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/COBRAMSEG2026.5/73

Influência da Variabilidade Geotécnica na Previsão da Capacidade de Carga de Estacas por meio de Métodos Estatísticos

Isadora Heloisa Ferreira
Graduanda, Universidade Estadual Paulista, Unesp, Bauru – SP, Brasil, isadora.heloisa@unesp.br

Luis Pedro Rojas Herrera
Mestre, Universidade Estadual Paulista, Unesp, Bauru – SP, Brasil, luis.rojas@unesp.br

Breno Padovezi Rocha
Professor, Universidade Estadual Paulista, Unesp, Ilha Solteira – SP, Brasil, breno.rocha@unesp.br

Heraldo Luiz Giacheti
Professor, Universidade Estadual Paulista, Unesp, Bauru – SP, Brasil, h.giacheti@unesp.br

RESUMO: A variabilidade geotécnica é uma característica intrínseca do solo que, se não considerada adequadamente, pode levar a análises e projetos não representativos do local estudado, impactando diretamente a segurança e eficiência de obras civis. Em Bauru - SP, ensaios de campo e provas de carga anteriores em estacas apiloadas, demonstraram elevada variação nos perfis de resistência e nas curvas carga-recalque mesmo em áreas próximas e com características semelhantes. Adicionalmente, o processo executivo dessas estacas introduz incertezas devido à dificuldade de controle, afetando a previsão da capacidade de carga. Este trabalho buscou avaliar a influência da variabilidade geotécnica do Campo Experimental da Unesp de Bauru na previsão da capacidade de carga de estacas apiloadas por meio de métodos semi-empíricos e análises estatísticas com base em 20 SPTs e 29 provas de carga. A análise revelou que, com os parâmetros sugeridos pela literatura considerando o tipo de solo e de estaca estudados, um dos métodos tende a superestimar, enquanto o outro tende a subestimar significativamente a capacidade de carga prevista em relação à capacidade de carga medida, demonstrando a inadequação dos parâmetros utilizados em ambos os casos. Diante disso, uma calibração dos parâmetros via *Python*, utilizando o algoritmo L-BFGS-B para minimizar a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), resultou em parâmetros ótimos e uma faixa de variação para cada parâmetro, reduzindo significativamente os erros de previsão em estacas apiloadas para o local estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Variabilidade geotécnica, Capacidade de Carga, Análise Estatística, SPT, Provas de Carga.

ABSTRACT: Geotechnical variability is an intrinsic characteristic of soil that, if not properly considered, can lead to analyses and designs that are not representative of the site under study, directly impacting the safety and efficiency of civil works. In Bauru, São Paulo State, in situ tests and previous load tests on driven piles have shown high variation in resistance profiles and load-settlement curves, even in nearby sites and with similar characteristics. Additionally, the execution process of these piles introduces uncertainties due to the difficulty of control, affecting the prediction of load capacity. This study sought to evaluate the influence of geotechnical variability at the Unesp Experimental in situ in Bauru on the prediction of the load capacity of driven piles using semi-empirical methods and statistical analyses based on 20 SPTs and 29 load tests. The analysis revealed that, with the parameters suggested by the literature considering the type of soil and pile studied, one method tends to overestimate, while the other method tends to significantly underestimate the predicted load capacity in relation to the measured load capacity, demonstrating the inadequacy of the parameters used in both cases. Given this, a calibration of the parameters via Python, using the L-BFGS-B algorithm to minimize the Root Mean Squared Error (RMSE), resulted in optimal parameters and a range of variation for each parameter, significantly reducing prediction errors in piled piles for the studied site.

KEYWORDS: Geotechnical variability, Load Capacity, Statistical Analysis, SPT, Load Tests.

