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/COBRAMSEG2026.5/89

PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA PREVISÃO DO RECALQUE ELÁSTICO DE FUNDAÇÕES TIPO SAPATA ESTAQUEADA

Jonathan Nepomuceno de Felipe
Engenheiro Civil, Ouro Branco, Brasil, jnepomuceno.felipe@gmail.com

Letícia Aline Semião Leão
Graduanda em Engenharia Civil, UFSJ, Conselheiro Lafaiete, Brasil, leticiaaline1231@gmail.com

Leandro Neves Duarte
Professor Associado, UFSJ, Ouro Branco, Brasil, leandro.duarte@ufsj.edu.br

RESUMO: Este artigo propõe um método para a estimativa aproximada do recalque, baseado em comportamento linear elástico, de fundações do tipo sapata estaqueada, com base em simulações numéricas realizadas no *software* ABAQUS. As simulações visaram, reproduzir o comportamento tensão x recalque dos elementos de fundação solo-sapata e solo-sapata-estaca, utilizando parâmetros geométricos e geotécnicos extraídos de alguns trabalhos acadêmicos publicados. As simulações foram realizadas com o objetivo de avaliar os recalques, verificando o ganho de rigidez do conjunto sapata-estaca, quando comparado com a sapata isolada. Os resultados permitiram a elaboração de um coeficiente de ajuste, aplicado ao método de Janbu (1956), para estimar o recalque da fundação mista, estabelecendo um método para a previsão do recalque elástico de fundações do tipo sapata estaqueada.

PALAVRAS-CHAVE: Sapata estaqueada, recalque elástico, interação solo-estrutura, simulação numérica, equação de Janbu.

ABSTRACT: This paper proposes a method for the approximate estimation of settlement, based on linear elastic behavior, for piled footing foundations, using numerical simulations performed with the ABAQUS software. The simulations aimed to reproduce the stress–settlement response of the soil–footing and soil–footing–pile foundation systems, adopting geometric and geotechnical parameters extracted from selected published academic studies. The analyses were carried out to evaluate settlements and to verify the stiffness gain of the combined footing–pile system when compared with an isolated footing. The results enabled the development of an adjustment coefficient applied to the Janbu (1956) equation to estimate the settlement of the mixed foundation, thereby establishing a method for predicting the elastic settlement of piled footing foundations.

KEYWORDS: Piled footing, elastic settlement, soil-structure interaction, numerical simulation, Janbu's equation.

1 INTRODUÇÃO

As sapatas são elementos de fundação superficial que distribuem as cargas ao solo por uma área definida, sendo dimensionadas a partir da capacidade de carga do solo, determinada por meio de investigações geotécnicas. Quando essa capacidade é insuficiente para uma sapata isolada — responsável por transferir as cargas de um único pilar ao solo — uma possível solução é o uso de estacas, que possibilitam a transferência de cargas para camadas de solo mais profundas e resistentes, aumentando o desempenho da fundação e reduzindo recalques diferenciais elevados.

A sapata estaqueada é uma fundação que une as propriedades de dois tipos diferentes de elementos estruturais geotécnicos. Seu uso é bem peculiar e depende de uma série de fatores, tais como: resistência do

solo, espaço disponível para execução das sapatas e das cargas da estrutura. Solos com camadas superficiais que apresentam baixa capacidade de carga, com valores de resistência em torno de 3 golpes, podem tornar inviável o uso de fundações superficiais para obras de pequeno e médio porte. Para minimizar tal fato, estacas de pequeno diâmetro, moldadas "in loco", têm sido utilizadas, tais como as estacas escavadas a trado, as estacas tipo "Strauss" e as estacas apiloadas. Para se obter um projeto de fundações mais econômico, sugere-se a utilização de um número mínimo de estacas, vinculado a um determinado nível de recalque aceitável. Introduziu-se então o conceito de "elementos redutores de recalques" para projetos com grupos de estacas, sendo o recalque aceitável, ou admissível como um dos critérios mais importantes.

