

Estudo de um solo colapsível no município do Crato-CE

José Igor Dias Rolim

Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, igor_rolim@yahoo.com.br

Ana Patrícia Nunes Bandeira

Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte - CE, Brasil, ana.bandeira@ufca.edu.br

RESUMO: Solos não saturados podem apresentar elevada resistência a compressão quando secos, mas quando umedecidos podem apresentar comportamento colapsível. O presente trabalho tem por objetivo apresentar resultados de um estudo do potencial de colapso de um solo do município do Crato, Região Metropolitana do Cariri, interior do Ceará. Para isto foram realizados ensaios básicos de caracterização geotécnica, ensaios de resistência ao cisalhamento e ensaios edométricos simples e duplos. Através de ensaios de granulometria verificou-se que o solo é predominante argiloso, com índice de plasticidade de 11%, sendo classificado como argila de baixa plasticidade. O ensaio de resistência ao cisalhamento, realizado em amostra na umidade natural ($w_0=22,3\%$), apresentou ângulo de atrito de $24,2^\circ$ e intercepto de coesão de 96,8 kPa. Os potenciais de colapso obtidos pelos ensaios edométricos simples, nas tensões de 50 e 100 kPa foram, respectivamente, de 3,6% e 10,4%. Os resultados obtidos através do ensaio edométrico duplo demonstraram que o solo é considerado colapsível a partir da tensão de 40 kPa. Com as informações obtidas conclui-se que, qualquer que seja o tipo edificação, mesmo que de pequeno porte, é necessário realizar um tratamento do solo de fundação para apoio de fundação rasas, como, por exemplo, a compactação adequada do solo, ou apoiar a fundação em uma camada mais profunda e resistente.

PALAVRAS-CHAVE: Colapso, Edométrico simples, Edométrico Duplo.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais os estudos sobre solos não saturados tem sido cada vez mais recorrentes em regiões áridas e semi-áridas devido que os conceitos básicos da Mecânica dos Solos não se aplica a este cenário, pois foram formulados para o caso de solos saturados ou secos. Solos não saturados quando submetidos, ou não, a tensões e também a um processo de umedecimento apresentam características próprias, neste contexto inserem-se os solos colapsíveis.

O 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 (JENNINGS; KNIGHT, 1975). Em geral, estes solos são caracterizados por

apresentarem uma estrutura porosa, com elevados índices de vazios e um teor de umidade muito inferior ao necessário para sua completa saturação. Os solos são ainda designados de verdadeiramente colapsíveis quando experimentam o fenômeno de redução de volume por umedecimento sob peso próprio e condicionalmente colapsíveis quando a redução de volume se processa sob a ação de uma sobrecarga adicional (VILAR; FERREIRA, 2015).

O fenômeno do colapso tem-se mostrado como causa de vários danos em obras de engenharia, tais como: canais, aterros, obras de construção civil (fundações), cortes rodoviários e túneis (GUIMARÃES NETO, 1997). Solos não saturados apresentam uma elevada resistência quando secos, podendo suportar obras de pequeno e médio porte, porém quando

umedecidos podem perder bruscamente a resistência, afetando as edificações apoiadas sobre eles. Neste sentido este trabalho tem por objetivo apresentar resultados de um estudo do potencial de colapso de um solo do município do Crato, onde diversas edificações vêm apresentando fissuras em suas estruturas, tendo a finalidade de subsidiar recomendações de fundação às futuras edificações, de forma a não apresentar patologias devido ao comportamento do solo no decorrer do tempo.

2 IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS COLAPSÍVEIS

Em solos colapsíveis o aumento da umidade resulta de uma significativa redução da resistência nos contatos inter-partículas, comumente por redução de sucção, com um rearranjo estrutural e uma nova condição de equilíbrio sob a carga atuante e um novo teor de umidade ou nova sucção; ou seja, ocorre uma retração do solo e com isso uma perda de resistência, fazendo com que haja um surgimento de recalques adicionais não previstos, decorrentes da movimentação do solo, e conseqüentemente o aparecimento de patologias nas edificações assentadas neste tipo de solo.