1 INTRODUÇÃO

A investigação do subsolo é uma atividade fundamental em projetos geotécnicos, visto que permite a definição do perfil estratigráfico do local, a caracterização dos horizontes e a estimativa dos parâmetros de projeto, informações essenciais para garantir a segurança e eficiência das obras civis. Em projetos de fundações, as provas de carga constituem-se como um dos métodos mais confiáveis para determinação da capacidade de carga de estacas (Ferreira, 1998). No entanto, trata-se de ensaios complexos e onerosos, o que frequentemente limita o número de dados (Herrera, 2025). Essa limitação torna-se particularmente crítica em solos com alta variabilidade espacial, onde amostras pontuais podem não ser representativas do comportamento global do local.

Em Bauru, localizada no centro-oeste paulista, os solos são caracterizados como sendo colapsíveis, com elevada porosidade, baixa coesão e suscetibilidade ao colapso, e apresentando significativa variabilidade espacial (Herrera, 2025). Diversos autores (Ferreira, 1998; Lobo, 1991) realizaram provas de carga no em Bauru, constatando um comportamento peculiar com elevada variabilidade, mesmo entre pontos distantes poucos metros.

Como alternativa às provas de carga, ensaios de campo como a Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT), Ensaio de Penetração do Cone (CPT) e Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) permitem avaliar a variabilidade do local e estimar indiretamente a capacidade de carga, fornecendo amostras do subsolo e um perfil de resistência ao longo da profundidade (Boni, 2018; Schnaid; Odebrech, 2012).

Este trabalho analisou estatisticamente a aplicabilidade dos parâmetros dos métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) na previsão da capacidade de carga de estacas apiloadas em solo colapsível dois locais próximos na cidade de Bauru. O estudo quantificou a variabilidade dos parâmetros e realizou sua calibração, visando uma maior representatividade frente às condições locais específicas.

2 LOCAL ESTUDADO

A região de Bauru é caracterizada geologicamente por sedimentos do Grupo Bauru, com solos classificados como tropicais não saturados, constituídos por areia fina pouco argilosa, porosa e colapsível – características típicas decorrentes da decomposição do Arenito Bauru (Giacheti, 2001).

Foram consideradas duas áreas experimentais da Unesp de Bauru: a primeira é aquele próximo ao IPMet; a segunda se localiza no Parque Residencial das Camélias (Figura 1). Os locais estudados foram investigados por diversas campanhas de ensaios de campo e provas de carga em estacas apiloadas, cujos resultados constituem a base de dados deste trabalho

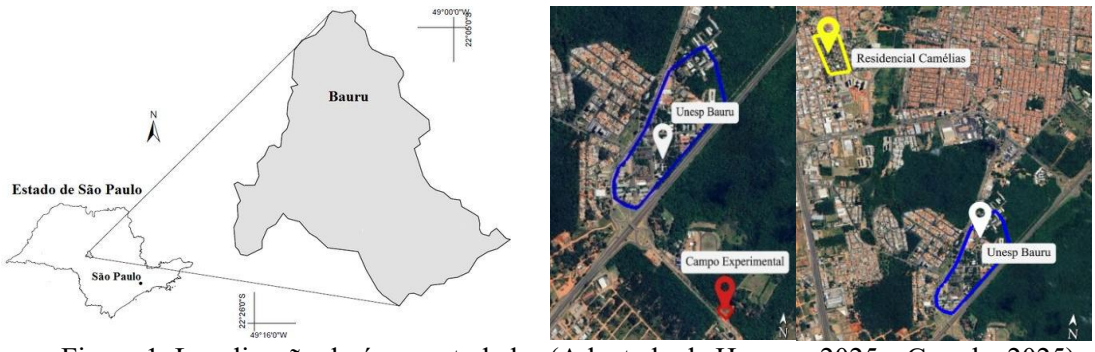


Figura 1. Localização do áreas estudadas (Adaptado de Herrera, 2025 e Google, 2025)

Estudos geoestatísticos (Sturaro, 1994; Sturaro et al., 2012) constataram que existe uma correlação linear entre os valores médios de N_{SPT} com a profundidade até cerca de 18 m. A Figura 2 apresenta o perfil médio de SPT das áreas estudadas, considerado típico para Bauru-SP (Ferreira, 1998), e está de acordo com Sturaro (1994) e Sturaro et al. (2012) e foi adotado nas análises de previsão de capacidade de carga. As áreas estudadas, distantes cerca de 5 km uma da outra, apresentam características geotécnicas similares, permitindo tratá-las como representativas do comportamento típico para o perfil de solo da cidade de Bauru/SP (Herrera, 2025).