Nesse contexto, destaca-se a importância do avanço no entendimento do comportamento das fundações do tipo sapata estaqueada, especialmente em obras de pequeno e médio porte, de modo a viabilizar soluções construtivas em situações nas quais a adoção de sapatas isoladas, como único elemento de fundação, é limitada pelas restrições geométricas da obra ou por recalques excessivos. O presente trabalho tem como objetivo propor um método de estimativa aproximada do comportamento tensão x recalque de fundações do tipo sapata estaqueada, a partir de recalques obtidos por meio de simulações numéricas, empregando-se o método de Janbu (1956) ajustada. Como condição geométrica da fundação, nos modelos analisados, foi considerada a relação Le/B = 3, em que Le é o comprimento da estaca e B o menor lado da sapata. O foco do estudo está na proposição de um coeficiente de ajuste "α", que represente na estimativa analítica, a redução aproximada dos recalques decorrentes da inclusão da estaca.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A análise da capacidade de carga em sistemas de fundação que combinam elementos profundos (estacas) e superficiais (blocos ou sapatas) é um tema recorrente na engenharia geotécnica. Nesse contexto, Kishida & Meyerhof (1965) destacam-se por apresentar uma abordagem integrada para avaliar a contribuição do elemento superficial e do grupo de estacas.

Poulos (1968) avançou na compreensão da interação entre fundações rasas e profundas, ao introduzir a primeira abordagem teórica que integra sapata e estaca em um sistema único, considerando o solo como um meio elástico linear semi-infinito e a estaca como um elemento rígido. Essa formulação permitiu avaliar os recalques no conjunto, contribuindo para o dimensionamento de fundações mistas.

Estudos mais recentes, como os de Silva-Júnior (2021), Sousa (2021) e Bittencourt (2018), indicam que o uso de estacas em fundações superficiais pode reduzir consideravelmente os recalques, além de proporcionar bom desempenho estrutural e viabilidade econômica. Resultados semelhantes foram observados por El-Mossallamy e Franke (1997), que identificaram uma redução de 55% no recalque máximo e 60% no recalque diferencial com o uso de estacas.

Conforme citado por Oliveira (2022), a sapata associada a estacas pode ser classificada como um tipo de fundação estaqueada, ao lado de soluções como o radier estaqueado e os grupos de estacas. Sua principal particularidade reside nas dimensões do elemento de fundação rasa e, sobretudo, na consideração da participação da sapata no comportamento global do sistema, contribuindo de forma significativa para a transferência de cargas ao maciço de solo.

A sapata estaqueada (Figura 1) é composta principalmente por um elemento vertical, geralmente uma estaca de concreto armado, e um elemento horizontal, a sapata. Sendo assim, a sapata distribui as tensões às camadas superficiais do solo, enquanto a estaca transfere parte das cargas às camadas mais profundas por meio do atrito lateral e da resistência de ponta, promovendo uma redistribuição de tensões, evitando recalques excessivos. Dentro dessa tipologia, destacam-se dois arranjos principais: a "estaca T", em que a sapata está diretamente conectada à estaca, e a "estapata", caracterizada pelo afastamento entre os elementos, conforme proposto por Hachich et al. (1988). Cada configuração apresenta mecanismos distintos de transferência de carga e interação solo-estrutura.

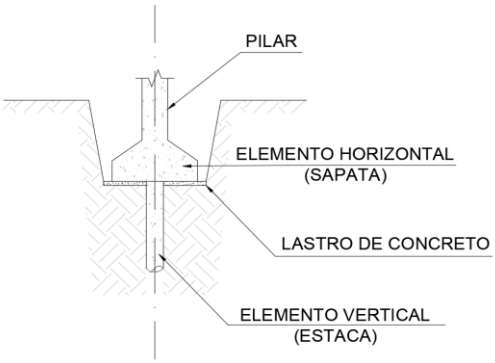


Figura 1. Sapata estaqueada. Fonte: Adaptado de Hachich et al. (1988).

Bergman (1998) desenvolveu uma metodologia para a previsão do comportamento da estapata. Para tal, foram processadas no programa computacional PROGEO2 128 malhas de elementos finitos, com intuito de abordar o comportamento da referida fundação, quando submetida ao carregamento de projeto, procurando variar o comprimento da estaca e o afastamento entre a base da sapata e o topo da estaca. Em razão do reforço do solo promovido pela presença do elemento vertical de fundação, a expectativa de níveis de recalques menores ao de uma sapata pôde ser confirmada e observada, quando se acompanhou a evolução do grau de influência do afastamento entre sapata e estaca para uma mesma relação de L/B (comprimento da estaca / lado da sapata), ou seja, quando mais afastada a sapata da cabeça da estaca, menor a influência no comportamento carga x recalque da estapata.

