

Análise das Causas de Colapso do Subsolo e Soluções Adotadas em Fundações de Edifício Industrial

José Roberto Rasi

Engenheiro civil, Instituto Brasileiro de Educação Continuada, São Paulo, Brasil, rasi@terra.com.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor associado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Sávio Feitosa Veríssimo

Graduando em engenharia civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, savio.fv@hotmail.com

Giullia Carolina de Melo Mendes

Graduanda em engenharia civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, giucmendes@gmail.com

Samuel Castro Prado

Engenheiro civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, samuelcastroprado@hotmail.com

RESUMO: O presente trabalho visa apresentar e analisar as causas de colapso de subsolo infiltrado por águas residuais oriundas do processo de fabricação de biodiesel, no qual conduziu ao aparecimento de graves anomalias nas fundações da edificação industrial, localizada no município de Anápolis, em Goiás, que gerou significativo recalque nos blocos de coroamento das estacas que davam suporte a um pilar metálico. Foram realizadas sondagens SPT anteriores a execução das estacas, que constatou a presença de camada de argila arenosa até a profundidade de 13 metros, seguido de argila siltosa até 21 metros, não identificando a profundidade do nível d'água. Após o ocorrido, realizou-se uma sondagem SPT distante 1,50 metros do bloco de coroamento. Verificou-se, através da utilização do método de previsão de capacidade de carga de estacas, Décourt e Quaresma (1996), que as estacas que foram inundadas por águas residuárias, tiveram redução significativa 28,6% em sua capacidade, evidenciando o colapso do subsolo. A estabilização da fundação colapsada foi realizada através de estacas mega e armação de consolidação e concreto entre tais estacas e as escavadas.

PALAVRAS-CHAVE: Solos colapsíveis, Estacas escavadas, Estacas mega, Patologias, Reforço de fundações.

ABSTRACT: The present work analyzes the causes of subsoil collapse due to wastewater coming from the biodiesel manufacturing process. This led to the appearance of serious anomalies in the foundations of the industrial building, located in the municipality of Anápolis, in Goiás, which created settlement in the pile caps of the piles that supported the metal pillar. First, SPT surveys were executed and then the piles, which verified the presence of sandy clay layer up to the depth of 13 meters. In addition, silt clay up to 21 meters was verified and the water level was not identified, as well a SPT 1.50 meters far from the pile cap. In addition, using the method of predicting pile loading capacity proposed by Décourt and Quaresma (1996), it was verified that the piles that were flooded by wastewater had a significant reduction of 28.6% in their capacity, evidencing the subsoil collapse. The stabilization of the collapsed foundation was accomplished through Mega piles, as well consolidation and concrete framework, between such piles and the excavated ones.

KEYWORDS: Collapsible soils, Excavated Stakes, Mega piles, Pathologies, Reinforcement of foundations.

1 Introdução

Todas as fundações sofrem recalques, inevitavelmente, pois os solos são deformáveis. O chamado apoio indeslocável, premissa usual de projetos estruturais, é mera utopia (CINTRA e AOKI, 2009). Os tipos e a magnitude dos recalques, entre outros fatores, dependem das tensões aplicadas, das condições de umidade e das propriedades inerentes de cada tipo de solo. Estes recalques, que podem ser qualificados como normais, tendem, a cessar ou estabilizar após certo período de tempo. Contudo, em certo tipo de solo não saturado, sua inundação pode causar uma espécie de colapso de sua estrutura, caracterizado por um recalque suplementar, repentino e de grandes proporções. Este tipo de recalque é chamado de colapso e o solo é classificado como solo colapsível (CINTRA, 1998).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar um caso real, no qual a infiltração de águas residuais no terreno, de características colapsíveis, conduziu ao aparecimento de graves anomalias, proveniente de significativo recalque em pilar na planta industrial de produção de biodiesel, situada em Anápolis-GO.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Solos Não Saturados

De acordo com Rodrigues (2007), nas últimas décadas, problemas geotécnicos em regiões de clima árido, semiárido e tropical têm chamado à atenção de comunidade geotécnica. Os solos desenvolvidos em regiões de clima árido e semiárido normalmente têm como principal característica a baixa umidade nos horizontes superficiais, enquanto os solos de algumas regiões de clima tropical são marcados por ciclos alternados de umedecimento e secagem. Segundo Cardoso Junior (2006), um solo saturado é formado por duas fases: a fase sólida, constituída pelos grãos dos solos e a fase líquida, constituída pela água (podendo-se acrescentar nessa fase sais minerais e ar dissolvido).

