

IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE SOLOS COLAPSÍVEIS EM OBRAS DE DRENAGEM

ANA PATRÍCIA NUNES BANDEIRA¹, AUTOR JOÃO LUCAS BARROS TEMOTEO²

¹ Doutora Engenharia Civil, UFCA - Universidade Federal do Cariri, (88) 35727224, anabandeira@cariri.ufc.br

² Graduação Engenharia Civil, UFCA - Universidade Federal do Cariri, (88) 35727224, jlbt.eng@gmail.com

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O fenômeno do colapso dos solos ocorre quando estes estão sujeitos a um estado de tensão no qual as deformações se apresentam estabilizadas, mas devido à saturação do material surge um aumento súbito de deformação e a diminuição de resistência. A compreensão deste comportamento do solo se faz necessária em virtude das graves consequências relacionadas às deformações pós-construtivas que podem comprometer a estabilidade das estruturas de engenharia. Este trabalho apresenta o estudo de colapso do solo de um trecho crítico de aterro do eixo do Projeto do Cinturão de Águas do Ceará, revelando a importância do estudo do colapso do solo durante a realização de projetos em solos não-saturados, especialmente em obras de infraestrutura de drenagens, já que o colapso do solo se dá sob condições de aumento de umidade do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Solos Não Saturados, Solos de Fundação, Caracterização Geotécnica

IMPORTANCE OF THE STUDY OF COLLAPSIBLE SOIL IN DRAINAGE WORKS

ABSTRACT: The phenomenon of soil collapse occurs when they are subjected to a stress state in which the deformations have stabilized, but due to saturation of soil arises a sudden increase in deformation and decrease resistance. Understanding this behavior of the soil is necessary due to the serious related to post-construction deformation consequences that could jeopardize the stability of engineering structures. This paper presents the study of soil collapse of a critical area of landfill shaft design Belt Waters of Ceará, revealing the importance of studying the soil collapse during the realization of projects in unsaturated soils, especially in works drainage infrastructure, since the collapse of the soil takes place under conditions of increased moisture thereof.

KEYWORDS: Unsaturated soils, Foundation Soils, Geotechnical Characterization

INTRODUÇÃO: A realização de obras em solos não-saturados necessitam de estudos mais aprofundados, pois alguns desses solos sofrem um recalque brusco e de grandes proporções, quando submetidos a um aumento de umidade, ocasionando problemas estruturais nas obras. Tais solos são denominados de colapsíveis sendo um comportamento comum na região do semiárido brasileiro. Segundo VILAR (1979) existem solos colapsíveis que, ao serem inundados, entram em colapso apenas pelo peso próprio da camada; outros, o colapso está associado a uma sobrecarga. Entretanto, mais frequentemente, o colapso ocorre por uma combinação do efeito da sobrecarga e do acréscimo do grau de saturação; neste sentido, o estudo do colapso dos solos de fundação em projetos de canais de irrigação e de infraestrutura de abastecimento de água é extremamente essencial. O fenômeno de colapso deve ser avaliado em projetos de obras que venham a utilizar a camada de solo superficial como assentamento de fundação. O estudo do solo de fundação das estruturas é de grande importância, pois este solo necessita ser estável e capaz de suportar as cargas advindas da própria obra e das sobrecargas. No semiárido nordestino obras de infraestrutura de drenagem estão sendo construídas para suprir a demanda por água. O projeto de Integração do Rio São Francisco e o Projeto Cinturão das Águas da região do Cariri-CE são exemplos de obras para prover a necessidade das regiões mais secas; as quais necessitam de um estudo detalhado do solo. SOUZA NETO et al. (2012) realizaram

estudos de colapsibilidade do solo de um trecho do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), no município de Floresta-PE, e constataram a presença de solos colapsíveis. Este trabalho apresenta e discute resultados de um estudo realizado em laboratório para avaliar a colapsibilidade do solo de um trecho crítico do Projeto do Cinturão de águas do Ceará, localizado na Região do Cariri.

