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/COBRAMSEG2026.5/20

Análise Experimental e Numérica de Recalques em Estacas Escavadas na Região de Campinas/SP

Gabriel Xavier Nóbrega
Discente, Unicamp, Campinas, Brasil, gabrielxaviern1@gmail.com

Fernando Feitosa Monteiro
Professor, Unicamp, Campinas, Brasil, feitosam@unicamp.br

Paulo José Rocha de Albuquerque
Professor, Unicamp, Campinas, Brasil, pjra@unicamp.br

RESUMO: A estimativa dos recalques imediatos sofridos nas fundações é relevante para garantir a segurança e estabilidade das estruturas, coexistindo múltiplas metodologias para sua determinação. Nesse sentido, este trabalho objetiva avaliar a eficácia dos métodos de Poulos e Davis (1968), Aoki (1984) e Seo e Prezzi (2007) e de modelagens numéricas com o método dos elementos finitos (MEF) e no *software* RSPile para estimar o comportamento carga-recalque de uma prova de carga executada em uma estaca escavada de pequeno diâmetro em um solo laterítico da região de Campinas, utilizando os valores do módulo de elasticidade estimados por diversas metodologias a partir de ensaios triaxiais, SPT, CPT e DMT disponíveis para o local. As formulações de Poulos e Davis (1968) e Seo e Prezzi (2007), juntamente com a modelagem por elementos finitos e as modelagens do RSPile com modelo Mosher *sand*, apresentaram boa convergência com o resultado experimental na carga de trabalho. Notou-se, também, que as estimativas do módulo de elasticidade fornecidas pelas metodologias de Robertson (2009) e Baldi et al. (1986) forneceram as previsões mais precisas para o comportamento elástico do solo pelos métodos empregados.

PALAVRAS-CHAVE: Estimativa de recalques; Módulo de elasticidade; Métodos dos elementos finitos; RSPile; Métodos analíticos de estimativa de recalques.

ABSTRACT: The immediate settlement estimate in foundations is relevant to ensure the stability and security of structures, with multiple methodologies coexisting for its assessment. In this context, the present work aims to evaluate the effectiveness of the Poulos and Davis (1968), Aoki (1984) and Seo e Prezzi (2007) methods as well as numerical models with the finite element method (FEM) and in the software RSPile to assess the load-settlement behavior in a load test performed in a bored pile of small diameter in a lateritic soil from the Campinas region, using values of elastic modulus estimated by many methodologies based on the results of triaxial, SPT, CPT and DMT test available for the place. The Poulos and Davis (1968) and Seo e Prezzi (2007) methods, as well as the finite element modeling and the models in RSPile using the Mosher *sand* model have presented good convergence with the experimental result at the working load. It was also observed that the elasticity modulus estimates given by the methodologies of Robertson (2009) and Baldi et al. (1986) have shown the most accurate prevision for the elastic behavior of the soil from the deployed methods.

KEYWORDS: Settlement estimate, Elasticity modulus, finite element method, RSPile, Analitical methods for the settlement estimate

1 INTRODUÇÃO

Na engenharia de fundações, a estimativa dos recalques de fundações em solos lateríticos se manifesta como um problema recorrente da engenharia brasileira. Isso se deve a esses deslocamentos poderem levar a problemas estruturais e de utilização às estruturas apoiadas em tais fundações, enquanto essa tipologia de solo se encontra nas diferentes zonas bioclimáticas do país (Espindola e Daniel, 2008). Dessa forma, foram desenvolvidos múltiplos métodos para a realização de tal estimativa.

Nesse contexto, conforme Pinto (2006), os recalques podem ser divididos entre: os recalques que acontecem imediatamente após a aplicação de tensões; os que acontecem de forma progressiva ao longo do tempo processo de adensamento que ocorre pela expulsão da água dos vazios solo; e os derivados da perda de integridade do solo perante a aplicação de cargas que o levam a ruptura. Como esses recalques ocorrem de forma cumulativa, se faz necessário ter conhecimento da influência de cada um desses comportamentos para uma adequada obtenção de uma estimativa de deslocamento da fundação.

