

Estudo Paramétrico da Influência de uma Estrutura de Contenção em uma Fundação Rasa no Fundo da Escavação

Adriana Cristina Gomes

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, adriana.engcivil@gmail.com

Alexandre Pimenta Ribeiro Pontes de Almeida

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, aprpalmeida@hotmail.com

Carlos Alberto Lauro Vargas

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, cvargas@eec.ufg.br

RESUMO: O presente estudo busca compreender a influência das tensões induzidas devido ao processo de escavação de uma estrutura de contenção em parede diafragma no recalque de uma fundação rasa posicionada no fundo da escavação. Para isto, utilizou-se a ferramenta numérica FLAC 2D para analisar o recalque de uma fundação rasa em diferentes profundidades de escavação, carregamentos da fundação, distâncias da estrutura de contenção em relação a fundação rasa e modelos constitutivos de solo: elástico e elasto-plástico de Mohr-Coulomb. Devido a escavação do solo e mobilização do empuxo passivo, nota-se o surgimento de tensões induzidas e, consequentemente, um solo mais compactado na região das fundações próximas da contenção que implica em menor recalque destas sapatas em relação às mais distantes da contenção. Com o aumento da profundidade de escavação, as tensões induzidas tem sua magnitude aumentada, logo observa-se uma diminuição no recalque em uma mesma posição da fundação em relação à contenção.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas de Contenção, Deformações, Fundação Rasa, Recalques.

1 INTRODUÇÃO

O processo de escavação provoca um descarregamento que implica em redistribuições de tensões no solo até que se estabeleça um equilíbrio ou até a ruptura do mesmo. Este processo conduz as deformações na estrutura de contenção e no maciço de solo.

Diferentes variáveis interferem no formato e magnitude destas deformações, entre elas, a rigidez da estrutura de contenção, tipo de solo, profundidade de escavação, tipo e rigidez da estrutura de travamento, entre outros.

Na Figura 1, Ou (2006) apresentou dois possíveis formatos da curva de deslocamentos ocorridos em uma estrutura de contenção em balanço e superfície do solo. Diferentes autores têm-se dedicado a estudar a influência das deformações ocorridas atrás da estrutura de

contenção nas fundações das construções adjacentes à contenção (Shahin *et al.*, 2010; Tan e Li, 2011). Entretanto, pouco tem sido estudado a respeito dos efeitos provocados na fundação a ser construída no pé da escavação.

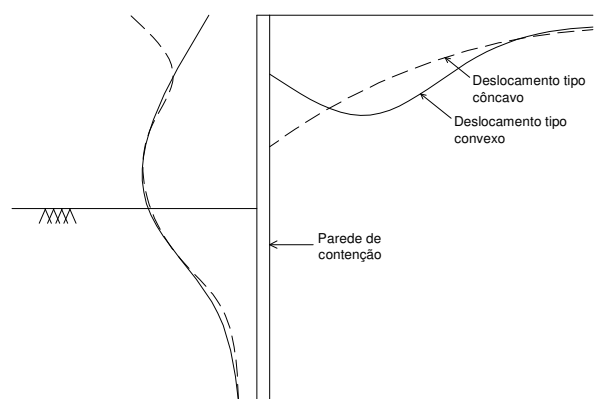


Figura 1. Tipos de deslocamento da parede de contenção e da superfície do solo (modificado de Ou, 2006).

Sabe-se que o processo de escavação induz tensões de compressão na região à frente da ficha de embutimento (empuxo passivo) provocadas pela deformação da estrutura de contenção propiciando uma região com solo mais compacto. Com isso, espera-se que os recalques das fundações posicionadas ao pé da escavação sofram influência devido a escavação. Logo, o presente estudo pretende analisar essas prováveis influências e verificar se esta interação é significativa ou não.

Este artigo apresenta resultados dos recalques de uma fundação rasa posicionada no pé de uma escavação obtidos através de uma campanha de simulações numéricas realizada através do programa FLAC 2D, que se baseia no método de diferenças finitas explícitas. Foram estudadas as seguintes variáveis de interferências nos recalques: profundidade de escavação, carregamento da fundação, distância da fundação em relação à estrutura de contenção e modelo constitutivo do solo (elástico e elasto-plástico Mohr-Coulomb).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentados o perfil geotécnico, as configurações das simulações e o método de cálculo adotados.