Os danos causados às obras de engenharia, por consequência do colapso, podem ser bastante significativos. Assim, a identificação prévia da potencialidade de colapso de um solo é a primeira etapa que o projetista deve levar em consideração na elaboração de um projeto de uma fundação em solos colapsíveis (POPESCU, 1986).

A identificação de solos colapsíveis se baseiam em algumas orientações, tais como: critérios “regionais” desenvolvidos para determinadas ocorrências de solos ou regiões, a partir de conceitos empíricos ou de determinados testes rápidos; e os critérios baseados nos limites de consistência ou nas condições de compacidade do solo natural. Outros critérios empregam ensaios edométricos simples e duplos ou ensaios *in situ*, como por exemplo o Expansocolapsômetro (VILAR; FERREIRA. 2015). Decourt; Quaresma Filho

(1994) propôs um critério indireto de identificação, baseado no ensaio de sondagem SPT, complementado com um torque, referido de SPT-T (BANDEIRA *et al.*, 2015).

A partir dos resultados pode-se calcular o potencial de colapso, PC, de acordo com a Equação 1:

$$PC = \left(\frac{\Delta e}{1 + e_0} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde:

PC: potencial de colapso, em percentual (%);

Δe : variação do índice de vazios devido à inundação sob determinada tensão constante;

e_0 : índice de vazios inicial da amostra.

O processo de avaliação do colapso consiste em definir o potencial e classificá-lo. Abelev (1948) classifica como solos colapsíveis aqueles que apresentem valores superiores a 2%. Vargas (1978) utiliza o mesmo critério de Abelev (1948), com a diferença de não ter restrições à tensão de inundação. Jennings; Knight (1975) indicam a gravidade dos problemas nas edificações e a classificação de Lutenegeger; Saber (1988) indicam o grau de severidade ao colapso (VILAR; FERREIRA. 2015). As Tabelas 1 e 2 apresentam as classes desses dois últimos conjuntos de pesquisadores.

Tabela 1. Classificação da colapsibilidade em obras de engenharia, segundo Jennings; Knight (1975).

PC (%)	Gravidade dos problemas
0 a 1	Sem problema
1 a 5	Problema moderado
5 a 10	Problemático
10 a 20	Problema grave
>20	Problema muito grave

Tabela 2. Classificação da colapsibilidade em obras de engenharia, segundo Lutenegeger; Saber (1988).

PC (%)	Gravidade do problema
2	Leve
6	Moderado
10	Grave

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho trata-se do

Bairro Parque Granjeiro, localizado no município do Crato, pertencente à Região Metropolitana do Cariri, interior do Ceará (Figura 1). Esta Região surgiu a partir da conurbação dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha. No ano de 2009 foram incluídas na RM-Cariri as cidades limítrofes: Caririaçu, Farias Brito, Jardim, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri. Dos municípios pertencentes à Região Metropolitana o Crato é o maior deles, com área de 1.176,467 km² e uma população de 121.428 habitantes

(IBGE, Censo Demográfico de 2010).

A escolha da área piloto para realização desse estudo se deu devido aos indícios de solos problemáticos, ao se constatar o surgimento de fissuras e rachaduras em algumas edificações na região, além de ser uma área que vem apresentando crescimento acentuado de unidades habitacionais nos últimos cinco anos. O trabalho de Bandeira; Silva (2015) apresenta resultados de um estudo de potencial de colapso realizado na mesma região.

