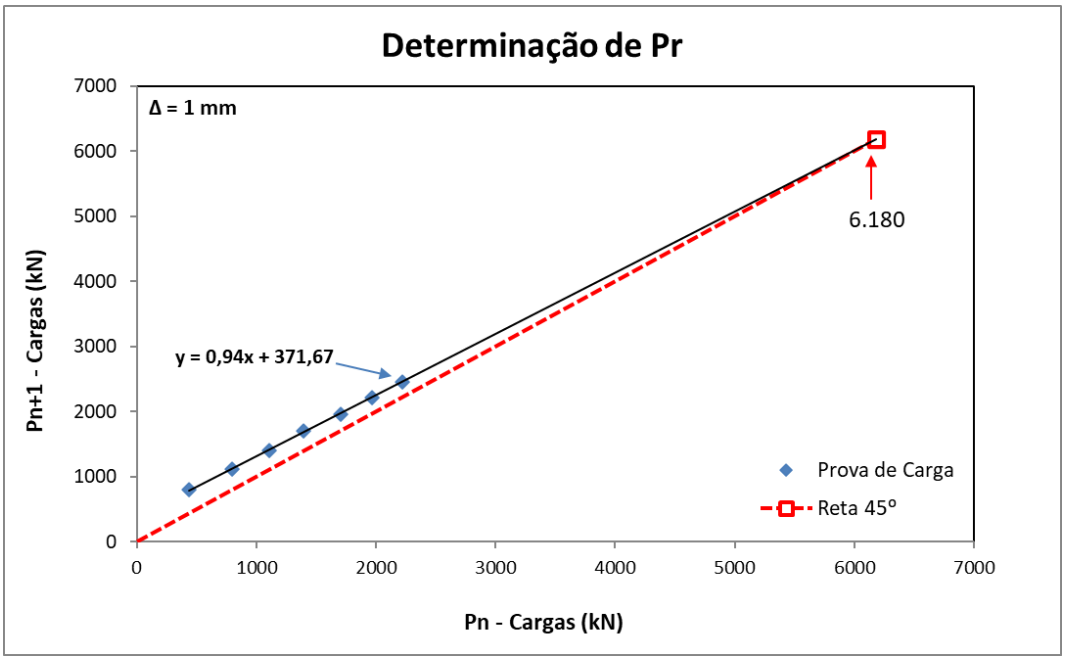


Figura 1 - Determinação da carga de ruptura Pr por Massad (1986).

2.2. Separação das parcelas de ponta e de atrito

Uma vez determinada a carga de ruptura por extrapolação das curvas carga–recalque, procede-se à interpretação das provas de carga segundo o modelo proposto por Massad (1992, 1993), com o objetivo de separar as parcelas de resistência por atrito lateral e ponta. Massad apresentou um modelo geral baseado nas leis de Cambefort para a interpretação de PCE em estacas escavadas e cravadas, incorporando as cargas residuais na ponta quando ocorrem. O modelo foi inicialmente desenvolvido para solos relativamente homogêneos (Massad, 1992). Posteriormente, Massad (1993) estendeu o método para o caso de estacas com embutimento em camada mais resistente.

A Figura 2 apresenta a curva carga–recalque teórica proposta por Massad (1992, 1993). No trecho inicial, entre os pontos 0 e 3, a estaca começa a receber carga e apresenta pequenos recalques, com mobilização

inicial do atrito lateral em regime aproximadamente elástico. Entre os pontos 3 e 4 ocorre a mobilização progressiva do atrito lateral ao longo do fuste. No trecho entre os pontos 4 e 5 o atrito lateral se esgota e ocorre a mobilização da resistência de ponta. Entre os pontos 5 e 6 a resistência de ponta atinge seu valor máximo, caracterizando a ruptura.

Durante o descarregamento, entre os pontos 6 e 7 ocorre recuperação elástica inicial. Entre os pontos 7 e 8 observa-se a desmobilização do atrito lateral no sentido reverso e, finalmente, entre os pontos 8 e 9 ocorre a recuperação da ponta, permanecendo um recalque residual ao final do processo.