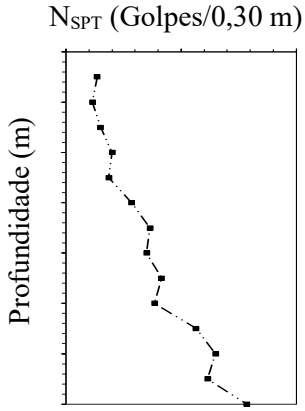


Figura 2. Variação típica do índice de resistência da penetração do SPT (N_{SPT}) na cidade de Bauru-SP (Ferreira, 1998).

Embora em contexto aparentemente homogêneo, as áreas apresentam elevada variabilidade espacial dos índices de resistência a penetração. Ensaios SPT e CPT revelaram discrepâncias significativas entre os índices de resistência a penetração, mesmo entre pontos próximos (Herrera, 2025). Essa variabilidade, atribuída a processos geológicos de formação (De Mio, 2005), motivou a divisão da área em setores "representativos" e "não representativos" do comportamento típico local (Ferreira et al., 1996; Herrera, 2025). Ensaios de piezocone demonstraram alta variabilidade (coeficientes de variação médios de 45% para resistência de ponta e 66% para atrito lateral), acentuada a partir de 7–8 m de profundidade (Herrera, 2025), comprometendo a confiabilidade de previsões para estacas longas.

3 ESTACAS APILOADAS

Estacas apiloadas são estacas de deslocamento moldadas *in loco* por apiloamento (Décourt, 1996). Esse tipo de solução, apresentada na Figura 3, é comum em Bauru, dado que seu processo promove a densificação do solo, adequado para solos colapsíveis (Ferreira, 1998). Contudo, variações práticas na execução introduzem incertezas na previsão da capacidade de carga, pois o grau de compactação depende de fatores como energia de apiloamento, umidade e heterogeneidades do subsolo – parâmetros de difícil controle.

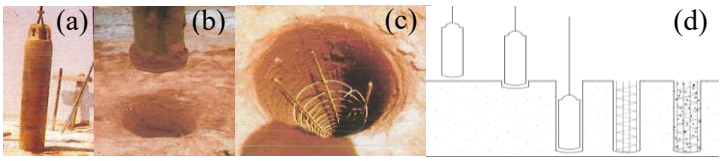


Figura 3. Estacas Apiloadas: (a) Soquete utilizado; (b) Perfuração causada; (c) Armadura posicionada; (d) Esquema ilustrativo. (Adaptado de Ferreira, 1998)

Para análise da variabilidade em projetos de fundação, utilizou-se um banco de dados com 29 provas de carga em condição natural e 20 perfis de SPT nos locais estudados. A Tabela 1 resume a distribuição das provas de carga por profundidade, carga última (P_u) e os respectivos coeficientes de variação (COV), evidenciando valores particularmente elevados em determinadas profundidades – como os 41,94% a 4 metros e 29,20% a 10 metros de profundidade – para as provas de carga e valores superiores a 50% em quase todos os dados de SPT.