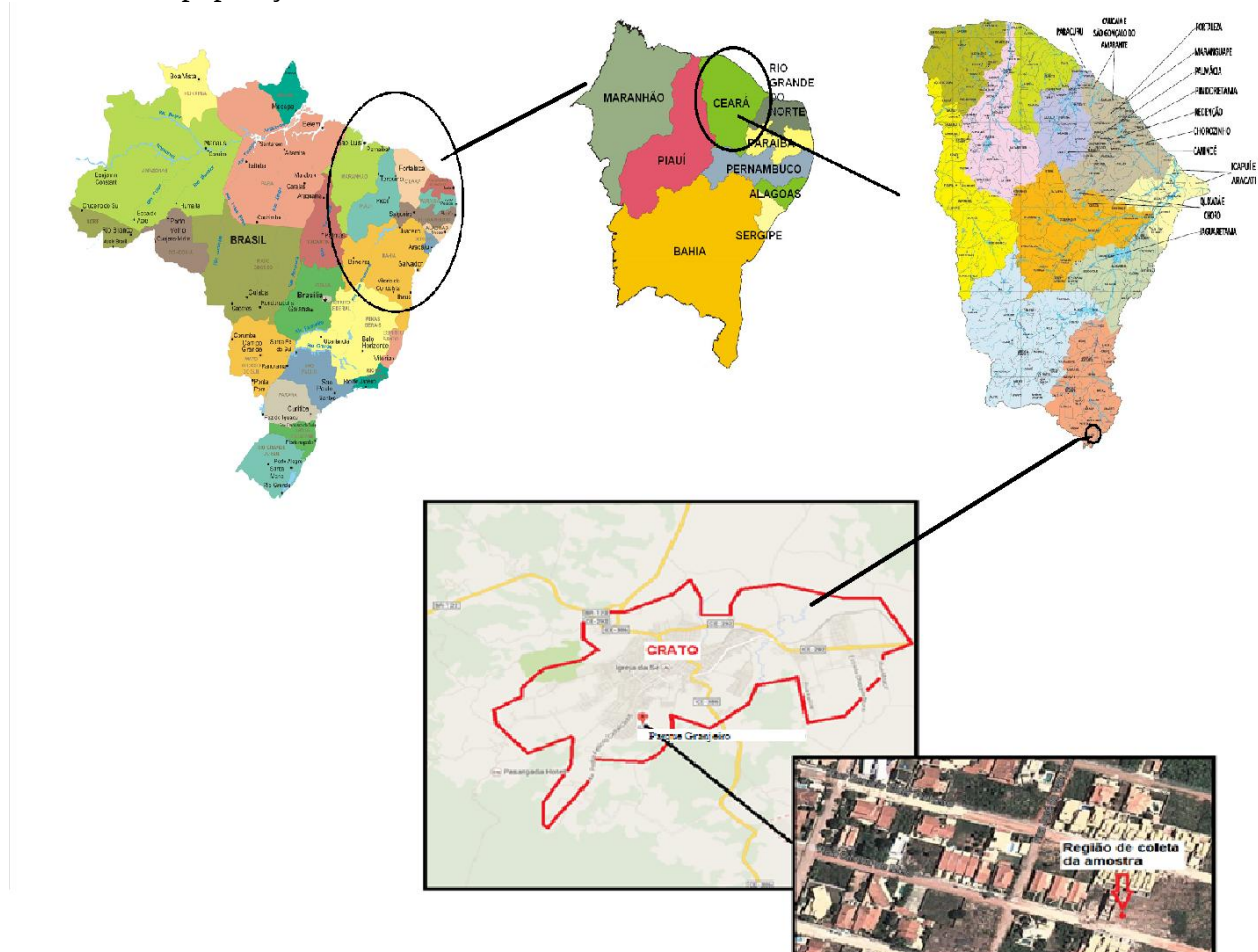


Figura 1. Localização da área de estudo.

4 MÉTODOS UTILIZADOS

Para a realização do estudo geotécnico foi feita uma investigação de campo e laboratório. Através da investigação de campo foram retiradas amostras indeformadas e deformadas de solo, em acordo com a NBR9604. A coleta das amostras foi realizada a uma profundidade

de 1,0 m, sendo representativa dos apoios das fundações superficiais utilizadas na Região. Realizou-se ensaios básicos de caracterização do solo: granulometria (NBR 7181/1984) por peneiramento e sedimentação; densidade das partículas/massa específica (NBR 6508/1984b); Limites de Liquidez (NBR 6459/1984c) e Limite de Plasticidade (NBR 7180/1984d).

Também foram realizados ensaios edométricos simples com amostras inundadas sob tensões de 50 e 100 kPa e ensaios edométricos duplo, nesses ensaios foram seguidas as recomendações de Ferreira (1995) e Souza Neto (2004). Também foram realizados ensaios de cisalhamento direto para a obtenção dos parâmetros de resistência, seguindo a metodologia apresentada pela ASTM D3080 (ASTM, 2004) e as recomendações de Head (1994).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através de ensaios de granulometria, Figura 2, verificou-se que o solo tem fração predominante de argila. Os ensaios de sedimentação foram realizados com e sem defloculante, no ensaio com defloculante o percentual de silte foi de 12% e o de argila 57%, já no ensaio sem defloculante as frações de silte e argila apresentaram 65% e 5%.