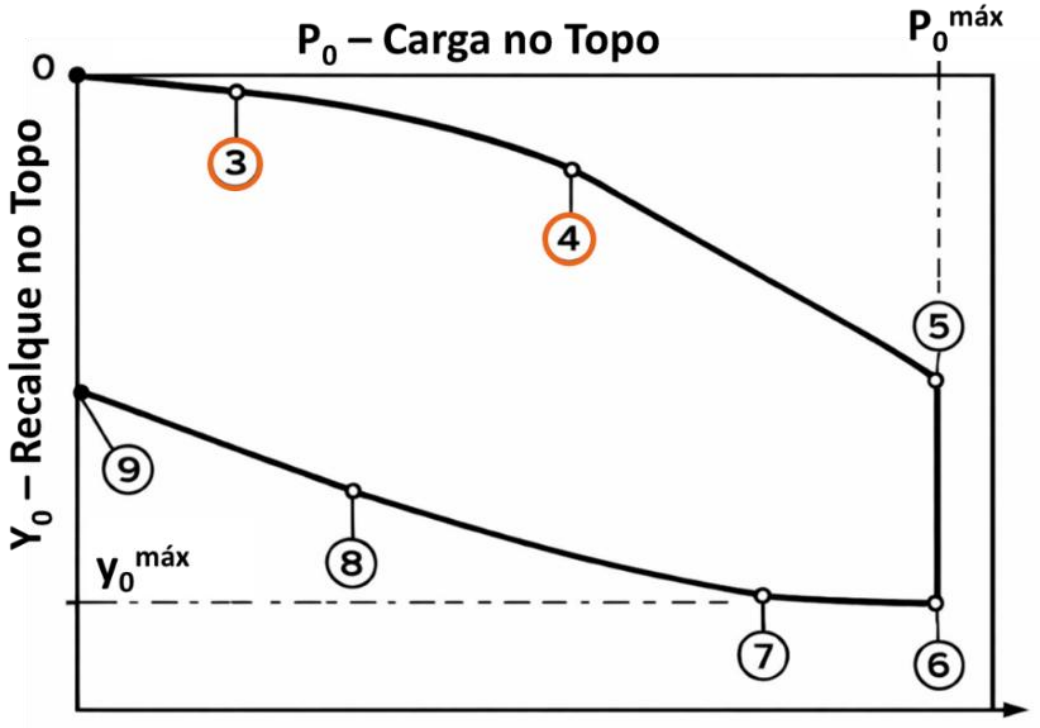


Figura 2 - Curva carga-recalque teórica (Massad, 1992).

Destaca-se que uma das premissas fundamentais para que o modelo possa ser usado é que a carga máxima aplicada ao topo da estaca supere o atrito lateral disponível ($P_0^{max} \geq A_{lr}$), ou seja, é necessário que o trecho entre os pontos 3 e 4 da Figura 2 esteja bem caracterizado. Em estacas longas, quando essa premissa é atendida, o trecho 3–4 pode ser representado por uma relação parabólica. Massad (1992, 1993) destaca que esse mesmo trecho também pode ser representado por uma relação exponencial, mas esta alternativa não será abordada neste artigo. Para maiores detalhes sobre os procedimentos de aplicação do método recomenda-se a consulta aos trabalhos originais de Massad (1986, 1992, 1993), bem como ao trabalho de Martins (2024), que desenvolveu uma planilha computacional para facilitar a aplicação prática do modelo.

3. CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO BANCO DE DADOS DE PROVAS DE CARGA

Esta seção apresenta algumas características do banco de dados estudado inicialmente por Silva (2015), bem como as análises necessárias à interpretação dos ensaios. Para obter algum complemento acerca dos ensaios e as informações completas de campo, o leitor pode consultar o trabalho de Silva (2015).

3.1. Características gerais do banco de dados

A obra destinou-se à construção das fundações dos trilhos que suportam um pórtico de 15 MN, usado para movimentar blocos de navios no Estaleiro Rio Grande, localizado na cidade de Rio Grande, Rio Grande do Sul. Foram executadas aproximadamente 1500 estacas do tipo raiz, entre as quais se encontram as 20 estacas submetidas às PCEs.

Dentre os documentos disponíveis estão incluídos relatórios de sondagens com a locação das investigações, os diagramas de execução das estacas e relatórios dos ensaios de prova de carga estática. Silva

(2015) destaca que dentre os vinte ensaios, oito foram do tipo lento, com carga mantida, e doze ensaios mistos, que têm por objetivo reduzir o tempo do ensaio, minimizando seu custo, como indicado na NBR 16903 (2020). Todas as estacas ensaiadas possuíam o mesmo comprimento (46 m) e o mesmo diâmetro (0,41 m).