Quando se trata da avaliação da ocorrência dos recalques imediatos no solo, uma simplificação muito aplicada para a parametrização do comportamento do solo é a teoria da elasticidade linear, sendo utilizada embasamento para múltiplos métodos para a determinação dessa fração do recalque, dentre os quais se pode citar os métodos de Poulos e Davis (1968), Aoki (1984) e Seo e Prezzi (2007). Se é conhecido que essa teoria apresenta resultados coerentes quando o solo não apresenta grandes deformações.

Um parâmetro necessário para determinar o comportamento do solo segundo essa teoria (diretamente ou acoplado a outros parâmetros do material) é o módulo de elasticidade, se tornando, então, um parâmetro fundamental para a aplicação dos métodos fundamentados nessa teoria. Todavia, como a consideração do comportamento elástico linear é uma simplificação do comportamento do solo, existem múltiplas abordagens para a determinação desse parâmetro, mesmo conhecendo a curva de tensão-deformação do solo, tais como a possibilidade da consideração desse parâmetro como a tangente ou a secante de tal curva, assim como a de avalia-lo para diferentes estados de carga. Adicionalmente, como, para a determinação dessa curva, são necessários ensaios laboratoriais onerosos e com as suas próprias fontes de incerteza, foram, também, apresentadas na literatura correlações para a determinação de tal parâmetro em função de resultados de ensaios de campo, tais como Marchetti (1997), Robertson (2009) e Aoki (1975).

Adicionalmente, métodos numéricos contemplando modelos constitutivos mais avançados, também, foram desenvolvidos para tratar esse realizar estimativas de recalques. Dentre eles, segundo Omenam (2012), o método dos elementos finitos é o mais poderoso na análise de fundações, uma vez que é capaz de simular a interação entre o solo e a estaca. Nesse contexto, softwares comerciais foram desenvolvidos contemplando essas metodologias, sejam elas de elementos finitos ou outras abordagens analíticas, tal como a considerada pela ferramenta RSPile.

A partir desse contexto, se observa a existência de uma miríade de métodos para a estimativa dos recalques imediatos do solo, conhecendo os seu comportamento, sendo este parametrizado pelos modelos constitutivos considerados no solo. Adicionalmente, também, se evidencia a diversidade de formulações para determinar esses parâmetros para aplicação do método em função dos ensaios em campo. Dado isso, as incertezas associadas a cada uma dessas duas etapas influenciam na representatividade do resultado obtido na estimativa desses deslocamentos, sendo a escolha das metodologias ideais para abordar o problema de extrema importância para conseguir resultados mais confiáveis.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho consiste na avaliação de metodologias de estimativa de recalque para estacas escavadas em solo laterítico da região de Campinas, empregando distintos módulos de elasticidade baseados em ensaios de campo e laboratório, e validando os resultados por comparação com uma prova de carga realizada na localidade. Para tal, se defrontou os resultados desses métodos para a carga de trabalho (metade da carga de ruptura) por ser o nível de carga de utilização das edificações considerando um fator de segurança de 2, levando essa a ser uma carga interessante para análises de estado limite de serviço.

2 Metodologia

2.1 Campo experimental

Para a realização do presente trabalho, se considerou a prova de carga realizada por Schulze (2013). Essa estaca escavada foi realizada com trado de perfuração mecânica, contemplando um diâmetro de 25 cm e avançando até 5 metros de profundidade, sendo realizada com concreto de 25 MPa e sendo armada com 4 barras longitudinais de 10 mm e estribos de 6,3 mm de diâmetro em aço CA50A.

Essa estaca foi realizada no campo experimental da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Nesse campo experimental, Gon (2011) realizou uma campanha de ensaios de caracterização nesse campo experimental até 9 metros de profundidade, a partir do qual se noticiou a presença de matacões, inviabilizando a retirada de amostras. Os ensaios realizados englobaram ensaios de determinação

dos limites de Atterberg (LL, LP, LC e IP), granulometria conjunta, massa específica dos grãos, permeabilidade, compactação Proctor normal e ensaios edométricos. Também foram realizados ensaios triaxiais adensados não drenados (CU) e de sucção, pelo método do papel filtro. A partir desse conjunto de ensaios foi possível montar o perfil estratigráfico do terreno conforme apresentado na Figura 1.