A membrana contráctil apresenta uma significativa resistência à tração, que o influencia diretamente no comportamento mecânico do solo como um todo. De acordo com Ferreira (2010), a membrana contráctil possui uma propriedade chamada tensão superficial, que tem a capacidade de exercer uma tensão de tração, causada por forças intermoleculares que atuam dentro dessa membrana contráctil. Futai (1997) define que solos não saturados aqueles cujo grau de saturação é menor que 1, sendo constituído por um sistema trifásico (solo, água e ar). O ar é quem influi no comportamento diferenciado desse tipo de solo. Incluíram mais uma fase a esse sistema, denominando-a de película contráctil, considerada importante na resistência à tração. De acordo com Lôbo Neto (2013), por entender que a sua utilização não influi de forma marcante no comportamento dos solos não saturados, optou-se considerar diretamente o efeito da sucção.

2.2 Solos Colapsíveis

Segundo Gomes (2006), os solos colapsíveis são solos não saturados que ao sofrerem um aumento brusco do seu teor de umidade, aliado ou não a um acréscimo na tensão total, apresentam uma brusca diminuição de seu volume. Lessa (2005) afirma que o solo colapsível apresenta uma estrutura instável, porém com uma rigidez temporária mantida pela tensão de sucção e/ou cimentação. Esse estado resistente é instável diante do aumento do teor de umidade, pois quando esse ultrapassa um limite crítico sobrevém o colapso, desde que a carga atuante esteja acima de certo limite.

De acordo com Souza Neto (2004), colapso é o termo utilizado para os recalques adicionais de uma fundação devido ao umedecimento de um solo não saturado, normalmente sem aumento nas tensões aplicadas. Do ponto de vista da engenharia geotécnica, o colapso pode ser encarado como a perda de resistência ao cisalhamento do solo, em virtude da sua inundação que provoca o desmoronamento da estrutura (GOMES, 2006).

Gutierrez *et al* (2004) salienta que os solos colapsíveis são encontrados principalmente nas regiões de clima tropical onde os processos pedogenéticos e geoquímicos atuam intensamente. Ferreira *et al* (1989) observou que no Brasil, os solos colapsíveis são representados por alúvios, colúvios e solos residuais, que passam por intensa lixiviação. Segundo Medero (2005), no Brasil foram encontrados e investigados

materiais naturais colapsáveis em vários estados: Amazonas, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Sul, São Paulo e no Tocantins.

2.3 Estacas escavadas

Segundo Nienov (2006), as fundações profundas por estacas são recomendadas principalmente quando se deseja transmitir a carga da estrutura por meio de material de baixa capacidade de carga até atingir uma camada mais profunda com capacidade de carga adequada. A ABNT (2010) define estaca como sendo “elemento de fundação profunda executada inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de pessoas.

Neste trabalho, para a estimativa de carga na ruptura das estacas, utilizou-se o método semi-empírico de Decourt e Quaresma (1978), que, de acordo com Anjos (2006), apesar de usar os mesmos princípios mecânicos do método de Aoki-Velloso (1975), apresentou um avanço sobre o mesmo, especialmente pela simplicidade de seu uso e por ser menos susceptível aos possíveis “erros” de estimação da estratigrafia do subsolo via sondagem SPT. Sugerido originalmente para estacas cravadas, sua formulação para as parcelas de capacidade de carga lateral (RL) e de ponta (RP) são expressas nas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$R_L = r_L UL \quad (1)$$

$$R_P = r_p A_p \quad (2)$$

Segundo Bezerra (2014), para o uso das expressões acima, a adesão ou atrito lateral (r_L) é estimado a partir do valor médio do índice de resistência à penetração do SPT (N_{spt}) ao longo do fuste (NL), independente do tipo de solo ao redor da estaca, respeitando-se apenas valores no intervalo $3 \leq NL \leq 25$. Com a modernização e surgimento de novas técnicas de execução de estacas, Decourt (1982) estende o limite superior daquele intervalo de NL para 50, ou seja, $3 \leq NL \leq 50$. Importante citar que os valores N_{spt} na ponta da estaca não são considerados para o cálculo do NL (CINTRA e AOKI, 2010).

