

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Modelagem numérica do efeito da rigidez de fundação na Interação Solo-Estrutura

Nathani Zampirolli

Engenheira Civil, UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, nathani_zampirolli@hotmail.com

Aldo Durand Farfán

Professor Associado, UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, aldo@uenf.br

Paulo César de Almeida Maia

Professor Associado, UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, maia@uenf.br

RESUMO: Uma análise numérica e paramétrica do mecanismo de interação solo-estrutura (ISE) é abordada neste estudo. É considerado um caso de obra composto de um edifício sobre estacas assente em solo sedimentar estratificado constituído predominantemente de argila e areia de lago fluvial. Leituras de recalque foram usadas como referência para elaboração do modelo numérico. A fundação foi modelada em elementos finitos (MEF) por meio do software PLAXIS 3D. As propriedades do solo consideradas na modelagem numérica foram obtidas por correlação semiempírica do perfil geotécnico produzido com base em ensaio de penetração padrão (SPT). O estudo demonstrou que os parâmetros associados à ISE são sensíveis a parametrização. Os recalques dos grupos de estacas são sensíveis a variações dos parâmetros geométricos das estacas atrelados a rigidez do elemento (espaçamento, diâmetro e comprimento). As análises foram direcionadas à avaliação dos fatores proposto por Gusmão (1990) – AR e CV, muito úteis para se avaliar os efeitos da ISE. Foi verificado que o acréscimo de rigidez da fundação é favorável para a uniformização dos recalques. A mudança da rigidez estrutural das estacas proposta não altera a tendência de AR, apenas sua magnitude.

PALAVRAS-CHAVE: Interação Solo-Estrutura, Recalque, Método dos Elementos Finitos

ABSTRACT: A numerical and parametric analysis of the soil-structure interaction (SSI) mechanism is addressed in this study. It is considered a case of work consisting of a building on stilts resting on stratified sedimentary soil predominantly made up of clay and sand from a river lake. Settlements readings were used as a reference for the elaboration of the numerical model. The foundation was modeled in finite elements (FEM) using PLAXIS 3D software. The soil properties considered in the numerical modeling were obtained by semi-empirical correlation of the geotechnical profile produced based on standard penetration testing (SPT). The study demonstrated that the parameters associated with SSI are sensitive to parameterization. The settlements of pile groups are sensitive to variations in the geometric parameters of the piles linked to the stiffness of the element (spacing, diameter and length). The analyzes were directed to the assessment of factors proposed by Gusmão (1990) – AR and CV, which are very useful to assess the effects of the SSI. It was verified that the increase in foundation stiffness is favorable for the uniformity of settlements. The proposed change in the structural stiffness of the piles does not change the AR trend, only its magnitude.

KEYWORDS: Soil-Structure Interaction, Settlement, Finite Element Method

1 Introdução

Na elaboração dos projetos de engenharia, busca-se aliar segurança e qualidade a um menor custo. Para isso, é fundamental o melhor entendimento da interação entre as partes que constituem a estrutura e o maciço em que a sua fundação está assente. O entendimento do mecanismo de Interação Solo-Estrutura (ISE), às vezes desprezado nos projetos de engenharia, é de fundamental importância, sobretudo pelas suas consequências na estrutura. Sobrecargas nos pilares, por exemplo, ocasionadas pela redistribuição de esforços, podem gerar esmagamento dessas peças caso o esforço incremental não seja previsto no dimensionamento convencional



(Antoniazzi, 2011). Patologias nos elementos estruturais como a fissuração de vigas e lajes também podem ser esperadas quando o mecanismo não é bem conhecido em um projeto.

Uma ferramenta para auxiliar na maior compreensão dessa interação consiste da modelagem numérica associada à técnica de retroanálise. A ferramenta viabiliza previsões do comportamento do sistema quando os valores dos parâmetros e leis constitutivas dos materiais são corretamente adotados. O método dos elementos finitos (MEF) é bastante útil para a representação do problema geotécnico e para isso é fundamental o maior conhecimento do comportamento do maciço de solo para o refinamento dos cálculos numéricos em um modelo, de modo a retornar resultados reais o quanto possível. Frigerio (2004) defende que é complexo o conhecimento de forma plena do comportamento do solo diante da heterogeneidade do maciço. A técnica da retroanálise associada à modelagem numérica facilita a estimação de valores dos parâmetros geotécnicos mais próximos da realidade. No caso de resultados de instrumentação in situ associados à modelagem, os resultados coletados em campo permitem que o modelo numérico retorne informações que traduzem o estado atual da obra, além de permitir verificar a evolução do comportamento do sistema quando a monitoração é executada de forma contínua. Segundo Marzionna (1979), o uso de dados de instrumentação de campo é o melhor dos métodos para refinar o cálculo e além disso, a melhor maneira de avaliar recalques é através da monitoração de campo.