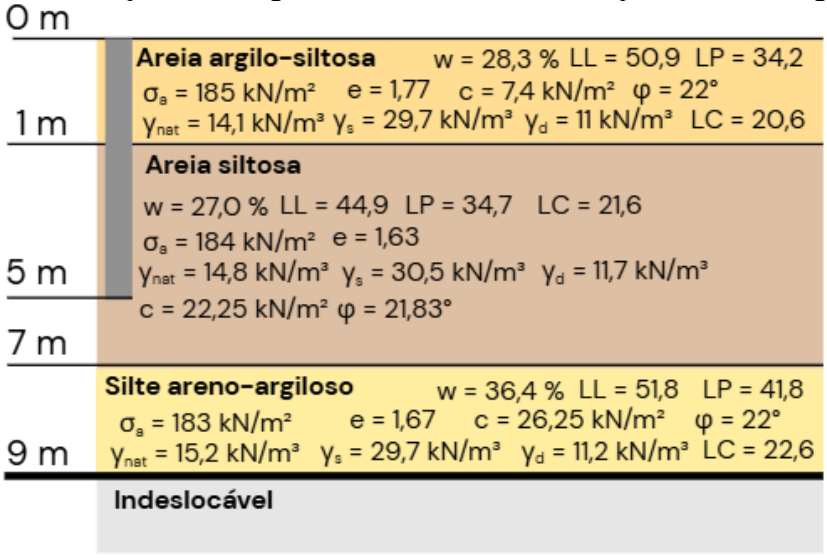


Figura 1. Perfil estratigráfico do terreno do campo experimental

Adicionalmente, uma campanha de ensaios de campo foi executada nesse campo experimental por Rodriguez (2013) contemplando ensaios SPT com medição de energia e ensaios CPT elétricos. Schulze (2013) também realizou uma campanha de ensaios DMT na região de estudo.

A prova de carga foi feita com o processo lento previsto na NBR 16903 (ABNT, 2020), utilizando-se da aplicação de carga por meio de um sistema de reação. Dos resultados desta, se noticiou uma carga de ruptura bem definida de 180 kN, para a qual se obteve um recalque de 45,61 mm.

2.2 Parâmetros elásticos do solo

Para problemas não unidimensionais envolvendo a teoria da elasticidade, o coeficiente de Poisson é um parâmetro importante para descrever o comportamento do solo. No presente trabalho, esse coeficiente foi adotado em função do tipo de solo segundo as recomendações de Poulos e Davis (1980) em função do tipo de solo. Tendo em vista que o solo, até a profundidade de 7 metros se manifesta como uma areia, se considerou um coeficiente de Poisson de 0,3 nesse escopo. Para a camada de silte argiloso — abaixo de 7 metros —, a média do número de golpes do SPT até 9 metros resulta em 16, sendo, segundo a NBR 7250 (ABNT, 1982), esse solo classificado como um silte rijo. Assim, estimou-se um valor de Poisson de 0,15 para tal.

Para permitir uma análise comparativa entre os métodos aplicáveis para fazer a estimativa do módulo de elasticidade, assim como com as campanhas de prospecção respectivas, se utilizou as estimativas desse parâmetro obtidas pelo: módulo de elasticidade extraído dos ensaios triaxiais CU de Gon (2011); resultados dos ensaios SPT realizados por Rodriguez (2013) considerando as correlações de Aoki (1984), Kulhawy e Mayne (1990), Poulos (1998), Teixeira (1993) e Bowles (1988); resultado dos ensaios CPT realizados por esse mesmo autor através dos métodos apresentados por Robertson (2009), Bowles (1988) e Robertson e Campanella (1988); e resultados dos ensaios DMT realizados por Schulze (2013) pelas correlações apresentadas por Marchetti (1980), Robertson (1989, .apud Siviero, 2003), Baldi et al (1986) e Marchetti (1997). Para profundidades abaixo de 10 metros, se considerou o solo como indeslocável conforme apresentado por Gon (2011).