A parcela unitária de atrito da estaca, r_L , é expressa na Equação 3.

$$r_L = 10 \left(\frac{NL}{3} + 1 \right) \quad (3)$$

A parcela de capacidade de carga unitária na ponta da estaca (r_p), é expressa na Equação 4.

$$r_p = CN_p \quad (4)$$

Onde:

NP: é o valor médio do índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca, obtido a partir de três valores: o correspondente ao nível da base, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior;

C: é o coeficiente característico do tipo de solo, originalmente conformado para um conjunto de provas de cargas realizadas em estacas pré-moldadas de concreto. Seus valores são obtidos da Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente característico do solo -C (DÉCOURT E QUARESMA, 1978).

Tipo de Solo	C(kpa)
Argila	120
Silte Argiloso	200
Silte Arenoso	250
Areia	400

De acordo com Schlze (2013), em 1996 Décourt introduziu os coeficientes a (fator de ajuste da parcela de ponta - RP) e b (fator de ajuste da parcela lateral – RL) à equação original, expandindo a formulação da capacidade de carga da estaca como apresentado na Equação 5.

$$R = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p + 1,0 \cdot 10 \cdot \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \cdot U \cdot L \quad (5)$$

Segundo Bezerra (2014), os valores a e b permitem a aplicação do método para estacas escavadas com lama betonítica, escavadas em geral, hélice contínua e raiz, além das estacas injetadas sob altas pressões, com os seus valores apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Fator (a) em função do tipo de estaca e do solo (DECÓURT, 1996).

Tipo de Solo	Escavada em Geral	Escavada (bentonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetadas sobre Altas Pressões
Argila	0,85	0,85	0,3	0,85	1
Solo Intermediário	0,6	0,6	0,3	0,6	1
Areia	0,5	0,5	0,3	0,5	1

Tabela 3. Fator (b) em função do tipo de estaca e do solo (DÉCOURT, 1996).

Tipo de Solo	Escavada em Geral	Escavada (bentonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetadas sobre Altas Pressões
Argila	0,80	0,9	1	1,5	3
Solo Intermediário	0,65	0,75	1	1,5	3
Areia	0,5	0,6	1	1,5	3

3 Estudo de Caso

3.1 Localização da edificação em estudo

As estacas estudadas são parte integrante das fundações de um edifício industrial para produção de biodiesel, situado no DAIA – Distrito Agro Industrial de Anápolis – GO. A Figura 1 mostra a localização da planta industrial de biodiesel.



Figura 1. Localização da planta industrial de biodiesel.

3.2 Características geotécnicas do local da edificação

Na Tabela 4 é apresentado o resultado de um furo de sondagem representativo do local da obra (SP-05), anterior à construção da edificação. A sondagem mostra que o solo é composto basicamente de uma extensa camada de argila arenosa, até a profundidade de 13,0 m e por uma camada inferior de argila siltosa até atingir o impenetrável (-21,00 m). O nível de água não foi encontrado, na data da execução da sondagem, podendo ser classificado como solo não saturado. Os demais furos de sondagem repetem a composição do solo, em uma camada inicial de argila arenosa e uma camada inferior de argila siltosa, sem a constatação de lençol freático.

Tabela 4. Resultado da sondagem a percussão SP 05.