Sales (2000), realizou nove ensaios de prova de carga em diferentes configurações de elementos de fundação e condições dos solos, abrangendo sapatas isoladas, sapatas estaqueadas e estacas, permitindo a comparação dos recalques e do desempenho estrutural de cada sistema.

Soares Júnior (2003) avaliou metodologias de previsão do comportamento de fundações rasas rígidas, com foco na estimativa da capacidade de carga e dos recalques. A análise baseou-se em provas de carga em sapata e em ensaios de campo (SPT, DMT e PMT), complementados por ensaios laboratoriais em solo residual de gnaisse, evidenciando a relevância dos métodos de campo para a caracterização de subsolos heterogêneos.

Duarte (2012), analisou a interação solo–sapata–estaca a partir da execução e do monitoramento de provas de carga direta em diferentes sistemas de fundação, incluindo sapatas isoladas, sapatas estaqueadas e estacas isoladas. Os deslocamentos verticais foram acompanhados por instrumentação específica, enquanto as propriedades mecânicas do solo residual de gnaisse foram obtidas por ensaios de campo (SPT, DMT e PMT) e de laboratório. Os resultados de capacidade de carga e recalque foram comparados com métodos teóricos, empíricos e com simulações numéricas pelo método dos elementos finitos, permitindo ainda a avaliação da influência do número de estacas no comportamento da sapata.

Duarte et al. (2013) avaliou metodologias correntes para a previsão da capacidade de carga e das tensões admissíveis de fundações rasas em solo residual maduro de gnaisse, com base em prova de carga em sapata e em ensaios de campo (SPT, DMT e PMT), complementados por ensaios laboratoriais. Os resultados indicaram que os métodos fundamentados em dados de campo apresentam bom desempenho na estimativa do comportamento dessas fundações.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consistiu na análise da interação solo-sapata-estaca em um sistema de fundação mista, utilizando tensões admissíveis obtidas por meio de provas de carga dos estudos de referência. Foram adotados os trabalhos de Duarte (2012; 2013) e Soares Júnior (2003), dos quais se extraíram os parâmetros geotécnicos empregados na modelagem numérica. Os modelos foram desenvolvidos no *software* ABAQUS Learning Edition, por meio do Método de Elementos Finitos (MEF), e calibrados a partir da comparação entre os resultados numéricos e as curvas tensão x recalque obtidas experimentalmente nos trabalhos citados. Após a calibração, os recalques elásticos foram avaliados por meio da aproximação das curvas utilizando o método de Janbu (1956).

Para a obtenção das tensões admissíveis por meio das provas de carga analisadas, adotou-se o critério estabelecido pelo Código de Obras de Boston, EUA, conforme apresentado por Vargas (1955), considerando como carga de trabalho o menor valor entre a carga correspondente a um recalque de 10 mm ou a metade da carga correspondente a um recalque de 25 mm.

Após a calibração dos modelos de sapata isolada, foi incorporada uma estaca ao sistema, adotando-se Le/B=3, permitindo a análise do comportamento conjunto da sapata e da estaca em um sistema de fundação mista. As dimensões das sapatas consideradas foram aquelas empregadas nos estudos de referência. Nos trabalhos de Duarte (2012; 2013), as provas de carga foram realizadas em sapatas com 0,80 m de lado, enquanto no estudo de Soares Júnior (2003) foram utilizadas sapatas com 1,00 m de lado. Essas configurações foram adotadas na modelagem numérica, garantindo a representatividade das condições experimentais.

No estudo de Duarte (2012), o solo foi caracterizado como argila arenosa de coloração marrom e consistência média, com um peso específico de 14,85 KN/m³ e módulo de deformabilidade de 6 MPa. O modelo numérico foi realizado em uma sapata com 0,80 m de lado assentada a 0,55 m de profundidade em relação à superfície do terreno, obtendo-se uma tensão de ruptura de 322,42 kPa e uma tensão admissível de 98 kPa.

