



Identificação da Colapsibilidade de um Solo Localizado no Município de Terra Nova/PE Através de Ensaios de Prova de Carga em Placa

Itala Marine Silva de Oliveira
Engenheira Civil, Angicos, Brasil, italamarine@gmail.com

Arthur Gomes Dantas de Araújo
Professor, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, Brasil,
arthur.araujo@ufersa.edu.br

Avelino Lourenço da Silva Junior
Engenheiro Civil, Geoquality Geotecnia Ltda, Natal, Brasil, avelino_eng@outlook.com

Felipe Araújo Silva Barbosa
Engenheiro Civil, Codevasf, Petrolina, Brasil, felipebarbosa_@hotmail.com

Silvio Romero de Melo Ferreira
Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, sr.mf@hotmail.com

RESUMO: Solos colapsíveis são solos não saturados que sofrem redução de volume ao ocorrer variação de umidade. Por esse motivo, são solos problemáticos que podem comprometer construções realizadas sobre eles. Este trabalho analisa ensaios de provas de carga em placa, com a finalidade de identificar a susceptibilidade ao colapso do solo em uma obra de um parque fotovoltaico. Foram executados cinco ensaios de prova de carga em placa para diferentes condições de saturação do solo: solo com umidade natural, solo com inundação prévia e solo inundados à tensão de 200 kPa, similar ao ensaio oedométrico simples. Desse modo, critérios de identificação de solos colapsíveis foram aplicados, considerando que os ensaios de prova de carga em placa simularam ensaios edométricos simples e duplo. Nos ensaios com inundação do solo à tensão de 200 kPa foram identificados colapsos de até 54,45 mm, que segundo Jennings e Knight (1957;1973) indicam gravidade problemática.

PALAVRAS-CHAVE: Solo colapsível, Prova de carga em placa, Inundação

ABSTRACT: Collapsible soils are unsaturated soils that undergo volume reduction when moisture changes occur. For this reason, they are problematic soils that can compromise constructions carried out on them. This work analyzes tests of plate load tests, with the purpose of identifying the susceptibility to soil collapse in a photovoltaic park. Five plate load tests were carried out for different soil saturation conditions: soil with natural moisture, soil with previous wetting and soil wetted at a stress of 200 kPa, similar to a simple oedometer test. Thus, methods for identifying collapsible soils were applied, considering that the plate load test simulated single and double edometric tests. In tests with soil wetting at a stress of 200 kPa, collapses of up to 54.45 mm were identified, which according to Jennings and Knight (1957;1973) indicate problematic severity.

KEYWORDS: Collapsible soil, Plate load test, Wetting

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





1 Introdução

Obras de Engenharia Civil, de grande ou mesmo de pequeno porte, executadas sem estudo da relação tensão-deformação podem levar a diversos problemas com potencial de comprometer a construção (FERREIRA; MONTEIRO, 2007). Conhecer previamente o comportamento do solo perante a solicitação que a ele será submetida, é fundamental, tendo em vista que existem diversos problemas que solos instáveis podem ocasionar. Um tipo de solo problemático que já foi encontrado em diversos estados brasileiros é o solo colapsível. No estado de Pernambuco, sua presença já foi confirmada em diversos Municípios (FERREIRA; FUCALE, 1999)

Solos colapsíveis são solos não saturados, que apresentam a existência de uma estrutura instável ou porosa e possuem resistência por interconexões, geralmente através de partículas de argila, ou algum agente cimentante (FERREIRA, VILAR; 2023). Nesse meio, em casos de redução de sucção, é constatado redução volumétrica abrupta do solo, mesmo não venha acompanhada de aumento de carregamento externo (ARAÚJO *et al.*, 2018).

Esse tipo de solo está diretamente relacionado a problemas de engenharia, por apresentar instabilidade volumétrica. As consequências da construção sob solos colapsíveis vão desde o surgimento de fissuras e trincas, a ocorrência de ruptura de edifícios (FERREIRA, 1995). Por serem muitos os fatores que provoquem a colapsibilidade, solos que apresentam essa característica merecem especial atenção (FERREIRA; LACERDA, 1993).