Quanto aos valores de módulo de elasticidade extraídos dos ensaios triaxiais, foram considerados os valores de módulo de elasticidade inicial apresentados em Garcia (2015). Adicionalmente, se utilizou os valores obtidos pelos módulos de elasticidade tangente e secante para 50 % da carga de ruptura, por meio da suposição de um comportamento hiperbólico da curva tensão deformação, conforme apresentado em Kondner (1963). Uma síntese dos métodos considerados se encontra na Tabela 1.

Tabela 1. Métodos considerados para a determinação do módulo de elasticidade.

Ensaio de referência	Referência	Formulação	Ensaio de referência	Referência	Formulação
Triaxial	Kondner (1963) (Et50 e Es50)	Ajuste de curva	CPT	Robertson (2009)	Processo iterativo
	Garcia (2015) (Ei)	-		Bowles (1988)	A* q_c
SPT	Aoki (1975)	3 C* · Nspt		Robertson e Campanella (1988)	8 q_c
	Kulhawy e Mayne (1990)	0,5 · Nspt	DMT	Marchetti (1980)	Ed (1-v^2)
	Poulos (1998)	3 Nspt		Robertson (1989)	2 E_D
	Teixeira (1993)	2,7 Nspt		Baldi et al. (1986)	3,5 E_D
	Bowles (1988)	A* (Nspt + B*)		Marchetti (1997)	0,8 R_M

A*, B* e C* são constantes do material considerado que variam em profundidade para as análises realizadas.

2.3 Métodos para a estimativa de recalques

O presente trabalho, realizou a estimativa de recalques para a estaca estudada considerando os métodos pautados na teoria da elasticidade de Poulos e Davis (1968), Aoki (1984) e Seo e Prezzi (2007). Devido a restrições dos métodos foi necessário, excedendo-se o método de Aoki (1984), ajustar a estratigrafia proposta do solo às concepções dessas formulações, assumindo o módulo de elasticidade em cada camada proposta como a média dos seus valores avaliados de metro em metro em seu intervalo. Nesse sentido, para o método de Poulos de Davis (1968) foi considerado o solo como composto por uma camada única, considerando que os resultados de módulo de elasticidade obtidos não apresentaram grandes variações em profundidade com exceção dos resultados obtidos próximos ao considerado como indeslocável. Para essa adoção, se assumiu o coeficiente de Poisson dessa camada como de 0,3, dado que é o valor predominante dessa grandeza no perfil de solo. O método de Seo e Prezzi (2007), por sua vez, requer a distinção do solo acima da base da estaca e abaixo dela em camadas separadas, levando a divisão da camada de areia siltosa na avaliação dos recalques por meio desta, mas mantendo as definições das camadas de areia argilo-siltosa e de silte areno-argiloso conforme apresentado na Figura 1. O método de Aoki, manteve a divisão das camadas proposta nessa figura e, também, utilizou de tal na discretização do domínio proposta por esse método.

Para o método de Poulos e Davis (1968), como o solo não é puramente coesivo não se considerou aplicável a correção relativa ao escorregamento da estaca. Também, não foi considerado aplicável correções de alargamento da base ou de base em solo mais resistente na estaca estudada. Sendo assim, o fator de influência determinado para a estimativa dos recalques neste trabalho, levou em conta a compressibilidade da estaca, o coeficiente de Poisson e espessura da camada de solo deslocável e dimensões da estaca somente.

Para o método de Aoki (1984) se considerou a estimativa da distribuição do carregamento em profundidade em função dos métodos de estimativa capacidade de carga de Aoki e Velloso (1975), Decourt e Quaresma (1978) e Teixeira (1996) em função dos ensaio SPT de Rodriguez (2013), considerando tal distribuição como proporcional a distribuição da carga lateral desses métodos até o limite dessa resistência por eles propostos, sendo qualquer carga adicional considerada como carga de ponta. Isso foi feito em prol de comparar os resultados por esses métodos de capacidade de carga. Este método de estimativa de recalque, também, foi analisado considerando e não considerado a correlação proposta por Janbu (1963) de forma comparativa.