Profundidade (m)	Classificação do Material
-1,00	Argila arenosa, com fragmento de quartzo, raízes,marrom.
-2,00	Argila arenosa, com fragmentos de quartzo,marrom, muito mole.
-3,00	Argila arenosa, com fragmentos de quartzo,marrom, muito mole.
-4,00	Argila arenosa, com fragmentos de quartzo,marrom, mole.
-5,00	Argila arenosa, com fragmentos de quartzo,marrom, muito mole.
-6,00	Argila arenosa, com fragmentos de quartzo,vermelha, mole.
-7,00	Argila arenosa, com pedregulhos e oxido de ferro,vermelho, muito mole.
-8,00	Argila arenosa, com pedregulhos e oxido de ferro,vermelho, mole.
-9,00	Argila arenosa, com fragmentos de quartzo,vermelha, muito mole.
-10,00	Argila arenosa, com pedregulhos e oxido de ferro,vermelho, média.
-11,00	Argila arenosa, com pedregulhos,vermelho, mole.
-12,00	Argila arenosa, com pedregulhos e oxido de ferro,vermelho com veios brancos, média.
-13,00	Argila arenosa,com pedregulhos e oxido de ferro,vermelho e amarelo,rijo.
-14,00	Argila siltosa,com pedregulhos e oxido de ferro,vermelho e amarelo, muito rijo.
-15,00	Argila siltosa,com pedregulhos e oxido de ferro,vermelho e amarelo,rijo.
-16,00	Argila siltosa, com pedregulhos e oxido de ferro,amarela, média..
-17,00	Argila siltosa, com pedregulhos e oxido de ferro,rosa, muito mole.
-18,00	Argila siltosa, com pedregulhos e oxido de ferro,amarela, muito mole.
-19,00	Argila siltosa, com fragmentos de quartzo,amarela e cinza, muito mole.
-20,00	Argila siltosa,com fragmentos de quartzo e oxido de ferro,amarelo e cinza, muito mole.

As fundações foram de estacas escavadas de diâmetro nominal 30 cm e profundidade de 8,00 m, com capacidade nominal de 20,00 tf. A disposição dos grupos de estacas e blocos de fundação é apresentada na Figura 2.

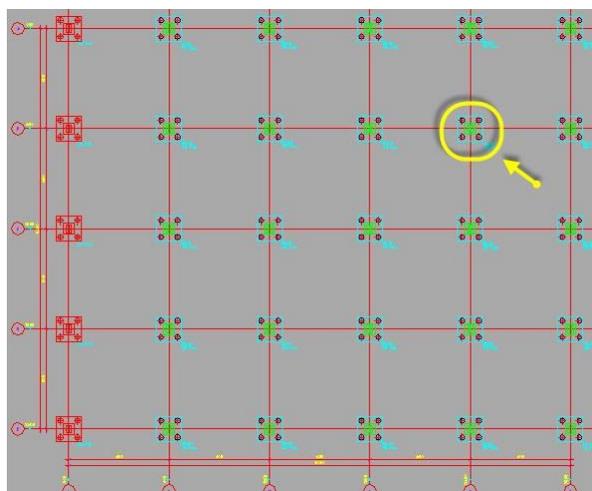


Figura 2. Localização das estacas escavadas e blocos de fundação

O bloco de fundação BL09, como destacado, com carregamento nominal de 40,00 tf, foi o elemento de fundação que sofreu grande recalque, devido ao colapso do solo.

Como se pode inferir dos resultados das sondagens (principalmente SP-05), foram encontradas camadas espessas de solos com mínima capacidade de suporte e muita compressibilidade (argila arenosa, muito mole). Dias antes de se efetivar o colapso, os operadores da planta de biodiesel observaram que as águas residuárias oriundas do processo de fabricação do biodiesel, que escoavam pela uma canaleta central (canaleta em concreto armado revestida com resina sintética) rumo à caixa coletora para tratamento químico, desapareciam através de trincas no fundo da mesma, infiltrando totalmente no solo, próximo ao bloco BL09. A quantidade de águas residuárias infiltrando no solo era cerca de 75,00 m³ por dia de produção (24h). Essas águas residuárias eram provenientes do processo de transesterificação de óleos vegetais, via catálise ácida, com utilização de ácido sulfúrico como catalisador, para produção de biodiesel.

Com aparecimento de trincas e como início de recalque no bloco BL09, foi efetuada nova sondagem SPT, a cerca de 1,50 m do bloco de fundação, para verificação do solo, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Sondagem do subsolo próximo ao BL09. Sondagem SP-01.