As sondagens disponíveis indicam perfis de subsolo com camadas alternadas de solos argilosos e arenosos com resistência à penetração bastante variável, indicando que se trata de um solo sedimentar. O modelo do Massad (1992, 1993) considera o atrito lateral uniforme ao longo de todo o comprimento da estaca. Neste caso, como o solo apresenta camadas de resistência muito diferenciada, com valores de N_{SPT} significativamente mais elevados em algumas camadas, a hipótese de atrito unitário uniforme adotada pelo modelo se afasta das condições reais observadas em campo

3.2. Determinação da carga de ruptura extrapolada

Os ensaios de prova de carga reanalisados, para duas vezes a carga de projeto, não levaram as estacas à ruptura geotécnica, isto é, não houve ruptura nítida no contato estaca-solo nos ensaios. Neste caso, a carga de ruptura foi determinada por extrapolação de acordo com as recomendações da norma brasileira. Neste trabalho, a carga de ruptura extrapolada foi determinada por meio de duas metodologias: Van der Veen (1953) modificada por Aoki (1976) e Massad (1986), de acordo com o exposto nos itens 2.1.1 e 2.1.2. Os valores obtidos estão exibidos na Tabela 1.

Tabela 1. Carga Máxima Extrapolada (Ensaios Mistos e Lentos).

Estaca	Carga Máx Extrapolada (kN)			Estaca	Carga Máx Extrapolada (kN)		
	Van der Veen	Massad	Média		Van der Veen	Massad	Média
E4	5660	6180	5920	E24	5450	5853	5652
E170	3770	3842	3806				
E200	3740	3422	3581	E31	5110	5359	5235
E234	3920	4575	4248	E150	4920	4684	4802
E239	3280	3615	3448				
E308	3810	3867	3839	E191	3390	3045	3218
E315	4660	5477	5069	E276	3240	3369	3305
E327	4630	4942	4786				
E380	5510	5612	5561	E307	5160	4994	5077
E430	3960	4134	4047	E426	3950	4172	4061
E434	3880	3949	3915				
E501	4050	4151	4101	E457	3760	3917	3839
Média dos ensaios mistos			4360	Média dos ensaios lentos			4398

Em linhas gerais, os resultados obtidos pelos dois métodos mostraram pouca variação entre si. Também não se observou, para os ensaios lentos, menores valores extrapolados quando comparados aos ensaios mistos, de menor duração. Destaca-se que a diferença percentual entre as médias dos ensaios lentos e mistos foi de apenas 0,86%. A expectativa era de que essa média dos ensaios mistos seria maior, uma vez que ao se proceder ao ensaio mais rápido, para cargas superiores à carga de trabalho, o efeito da maior velocidade de penetração resultaria numa carga de ruptura maior. Um trabalho de destaque que trata deste assunto, além de sugerir o método do equilíbrio para a execução de provas de carga, é o de Lopes et al. (2021).

3.3. Resultados da interpretação pelo modelo de Massad (1992, 1993)

A aplicação do modelo de Massad (1992, 1993) às provas de carga analisadas resultou, inicialmente, em estimativas inconsistentes de atrito lateral, inclusive superiores às cargas de ruptura extrapoladas. Esse comportamento sugere que as premissas do modelo não foram plenamente atendidas nas condições do banco de dados, especialmente no que se refere à mobilização completa do atrito lateral ao longo do fuste. Diante disso, foi adotado um procedimento alternativo de interpretação, baseado na definição de um comprimento equivalente da estaca, correspondente ao trecho do fuste efetivamente carregado durante o ensaio.

A Tabela 2 apresenta um comparativo entre os valores de atrito lateral disponível na ruptura (Alr), obtidos pelo modelo de Massad (1992, 1993), e as cargas extrapoladas pelos métodos mencionados anteriormente.

Tabela 2. Comparativo atrito lateral (Alr) versus carga de ruptura extrapolada (Ensaios Mistos e Lentos).

Ensaios Mistos			Ensaios Lentos		
Estaca	Relação parabólica	Carga Extrapolada média	Estaca	Relação parabólica	Carga Extrapolada média
	Alr (kN)	Qult (kN)		Alr (kN)	Qult (kN)
E4	6203	5920	E24	7539	5652
E170	7432	3806	E31	8715	5235
E200	7737	3581	E150	5458	4802
E234	7923	4248	E191	2452	3218
E239	4097	3448	E276	4851	3305
E308	5142	3839	E307	7102	5077
E315	6612	5069	E426	6594	4061
E327	7144	4786	E457	6101	3839
E380	6278	5561			
E430	6341	4047			
E434	7395	3915			
E501	6564	4101			