Para a formulação de Seo e Prezzi (2007), Seo, Prezzi e Salgado (2008) definiram uma correção para os valores dos parâmetros elásticos para compensar a não consideração do deslocamento horizontal pelo método. Nesse sentido, no presente trabalho, se realizou uma análise comparativa entre os resultados com e sem a adoção dessa metodologia.

Esse problema, também, foi simulado em elementos finitos no software Midas GTX NX, considerando o solo com um modelo constitutivo linear-elástico perfeitamente plástico com critério de ruptura de Mohr-Coulomb, considerando a estratigrafia do solo apresentada na Figura 1. Nesse contexto, se considerou o ângulo de dilatância de 0°, conforme proposição de Fajardo (2014). A estaca, por sua vez foi considerada com um modelo linear elástico, considerando um módulo de elasticidade de 28 GPa, coeficiente de Poisson de 0,2 e peso específico de 25 kN/m³.

Para tal simulação se considerou um modelo axissimétrico dada a simetria apresentada pelo problema. Foi considerado na simulação o solo abaixo da camada de 9 metros como indeslocável, seguindo as considerações de Gon (2011) e um raio em planta em relação ao eixo da estaca considerado para a simulação de 10 metros — analise de convergência indicou que a influência dessa distância de simulação no resultado se limitava a menos de 0,4 % do valor final do recalque estimado. A malha considerada foi gerada pelo gerador de malhas automático do programa sendo composta por elementos quadrilaterais e triangulares de 0,125 metros na imediação da estaca, mas aumentado de dimensão até a dimensão de 0,5 metros nos limites do domínio. Nessas simulações se considerou funções de ordem de segundo grau.

A simulação foi realizada num modelo quase-estático sem levar em conta efeitos de não linearidade geométrica, nem de percolação. A simulação se deu em etapas, sendo a primeira a modelagem do solo sem a estaca para determinação do estado inicial de tensões/deslocamentos do solo. Posteriormente, se modelou o solo na situação da remoção do solo durante a execução da estaca e a situação do solo após o termino dessa execução. Por fim, se simulou a aplicação da carga, considerando cargas de ¼, ½, ¾, 1, 2, 3 e 4 a carga de ruptura.

Simulações no RSPile foram, também, realizadas para esse problema. Nestas se consideraram os modelos constitutivos do solo do API Sand (API, 2002 apud Rocscience, 2022) e o Mosher sand (Mosher, 1984) considerando a estratigrafia do solo apresentada na Figura 1. Como a ferramenta permite considerar ou não do módulo de elasticidade na aplicação do modelo constitutivo do Mosher sand (Mosher, 1984) foi comparado os resultados dos recalques usando os diferentes módulos de elasticidade considerados neste trabalho assim como o resultado da ferramenta no caso dessa informação não ser fornecida.

3 Resultados

Na Figura 2, se encontram plotados, para a carga de trabalho (50% da carga de ruptura), a razão entre os recalques calculados e os obtidos da prova de carga para as diferentes metodologias de estimativa de recalques consideradas neste trabalho. Nessa figura: "Não definido" se refere às simulações com o modelo Mosher Sand sem se especificar o módulo de elasticidade; "AV", "DC" e "T" se referem ao uso dos métodos de capacidade de carga de, respectivamente, Aoki e Velloso (1975), Decourt e Quaresma (1978) e Teixeira (1996); "*" se refere a adoção da correção de Janbu (1963); e "**" se refere a adoção da correção de Seo, Prezzi e Salgado (2008). A faixa vermelha indicada se refere a um desvio de 20 % a mais ou a menos que o valor da prova de carga.