No trabalho de Soares Júnior (2003), o solo predominante da área analisada é argilo-areno-siltoso, de coloração variegada com um peso específico de 16,61 KN/m³ e módulo de deformabilidade de 6,315 MPa. O modelo numérico foi realizado em uma sapata com 1,00 m de lado assentada a 1,00 m de profundidade em relação à superfície do terreno, obtendo-se uma tensão de ruptura de 352,36 kPa e uma tensão admissível de 130 kPa

No estudo de Duarte et al. (2013), o solo predominante também foi caracterizado como argila arenosa, de coloração marrom e consistência média, com peso específico de 14,85 kN/m³ e módulo de deformabilidade de 6 MPa.

Dessa forma, para a elaboração e a calibração dos modelos desenvolvidos neste trabalho, adotaram-se como condições de contorno das simulações numéricas, os parâmetros geométricos e geotécnicos de cada estudo tomado como referência. Os resultados obtidos nos modelos numéricos foram confrontados com os recalques elásticos estimados por meio da equação proposta pelo método de Janbu (1956), considerando as tensões admissíveis definidas para cada prova de carga, existente no respectivo estudo analisado.

O método de Janbu (1956) permite a estimativa dos recalques elásticos decorrentes da interação solo-estrutura, sendo aplicado em análises de fundações superficiais. A equação é expressa por:

$$\rho i = \mu 0 \cdot \mu 1 \cdot \sigma \cdot B \cdot 1/Es \qquad (1)$$

sendo:

- $\mu 0$ e $\mu 1$ são fatores de influência;
- B é a menor dimensão da sapata;
- L maior dimensão da sapata;
- Es é o módulo de deformabilidade do solo; e
- σ é a intensidade da tensão de contato aplicada

Para a aplicação da equação, adotou-se um bulbo de tensões com profundidade H=2B, permitindo a determinação dos fatores de influência $\mu 0$ e $\mu 1$ e o cálculo dos recalques das sapatas analisadas.

Os recalques obtidos pelo método de Janbu (1956) foram comparados com aqueles provenientes das simulações numéricas realizadas no ABAQUS e das provas de carga, com o objetivo de analisar a compatibilidade entre a inclinação das curvas tensão x recalque. Um exemplo, que mostra o resultado do processo de calibração pode ver visto na Figura 2.

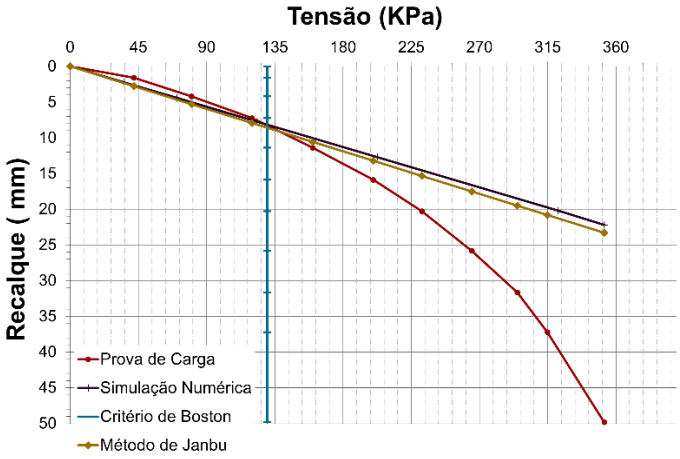


Figura 2. Comparação dos resultados para Soares Júnior (2003). Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Após a calibração dos modelos, foi incorporada uma estaca acoplada à sapata, adotando-se a razão Le/B=3. Os resultados dessa configuração foram analisados e comparados com os dados experimentais de cada estudo de referência, permitindo a avaliação do desempenho do sistema de fundação mista. Considerando, então, essa modelagem, procedeu-se à comparação entre os recalques obtidos numericamente e aqueles estimados pelo método de Janbu (1956). A partir dessa análise, foi proposta a inclusão de um fator de ajuste "α" na equação original.