Neste trabalho foi adotada a modelagem numérica via MEF associada à retroanálise para investigação da influência da rigidez da infraestrutura no mecanismo ISE. Para o refinamento do cálculo numérico foram utilizados os resultados dos ensaios de campo e as leituras de recalques conduzidas por Prellwitz (2016) durante todo o período construtivo de um caso de obra. Trata-se de um edifício multifamiliar de 20 pavimentos assente maciço típico da região de Campos dos Goytacazes/RJ, sedimentar heterogêneo com presença de camada de solo mole. A solução de fundação para o empreendimento foi à estaca tipo hélice contínua monitorada, bastante empregada nos empreendimentos da região da baixada campista, inclusive. Neste contexto, é importante que se aprimore o conhecimento da forma como este tipo de fundação se comporta no maciço típico da região, sedimentar heterogêneo com presença de camada de solo mole.

2 Revisão bibliográfica

Meyerhof (1953) foi um dos pioneiros em discutir a capacidade de cargas das fundações juntamente com a previsão dos recalques, considerando as características do solo, da fundação e da rigidez da estrutura nos cálculos de dimensionamento. Convencionalmente, o dimensionamento de uma edificação pode ser elaborado segundo a hipótese de apoios indesejáveis. A segunda hipótese é considerada mais realista tendo em vista que considera a rigidez da estrutura na estimativa dos recalques. A bacia de recalques torna-se mais suave por consequência dos efeitos da interação entre o solo e a estrutura. Espera-se que os apoios centrais recalquem menos que o previsto quando a estrutura é analisada convencionalmente, enquanto os apoios da periferia recalcam mais. Sabe-se que a rigidez da estrutura promove o impedimento dos recalques e consequentemente, altera os recalques máximos, mínimos, e os recalques diferenciais, apesar dos recalques totais médios estimados não se alterarem significativamente. Gusmão e Calado Jr. (2002) enfatizam que as distorções angulares são minimizadas e isso pode viabilizar fundações que não seriam possíveis, em certos casos, pelos estudos convencionais.

A uniformização dos recalques é consequência da redistribuição dos esforços nos elementos estruturais. Goshy (1978) aponta que isto ocorre com maior intensidade nos primeiros pavimentos dos edifícios, onde a estrutura é apertada. Quando a sobrecarga causada pela redistribuição de esforços não é prevista em projeto, podem ser esperadas patologias nos elementos estruturais como a fissuração e o esmagamento de pilares. Assim como a rigidez da superestrutura, a magnitude de redistribuição de cargas e, portanto, o mecanismo da ISE também está relacionado à rigidez da infraestrutura. Frantziskonis e Breyse (2002) afirmam que as características geométricas da fundação associadas à rigidez estão fortemente relacionadas no desempenho do sistema. O comportamento realista do grupo de estacas pode mudar devido à interação da estrutura do solo e por isso, para o projeto adequado das fundações, especificamente em estacas, é preciso considerar a interação da estrutura da construção, do solo e do grupo de estacas (Koteswara, Padavala e Chennarapu, 2020).