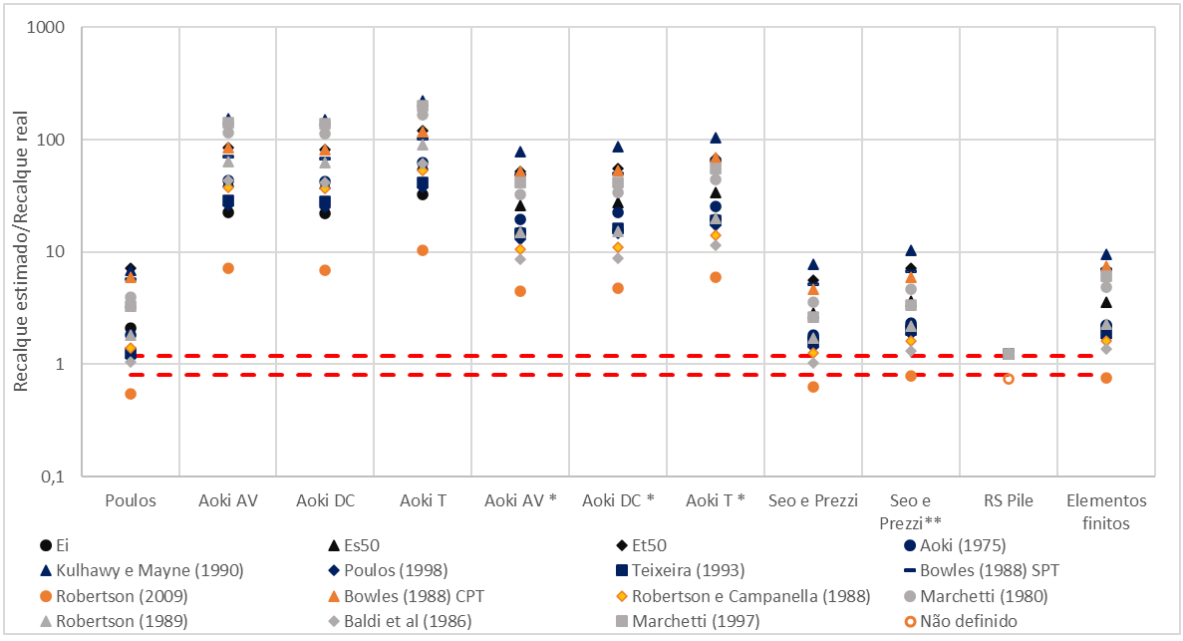


Figura 2: Quociente entre os recalques estimados para a carga de trabalho e o aferido na prova de carga.

Destaca-se que o método do API Sand (API, 2002 apud Rocscience, 2022) não convergiu para esse nível de carga. Nota-se, então, que esse método subestimou a capacidade de carga dessa estaca, podendo se atribuir

isso a tal formulação desconsiderar a coesão do solo. As modelagens realizadas nessa ferramenta modelo Mosher *Sand* (Mosher, 1984) apresentaram resultados muito parecidos quando utilizados com os diferentes módulos de elasticidade avaliados neste trabalho, com exceção das simulações que foram realizadas sem informar esse parâmetro. Se notou que as analises desse modelo apresentaram boa convergência aos resultados da prova de carga.

Se observa na Figura 2 que o método de Aoki (1984) superestimou consideravelmente os recalques. Para este método, também, se evidenciou que a correção proposta por Janbu (1963) aproximou os resultados aos resultados esperados, mas ainda superestimaram consideravelmente esses deslocamentos. Também, se observou que não houve diferenças significativas entre as análises realizadas com diferentes métodos da avaliação da capacidade de carga, sendo a maior discrepância noticiada para o método de Aoki e Velloso Aoki e Velloso (1975), podendo se atribuir isso a ele ser um método desenvolvido para ensaios CPT que foi adaptado para a análise de ensaios SPT.

Os métodos de Poulos e Davis (1968) e de Seo e Prezzi (2007) e das modelagens em elementos finitos apresentaram comportamento similares e com boa assertividade em relação ao recalques reais. Se atribuí a assertividade desses métodos em função de serem fundamentados na teoria da elasticidade. Se destaca que a correção do módulo de elasticidade para o método de Seo e Prezzi (2007) levou a resultados mais a favor da segurança.

Se evidenciou que os métodos utilizados para a estimativa do módulo de elasticidade, mesmo que em função do mesmo ensaio, resultaram em resultados muito dispares. Estes resultados levaram a grandes disparidades nas medidas estimadas de recalques. Todavia, se evidenciou que, com exceção do método de Robertson (2009), os valores de módulos de elasticidade estimados tenderam a superestimar os recalques. Nesse sentido, pode se atribuir essas diferenças às incertezas inerentes a cada método e as considerações aplicadas neles para com que o resultados obtidos garantissem a segurança das aplicações desenvolvidas com tais em meio a suas incertezas.