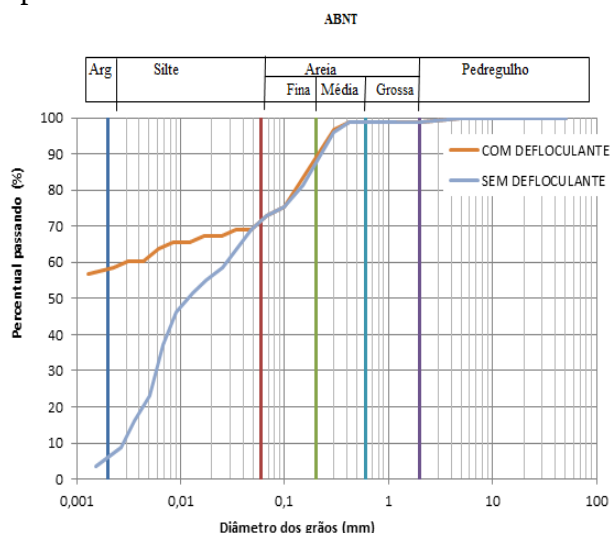


Figura 2. Curva Granulométrica do Solo

A variação da fração de argila obtida pelos ensaios de sedimentação com e sem defloculante, revela que na natureza essa parcela de solo fino se apresenta em forma de grumos com diâmetros superiores a sua classe se comportando como solo de textura granular (areia), o que pode influenciar no aumento do potencial de colapso. O Limite de Liquidez do solo foi de 43% e o Índice de Plasticidade de 11%, sendo classificado segundo o Sistema

Unificado (USCS) como argila de baixa plasticidade (CL).

O ensaio de resistência ao cisalhamento foi realizado por meio da prensa de cisalhamento direto, em amostras com umidade natural no valor de 22,3%. Foram então rompidos corpos de provas submetidos as tensões verticais de 50, 150 e 250 kPa. A partir dos resultados dos ensaios foi possível traçar a envoltória de resistência do solo, pela qual forneceu um ângulo de atrito de 24,2° e intercepto de coesão de 96,8 kPa (Figura 3).

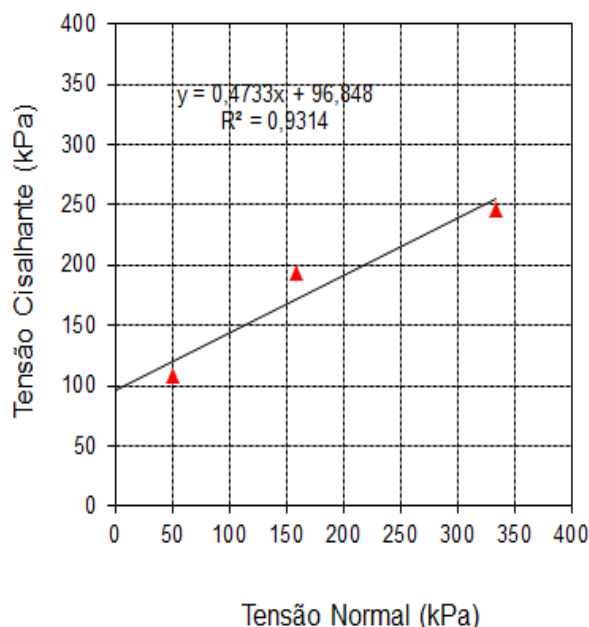


Figura 3. Tensão Normal x Tensão de Cisalhamento.

Com relação aos ensaios edométrico simples, as Figura de 4 e 5 apresentam os resultados. A Figura 4 apresenta a curva tensão vertical x índice de vazios, para a amostra inundada na tensão de 50 kPa, já a Figura 5 apresenta a curva tensão vertical x índice de vazios, para a amostra inundada na tensão de 100 kPa. A amostra que foi inundada na tensão de 50 kPa apresentou um potencial de colapso de 3,6% já a amostra inundada na tensão de 100 kPa apresentou um potencial de colapso de 10,4%. A Figura 6 apresenta os resultados do ensaio edométrico duplo, através da curva de tensão vertical x índice de vazios. Os resultados obtidos através do ensaio edométrico duplo demonstraram que, segundo VARGAS (1978), o solo é considerado colapsível a partir da

tensão de 40 kPa, no qual considera colapsível um solo que apresenta um potencial de colapso superior a 2%. A Tabela 3 expõe os valores dos índices físicos dos corpos de prova nas condições iniciais e finais dos ensaios edométricos simples e duplo.