A análise dos efeitos da ISE, mais especificamente os efeitos da redistribuição de cargas nos pilares e a tendência à uniformização dos recalques pode ser elaborada mediante os parâmetros estatísticos propostos por Gusmão (1990), *AR*, *DR*, *CV*. O *Fator de Recalque Absoluto* (*AR*) é definido pela relação entre o recalque absoluto w_i de um apoio i e o recalque absoluto médio de todos os apoios absoluto w_m . São esperados alívios



nos pilares que possuem recalques medidos maiores que a média quando a razão apresenta valor maior do que a unidade ($AR > 1$). No contrário ($AR < 1$), verifica-se um acréscimo de carga nos pilares. O *Fator de Recalque Diferencial (DR)* representa o desvio percentual do recalque do pilar i em relação a w_m . Quando a relação é maior do que 1 ($DR > 1$) observa-se alívio de carga nos pilares e no contrário ($DR < 1$), sobrecarga nos pilares. O *Coefficiente de variação dos recalques (CV)* equivale à razão entre o desvio padrão dos recalques σ_m e o w_m . Prellwitz (2015) observou em um estudo experimental para casos reais de obra que os valores de AR e DR se alternaram entre os pilares ao longo da evolução da obra, o que evidencia a influência da ISE no comportamento da estrutura. A análise do coeficiente CV dos recalques e da distorção angular $\beta_{máx}$ demonstrou a tendência a uma uniformização dos recalques com a evolução da obra. Em um estudo também experimental, Savaris (2008) analisou o comportamento conjunto dos elementos de fundação e observou que nas regiões com maior rigidez ocorreram menores variações de recalques. O autor defende que a rigidez do conjunto maciço-fundação e a rigidez da superestrutura têm relação direta com os recalques. Bhartiya, Chakraborty, Basu (2020) analisam grupos de estacas e blocos de fundação com diferentes geometrias e configurações com intuito de determinar a rigidez dos elementos de fundação e o recalque correspondente. Os autores definem que o recalque de grupos de estacas depende fundamentalmente da rigidez das estacas individuais que por sua vez depende da rigidez estrutural k_p (1), além da rigidez decorrente da interação estaca-solo (I_{ps}), que se relaciona com a rigidez do sistema de fundação K_F (2), que inclui ambos os componentes estruturais e geotécnicos da rigidez.

$$k_p = \frac{A_p E_p}{L_p} \quad (1)$$

$$K_F = k_p \cdot I_{ps} \quad (2)$$

onde A_p equivale a área da seção da estaca, E_p e L_p , o módulo de elasticidade e comprimento da estaca, respectivamente.

3 Metodologia

O caso de obra consiste de um edifício multifamiliar de 20 pavimentos, com 196 unidades autônomas. As fundações adotadas foram estacas profundas do tipo hélice continua monitorada com diâmetros de 400mm e 500mm e profundidade de 18 metros, armadas nos primeiros quatro metros. Nesta profundidade há presença de uma camada de argila siltosa com areia e desta profundidade adiante, o relatório de sondagem sugere que camadas com elevados números de golpes. O edifício possui 82 pilares partindo das fundações, 46 estacas com 400mm de diâmetro e 235 estacas com 500mm de diâmetro.

A fundação do edifício objeto de estudo foi modelada via MEF considerando os ensaios de campo e laboratório disponíveis, além do projeto de fundação adotado. A Figura 1 estabelece as faixas de solo com características similares estabelecidas para modelagem de um *meio equivalente do maciço de solo*. A lei constitutiva *Linear Elástica* disponível no software PLAXIS 3D foi adotada para os materiais e os parâmetros geotécnicos das camadas de solo foram estimados por correlações semi-empíricas. Os valores foram submetidos a ajustes mediante diversos cálculos numéricos, em um processo denominado *calibração do modelo*, até que os recalques retornados pelo modelo numérico fossem próximos às leituras de campo. Os parâmetros de entrada da infraestrutura de fundação estão apresentados na Tabela 1, considerando o resultado do ensaio PDA executado na obra e os ensaios estabelecidos por Maia, Waked e Prellwitz (2019).

Tabela 1. Parâmetros de entrada adotados para modelagem da estaca

Módulo de elasticidade E (GPa)	14,8
Coefficiente de Possion ν	0,11
Peso específico (kN/m ³)	20,69
A (m ²)	0,19635