MATERIAL E MÉTODOS: A área objeto de estudo deste trabalho, trata-se do Trecho 1 do Projeto do Cinturão de Águas do Ceará (CAC). Este trecho se estende da tomada d'água, no município de Jati ao término no Rio Cariús em Nova Olinda; constituindo um sistema adutor com 130,83 km de canais de placas de concreto armado; 13,66 km de sifões enterrados ou aéreos; e 5,33 km de túneis, totalizando 149,8 km. O trecho de canais terá uma declividade de 0,00025 m/m para manutenção da carga hidráulica, onde receberá aterros de até 12,30 m de altura. Neste ponto, considerado crítico, foi realizada uma caracterização geotécnica do solo e analisado o seu potencial de colapso, devido à magnitude da carga transferida ao terreno. Uma campanha de investigação geotécnica, iniciada pela coleta de amostras deformada e indeformada foi realizada no trecho. A escolha do local de retirada das amostras de solo foi determinada em função dos resultados dos ensaios de sondagem à percussão, realizados previamente. Neste sentido escolheu-se o ponto denominado Estaca 35+488, cujo solo apresenta N_{SPT} variando de 5 a 8, sendo classificado como areia fina siltosa, nos quatro primeiros metros de profundidade. No campo as coletas das amostras deformadas e indeformadas foram realizadas conforme a NBR 9604. As amostras deformadas foram obtidas a fim de encontrar os índices físicos do solo e a classe granulométrica, e a amostra indeformada com o objetivo de determinar o potencial de colapso. A análise granulométrica seguiu as determinações da NBR 7181, onde foram realizados ensaios de peneiramento e sedimentação com o uso do defloculante hexametáfosfato de sódio. Os índices de consistência foram determinados através de experimentos padronizados pela NBR 6459 e pela NBR 7180. O ensaio de compactação Proctor Normal, realizado no material de aterro consistiu na correlação experimental entre a massa específica aparente seca de um solo, sua umidade e a energia de compactação utilizada, segundo a NBR 07182. Para obtenção do potencial de colapso dos solos podem ser utilizados métodos qualitativos e quantitativos. A avaliação do colapso por métodos quantitativos se dá através de ensaios edométricos simples ou duplos (BANDEIRA et al., 2012). Neste estudo foram realizados ensaios edométricos simples, seguindo as recomendações de FERREIRA (1995) e SOUZA NETO (2004); pelas quais se resumem em carregar o solo, por estágio, até atingir a tensão vertical a ser transmitida pela estrutura. Na tensão de trabalho o corpo de prova é inundado com água destilada e permanecido nesta condição por um período de 24 horas; as deformações decorrentes da inundação são acompanhadas até a sua estabilização para verificação do colapso. Para a amostra em estudo a tensão vertical de trabalho trata-se da tensão que o aterro iria transmitir ao solo de fundação, acrescido das tensões das camadas, sendo obtida pelo produto da densidade do solo pela sua altura. Neste estudo foram realizados dois ensaios edométricos simples, ambos com corpos de prova moldados a partir da mesma amostra indeformada, porém com teores de umidade natural diferentes, com o objetivo de avaliar o potencial de colapso do solo com a umidade inicial da amostra. O primeiro ensaio foi executado em uma amostra com umidade de 11,3%, correspondente ao período chuvoso da região (junho 2013); já o segundo ensaio foi realizado em amostra com umidade inicial de 4,5%, correspondendo à umidade do solo durante a estação seca da região. O método quantitativo, através de ensaios edométricos, utiliza o critério de VARGAS (1978) para identificar o comportamento colapsível dos solos. Neste critério o coeficiente de colapso, representado por (i) , considera que um solo é colapsível quando seu valor for maior que 2%, sendo (i) obtido pela relação entre a variação de altura do corpo-de-prova devido a sua inundação (ΔH) e a altura inicial do corpo-de-prova (H_0). Internacionalmente destaca-se o critério de JENNING & KNIGHT (1975) para o potencial colapso do solo (PC), sendo classificada em cinco categorias: Sem Problema ($0 < PC < 1$); Problema moderado ($1 < PC < 5$); Problemático ($5 < PC < 10$); Problema grave ($10 < PC < 20$); Problema muito grave ($PC > 20$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Figura 1 apresenta a curva granulométrica do solo; observa-se nesta curva uma predominância de areia (75%), com um percentual significativo de argila e silte (23%). Os valores de limites de consistência obtidos foram de 28,0% para o LL e de 15,0 % para LP, obtendo-se um índice de plasticidade (IP) de 13%, correspondendo a um solo medianamente plástico. A partir desses resultados foi possível classificar o solo de fundação, utilizando a metodologia