Profundidade (m)	Classificação do Material
-1,00	Argila arenosa, marrom.
-2,00	Argila arenosa, muito mole, marrom.
-3,00	Argila arenosa, muito mole, marrom.
-4,00	Argila arenosa, muito mole, marrom.
-5,00	Argila arenosa, muito mole, vermelha.
-6,00	Argila arenosa, muito mole, vermelha.
-7,00	Argila arenosa, mole, vermelha.
-8,00	Argila arenosa, muito mole, vermelha.
-9,00	Argila arenosa, média, vermelha.
-10,00	Argila arenosa, mole, vermelha.
-11,00	Argila arenosa, média, vermelha.
-12,00	Argila arenosa, rija, vermelha e amarela.
-13,00	Argila arenosa, muito rija, com pedregulhos diversos.
-14,00	Argila arenosa, rija, com pedregulhos diversos.
-15,00	Argila arenosa, média, com pedregulhos diversos.
-16,00	Argila arenosa, muito mole, vermelha clara.
-17,00	
-18,00	Solo instável, em processo de adensamento.
-19,00	
-20,00	

A saturação do solo pelas águas residuárias ácidas (nível d'água - 0,70m), iniciou o processo de colapso do solo, o qual adensou mais de 30 cm, próximo ao bloco BL09, provocando inicialmente trincas no piso de concreto da planta industrial e após 48 horas da constatação dos problemas de adensamento, verificou-se o afundamento do piso (Figura 3), que acompanhou o adensamento do solo.



Figura 3. Afundamento do piso provocado pelo colapso do solo.

4 Carga de ruptura das estacas do bloco BL09

A partir do perfil de sondagem SP-05 e o carregamento nominal do bloco BL09, a capacidade de carga de ruptura foi verificada, nas condições do solo não saturado (antes do colapso) e de solo com elevado grau de saturação ou inundado (após o colapso), utilizando o método de Décourt e Quaresma (1978). A Tabela 6 apresenta a planilha de cálculo para tais previsões, verificando, na condição não saturada $Q_{rup} = 11,50$ tf, onde resulta que a capacidade de carga para o bloco BL09, é de 46,0 tf. Já a Tabela 7, apresenta-se tais previsões para a condição de inundação (após o colapso), no qual verificou-se $Q_{rup} = 8,2$ tf, resultando em 32,8 tf de capacidade do bloco, demonstrando uma redução de 28,6%.

Tabela 6. Planilha de cálculo de capacidade de carga de estaca – solo não saturado – SP05.

Prof (m)	SPT	N_p ($N_{i-1}+N_i+N_{i+1}$)/3	K (tf/m ²)	qt (tf/m ²)	α	β	Qp (tf)	Qa (tf)	Σq_a (tf)	Qrup (tf)	Qadm (tf)	Pmax = 1,25*QI
1	2	2	12	1,67	0,6	0,65	1,02	1,02	1,02	1,03	1,02	1,3
2	2	2,33	12	1,78	0,6	0,65	1,19	1,09	2,11	3,3	1,65	2,6
3	3	2,33	12	1,78	0,6	0,65	1,19	1,09	3,2	4,39	2,19	4
4	2	3	12	2	0,6	0,65	1,53	1,23	4,42	5,95	2,98	5,5
5	4	2,67	12	1,89	0,6	0,65	1,36	1,16	5,58	6,94	3,47	7
6	2	3	12	2	0,6	0,65	1,53	1,23	6,81	8,33	4,17	8,5
7	3	2,33	12	1,78	0,6	0,65	1,19	1,09	7,9	9,08	4,54	9,9
8	2	3,33	12	2,11	0,6	0,65	1,7	1,29	9,19	10,9	5,44	11,5
9	5	3,33	12	2,11	0,6	0,65	1,7	1,29	10,5	12,2	6,09	13,1
10	3	5	12	2,67	0,6	0,65	2,54	1,63	12,1	14,7	7,33	15,1
11	7	8,33	12	3,78	0,6	0,65	4,24	2,31	14,4	18,7	9,34	18
12	15	13,67	12	5,56	0,6	0,65	6,96	3,4	17,8	24,8	12,4	22,3
13	19	15	12	6	0,6	0,65	7,63	3,68	21,5	29,1	14,6	26,9
14	11	12	12	5	0,6	0,65	6,11	3,06	24,6	30,7	15,3	30,7
15	6	6,33	12	3,11	0,6	0,65	3,22	1,91	26,5	29,7	14,9	33,1
16	2	3,33	12	2,11	0,6	0,65	1,7	1,29	27,8	29,5	14,7	34,7
17	2	2	12	1,67	0,5	0,65	0,85	1,02	28,8	29,6	14,8	36
18	2	2	12	1,67	0,5	0,65	0,85	1,02	29,8	30,7	15,3	37,3
19	2	1,33	12	1,44	0,5	0,65	0,57	0,88	30,7	31,3	15,6	38,4

Tabela 7. Planilha de cálculo de capacidade de carga de estaca escavada de acordo com a sondagem SP01.