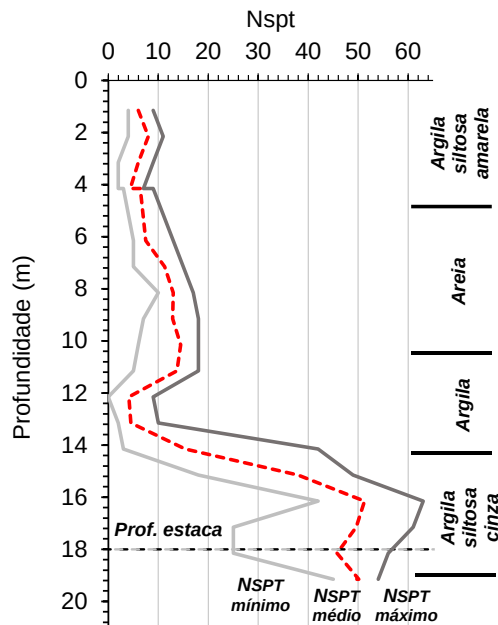


Figura 1. Nspt máximo, médio e mínimo ao longo da profundidade

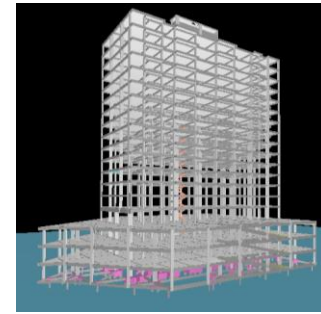


Figura 2. Estrutura modelada matricialmente (TQS/CAD)

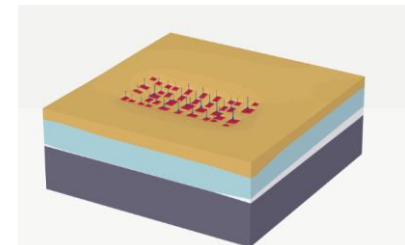


Figura 3. Fundação modelada via MEF (PLAXIS 3D)

Apesar da dificuldade inerente à modelagem do mecanismo da ISE, Thangaraj e lamparuthi (2010) defendem que a análise da superestrutura independente da análise da fundação adequadamente (ou vice-versa) pode enganar a estimativa das forças, os momentos de flexão e os recalques por exemplo. É, portanto, necessário realizar a análise considerando o solo, fundação e superestrutura, que formam uma única unidade compatível. Neste trabalho uma *metodologia iterativa e desacoplada* (MID) foi implementada para determinação das cargas e recalques com efeitos da ISE para o edifício. O processo se baseia nos trabalhos de Aoki e Cintra (2004) em que o uso de molas no modelo foi incorporado à metodologia de Chamecki (1954). Na superestrutura modelada matricialmente (Figura 2), considera-se a hipótese simplificadora de apoios rígidos. O cálculo estático não linear retorna as reações para cada apoio (Q) que são impostos à fundação modelada via MEF (Figura 3). Assim, obtêm-se os respectivos deslocamentos (w) no topo dos blocos que corresponde à base dos pilares e a rigidez para os apoios. A razão entre força e deslocamento corresponde à rigidez do apoio - coeficiente de mola vertical K (kN/m). Uma sequência de *interações* é estabelecida em que a rigidez calculada para cada apoio é imposta ao modelo matricial que retorna novas reações de apoio devido à redistribuição dos esforços da estrutura. O processo se repete até que a diferença entre os recalques obtidos em duas iterações subsequentes seja inferior a um erro médio de 2%. No processo é considerado o carregamento sequencial do edifício em fases correspondentes a 25%, 50%, 75% e 100% da carga total, simplificação adotada com objetivo de otimizar as simulações numéricas.

Diante do modelo numérico validado, um estudo paramétrico foi proposto com base na análise numérica linear-elástica 3D via MEF em conjunto com a análise matricial. Neste estudo, diversos modelos numéricos para a fundação foram elaborados, diferenciados pela razão de esbeltez das estacas (L/D) dentro de um intervalo de $\pm 10\%$ do diâmetro (D) e comprimento (L) de estacas originalmente projetadas para o caso de obra. No total, quatro modelos numéricos distintos foram executados, apresentados na Tabela 2, além do modelo adotado como referência que corresponde ao projeto executado em campo (*Caso 0*). A MID foi implementada para cada caso e para determinação das cargas e recalques com efeitos da ISE para o edifício.