O coeficiente α foi definido como a razão entre o recalque da sapata estaqueada e o recalque da sapata isolada, ambos associados à tensão admissível, conforme a expressão a seguir:

$$\propto = \frac{\rho_{SE}}{\rho_i} \qquad (2)$$

em que:

- α - Coeficiente de ajuste;
- ρi - Recalque da sapata para a tensão admissível;
- ρse - Recalque da sapata estaqueada para a tensão admissível

Esse coeficiente permitiu a estimativa do recalque elástico de fundações mistas, estendendo a aplicabilidade do método de Janbu (1956) às sapatas estaqueadas.

Para as simulações numéricas das provas de carga no ABAQUS, utilizou-se modelagem tridimensional pelo MEF, com elementos tetraédricos lineares do tipo C3D4. Cada modelo apresentou, aproximadamente, 43.043 elementos e 10.763 nós.

O solo foi representado por um semi-espaço modelado em forma de cubo, com dimensões laterais equivalentes a quatro vezes o lado da sapata e profundidade de 8 m, com restrições nas laterais e na base. Nas interfaces entre os materiais, foram aplicadas restrições do tipo *tie*, garantindo o vínculo entre os componentes. O contato sapata-estaca-solo foi definido pelo método *surface-to-surface*, adotando-se o concreto como *Master surface* e o solo como *Slave surface*, em função da rigidez relativa dos materiais.

Assim sendo, os modelos foram calibrados com dados experimentais de acordo com as provas de carga de cada estudo. Considerando o trecho de comportamento linear, observado na região inicial das curvas tensão x recalque, comparou-se a inclinação das curvas simuladas com os resultados experimentais e com os dados obtidos pelo método de Janbu (1956), com enfoque na resposta elástica do solo e na compatibilidade entre os resultados numéricos e empíricos.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Para a análise dos resultados, foi adotada a tensão admissível obtida em cada estudo referência. De forma geral, os resultados obtidos ao se confrontar os recalques das simulações numéricas, com os estimados

pelo método de Janbu (1956), mostraram-se bastante próximos. Quando comparados às provas de carga, realizadas em campo nas sapatas dos estudos de referência, os resultados das simulações para a tensão admissível revelaram-se condizentes, evidenciando uma boa concordância do modelo de sapata desenvolvido no software ABAQUS com o da prova de carga.

No estudo de Duarte (2012), a tensão admissível adotada foi de 98 kPa, e o recalque obtido na prova de carga foi de 5,75 mm. Os recalques determinados por meio da simulação numérica e pelo método de Janbu (1956) foram de 6,09 mm e 5,99 mm, respectivamente.

Para o estudo de Duarte (2013), adotou-se uma tensão admissível de 98 kPa, sendo observado um recalque de 6,40 mm na prova de carga. Os valores de recalque obtidos pela simulação numérica e pelo método de Janbu (1956) foram de 6,09 mm e 6,06 mm, respectivamente.

Já para o estudo de Soares (2003) a tensão admissível adotada foi de 130 KPa, obtendo um recalque de 8,10 mm a partir da prova de carga. Os recalques encontrados por meio da simulação numérica e pelo método de Janbu (1956) foram de 8,17 e 8,60 mm, respectivamente.

Para que o método de Janbu (1956) gerasse resultados compatíveis, com os recalques da sapata estaqueada, foi introduzida a constante de ajuste "α". Os recalques obtidos pela equação modificada foram comparados aos resultados das simulações numéricas, permitindo a estimativa dos recalques elásticos da fundação mista e a consideração da contribuição da estaca na redução dos deslocamentos.

A razão entre os recalques obtidos nos modelos numéricos com o acréscimo da estaca (Le/B = 3) e aqueles sem a presença da estaca resultou nos seguintes valores: 0,7437 para Duarte et al. (2013), 0,7442 para Duarte (2012) e 0,7154 para Soares Júnior (2003). A partir da média aritmética desses valores, obteve-se um valor sugerido para o fator "α" de 0,7344.

Para o estudo de Duarte (2012), a determinação dos recalques pela equação de Janbu (1956) foi realizada com base nos seguintes parâmetros: coeficientes $\mu_1 = 0{,}58$ e $\mu_0 = 0{,}8$, módulo de deformabilidade de 6,0 MPa, lado da sapata de 0,8 m, coeficiente de Poisson de 0,3 e a constante de ajuste $\alpha = 0{,}7344$.