Prof (m)	SPT	N_p ($N_{i-1}+N_i+N_{i+1}$)/3	K (tf/m ²)	qt (tf/m ²)	α	β	Qp (tf)	Qa (tf)	Σq_a (tf)	Qrup (tf)	Qadm (tf)	Pmax = 1,25*QI
1	0	0	12	1	0,6	0,65	0	0,61	0,61	0,01	0,31	0,8
2	0	0	12	1	0,6	0,65	0	0,61	1,23	1,23	0,61	1,5
3	0	0	12	1	0,6	0,65	0	0,61	1,84	1,84	0,92	2,3
4	0	0	12	1	0,6	0,65	0	0,61	2,45	2,45	1,23	3,1
5	0	0,67	12	1,22	0,6	0,65	0,34	0,75	3,2	3,54	1,77	4
6	2	1,67	12	1,56	0,6	0,65	0,85	0,95	4,15	5	2,5	5,2
7	3	2,33	12	1,78	0,6	0,65	1,19	1,09	5,24	6,43	3,21	6,6
8	2	3,33	12	2,11	0,6	0,65	1,7	1,29	6,53	8,23	4,12	8,2
9	5	3,33	12	2,11	0,6	0,65	1,7	1,29	7,83	9,52	4,76	9,8
10	3	5	12	2,67	0,6	0,65	2,54	1,63	9,46	12,0	6	11,8
11	7	8,33	12	3,78	0,6	0,65	4,24	2,31	11,8	16	8	14,7
12	15	13,67	12	5,56	0,6	0,65	6,96	3,4	15,2	22,1	11	19
13	19	15	12	6	0,6	0,65	7,63	3,68	18,9	26,5	13,2	23,6
14	11	12	12	5	0,6	0,65	6,11	3,06	21,9	28	14	27,4
15	6	6,33	12	3,11	0,6	0,65	3,22	1,91	23,8	27	13,5	29,8
16	2	2,67	12	1,89	0,6	0,65	1,36	1,16	25	26,3	13,2	31,2

Guimarães *et. al* (2004), constatou, em sua pesquisa realizada em solos de Brasília, uma variação na capacidade de carga de até 33% em estacas escavadas mecanicamente, após a inundação do solo não saturado. A capacidade de carga de ruptura com solo saturado de 32,8 tf é menor que a carga de trabalho de 40,0 tf aplicada ao bloco BL09, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8. Capacidade de cargas das estacas do bloco BL09

	Sondagem	Capacidade Unitária (tf)	Capacidade do Bloco (tf)	Segurança Adicional	Redução de Capacidade (%)
Projeto	-	10,0	40,0	-	-
Antes Colapso	SP05	11,5	46,0	1,15	-
Durante Colapso	SP01	8,20	32,8	0,82	28,6

De acordo com Cintra (1998), esses grupos, após a inundação do solo, podem sofrer redução da capacidade de carga variando de 25 a 42%. Os resultados do cálculo de capacidade de carga nas estacas escavadas do bloco BL09 não levaram em consideração do efeito de grupo de estacas.

5 Considerações Finais

O colapso da fundação de edifício industrial de produção de biodiesel foi induzido pela inundação de águas residuárias provenientes do processo industrial em solo colapsível. Com base nas sondagens à percussão (SPT) e no método Décourt e Quaresma (1996), observou-se redução de 28,6% na capacidade de cargas das estacas, após a inundação do solo. Não foi considerado o efeito de grupo de estacas no valor de redução de capacidade de carga.

Com relação à fundação com estacas em solos colapsíveis, este trabalho mostra a importância em majorar o carregamento, com fator de segurança adicional, resultando em maiores comprimentos de estaca, embutindo parte significativa do fuste da estaca em estrato não colapsível. Para uma estimativa, considerando a condição de solo inundado, com apenas 2,00 m de aumento no comprimento das estacas, a capacidade de carga das estacas seria de 11,8 tf e para solo não saturado seria de 15,1 tf, suficiente para não colapsar e representando coeficiente de segurança adicional de 1,51 sobre o carregamento de projeto. Acredita-se que as características das águas residuárias (temperatura = 50° C e pH = 4,24) podem ter contribuído para acelerar o processo de adensamento, na região de solo inundado.