Os resultados da interpretação dos ensaios utilizando o ajuste parabólico do modelo de Massad (1992, 1993) não foram consistentes. A Tabela 2 mostra valores de resistência por atrito lateral (Alr), superiores à carga de ruptura extrapolada por Van der Veen, modificado por Aoki (1976), e pela extrapolação de Massad (1986), não sendo aceitáveis. Após consulta a Massad (2025), verificou-se que algumas das estacas, para a carga máxima de ensaio, mobilizaram apenas uma parte pequena do atrito disponível, como se tivesse, efetivamente, um comprimento inferior ao executado. Neste caso, após atravessar os primeiros 10 m de areia, com N_{SPT} predominantemente entre 5 e 10, ficou provavelmente embutida na camada de areia subjacente, entre 10 e 17 m, trecho onde a sondagem revelou N_{SPT} superando os 50 golpes.

Como visto, para a carga máxima no ensaio de duas vezes a carga de serviço, o atrito lateral foi apenas parcialmente mobilizado, não se tendo caracterizado de forma correta, o ponto 4 da curva da Figura 2, indicador da plena mobilização do atrito lateral. Em outras palavras, o modelo de Massad (1992) não poderia ter sido utilizado, pois não se cumpriria a sua premissa básica. Além disso, a consideração de atrito lateral uniforme, no caso do perfil de Rio Grande, também é uma aproximação bem simplificada da realidade. A partir da interpretação acima, procurou-se alterar o procedimento inicial, adotando-se, para todas as estacas, a interpretação alternativa a seguir:

i) O deslocamento permanente (final do descarregamento total) foi praticamente nulo nos ensaios, sendo um indicativo de recalque próximo de zero no nível da ponta das estacas. O deslocamento medido no topo, para a carga máxima do ensaio, será considerado igual ao deslocamento elástico do fuste, com mobilização apenas de atrito lateral. Trata-se de uma hipótese plausível,

já que, aparentemente, para a carga máxima de ensaio, não foi esgotado o atrito lateral disponível na ruptura. Assim, a partir da curva medida no ensaio, não se pode isolar todo o atrito lateral (A_{lr}), mas apenas uma parcela mobilizada no trecho superior da estaca.

ii) Considerando em (i) a carga máxima do ensaio como igual à parcela mobilizada de atrito, inferior ao valor disponível na ruptura, e o atrito unitário uniforme, a curva de transferência de carga é linear, decrescendo do valor da carga aplicada máxima de ensaio, no topo, até zero, numa certa profundidade, aqui designada como correspondente ao comprimento equivalente da estaca (h_{eq}), que correspondente ao trecho do fuste efetivamente mobilizado durante o ensaio.

iii) O comprimento equivalente da estaca (h_{eq}) é estimado igualando o deslocamento elástico do fuste ao deslocamento máximo medido no ensaio, reduzido do deslocamento residual medido ao final do descarregamento total.

Com base nesse procedimento, para cada estaca analisada, calculou-se o valor de h_{eq}, cujos valores são indicados na Tabela 3. A Tabela apresenta também os valores de atrito lateral total (A_{lr}) do modelo de Massad (1992, 1993), obtido da curva do ensaio, considerando para cada estaca o comprimento equivalente, e não o comprimento real, e o ponto 4 na posição da carga máxima do ensaio. O parâmetro y1, apresentado na última coluna, refere-se ao deslocamento necessário para mobilização do atrito.

Tabela 3 – Comprimento equivalente, A_{lr} do modelo com ajuste parabólico, e deslocamento y_1.

Estaca	h_{eq} (m)	A_{lr} (kN)	y1 (mm)
E4	19	2604	3,0
E24	15	2514	2,1
E31	14	2692	2,3
E150	17	2066	2,5
E170	17	2747	1,7
E191	40	2144	4,8
E200	17	2963	2,0
E234	15	2540	1,8
E239	30	2662	2,7
E276	21	2201	1,4
E307	15	2372	2,1
E308	21	2339	2,3
E315	18	2558	3,1
E327	16	2498	2,0
E380	19	2576	2,3
E426	18	2551	2,6
E430	17	2400	1,9
E434	14	2309	1,4
E457	17	2310	1,8
E501	18	2547	2,2

Verifica-se que, ao aplicar a relação parabólica apenas ao comprimento equivalente, os valores de atrito lateral estimados apresentaram coerência com a carga máxima do ensaio. Percebe-se, ainda, que os valores de atrito obtidos do modelo estão muito próximos à carga máxima da PCE, como esperado. Esses valores de atrito serão utilizados na calibração de métodos semiempíricos de previsão da capacidade de carga. A avaliação probabilística desses métodos será apresentada na Parte 2 deste trabalho