Após a introdução da constante de ajuste, os recalques estimados pelo método de Janbu (1956) apresentaram boa aproximação em relação aos resultados do modelo de sapata estaqueada simulado no software ABAQUS. Os resultados obtidos para o estudo de Duarte (2012), após o acréscimo da constante de ajuste foram de 4,53 mm para o recalque da simulação numérica e 4,46 mm para o método de Janbu Modificado.

Em se tratando do estudo de Duarte (2013), a determinação dos recalques pela equação de Janbu (1956) foi realizada com base nos seguintes parâmetros: coeficientes $\mu_1 = 0{,}58$ e $\mu_0 = 0{,}79$, módulo de deformabilidade de 6,0 MPa, lado da sapata de 0,8 m, coeficiente de Poisson de 0,3 e a constante de ajuste $\alpha = 0{,}7344$.

Após o complemento da constante de ajuste, os recalques estimados pelo método de Janbu (1956) mostraram uma boa correspondência com os resultados do modelo de sapata estaqueada simulado no software ABAQUS. Os valores obtidos para o estudo de Duarte (2013), após o acréscimo da constante de ajuste, foram de 4,53 mm para o recalque da simulação numérica e 4,41 mm para o método de Janbu Modificado.

Para Soares (2003), a determinação dos recalques pela equação de Janbu (1956) foi realizada com base nos seguintes parâmetros: coeficientes $\mu_1 = 0{,}58$ e $\mu_0 = 0{,}72$, módulo de deformabilidade de 6,315 MPa, lado da sapata de 1,0 m, coeficiente de Poisson de 0,3 e a constante de ajuste $\alpha = 0{,}7344$.

Após a inclusão da constante de ajuste, os recalques estimados pelo método de Janbu (1956) apresentaram boa aproximação em relação aos resultados do modelo de sapata estaqueada simulado no software ABAQUS. Os valores obtidos para o estudo de Soares (2003), após o acréscimo da constante de ajuste, foram de 5,86 mm para o recalque da simulação numérica e 6,33 mm para o método de Janbu Modificado.

É importante ressaltar que para os estudos apresentados, Duarte (2012:2013) e Soares (2003) as reduções obtidas após a adição da constante de ajuste "α" foram respectivamente 25,58%, 25,63% e 28,46%. Dessa forma, verificou-se uma redução média de recalque de 26,56% entre os modelos analisados, ao comparar os resultados dos modelos SoSaEs (solo–sapata–estaca) considerando a razão Le/B = 3 no modelo numérico, com os modelos da simulação numérica (solo–sapata).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como premissa a realização de simulações numéricas no *software* ABAQUS Learning Edition, fundamentadas nos estudos de Duarte (2012; 2013), e Soares Júnior (2003). Os modelos foram calibrados com base nas curvas tensão x recalque obtidas nas provas de carga realizadas sobre elementos de fundação superficial, conforme os respectivos estudos de referência.

Após a calibração dos modelos com os parâmetros específicos de cada trabalho, procedeu-se à introdução de uma estaca ao sistema de fundação superficial, adotando-se a razão Le/B = 3. Foram analisados dois modelos numéricos: o modelo da simulação numérica, representando a sapata isolada, e o modelo SoSaEs_Le/B=3, que corresponde à sapata associada a uma estaca.

O estudo limitou-se à elaboração de modelos considerando a razão Le/B = 3. Assim sendo, sugere-se a realização de novas simulações e ensaios para explorar outras relações geométricas, visando a consolidação do modelo proposto. Observou-se que os modelos SoSaEs_Le/B=3 apresentaram uma redução média de recalque de 26,56% em relação aos modelos de sapata isolada, evidenciando o efeito positivo da inclusão da estaca na redução dos recalques.

Adicionalmente, foi determinada uma constante de calibração "α" que, aplicada à equação de Janbu (1956) para estimativa de recalques em sapatas isoladas, permitiu sua adaptação à condição de sapata estaqueada analisada. O valor médio obtido para α foi de 0,7344, o qual resultou em estimativas compatíveis com os comportamentos observados nos modelos numéricos com a razão Le/B = 3.