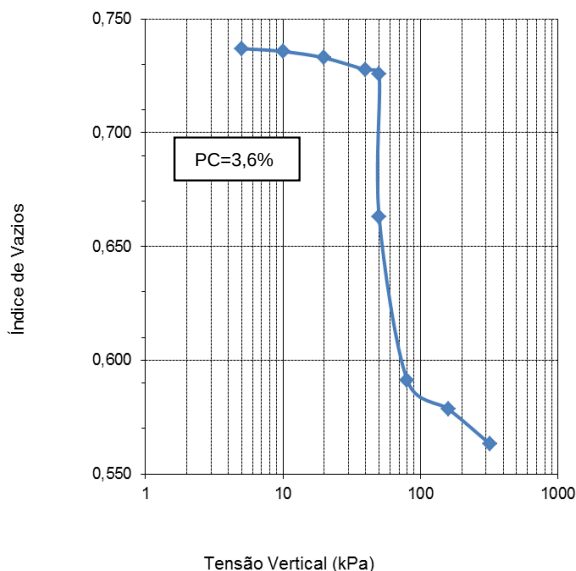


Figura 4. Tensão Vertical x Índice de Vazios (inundação na tensão de 50 kPa).

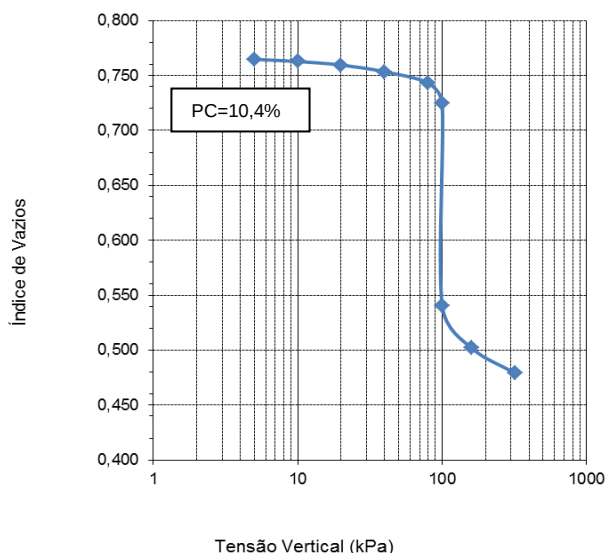


Figura 5. Tensão Vertical x Índice de Vazios (inundação na tensão de 100 kPa).

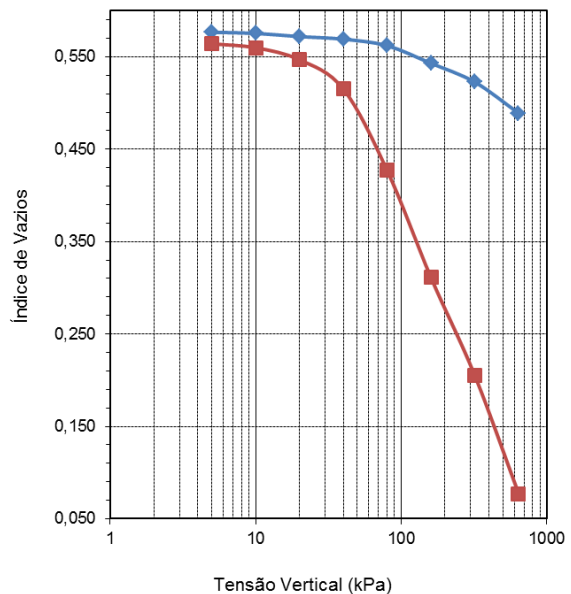


Figura 6. Tensão Vertical x Índice de Vazios (ensaio de colapso duplo).