2.1 Perfil Geotécnico

Para o perfil geotécnico, adotou-se um típico perfil de solo residual da região Centro-Oeste do Brasil apresentado por Gomes (2015).

O solo da primeira camada é caracterizado por uma argila vermelha intemperizada com espessura de 9 m (solo 1), classificado pelo Sistema Unificado como uma argila de baixa compressibilidade. A segunda camada (solo 2) refere-se a um pedregulho siltoso.

A Figura 2 apresenta o número de golpes do ensaio SPT realizado próximo à amostragem de solo, onde observa-se valores entre 2 a 5 golpes até a profundidade de 8 m, com aumento até 27 golpes para maiores profundidades.

Segundo Magalhães et al. (2006) e Sales & Bittencourt (2010), o módulo de elasticidade do solo pode ser relacionado com o número de

golpes do ensaio SPT, sendo este entre 3 e 4 vezes para solos da cidade de Goiânia, com valores obtidos em MPa. Considerando o fator de multiplicação igual a 3 para o perfil de solo adotado a partir de Gomes (2015), os parâmetros do solo adotados no modelo numérico são apresentados na Tabela 1, para o modelo constitutivo de solo elástico e Tabela 2, para o modelo elasto-plástico.

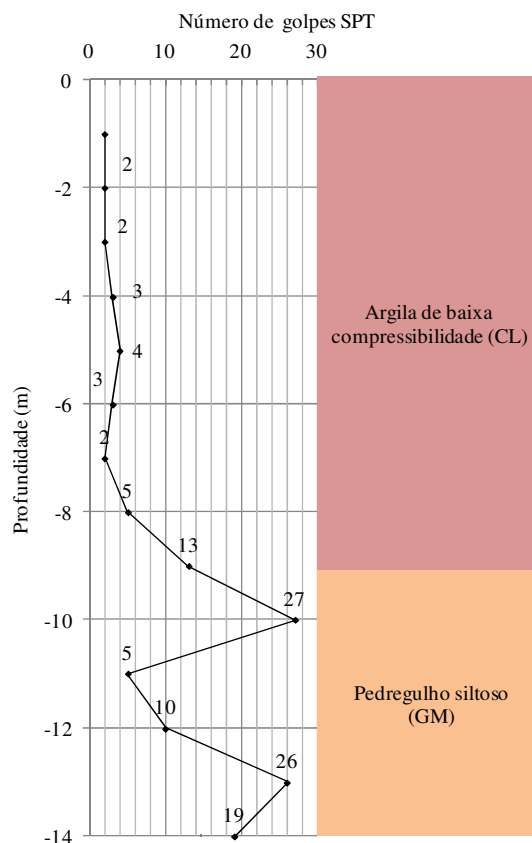


Figura 2. Relatório de Ensaio SPT, conforme Gomes (2015)

Tabela 1. Propriedades dos Solos no Modelo Elástico.

Solo	E (MPa)	γ (kN/m ³)	ν
Solo 1	13	14,7	0,3
Solo 2	50	18,5	0,3

Tabela 2. Propriedades dos Solos no Modelo Elasto-plástico.

Solo	E (MPa)	γ (kN/m ³)	ν	ϕ' (°)	c' (kPa)
Solo 1	13	14,7	0,3	36	10
Solo 2	50	18,5	0,3	40	5

2.2 Configurações das Simulações

O estudo simulou uma escavação em balanço de uma estrutura de contenção em parede diafragma com 8 m de profundidade, espessura igual a 40 cm, módulo de elasticidade da estrutura igual a 21MPa e coeficiente de Poisson de 0,2.

A Figura 3 apresenta um modelo esquemático das simulações numéricas. A variável x refere-se à distância entre a parede de contenção e a posição da fundação (sapata). Foram adotadas os seguintes valores de x: 1, 3, 5, 7 e 10 m. A variável y representa a profundidade de escavação, sendo analisados os seguintes valores: 0 (sem escavação); 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0 m.