Tabela 2 Geometria da infraestrutura para os casos considerados

Caso	D (m)	L (m)	$k_p \times 10^8$ (kN/m)
0	0,5	18,0	1,61
1	0,5	16,2	1,79
2	0,5	19,8	1,46
3	0,45	18,0	1,30
4	0,55	18,0	1,95

4 Resultados

Os fatores AR proposto por Gusmão (1990) são muito úteis para se avaliar os efeitos da ISE, sobretudo a redistribuição de cargas nos pilares e sua tendência à uniformização dos recalques. As curvas *iso-AR* representam graficamente o comportamento da estrutura, para os casos considerados na Tabela 2. Pode-se observar de modo geral $AR < 1$ nos pilares localizados na periferia da planta. Fundamentalmente, a mudança na rigidez da infraestrutura de fundação não altera a tendência do fator, apenas a magnitude de AR . Na Figura 5, quando o diâmetro assumido pela estaca é reduzido (*Caso 3 e Caso 4*), nota-se que pilar P9 situado na periferia passa a sofrer alívio de carga. O fator AR da região central da planta apresenta maiores impactos com a mudança na rigidez das peças. O aumento no diâmetro das estacas promove aumento na rigidez estrutural k_p dos elementos e o aumento do fator AR . A redução de k_p pelo aumento do embutimento das estacas reduz o fator AR de forma menos significativa que nas situações em que k_p é alterado pela variação do diâmetro das estacas. Pode ser esperado, portanto, uma tendência de aumento de AR nos pilares com o também aumento de D e redução de L . Ainda, que os efeitos da rigidez da fundação sobre o fator AR depende do parâmetro geométrico atrelado, L ou D . Os apoios centrais, mais carregados são portanto, susceptíveis a alívios de carga enquanto os periféricos, sobrecarga, tendência evidenciada também em trabalhos como Gusmão (1990), Prellwitz (2015), Savaris (2008). Nesse sentido, a busca por recalques menores na obra deve ser analisada com atenção aos parâmetros geométricos das estacas uma vez que L e D geram efeitos distintos sobre as taxas de alívio e sobrecarga nos pilares.

Gusmão e Gusmão Filho (1990) utilizam o CV dos recalques absolutos para investigar o efeito de tendência à uniformização dos recalques ocasionado pelo incremento de rigidez da superestrutura diante da construção dos pavimentos do edifício. Os autores constatarem que a dispersão dos recalques diminui à medida que a rigidez da estrutura cresce, enquanto que o recalque absoluto médio permanece constante. Trabalhos como Prellwitz (2015), Gusmão e Calado Jr (2002), Gonçalves (2004), Gusmão (2006), Mendonça, Reis e Aoki (1998) relatam que os recalques absolutos tendem a uma uniformização, com valores majoritariamente abaixo da unidade. Isto se justifica pelo ganho da rigidez do edifício, promovida pelo processo executivo que age de forma significativa na minimização das dispersões dos recalques. No presente estudo de caso, essa tendência de uniformização é observada nos resultados de campo após o fim da execução das alvenarias e construção da última laje. Os recalques da obra tendem a uma uniformização, com um comportamento linear e valores abaixo da unidade (Figura 6).

Na Figura 7 são apresentados os coeficientes de variação médio dos recalques absolutos obtidos pelos modelos numéricos. Pode ser constatada a tendência equivalente do coeficiente CV, embora o modelo elaborado não tenha alcançado a mesma magnitude do coeficiente observado em campo. Isso se justifica pelas simplificações impostas no modelo como quantidade de camadas de solo e leis constitutivas simples, necessários para viabilização das simulações numéricas. Na Figura 7 é verificado aumento da magnitude do CV com o também aumento de k_p nas etapas iniciais. Espera-se, portanto, recalques menos homogêneos quando elementos de fundação mais rígidos são adotados. A literatura evidencia que o acréscimo de rigidez do sistema de fundação K_F é favorável para a uniformização dos recalques e, portanto, redução de CV. Ressalta ainda ser interessante que os elementos da fundação sejam combinados e enrijecidos, sendo observado o aspecto econômico (Crespo, 2004; Reul e Randolph, 2004; Noorzadei, Godbole e Viladkar, 1993). Em um estudo também experimental, Savaris (2008) analisou o comportamento conjunto dos elementos de fundação e observou que nas regiões com maior rigidez ocorreram menores variações de recalques. O autor defende que a rigidez do conjunto maciço-fundação e a rigidez da superestrutura tem relação direta com os recalques. Da análise conjunta da Figura 7 e Figura 8 pode ser constatado que o Caso 2, por exemplo, apresenta os menores