Dentre eles, os módulos de elasticidade propostos por Robertson (2009) e Baldi et al (1986) forneceram estimativas mais precisas para a aplicação nos métodos nas. A precisão do método de Robertson (2009) se deve a ele contemplar, além dos dados de penetração do cone diretamente, estimativas da natureza do solo e o estado de tensões deste permitindo calibrar melhor os valores fornecidos em tal metodologia. Enquanto, o método de Baldi et al (1986) é fundamentado no ensaio DMT. Este ensaio que implica em menores perturbações no solo durante as medições, além destas serem realizadas diretamente pela deformabilidade do solo, permitindo estimativas mais diretas para os parâmetros elásticos do solo.

4 Conclusões

Conclui-se que as metodologias propostas por Poulos e Davis (1968) e Seo e Prezzi (2007), assim como as modelagens em elementos finitos e no RSPile considerando o comportamento do solo pelas proposições de Mosher (1984), fornecem estimativas adequadas de recalques na carga de trabalho para o solo laterítico estudado. Nesse contexto, a correção proposta para o método Seo e Prezzi (2007), se destacou por fornecer mais segurança a análise.

Também, se concluiu que as metodologias de estimativas de recalque consideradas nas análises forneceram resultados que, tendem a superestimar os recalques. Dessa forma, elas fornecem resultados mais a favor da segurança em prol de se contrapor as incertezas inerentes à sua definição. Dentre elas, para se obter resultados mais precisos, recomenda-se utilizar estimativas que levam em consideração mais variáveis do solo estudado, tais como pelo método de Robertson (2009), ou que sejam extraídas de ensaios que medem a deformabilidade do solo diretamente, como pelo método de Baldi et al (1986) que é fundamentado no DMT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas (1982). NBR 7250: *Identificação e descrição de amostras de solos obtidas de sondagens simples de reconhecimento de solos*.

Associação Brasileira de Normas (2020). NBR 16903: *Solo - Prova de carga estática em fundação profunda.* Rio de Janeiro

Aoki, N.; Velloso, D. (1975). *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, Buenos Aires. Anais [...]. v. 1, p. 377–386.

Aoki, N. (1984). *Previsão da curva carga recalque*. Palestra proferida na Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos,

Baldi, G.; Bellotti, R; Ghionna, V; Jamiolkowski, M.; Marchetti, S. e Pasqualini, E. (1986). *Flat Dilatometer Tests in Calibration Chambers*. ASCE, Geotechnical Special Publication, 6., p. 431-446,

Bowles, P. E. (1997). *Foundation Analysis and Design*. The McGraw-Hill Companies, Inc, Singapura.

Decourt, L.; Quaresma, A. R. (1978). *Capacidade de carga de estacas a partir de valores* SPT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6., 1978, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro. v. 1, p. 45–54.

Espindola, C. R., Daniel, L. A. (2008). *Laterita e solos lateríticos no Brasil*

Fajardo, R. I. C. (2014). Previsão numérica do comportamento dinâmico da barragem de Breapampa no Peru. p. 82-93. Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) — PUC/RJ. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/25017/25017_6.PDF>. Acesso em: 10/26/2025

Garcia, J. R. (2015). *Análise experimental e numérica de radiers estaqueados executados em solo da região de campinas/SP*. Campinas. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <https://www.fecfau.unicamp.br/~pjra/wp-content/uploads/2023/07/Tese-de-Doutorado-Jean-Rodrigo-Garcia.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2025.

Gon, F. dos S. (2011). *Caracterização geotécnica através de ensaios de laboratório de um solo de diabásio da região de Campinas/SP*. Campinas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: < https://www.fecfau.unicamp.br/~pjra/wp-content/uploads/2023/07/Dissertac%CC%A7a%CC%83o-Fernanda-Gon.pdf>. Acesso em: 04 março 2026.