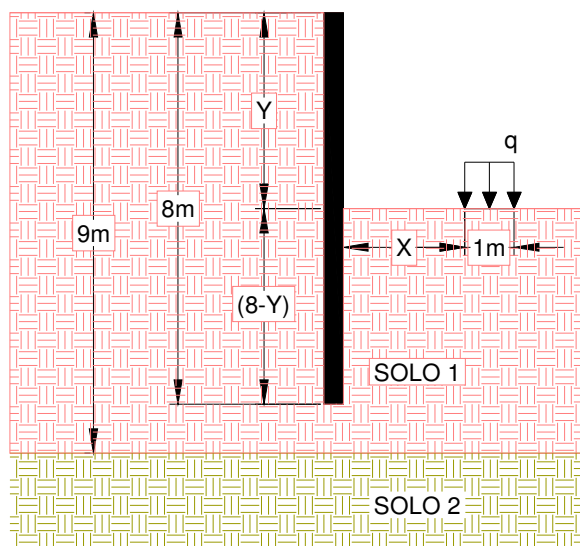


Figura 3. Modelo esquemático das situações avaliadas.

Para determinação da carga aplicada q (Figura 3) utilizou-se a metodologia tradicional de correlação com o ensaio SPT (Teixeira e Godoy, 1998) presente na equação 1.

$$Q_{adm} = 20N_{spt} \text{ (kPa)} \cong 87\text{kPa} \quad (1)$$

Onde Q_{adm} é a carga admissível do solo e N_{spt} é a média do número de golpes SPT de cada camada adotada.

Com isso, admitiu-se como carga de referência 100 kPa sendo avaliadas as frações de 50%, 75%, 100% e 125% da carga de referência, englobando, dessa forma, a carga admissível do solo. Portanto, as cargas

analisadas foram de 50kPa, 75kPa, 100kPa e 125kPa.

Também variou-se o tipo de modelo constitutivo entre elástico e elasto-plástico adotando os parâmetros de solo apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Alternando-se sempre apenas uma variável e mantendo as demais variáveis fixas, obteve-se 5 diferentes comprimentos para x , 9 profundidades para y , 4 diferentes valores para q e 2 modelos constitutivos, com um total de 360 casos analisados.

2.3 Método de cálculo

O programa numérico utilizado FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua), que significa análise lagrangiana eficiente para meios contínuos, é um programa bidimensional de diferenças finitas que aplica a técnica de solução explícita normalmente utilizada por diferenças finitas e é relativamente eficiente para regenerar as equações diferenciais em cada passo ou iteração.

Para o presente estudo foi considerado uma malha de 160 elementos na horizontal e 120 na vertical (Figura 4) contendo um total de 19200 elementos. Cada elemento tem dimensões de 25 cm de largura e 25 cm de altura. Como condições de contorno, foram impedidos os deslocamento na direção do eixo X das extremidades laterais da malha e impedido o deslocamento na direção do eixo Y na extremidade inferior da malha. A parede de contenção foi posicionada ao centro da malha em X.

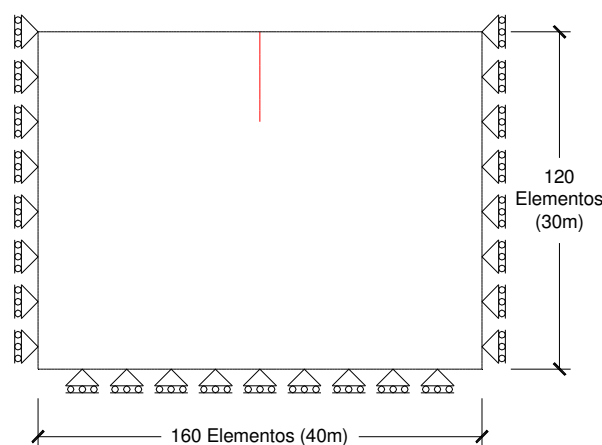


Figura 4. Configurações da Malha adotada.

3 RESULTADOS

A seguir são apresentados as análises dos resultados dos recalques da fundação.

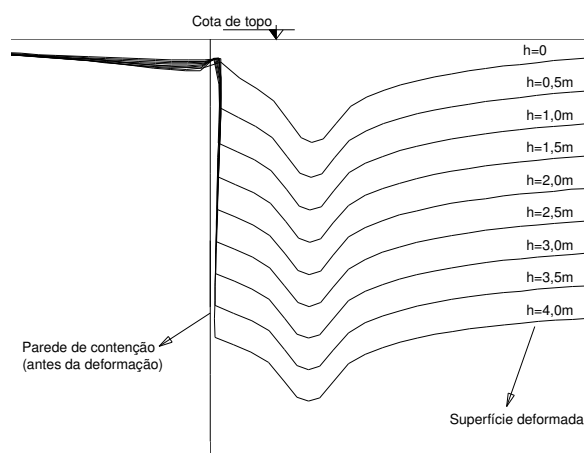
3.1 Influência da profundidade de escavação (y) e distância horizontal (x)

As Figuras 5a e 5b apresentam o recalque em diferentes profundidades de escavação para carregamento da fundação igual à tensão de 100kPa para os modelos elástico e elasto-plástico, respectivamente. Este comportamento também foi observado para os demais carregamentos de fundação analisados.