Tabela 1. Coeficientes de variação para capacidade de cargas e valores de N_{SPT} anteriores

Prof. (m)	Quantidade de Provas de Carga realizadas	COV (%) Carga de ruptura	N_{SPT}
1	-	-	61,9
2	2	7,8	56,1
3	-	-	59
4	8	41,9	59,9
5	-	-	64

6	2	2,6	58,7
7	6	11,5	54,9
8	1	-	63,9
9	-	-	65,7
10	8	29,2	64,2
11	-	-	37,1
12	2	26,9	36,9
13	-	-	35,5

3.1 Previsão da Capacidade de Carga

A previsão da capacidade de carga última de estacas foi realizada com base no SPT, ensaio amplamente utilizado no Brasil devido à sua simplicidade, baixo custo e extensa base de correlações empíricas (Schnaid e Odebrecht, 2012). Foram considerados os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978).

O método de Aoki-Velloso (1975) é amplamente utilizado no projeto de fundações no Brasil. Embora desenvolvido para CPT, ele também prevê a capacidade de carga a partir de dados SPT, considerando parcelas de resistência lateral e de ponta (Equação 1). O método de Décourt-Quaresma (1978) também muito utilizado na prática brasileira, foi desenvolvido para dados de SPT, e é dado pela Equação 2.

$$P_{u_{AV}} = \frac{K \cdot N_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_{l}^{n} (\alpha \cdot K \cdot N_l \cdot \Delta l)_n \quad (1)$$

$$P_{u_{DQ}} = 10 \cdot \beta \cdot \left(\frac{N_l}{3} + 1\right) \cdot U_l + \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p \quad (2)$$

Dentre os parâmetros analisados, F_1 e F_2, do método de Aoki-Velloso (1975), e α e β, do método de Décourt-Quaresma (1978), são diretamente influenciados pela variabilidade espacial do solo e pelas condições de execução das estacas apiloadas, visto que são sensíveis às variações nas propriedades geotécnicas e no comportamento interface solo-estaca. Foram adotados os parâmetros $F_1 = 0,7$, $F_2 = 1,4$, propostos por Ferreira (1998) e Lobo (1991) para estacas apiloadas em solos da Formação Bauru, e parâmetros α e K como 3% e 600 kPa respectivamente; e coeficiente C = 250, com base na classificação do solo como silte arenoso, obtidos por ensaios DMT e CPT no local (Rocha, 2018) e coeficientes α e β iguais a 1,0, conforme Herrera et al. (2024).

4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A aplicabilidade dos métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) foi avaliada a partir de provas de carga estáticas realizadas nos campos experimentais do IPMet e Camélias. Embora amplamente utilizados, esses métodos não contemplam explicitamente estacas apiloadas, sendo necessária a avaliação e possível adaptação de parâmetros (Ferreira, 1998).

Inicialmente, adotaram-se os parâmetros recomendados na literatura para solos da Formação Bauru (Ferreira, 1998; Herrera et al., 2024), comparando-se as previsões com resultados experimentais utilizando as métricas de erro: *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), que quantifica o desvio médio percentual; e *Root Mean Squared Error* (RMSE), que representa a dispersão média dos resíduos com maior sensibilidade a valores extremos.

A análise preliminar incluiu histogramas, *boxplots* e gráficos de dispersão para identificar padrões de erro e variabilidade. Dois testes estatísticos foram empregados: o teste de Mann-Whitney (1947), que testa a hipótese nula (H_0) de que as distribuições dos erros dos métodos provêm da mesma população, e a análise de variância (ANOVA), que avalia a igualdade das médias dos erros relativos entre os métodos. Quando a ANOVA indicava diferenças significativas, aplicou-se o teste de Tukey (1949) para identificar quais pares de métodos apresentavam diferenças relevantes. Todas as análises consideraram nível de 5% de significância.

Constatada divergência significativa, os parâmetros foram ajustados em ambiente *Python*[1]. Utilizou-se o algoritmo de otimização contínua *Limited memory Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno bound* (L-BFGS-

[1] *Python* 2024 v.3.12 - *Python Programming Language*: https://www.python.org/.