níveis de recalque associados e também menores magnitudes de CV. De fato, os modelos em que o sistema de fundação alcançou valores superiores de rigidez (menores recalques) apresentam menores valores de CV associados, que traduz em maior uniformização dos recalques da obra. Nesse sentido, é evidente que a relação entre a rigidez estrutural da peça (k_p) e a rigidez do sistema de fundação como um todo (K_F) não é a mesma com o coeficiente CV e portanto, com o recalque da fundação. De fato, a relação entre recalque e rigidez de fundação K_F depende da rigidez da peça k_p associada a *interação estaca solo*, como também destacado por Bhartiya, Chakraborty, Basu (2020).

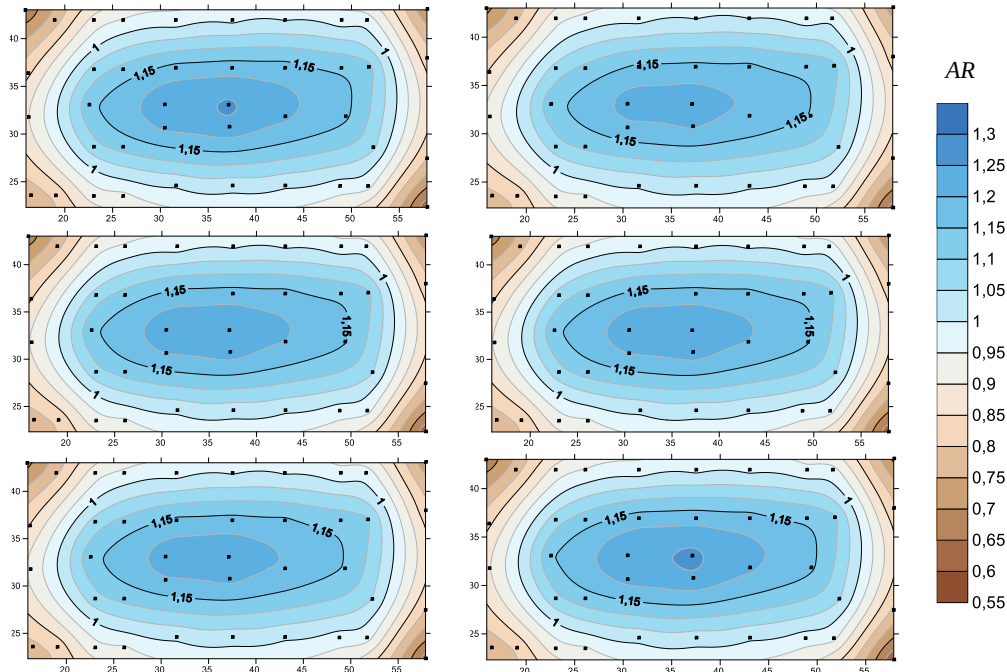


Figura 4. Curvas iso-AR para o (a) caso 1, (b) caso 0 e (c) caso 2 para 25% do carregamento total da estrutura

Figura 5. Curvas iso-AR para o (a) caso 3, (b) caso 0 e (c) caso 4 para 25% do carregamento total da estrutura

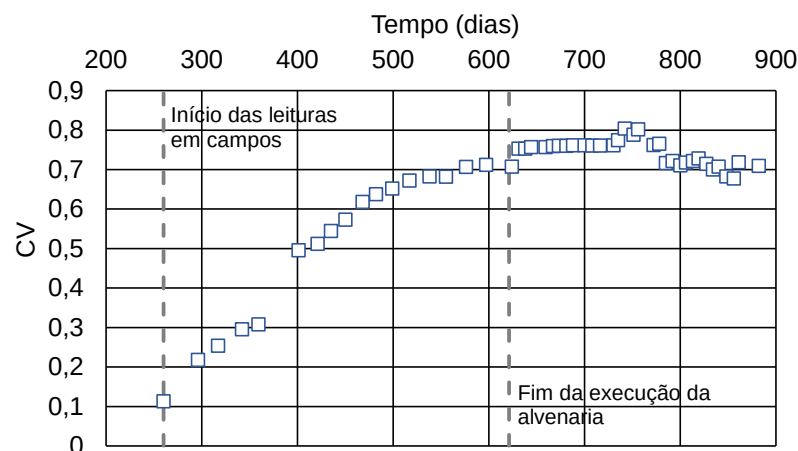


Figura 6. Evolução do $CV_{\text{médio}}$ dos recalques absolutos de campo medidos por Prellwitz (2016)