S.U.C.S., como areia argilosa (SC). O resultado do ensaio de compactação Proctor Normal, realizado no material de aterro, indicou $\gamma_{\text{sec máx}}$ de 1934 kg/m³ e uma $h_{\text{ótima}}$ de 11%; com este resultado verificou-se que o aterro iria transmitir ao solo de fundação uma tensão de 237,9 kpa, que somado a tensão de 28,5 kpa, correspondente às tensões transmitidas pelas camadas de solo natural, na profundidade de análise, obteve-se um valor de 266,4 kpa. Para análise do colapso do solo, a amostra foi inundada na tensão superior mais próxima, ou seja, em 270,0 kpa. As Figuras 2 e 3 apresentam resultados dos ensaios edométricos simples realizados nas amostras com teores de umidades de 11,3% e 4,5% respectivamente. A partir da análise dos gráficos é possível observar que o índice de vazios da amostra mais úmida (Figura 2) reduziu consideravelmente até a tensão de inundação, apresentando curva de declividade acentuada; já a amostra mais seca (Figura 3) não sofreu grandes variações de índice de vazios antes da inundação, indicando uma maior resistência entre as partículas do solo quando este se encontra mais seco; no entanto, quando o solo é inundado o índice de vazios reduz bruscamente. Com relação ao potencial de colapso do solo na tensão de 270 kpa, para a amostra com teor de umidade de 11,3%, obteve-se um valor de 3,5%, sendo classificado como “problema moderado para obras de engenharia”, segundo a proposta de JENNING e KNIGHT (1975); já a amostra com teor de umidade de 4,5%, seu potencial de colapso foi de 5,0% sendo sua colapsibilidade classificada como “problemática para obras de engenharia”. Pela classificação de VARGAS (1978) as duas amostras foram classificadas como “colapsível”.

CONCLUSÕES: Através deste estudo foi possível observar que o potencial de colapso teve um aumento de 43%; passando de 3,5% para 5% segundo a proposta de JENNING e KNIGHT (1975), quando o teor de umidade do solo foi reduzido de 11,3% para 4,5%. A classificação da colapsibilidade passou de “Problema moderado” para “Problemática”. Essa constatação ressalta a influência direta da umidade natural na análise do colapso dos solos. A análise do colapso realizada em amostras com elevados teores de umidade inicial pode conduzir a classificações precipitadas e inexatas quanto à colapsibilidade do material. O reconhecimento do solo colapsível neste trecho do C.A.C. atribui a empresa responsável pelo projeto executivo à avaliação dos resultados e a proposta de uma solução cabível para que o solo de fundação possa oferecer suporte seguro para a carga de aterro neste trecho. A literatura recomenda procedimentos para evitar o colapso dos solos de fundação, dentre eles destacam-se o melhoramento do solo de fundação através de compactação, a impermeabilização da camada colapsível ou até a remoção deste material. Este trabalho revela a importância do estudo do colapso do solo durante a realização de projetos de fundações em solos não-saturados, principalmente em obras de infraestrutura de drenagens.

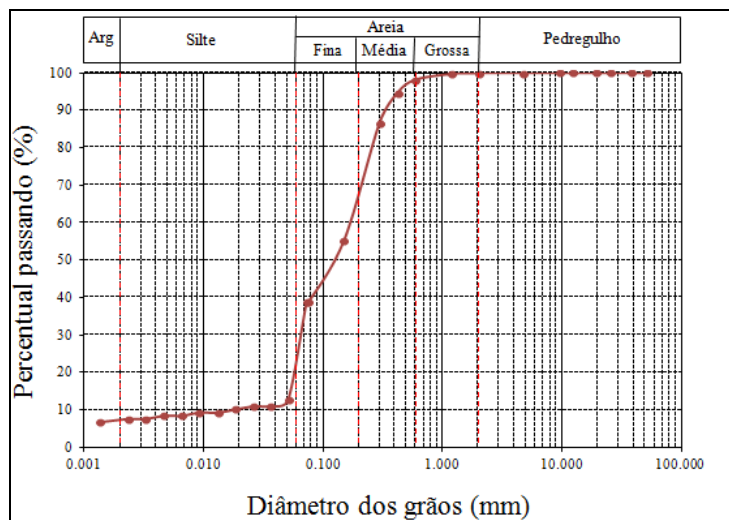


Figura 1 – Curva granulométrica do solo estudado obtida por peneiramento e sedimentação com defloculante.