B), extensão do algoritmo L-BFGS (Liu e Nocedal, 1989; Byrd et al, 1995), da função *minimize* da biblioteca *SciPy*[2]. A função-objetivo consistiu em minimizar o RMSE, buscando parâmetros ótimos que reduzissem diferença entre as cargas de ruptura previstas e medidas, ao mesmo tempo em que se definia a faixa de variação de cada parâmetro. Após o ajuste, as análises estatísticas foram repetidas para avaliar a melhoria dos métodos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Previsão com Parâmetros Propostos

A partir do perfil geotécnico típico de Bauru (Figura 2), e de um banco de dados de 29 provas de carga em estacas apiloadas, foi realizada a previsão da capacidade de carga pelos métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), utilizando-se os parâmetros dados da literatura.

A avaliação preliminar dos resultados (Figuras 4 e 5) demonstrou que os parâmetros adotados não permitem prever adequadamente a capacidade de carga das estacas. Observa-se a tendência: o método Aoki-Velloso (1975), com $F_1 = 0,7$ e $F_2 = 1,4$, tende a superestimar sistematicamente a carga de ruptura, enquanto o método Décourt-Quaresma (1978), com $\alpha = \beta = 1,0$, tende a subestimar. Esta divergência é quantificada na Figura 5, que mostra distribuições assimétricas dos erros, com medianas significativamente afastadas de zero.

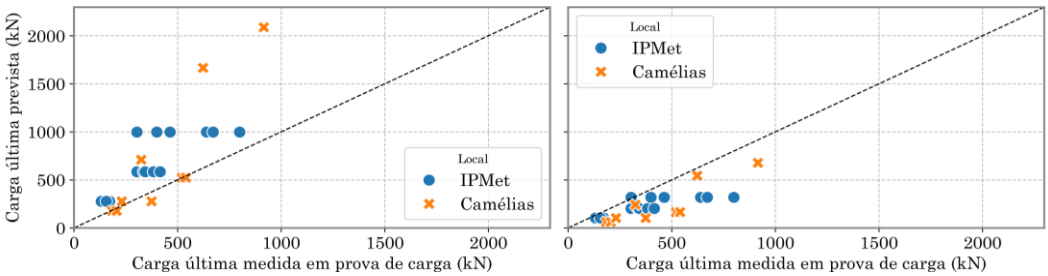


Figura : Dispersão entre cargas de ruptura previstas e medidas antes do ajuste



Figura 5: Distribuição dos erros relativos (%) provocados pelos métodos semi-empíricos antes do ajuste

Além disso, a variabilidade intrínseca das provas de carga, devido à heterogeneidade do solo e dispersão experimental, amplia as diferenças entre as cargas últimas previstas e medidas, impactando diretamente a aderência dos modelos e contribuindo para as tendências de superestimação ou subestimação observadas.

5.2 Calibração dos Parâmetros

Diante dos desvios sistemáticos entre as cargas previstas e medidas, os parâmetros dos métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) foram calibrados via otimização contínua para minimizar o RMSE.

A calibração para o perfil geotécnico típico do local (Figura 2) resultou para Aoki-Velloso (1975) em F_1=1,306, F_2=2,612 com RMSE de 139,03 kN. Para Décourt-Quaresma (1978), obteve-se $\alpha = \beta = 1,639$, com RMSE de 138,59 kN. A aderência é confirmada pela distribuição dos erros relativos (Figura 6), que apresentou medianas próximas de zero e amplitudes interquartis similares.

Contudo, um valor discrepante foi identificado para uma estaca de 10 m: a carga medida foi de 304kN, enquanto as previsões calibradas foram de 534,7kN (Aoki-Velloso, 1975) e 521,5kN (Décourt-Quaresma, 1978). Esse desvio significativo decorre da elevada variabilidade observada nas provas de carga dessa

[2] *SciPy* 2024 v.1.13 - *Scientific Computing Library for Python*: https://scipy.org/.

profundidade, que apresentou desvio padrão de 168,77kN (o maior dentro todas as profundidades analisadas) e coeficiente de variação de 29,2%.