Janbu, N. (1963) *Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests*. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING, 3., Weisbaden, Alemanha. Anais [...]. v. 1, p. 19–25.

Kondner, R. L (1963)..*Hiperbolic Stress-Strain response: Cohesive Soils*. In: Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, v.89, parte 1, p.115-143.

Kulhawy, F. H. e Mayne, P. W. (1990). *Manual on Estimating Soil Properties for Foundationa Design*. Cornell University, Ithaca, New York.

Marchetti, S. (1980). *In situ tests by flat dilatomete*, In. Journal of the Geotechnical Engineering Division, p.299-321.

Marchetti, S. (1997). *The flat Dilatometer Design Applications*; In: Geotechnical Engineering Conference, 3., Cairo University, In: anais ..., Cairo University.

Mosher, R. L (1984). *Load transfer criteria for numerical analysis of axially loaded piles*.

Omeman, Z. M. (2012). *Load Sharing of Piled-raft Foundations in Sand Subjected to Vertical Loads*. Montreal. Tese (Doutorado) — CONCORDIA UNIVERSITY. Disponível em: <https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/974978/1/Omeman_PhD_S2013.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2025.

Pinto, C. S. (2006). *Curso básico de mecânica dos solos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos..

Poulos, H. G., Davis, E. H. (1968). *The settlement behavior of single axially loaded incompressible piles and piers*. Géotechnique, v. 18, n. 3, p. 351–371.

Poulos, H. G., Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*.

Poulos, H. G. (1998). *The pile-enhanced raft: an economical foundation system*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., 1998, Brasília. Proceeding […]. Brasília: COBRAMSEG. v. 5, p. 27-43.

Robertson, P. K.; Campanella, R. G. (1988). Guidelines for using the CPT, CPTU, and Marchetti DMT for geotechnical design. v.2, Washington, DC: Federal Highway Administration.

Robertson, P.K. (2009). *Interpretation of cone penetration tests — a unified approach*. Canadian Geotechnical Journal, v. 46, p. 1337–1355.

ROCSCIENCE (2022). *RSPile: Axially Loaded Piles: Theory Manual*. Disponível em: <https://static.rocscience.cloud/assets/verification-and-theory/RSPile/RSPile-Axially-Loaded-Piles-Theory-Manual.pdf>. Acesso em: 21/10/2025

Rodriguez, T. G. (2013). *Caracterização geotécnica de um solo de diabásio por meio de ensaios SPT e CPT*. Campinas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <https://www.fecfau.unicamp.br/~pjra/wp-content/uploads/2023/07/Dissertac%CC%A7a%CC%83o-Tiago-Garcia-Rodriguez.pdf>. Acesso em: 31 agosto 2025.

Seo, H.; Prezzi, M. e Salgado, R. (2008). *Settlement analysis of axially loaded piles*. In: International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 6., 2008,. Anais... Missouri University of Science and Technology, 2008. No 1.56.

Seo, H. e Prezzi, M. (2007).. *Analytical solutions for a vertically loaded pile in multilayered soil. Geomechanics and Geoengineering*: An International Journal, v2, 51-60. DOI: 10.1080/17486020601099380

Siviero, C. (2003). *Obtenção de Parâmetros Geotécnicos utilizando o ensaio dilatométrico (DMT)*. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-17042025-104910/publico/ClaudiaSivieroDISSERT.pdf>. Acesso em: 05/10/2025

Schulze, T. (2013). *Análise da capacidade de carga de estaca escavada instrumentada de pequeno diâmetro por meio de métodos semiempíricos*. Campinas, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <https://www.fecfau.unicamp.br/~pjra/wp-content/uploads/2023/07/Dissertac%CC%A7a%CC%83o_Tami-Schulze.pdf>. Acesso: 2 junho 2025

Teixeira, A. H. (1996). *Projeto e execução de fundações*. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 3., São Paulo. Anais [...]. v. 1, p. 33–50.

Teixeira, C.Z. (1993), *Uma aperfeiçoamento das sondagens de simples reconhecimento à percussão*. In. Solos do Interior de São Paulo, Ed. Cintra, J.C.A. e Albieiro, J.H., ABMS, São Carlos, p. 77- 93.