Observa-se redução contínua dos recalques para maiores profundidades de escavação, pois a medida que aumenta a profundidade tem-se maior pressão de confinamento do solo no pé da escavação, implicando em menores recalques. Na Figura 5a, observa-se que o recalque obtido para a fundação mais próxima à contenção antes da escavação foi ligeiramente menor que o recalque seguinte (diferença menor que 0,5 mm). Tal fato é explicado pela proximidade da estrutura de contenção em relação à sapata e a diferença de rigidez entre a estrutura de contenção e o solo nas escavações mais rasas. Assim, a estrutura de contenção absorve parte do carregamento proveniente da sapata, diminuindo o recalque decorrido de tal carregamento.

A Figura 6 apresenta a deformação na superfície escavada nas etapas de escavação

para o solo elástico na fundação instalada a 1 m da contenção, onde verifica-se maiores recalques nas escavações mais rasas, conforme já observado no gráfico.



Já em relação ao modelo de Mohr-Coulomb (Figura 5b), o efeito da plastificação presente é maior que a influência da parede diafragma. Assim, não foi notado o mesmo comportamento para fundações posicionadas próximas à contenção com níveis de escavação relativamente baixos.

As Figuras 5a e 5b também permitem observar menores recalques para fundações instaladas mais próximas à estrutura de contenção, ou seja, o estado de compactação é dissipado para maiores distâncias da contenção.

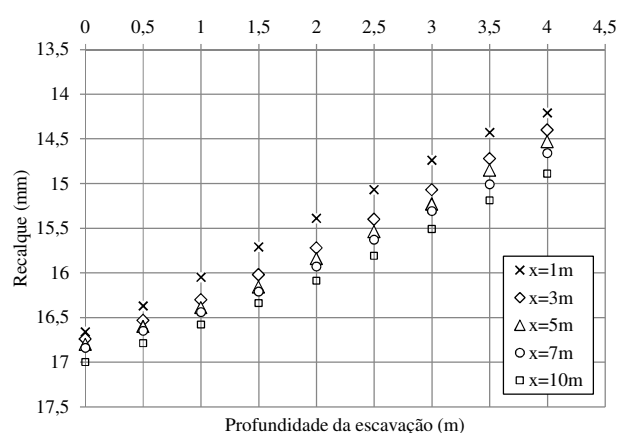
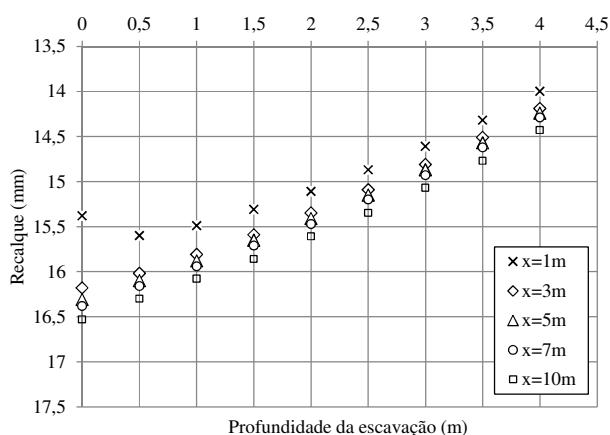


Figura 5. Recalque na fundação para diferentes profundidades de escavação para tensão de 100 kPa (a) modelo elástico (b) modelo elasto-plástico.

Destaca-se que o recalque da fundação posicionada a 1 m distante da contenção é consideravelmente menor que o recalque da fundação posicionada a 3 m se comparados com a diferença de recalques das fundações posicionadas a 7 e 10 m. Isto indica que houve consideravelmente maior influência da contenção para a fundação instalada a 1 m que aquelas instaladas além de 3 m.