4. CONCLUSÃO

A interpretação das provas de carga das estacas do tipo raiz pelo método de Massad (1992, 1993) não se mostrou consistente para o banco de dados analisado, composto por 20 ensaios realizados na mesma região de uma obra em Rio Grande. Isso se justifica, uma vez que a carga disponível por atrito lateral não foi totalmente mobilizada para a carga máxima do ensaio, mesmo para a carga máxima duas vezes superior à carga de trabalho prevista. Para a utilização do modelo matemático e obtenção da parcela de carga transferida

por atrito, o deslocamento no topo deve ser suficiente para caracterizar o ponto 4 indicado na curva da Figura 2. Os deslocamentos máximos registrados no topo das estacas, embora superiores a 1% do diâmetro, não foram suficientes para a mobilização plena do atrito lateral. Além disso, o modelo admite a hipótese de atrito lateral uniforme ao longo do fuste, hipótese que se mostrou pouco representativa da realidade, principalmente devido à elevada variabilidade da resistência do solo ao longo do perfil estratigráfico

Verificou-se que a aplicação do método de Massad (1992, 1993) à curvas carga–recalque com comportamento predominantemente elástico, ainda distante da ruptura, pode conduzir à superestimação do atrito lateral. O único caso que apresentou boa aderência entre as relações teóricas e o comportamento observado em campo foi o da estaca E191, que atingiu recalques da ordem de 5% do diâmetro, indicando a necessidade de níveis mais elevados de mobilização para a aplicação confiável do modelo aos demais casos.

A principal contribuição deste trabalho consiste na proposição de um procedimento alternativo para a aplicação do modelo de Massad (1992, 1993), baseado na definição de um comprimento equivalente (h_{eq}) da estaca correspondente ao trecho efetivamente mobilizado durante o ensaio. Essa abordagem permitiu obter estimativas coerentes da parcela de atrito lateral em situações nas quais a mobilização completa do atrito disponível não foi alcançada, ampliando as possibilidades de utilização do modelo em bancos de dados constituídos por provas de carga realizadas em níveis de carregamento inferiores à ruptura geotécnica.

Os resultados obtidos constituem a base experimental para a calibração probabilística de métodos semiempíricos de previsão de capacidade de carga, apresentada na Parte 2 deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à UERJ pela oportunidade e à CAPES pelo apoio e incentivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16903. Solo – Prova de carga estática em fundação profunda. Rio de Janeiro, 2020.

AOKI, N. Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas. Notas de Aula. Rio de Janeiro: Universidade Gama Filho, 1976.

LOPES, R.; SANTA MARIA, P, E. L.; DANZIGER, A. B.; MARTINS, I, S. M.; DANZIGER, B, R.; TASSI, M, C. A proposal for static load tests on piles: The Equilibrium Method. Soils and Rocks, São Paulo, v. 44, n. 1, 2021.

MARTINS, B. N. Interpretação de provas de carga em estacas pelo modelo matemático de Massad contemplando cargas residuais. 2024. 207 f. UERJ, Rio de Janeiro, 2024.

MASSAD, F. Notes on the interpretation of failure load from routing pile load tests. Revista Solos e Rochas, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 33–36, abr. 1986.

MASSAD, F. Sobre a interpretação de provas de carga em estacas, considerando as cargas residuais de ponta e a reversão do atrito lateral. Parte I. Revista Solos e Rochas, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 103–115, 1992.

MASSAD, F. Sobre a interpretação de provas de carga em estacas, considerando as cargas residuais na ponta e a reversão do atrito lateral. Parte II. Revista Solos e Rochas, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 93–112, 1993.

MASSAD, F.; LAZO, G. Método gráfico para interpretar a curva carga-recalque de provas de carga verticais em estacas rígidas ou curtas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Brasília. Anais... Brasília: [s. n.], v. III, p. 1407–1414, 1998.

SILVA, B. L. M. Contribuição à confiabilidade de estacas tipo raiz através de um estudo de provas de carga estáticas com aplicação da teoria bayesiana. 2015. 230f. UERJ , Rio de Janeiro, 2015.

VAN DER VEEN, C. The bearing capacity of a pile. Proceedings. 3rd ICSMFE, Zurich, v. 2, p. 84-90, 1953.

VELLOSO, D. V.; LOPES, F. R. Fundações: Critérios de Projeto | Investigação do Subsolo | Fundações Superficiais | Fundações Profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2011