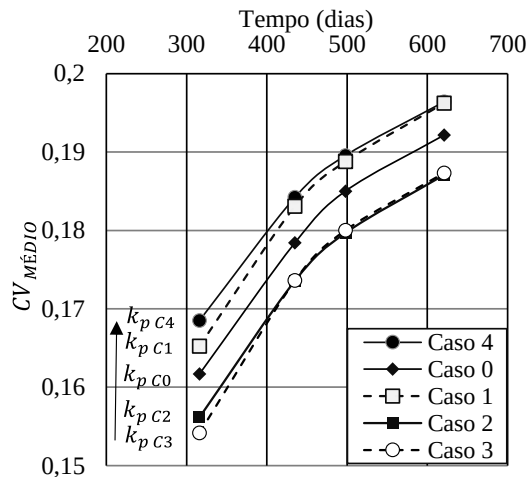


Figura 7: Evolução dos CV médios dos recalques absolutos para os Casos considerados

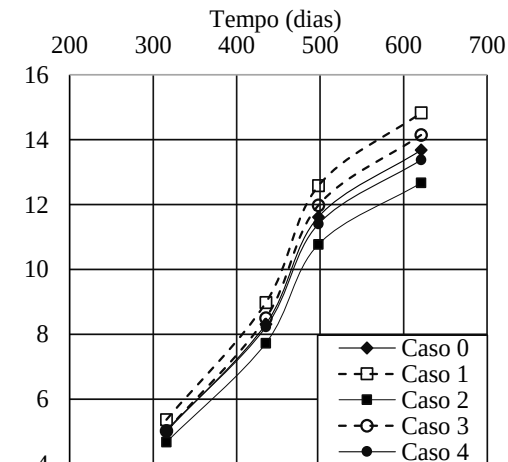


Figura 8: Evolução do recalque médio para cada Caso considerado

5 Conclusão

A influência da rigidez da infraestrutura no mecanismo ISE foi analisada neste trabalho a partir de análises paramétricas e numéricas via MEF associada à retroanálise de resultados de campo. O mecanismo de ISE foi considerado mediante adoção de um processo iterativo que se baseia nos trabalhos de Aoki e Cintra (2004) em que o uso de molas no modelo foi incorporado à metodologia de Chamecki (1954). Diante de modelos numéricos validados e do estudo paramétrico proposto com base na análise numérica linear-elástica 3D via MEF em conjunto com a análise matricial, quatro modelos numéricos distintos foram elaborados. Isso permitiu analisar a relação do comportamento da fundação com a sua rigidez.

Os fatores propostos por Gusmão (1990) foram considerados nas análises. Foi evidenciado que há uma tendência de aumento de AR nos pilares com o também aumento de D e redução de L . Ainda, que os efeitos da rigidez da fundação sobre o fator AR depende do parâmetro geométrico atrelado, L ou D . Os apoios centrais, mais carregados são portanto, susceptíveis a alívios de carga enquanto os periféricos, sobrecarga, conforme também evidenciado pela literatura. Nesse sentido, a busca por recalques menores na obra deve ser analisada com atenção aos parâmetros geométricos das estacas uma vez que L e D geram efeitos distintos sobre as taxas de alívio e sobrecarga nos pilares.

Da análise do coeficiente de variação CV , foi possível constatar recalques menos homogêneos quando elementos de fundação mais rígidos são adotados. No entanto, a relação entre a rigidez estrutural da peça (k_p) e a rigidez do sistema de fundação como um todo não apresentam a mesma relação com o coeficiente CV e portanto, com o recalque da fundação. Como também destacado por Bhartiya, Chakraborty, Basu (2020) em estudos numéricos de grupos de estacas, a relação entre recalque e rigidez de fundação depende da rigidez da peça k_p associada a interação estaca solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antoniazzi, J. P. (2011). Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Santa Maria, 139p.
- Aoki, N.; Cintra, J. C. (2004). Notas de aula da disciplina SGS-404 Fundações, EESC-USP – Departamento de Geotecnia, EESC, USP, São Carlos; apud MOTA et al. (2007).
- Bhartiya, P.; Chakraborty, T; Basu, D. (2020). Settlement Estimation of Piled Rafts for Initial Design. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 2020, 146(2): 04019127.
- Chamecki, S. (1954). Consideração da Rigidez da Estrutura no Cálculo dos Recalques da Fundação. In: I Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Porto Alegre, v. 1, pp. 35-80