A Figura 7 mostra os recalques da fundação para o modelo de solo elástico e elasto-plástico de Mohr-Coulomb a 1 e 10 m da contenção.

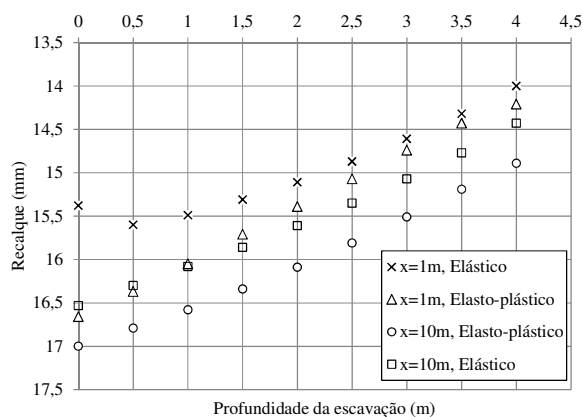


Figura 7. Recalque para diferentes profundidades de escavação no modelo elástico e plástico para a tensão de 100 kPa

Nota-se que para a fundação instalada a 10 m distante da estrutura de contenção, o comportamento dos deslocamentos plástico e elástico foram semelhantes, ou seja, tiveram incrementos de deslocamento devido a escavação parecidos, indicando que nesta região o comportamento chegou no limite elástico do solo, havendo plastificação do maciço devido apenas ao próprio carregamento da fundação mas não havendo plastificação devido ao efeito da escavação. Já para os deslocamentos próximos a estrutura de contenção (1 m), os recalques foram bastante distintos, indicando que esta região sofreu influência da plastificação do solo devido ao carregamento da fundação e escavação do solo.

3.2 Influência do carregamento da fundação (q)

A Figura 8 apresenta os recalques da fundação para diferentes fatores de multiplicação da

tensão de referência, no modelo elástico. Observa-se aumento no recalque para maiores carregamentos da fundação.

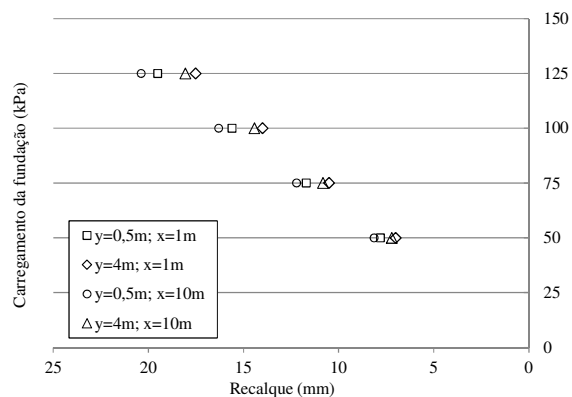


Figura 8. Recalque para diferentes fatores de multiplicação da tensão de referência (100 kPa) para o modelo elástico de solo.

A Figura 9 representa os recalques para escavação na profundidade de 4 m nos modelos de solo elástico e elasto-plástico, para fundação instalada a 1 m distante da estrutura de contenção. Nota-se ligeiramente maior discrepância em relação ao modelo elástico e elasto-plástico quanto maior o carregamento da fundação, sendo estes recalques maiores no modelo elasto-plástico, indicando plastificação do solo.

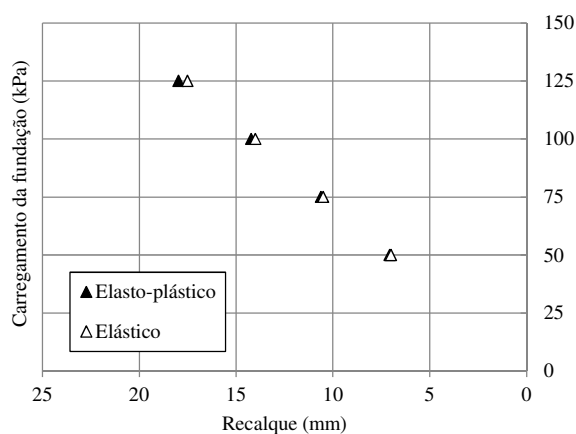


Figura 9. Recalque para diferentes fatores de multiplicação da tensão de referência para modelo elástico e elasto-plástico, para 4 m de escavação.