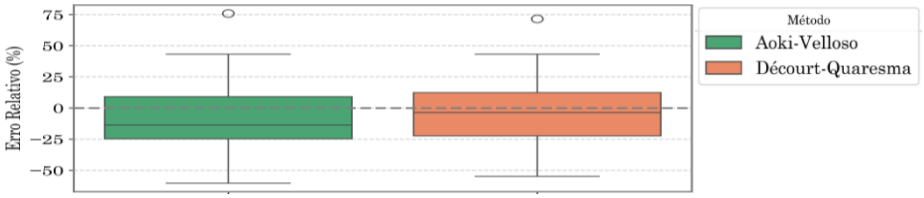


Figura 6: Distribuição dos erros relativos (%) provocados pelos métodos semi-empíricos após o ajuste

Testes estatísticos atestaram o desempenho equivalente dos métodos após a calibração. O teste de Mann-Whitney não detectou diferença significativa entre as distribuições, e a ANOVA também não revelou diferenças, dispensando o teste de Tukey ou subestimação observadas.

5.3 Incorporação da Variabilidade Espacial na Calibração dos Parâmetros

Para avaliar a representatividade dos parâmetros ótimos frente à variabilidade espacial, analisaram-se perfis médios de SPTs realizados em diferentes áreas (Tabela 2). As Áreas A e B se localizam no Campo Experimental do IPMet. Herrera (2025) apresentou que, em uma área retangular de 90 m por 65 m, verifica-se comportamentos distintos com base em resultados de SPT, algo que Ferreira (1998) não considerou ao interpretar seus resultados. O perfil médio das Áreas A e B faz referência a média de todos os ensaios realizados no IPMet. Os resultados da Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB) referem-se a uma área que apresenta comportamento similar ao apresentado na Figura 2.

Tabela 2. Valores de $N_{SPT,médios}$ nas áreas adicionais consideradas

Prof. (m)	Área A ⬩	Área B ⬩	Áreas A e B ⬩	FEB □
1	3,4	1,9	2,6	5,2
2	6,6	2,1	4,1	3,4
3	7,8	2,7	5,0	3,0
4	9,4	3,7	6,3	4,4
5	13,2	3,6	8,0	4,6
6	16,6	5,1	10,3	5,4
7	19,0	5,5	11,6	6,6
8	19,0	6,3	12,0	7,2
9	22,8	7,0	14,2	8,6
10	23,0	7,8	14,7	11,6
11	18,2	12,0	14,8	11,2
12	20,8	13,8	17,0	12,2
13	23,4	13,3	17,9	12,2

⬩: Ferreira (1998), Ferreira et al. (1996), Giacheti (2001) e Herrera et al. (2024); □: Boni (2018).

Com os parâmetros ótimos (F_1 = 1,306 e F_2 = 2,612 para Aoki-Velloso, 1975; $\alpha = \beta$ = 1,639 para Décourt-Quaresma, 1978) definidos a partir do perfil típico de Ferreira (1998), a capacidade de carga foi prevista para cada área. Uma análise estatística subsequente avaliou a aderência desses parâmetros calibrados aos resultados experimentais, verificando sua representatividade frente à variabilidade espacial.

A Figura 7 revelou que a Área A apresenta os maiores erros relativos em ambos os métodos, refletindo sua alta variabilidade (devida a valores de N_{SPT} elevados) e seu comportamento atípico em relação ao perfil de calibração. Em contraste, as Áreas B e FEB exibiram menores erros e menor dispersão, dada sua maior similaridade com o perfil de referência. A Área A e B (perfil médio de A e B) apresentou erros intermediários, influenciada pela variabilidade da Área A.