- Crespo, V. A. S. (2004) Estudo da sensibilidade de edificações em relação ao solo. Campos dos Goytacazes. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 92p.
- Frantziskonis, G. And Breyse, D. (2003) Influence of soil variability on differential settlements of structures, *Comput. Geotech.*, 30(3), 217-230
- Frigerio, G. P. (2004) Retroanálise de uma escavação de vala escorada a céu aberto de uma linha do metrô de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.
- Gonçalves, J. C. (2004) Avaliação da influência dos recalques das fundações na variação de cargas dos pilares de um edifício. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 126p.
- Goshy, B. (1978) Soil-foundation-structure interaction. *Journal of the Structural Division, ASCE*, vol.104, n. ST5, pp. 749-761; apud GUSMÃO (2006).
- Gusmão, A. D. (1990) Estudo da interação solo-estrutura e sua influência em recalques de edificações. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 165p.
- Gusmão, A. D. (2006) Desempenho de fundações de edifícios. In: *Palestras XIII COBRAMSEG*, Curitiba, pp 215-240.
- Gusmão, A. D.; Gusmão Filho, J. A. (1990) Um caso prático dos efeitos da interação solo-estrutura em edificações. *IX COBRAMSEG*, Salvador, ABMS. Anais, vol. 2, pp. 437-446.
- Gusmão, A.D., Calado Jr., I. H. (2002) Estudo dos efeitos da interação solo-estrutura em uma edificação com fundação em terreno melhorado. *XII. COBRAMSEG*, São Paulo, SP, ABMS, Anais, v3, p1743-1752.
- Koteswara, V.R.P., Padavala, H. e Chennarapu, H. (2020). Experimental and Numerical Investigation of Pile Group With and Without Building Frame Subjected to Axial Load. *Indian Geotech J* 50, 473–484.
- Maia, P. C. A.; Prellwitz, M. F.; Waked, L. V. (2019) Estimate of elastic modulus of continuous flight auger concrete, *Geotecnia* nº 147 – 0379-9522, p. 27-40.
- Marzionna, J. D. (1979). Sobre o cálculo estático de valas. São Paulo: EPUSP, 1979. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo., 81p
- Mendonça, J. C., Reis, J. H. C., Aoki, N. (1998) Considerações sobre a influência recíproca de fundações de prédios vizinhos em regiões de argila mole. In. *XI COBRAMSEG*, Brasília, DF, Anais, v.3, p.1527-1534.
- Meyerhof, G. G. (1953) Some Recent Foundation Research and its Application to Design. *Structural Engineer*, Vol. 31, pp. 151-167; apud GUSMÃO (1994).
- Noorzaei, P.N. Godbole, M.N. Viladkar (1993) Nonlinear soil–structure interaction of plane frames—a parametric study. *Comput. Struct.*, 49 (3), pp. 561-566
- Prellwitz, M. F. (2015). Monitoramento de recalques por fotogrametria usando o princípio dos vasos comunicantes. Dissertação de Mestrado. CCT – LECIV – UENF. Campos dos Goytacazes. 132p.
- Prellwitz, M. F. (2016). Aplicação de monitoramento de recalque para estimativa de parâmetro de interação solo-estrutura. Proposta de Tese de Doutorado apresentada ao LECIV – UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 02 ago. 2016.
- Reul, O. e Randolph, M. F. (2004) Design strategies for piled rafts subjected to nonuniform vertical loading. *ASCE. J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 130 : p. 1 – 13.
- Savaris, G. (2008). Monitoração de recalques de um edifício e avaliação da interação solo-estrutura. Dissertação de Mestrado. CCT – LECIV – UENF, Campos dos Goytacazes. 177p.
- Thangaraj, Dr; Ilamparuthi, Dr. (2010). Parametric Study on the Performance of Raft Foundation with Interaction of Frame. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. p15.