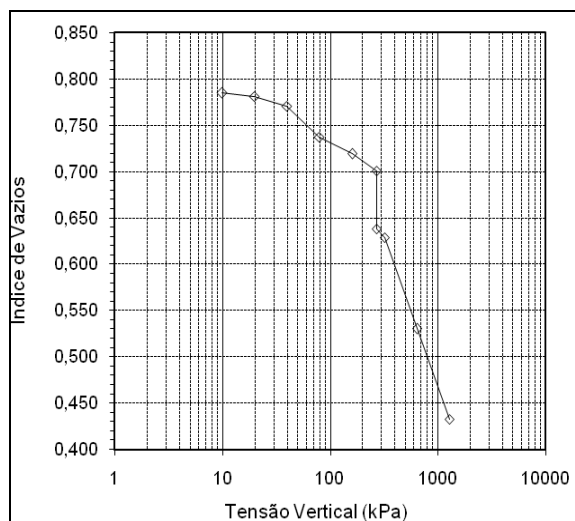


Figura 2 – Gráfico $e_0 \times \sigma_v$ da amostra indeformada no teor de umidade de 11,3%.

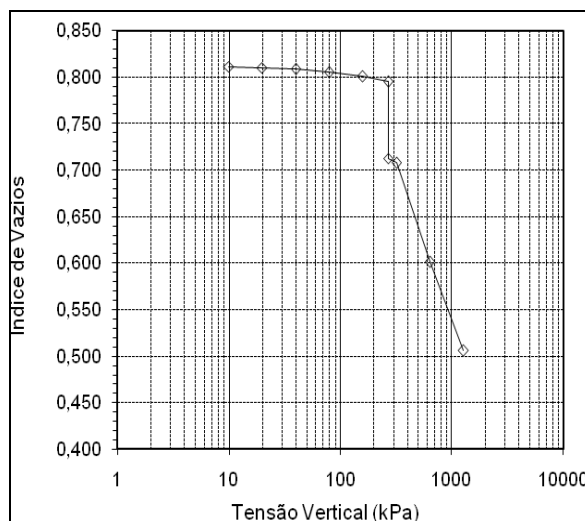


Figura 3 – Gráfico $e_0 \times \sigma_v$ da amostra indeformada no teor de umidade de 4,5%.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aberturas de Poço e Trincheira de Inspeção em Solo, com Abertura de Amostra Deformadas e Indeformadas – Método de ensaio. NBR 9604.** Rio de Janeiro. 1986.
- _____. **Solo – Análise Granulométrica – Método de ensaio. NBR 7181.** Rio de Janeiro. 1984.
- _____. **Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Método de ensaio. NBR 6459.** Rio de Janeiro. 1984.
- _____. **Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Método de ensaio. NBR 7180.** Rio de Janeiro. 1984.
- _____. **Solo – Ensaio de Compactação – Método de ensaio. NBR 7182.** Rio de Janeiro. 1986.
- BANDEIRA, A. P. N.; SOUZA NETO, J. B.; MELO, C. E.; MOREIRA, E. B. . **Caracterização de Solos Colapsíveis no Município de Juazeiro do Norte, interior do Ceará.** XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Porto de Galinhas-PE, 2012.
- FERREIRA, S. R. M. ; VASCONCELOS, R. P. R (1995). **“Colapso e Expansão de Solos Naturais não Saturados Devido à Inundação”.** 1995. 379 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro.
- SOUZA NETO, J. B.; MARTINS, Petrucio Antunes; PEREZ, Eduardo Nina Pinheiro; SANTOS, Marcus Vinícius Furtado (2012). **“Avaliação da Colapsibilidade do Solo de um Trecho do Projeto de Integração do Rio São Francisco por meio de Ensaio de Laboratório e de Campo”.** XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Porto de Galinhas-PE. Setembro de 2012.
- 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).** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/ COPPE, Rio de Janeiro: 2004.
- JENNINGS, J. E. & KNIGHT, K. **“A Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to a Collapse of Grain Structure”.** Proced. IV Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Durban, 1975.
- VILAR, O. M. (1979). **“Estudo da Compressão Unidirecional do Sedimento Moderno (Solo Superficial) da Cidade de São Carlos”.** São Carlo, Dissertação. EESC/USP.