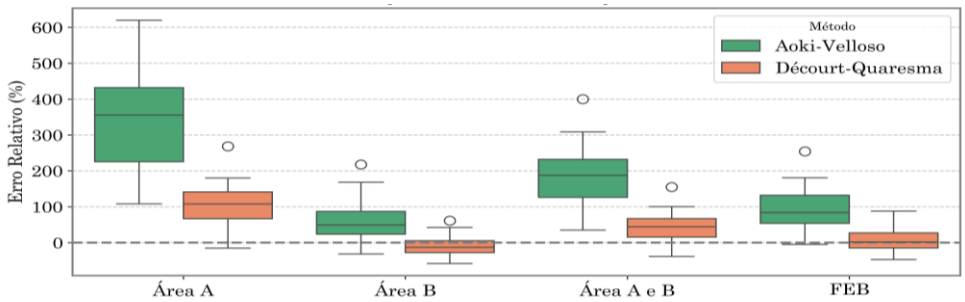


Figura 7: Distribuição dos erros relativos dos métodos semi-empíricos em diferentes áreas de N_{SPT} de Bauru

Testes estatísticos confirmaram que as distribuições de erros são semelhantes às das provas de carga nas Áreas B, A e B e FEB (teste de Mann-Whitney, 1947), mas não na Área A. A ANOVA indicou ausência de diferenças significativas entre as médias dos erros em todas as áreas, mostrando que as discrepâncias estão mais relacionadas à dispersão dos dados do que a uma tendência central (Tabela 3). A partir desses resultados, os parâmetros foram recalibrados para estabelecer faixas de variação representativas da variabilidade do Campo Experimental (Tabela 4).

Tabela 3. Parâmetros ótimos por área de N_{SPT}

Área	Aoki Velloso (1975)				Décourt Quaresma (1978)			
	F_1	F_2	MAPE (%)	RMSE (kN)	α	β	MAPE (%)	RMSE (kN)
Área A	2,972	5,944	27,28	127,81	1,515	0,297	28,73	118,84
Área B	1,275	2,55	28,71	152,88	0,614	2,449	26,10	140,71
Área A e B	2,034	4,069	25,79	133,61	1,385	0,944	25,47	130,53
FEB	1,399	2,799	26,08	135,15	1,458	1,458	24,60	133,75

Tabela 4. Faixa de variação dos parâmetros por área de N_{SPT}

Método	Parâmetro	Área A	Área B	Áreas A e B	FEB
Aoki-Velloso (1975)	F_1	1,456 – 5,037	0,479 – 2,225	0,943 – 3,499	0,663 – 2,480
	F_2	2,912 – 10,074	0,958 – 4,450	1,887 – 6,997	1,327 – 4,960
Décourt-Quaresma (1978)	α e β	0,445 – 1,490	1,019 – 3,915	0,643 – 2,673	0,874 – 3,097

6 CONCLUSÕES

A variabilidade geotécnica, quando não considerada, pode comprometer a representatividade das análises. Este trabalho investigou sua influência na previsão da capacidade de carga de estacas apiloadas por meio de análises estatísticas. A análise de provas de carga revelou variabilidade significativa nas capacidades de carga nos campos experimentais do IPMet e do Camélias, em Bauru. Essa variabilidade impacta diretamente a confiabilidade das previsões realizadas por métodos semi-empíricos com parâmetros da literatura, na ausência de ajustes locais.