Tabela 3. Índices Físicos dos Corpos de Provas

	Edométrico Simples		Edométrico Duplo	
	50 kPa	100 kPa	Seco	Inundado
$\sigma_{\text{inundação}}$	50 kPa	100 kPa	Seco	Inundado
W_0 (%)	22,27	20,47	22,27	19,05
W_f (%)	30,71	32,62	16,89	34,11
e_0	0,74	0,77	0,58	0,57
e_f	0,52	0,48	0,489	0,077
S_0 (%)	69,85	67,30	67,48	68,98
S_f (%)	97,03	91,37	94,16	98,12

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos e segundo a classificação de Jennings; Knight (1975), o solo em estudo pode se mostrar problemático para obras de engenharia, neste sentido conclui-se que, qualquer que seja o tipo edificação, mesmo que de pequeno porte, é necessário realizar um tratamento do solo de apoio das fundações rasas na localidade, como, por exemplo, uma compactação adequada do solo, visto que a partir de 40 kPa o solo é considerado colapsível. Quando as obras são apoiadas sobre solos colapsíveis, estas podem apresentar rachaduras durante o período chuvoso, neste caso o teor de umidade da camada ativa do solo de fundação é aumentado, alterando o estado de tensão do solo

e provocando o colapso. Os resultados desse estudo pode explicar algumas das patologias encontradas nas edificações da região.

AGRADECIMENTOS

Queremos aqui deixar os nossos agradecimentos ao CNPq por nos dar amparo à esta pesquisa e ao Laboratório de Mecânica dos Solos da UFCA, Campus Juazeiro do Norte, pelo apoio através da infra-estrutura necessária a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- Abelev, Y.M. (1948). The essentials of designing and building on microporous soils. Stroitel'naya Promyshlemast, Moscow
- ABNT. NBR 7181: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984a.'
- ABNT. NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção de solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT NBR 6508: Massa específica dos grãos. Rio de Janeiro, 1984b.
- ABNT NBR 6459: Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984c.
- ABNT NBR 7180: Limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984d.
- American Society For Testing And Materials – ASTM (2004). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, D3080.
- Bandeira, A. P. N.; Souza Neto, J. B.; Melo, C. E (2015). Avaliação do Colapso de Solos Não Saturados para Dimensionamento de Fundações Superficiais. Revista Fundações & Obras Geotécnicas. Ano 5, N° 53.
- Bandeira, A. P. N.; Silva, W. R. S. (2015). Análise do Potencial de Colapso do Solo de Fundação: Estudo de Caso de Obras de Pequeno Porte, no Crato-CE. VIII Simpósio de Solos Não Saturados. 2015.
- Décourt, L. & Quaresma filho, A. R. (1994). Practical Applications of the Standard Penetration Test Complemented by Torque Measurements, SPT-T; Present Stage and Future Trends. XIII ICSMFE, New Delhi, 1: 143 -146.
- Ferreira, S. R. M (1995). Colapso e Expansão de Solos Naturais não Saturados Devido à Inundação. 379 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro.
- Guimarães Neto, J.S.F. (1997). Análise de alguns fatores que influenciam a colapsividade de um solo compactado devido à inundação. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 107 p.
- Head, K.H. (1994). *Manual of soil laboratory testing*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 440 p.
- Jennings, J. E.; Knight, K. (1975). A Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to a Collapse of Grain Structure. In: IV Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Durban, Proceedings...Rotterdam: A. A. Balkema. Vol 1. p. 99-105.
- Lutenegger, A.J. & Saber, R.T (1988). Determination of collapse potential of soils. Geotechnical Testing Journal, ASTM, 11(3): 173-178.
- Popescu, M.E. (1986). A Comparison Between the Behavior of Swelling and of Collapsing Soils. Engineering Geology: Elsevier Science, Amsterdam, v. 23p.145- 163. 1986.
- Souza Neto, J. B. Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (colapso). 2004. Tese – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- Vargas, M. (1978). Introdução a Mecânica dos Solos. McGraw-Hill, São Paulo, 509 p
- Vilar, O. M.; Ferreira, S. R. M. Solos colapsíveis e Expansivos. In: Solos não saturados no contexto geotécnico / José Camapum de Carvalho ... [et.al.] orgs.. – São Paulo : Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015. xxxvi, 759 p