3.3 Influência do modelo constitutivo do solo em relação a distância da contenção (x)

A Figura 10 apresenta os recalques para carregamentos da fundação nas situações limites

inferior e superior (50 e 125 kPa) nas diferentes posições da fundação em relação à parede de contenção, nos modelos elásticos e elasto-plásticos. Nota-se convergência dos recalques para o menor carregamento (50 kPa) que praticamente não sofreu plastificação, enquanto para o carregamento de 125 kPa, os recalques divergem a medida que a fundação se afasta da contenção, pois nas regiões mais próximas à contenção, o solo encontra-se mais compactado, logo a plastificação evidenciada no modelo de Mohr-Coulomb é menor.

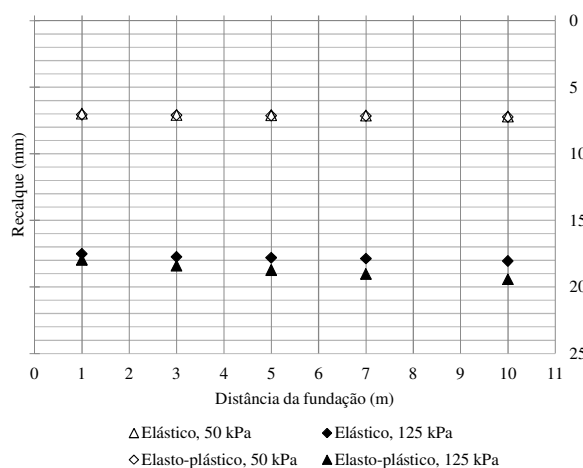


Figura 10. Recalque para diferentes distâncias da fundação em relação à parede de contenção nos modelo elástico e elasto-plástico.

4 CONCLUSÃO

As análises numéricas mostram que a escavação da contenção influencia o comportamento de uma sapata situada no pé da contenção. Tal influência é diretamente ligada à posição do elemento de fundação em relação à parede de contenção, à profundidade de escavação e ao nível de carregamento aplicado.

Notou-se que as sapatas posicionadas próximas a contenção, apresentaram menor recalque que as mais afastadas. Também foi observado que para uma maior escavação, o efeito de confinamento do solo é maior e, consequentemente, menor o recalque. Assim como maiores carregamento da fundação implicaram em maiores recalques.

Também observou-se que nas escavações rasas, dependendo do modelo constitutivo do

solo, o recalque pode aumentar devido a influência da estrutura de contenção. No modelo elasto-plástico de Mohr-Coulomb, para escavações rasas, o solo plastificou devido ao carregamento da sapata e este efeito foi maior que a influência da presença da estrutura de contenção no recalque total, o que não foi observado no modelo elástico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de mestrado em Geotecnia Estruturas e Construção Civil (PPG-GECON) pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa e a Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela compra do programa FLAC2D v 7 usado no neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Gomes, A. C. (2015) *Monitoramento de uma Estrutura de Contenção em Estacas Espaçadas Considerando Perfil de Sucção*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia Estruturas e Construção Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 192 p.
- Magalhães, P. H., Cunha, R. P. Da e Sales, M. M. (2006). Comparação de Recalque de Estacas Hélice-Contínua Monitorada via Estudo de Banco de Dados de Provas de Carga, *XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, ABMS, Curitiba, PR, Brasil, Vol. 2, p. 867-872.
- Ou, C. Y. (2006) *Deep Excavation: Theory and Practice*, Taylor & Francis Group, London, England, 527 p.
- Sales, M. M. e Bittencourt, D. M. A. (2010). Análises de Fundações Estaqueadas Utilizando Estacas de Diferentes Comprimentos, *XV Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica*, ABMS, Gramado, RS, Brasil, Vol. 1, p. 1-8.
- Shahin H. M., Nakai, T., Kikumoto, M., Uetani, Y. e Zhang, F. (2010). Interaction effect of retaining wall and existing foundations in braces excavation, *GeoShanghai 2010*, Shanghai, China, p. 92-99.
- Tan, Y. e Li, M. (2011). Measured Building Settlements due to Excavation in Soft Clays, *GeoHunan 2011*, Hunan, China, p. 17-24.
- Teixeira, A. H. e Godoy, N. S. (1998). Análise, projeto e execução de fundações rasas, *Fundações: teoria e prática*, 2a ed., Pini, São Paulo SP, Brasil, p. 227-264.