A calibração por minimização do RMSE gerou parâmetros ajustados (F_1 = 1,306; F_2 = 2,612 para Aoki-Velloso, 1975; α = β = 1,639 para Décourt-Quaresma, 1978), representativos do perfil geotécnico típico apresentado. Após o ajuste, as previsões tornaram-se estatisticamente compatíveis com as provas de carga. Embora a calibração com base em dados experimentais tenha reduzido significativamente os erros, análises que incorporam a variabilidade dos SPTs revelaram amplas faixas ideais para os parâmetros (F_1: 0,479 a 5,037; F_2: 0,958 a 10,074; α e β: 0,445 a 3,915). Isso demonstra que, apesar da representatividade estatística dos valores calibrados globais, a elevada variabilidade espacial exige ajustes pontuais para otimizar previsões em projetos. Por fim, destaca-se a importância de considerar a variabilidade nas etapas de investigação e previsão de capacidade de carga de estacas, além do uso de ferramentas *Python* no meio geotécnico.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (PIBIC, Proc. 15898 Edital 8/2024) e à FAPESP (Proc. 2023/01882-9) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aoki, N.; Velloso, D. A. (1975). *An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles. Proceedings of the 5th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Buenos Aires. v. 1

Boni, H.S. (2018). Avaliação da segurança de fundações em estacas escavadas de pequeno diâmetro na região de Bauru/SP via Teoria da Confiabilidade. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru.

Byrd, R. H., Lu, P., Nocedal, J., e Zhu, C. (1995). *A limited memory algorithm for bound constrained optimization. SIAM Journal on Scientific Computing*, 16(5):1190–1208.

De Mio, G. (2005). Condicionantes geológicos na interpretação de ensaios de piezocone para identificação estratigráfica na investigação geotécnica e geoambiental. 2005. 359p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Décourt, L. & Quaresma. A. R. (1978). Capacidade de carga de estacas a partir de valores do SPT. In: Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia de fundações (COBRAMSEF, 6). Rio de Janeiro. Anais...ABMS, v. 1, p. 45-53.

Décourt, L. (1996). Fundações – Teoria e Prática. São Paulo, Editora Pini-ABMS/ABEF. Cap.8: Análise e projeto de fundações profundas - estacas. p.265-301, 1ª edição.

Ferreira, C. V. (1998). Influência da inundação do solo no comportamento de estacas moldadas in loco, instrumentadas, em campo experimental de Bauru. Tese (Doutorado). 160p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

Ferreira, C. V.; Lobo, A. S.; Giacheti, H. L.; Agnelli, N.; Albiero, J. H. & Katsutani, L. T. (1996). Campo experimental de fundações em Bauru, Anais do III Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia (SEFE III), São Paulo, vol. 2. p. 77-88.

Giacheti, H. L. (2001). Os ensaios de campo na investigação do subsolo: Estudo e considerações quanto à aplicação em solos tropicais. Livre-docência – Faculdade de Engenharia, UNESP, Bauru, 327 p. 2001.

Herrera, L. P. R.; Giacheti, H. L.; Boni, H. S.; Saab, A. L.; Rocha, B. P. (2024). *Prediction of Bearing Capacity of Reaction Piles in a Collapsible Soil by In Situ Tests. In: 17th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (XVII PCSMGE), 2024, La Serena.

Herrera, L. P. R. (2025). Previsão da capacidade de carga de estacas de reação em solo não saturado por meio de ensaios de campo. 2025. 155f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru.

Liu, D. C. e Nocedal, J. (1989). *On the limited memory BFGS method for large scale optimization. Mathematical Programming*, 45(1):503–528.

Lobo, A. S. (1991). Colapsividade do Solo de Bauru e sua influência em estacas de pequeno porte. 211p. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos -USP. São Carlos.

Mann, H.B.; Whitney, D.R. (1947) *On a Test of Whether One of Two Random Variables Is Stochastically Larger than the Other. Annals of Mathematical Statistics*, 18, 50-60.

Rocha, B.P. (2018). Caracterização geotécnica de solos tropicais não saturados por meio de ensaios de campo. São Carlos, SP: EESC-USP, 272p. 2018.

Schnaid, F.; Odebrecht, E. (2012). Ensaios de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações-2a ed., 2a Edição, Editora: Oficina de Textos, 223 p. 2012

Tukey, J. W. (1949). *Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. Biometrics*, vol. 5, no. 2, pp. 99–114.