Agradecimentos

Agradece-se a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela bolsa do autor 3.

Referências

- Anjos, G. J. M.(2006) Estudo do comportamento de fundações escavadas em solos tropicais. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília.
- Aoki, N. e Velloso, D. A.(1975) An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering. Vol. 1. Buenos Aires.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas(2010)NBR 6122 – Projeto e execução de fundações,Rio de Janeiro.
- Bezerra, J. E.(2014) Aplicações de técnicas geoestatísticas no processo de otimização de projetos de fundações estaqueadas. Tese (Doutorado em geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília.
- Cardoso Junior, C. R.(2006) Estudo do comportamento de um solo residual de gnaiss não saturado para avaliar a influência da infiltração na estabilidade de taludes Dissertação (Mestrado em engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Cintra, J. C. A.(1998) Fundações em Solos Colapsíveis. São Carlos: EESC/USP.
- Cintra, J. C. A.; Aoki, N.(2010) Fundações por estacas. Projeto geotécnico. Editora Oficina de Textos, São Paulo.
- Cintra, J. C. A, AOKI, N.(2009) Projeto de Fundações em Solos Colapsíveis. São Carlos: EESC/USP.
- Decourt, L. (1982) Prediction of the bearing capacity of piles based exclusively on values of the SPT. In: 2nd europ. symp. on penetration test, Amsterdam, v.1, p. 29-34.
- Décourt, L. e Quaresma, A. R.(1996) Análise e Projeto de Fundações Profundas. Em Hachich, W., Falconi, F., Saes, J.L., Frota, R.C.Q., Carvalho, C.S., Niyama, S. Fundações: Teoria e Prática. Editora PINI, São Paulo.
- Décourt, L. e Quaresma, A. R.(1978) Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. Em 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Rio de Janeiro. Anais..., Rio de Janeiro, v.1.
- Ferreira, S. R. (2010) - Prospecção e Caracterização geotécnica. Volumetric behavior some expansive soils of the state of Pernambuco-Brazil, Minho: Conferencias Nacionais de geotecnia, pp. 1-10.
- Ferreira, R. C et al.(1989) Some aspects on the behavior of Brazilian collapsible soils. International Conference On Soil Mechanics And Foundation Engineering, 12 Rio de Janeiro.
- Futai, M. M.(1997) Análise de ensaios edométricos com sucção controlada em solos colapsíveis. Dissertação (Mestrado em ciências em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Gomes, R. J.(2006) Estudo geotécnico de um solo superficial da cidade de Bragança Paulista – SP. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- Guimarães, R. C. et al.(2000) Utilização do ensaio SPT-T na modelagem constitutiva do solo poroso de Anápolis-GO. BIC. Seminário Brasileiro de Investigação de Campo (SEFE IV), ABEF/ABMS, São Paulo.
- Gutierrez, N. H. M. et al.(2004) Condicionantes estruturais do colapso de um solo argiloso oriundo de basalto no norte do Paraná. 5º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, São Carlos.
- Lessa, M. A. De S.(2005) Influência de índices pluviométricos na umidade de solos tropicais como indicador da sucção aplicado à fundações. Dissertação (Mestrado em geotécnica) – Universidade de Brasília, Brasília.
- Lôbo Neto, J. B.(2013) Um estudo experimental e numérico de solos compactados colapsíveis: aplicação em uma pequena barragem de terra. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Ceará, Ceará.
- Medero, G. M.(2005) Comportamento de um solo colapsível artificialmente cimentado. Tese (Doutorado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- Nienov, F. A.(2006) Comportamento à compressão de estacas escavadas de pequeno diâmetro em solos sedimentar na região de Santa Maria. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Maria – Rio Grande Do Sul.
- Rodrigues, R. A.(2007) Modelação das deformações por colapso devidas à ascensão de lençol freático. Tese (Doutorado em geotécnica) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Paulo.
- Souza Neto, J. B.(2004) Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (colapso). Tese (Doutorado em engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Schulze, T.(2013) Análise da capacidade de carga de estaca escavada instrumentada de pequeno diâmetro por meio de métodos semi-empíricos. Dissertação (Mestrado engenharia civil) -Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.