Dessa forma, o presente trabalho propõe um método preliminar para previsão do comportamento tensão x recalque de fundações do tipo sapata estaqueada, aplicável às condições específicas analisadas neste estudo. Ressalta-se, contudo, a necessidade de novos testes e validações adicionais para ampliar a aplicabilidade do fator α a diferentes condições de solo, geometria e rigidez dos elementos de fundação.

Ressalta-se que o método de previsão de recalques proposto, bem como o coeficiente de ajuste nele introduzido, ainda não foi amplamente validado por meio de aplicações em diferentes condições geotécnicas e estruturais. Estudos adicionais e aplicações em casos reais são necessários para a consolidação e ampliação do campo de aplicação do método.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) pelo suporte financeiro concedido para a realização deste estudo.

Agradecem também ao INFRAGEO - Grupo de Pesquisa em Infraestrutura de Transportes e Obras Geotécnicas, pelo valioso apoio técnico e pelos conhecimentos compartilhados ao longo do desenvolvimento deste trabalho, a Dassault Systemes pela liberação da licença livre/estudantil do software Abaqus Learning Edition e Originlab pela liberação da licença livre/estudantil do software Origin.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

Bergman, Marcus (1998). *Contribuição ao estudo do comportamento de associações sapata-estaca*., Programa de Pós Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de janeiro/ UFRJ, 15 p.

Bittencourt, E. C. (2018) *Comportamento de Radiers Estaqueados Assentes em Solos Arenosos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN,190 p.

Duarte, Leandro. (2012) *Avaliação do comportamento solo-estrutura de elementos de fundação tipo sapata estaqueada*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa/UFV, 150 p.

Duarte, Leandro Neves; Minette, Enivaldo; Konda, Danilo Hiroshi; Brandão, Filipe Feijoli; Santos, William Arthur Ribeiro dos. (2013) *Análise de capacidade de carga de uma sapata rígida assente em solo residual maduro de gnaisse*. Revista Panorâmica, Barra do Garças, *Trimestral,* v. 13, p. 122-130. Disponível em:

<https://
https://periodicoscientificos.ufmt.br/revistapanoramica/index.php/revistapanoramica/article/view/430/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

El-Mossalamy, Y.; Franke, E. (1997) *Piled rafts foundation – numerical modelling to simulate the behavior of piled raft foundations*. The authors, Darmstadt, Germany, 182p.

Hachich, W. et al. (1998) *Fundações: teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: Pini

Kishida, H. & Meyerhof, G.G. (1965). *Bearing capacity of pile groups under eccentric loads in sand*. 2nd ed Proc. 6th ICSMFE, Toronto, p. 270-274.

Novak, L. J. et al. (2005) *Analysis of Pile-Raft Foundations with 3D Finite-Element Method*. Structures Congress: Metropolis and Beyond, v. 1., p. 1-12.

Oliveira, E. A. S. (2022) *Análise experimental e numérica do comportamento de sapata estaqueada em solo tropical*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia/UFU, 151p.

Poulos, H.G. (1968). T*he influence of a rigid pile cap on the settlement behaviour of an axially loaded pile*. Civil Eng. Trans. Inst. Civil Engrs. Aust. Vol. C.E. 10, p. 206-208.

Sales, Maurício Martines. (2000) *Análise do comportamento de sapatas estaqueadas*. Tese de Doutorado, Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, UNB, 229 p.

Sena, L. (2016) *Estudo de caso sobre projeto de fundações por sapatas e por estacas*.. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 118 p.

Silva-Júnior, R. P. da. (2021) *Avaliação da interação solo-estrutura com monitoramento de recalques e análise da influência da sequência construtiva no desempenho de radiers estaqueados*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco/UFP, 192 p.

Soares Júnior, Didácio Azevedo. (2003) *Estudo da capacidade de carga e recalques em um solo residual de gnaisse através de ensaios de campo e laboratório*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa/UFV, 135 p.

Sousa, D. H. S.; Fontes, G. A. A.; Oliveira, R. V.; Duarte, L. N. (2021) *Simulação numérica não linear de provas de carga realizadas em fundação mista*. Trabalho de Iniciação Científica, Universidade Federal de São João del-Rei/UFSJ.

Velloso, D. A.; Lopes, F. R. (2011) *Fundações*. São Paulo: Oficina de Textos, 385p.