Para que os projetos de fundações sejam confiáveis e condizentes com a realidade, é necessário que se realizem investigações no solo. Além da investigação do subsolo, é de extrema importância realizar ensaios para verificação do comportamento da relação tensão-recalque do solo. O ensaio de Prova de Carga em Placa é executado sobre o terreno em que se pretende construir, com a finalidade de obter a curva tensão-recalque e os respectivos parâmetros de deformabilidade e resistência, que proporcionam a estimativa de capacidade de carga do maciço de solo, através de critérios de interpretação de curva (XAVIER, 2018).

Este ensaio possibilita a identificação de solos colapsíveis através da utilização de critérios como Reginatto e Ferrero (1973) e Jennings e Knight (1957;1975). A avaliação de colapsibilidade pode apresentar a susceptibilidade ao colapso que um solo possui, bem como o grau de problemas que o mesmo pode propiciar em uma obra de engenharia.

Este trabalho busca analisar resultados de cinco ensaios de prova de carga em placa realizados em uma usina fotovoltaica do Município de Terra Nova - PE, executados sobre um maciço de solo para diferentes condições de ensaio. Foram realizados ensaios nas condições de solo natural, solo “parcialmente saturado” (inundado para uma tensão ao longo do ensaio) e solo previamente inundado, com a finalidade de verificar a susceptibilidade ao colapso do solo.

2 Metodologia

O local da pesquisa em que foram realizados os ensaios de prova de carga em placa foi em uma obra de usina fotovoltaica, no Município de Terra Nova, localizado no estado de Pernambuco (Figura 1). Foram executadas sondagens de simples reconhecimento SPT de acordo com a NBR 6484/2020. A Figura 2 apresenta o perfil médio típico do local do estudo. O perfil do solo é

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



constituído por camadas de areia fina e média, argilosa, com compactidade variando de medianamente compacta a muito compacta. Não foi identificado o nível freático nos pontos de sondagem. Não foi possível coletar amostras no local para caracterização, impossibilitando a determinação dos parâmetros físicos do solo estudado.



Figura 1. Localização do Município de Terra Nova/PE.

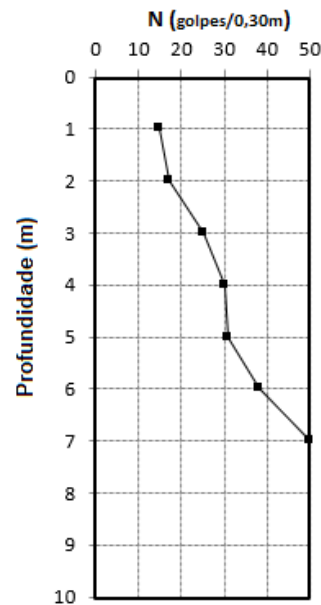


Figura 2. Variação da resistência a penetração Nsp ao longo do perfil.

A Tabela 1 apresenta a condição de saturação em que o solo foi submetido para a realização das provas de carga em placa (PCP). Na condição não saturada, o solo foi ensaiado com sua umidade natural. Já na condição similar ao ensaio oedométrico simples, o ensaio foi iniciado com umidade natural do solo e, ao ser atingida a tensão de trabalho de projeto ($\sigma = 200$ kPa), foi realizada a inundação da cava, seguido da continuidade do incremento de cargas até atingir a tensão máxima prevista. Por fim, na condição saturada, foi realizado o processo de inundação prévia do solo pelo período de 48 horas, antes de iniciar o ensaio.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Tabela 1. Condições de saturação dos ensaios de prova de carga em placa (PCP).

Ensaio	Condição de ensaio	Data
PCP1	Não saturado	05/03/2021
PCP2	Inundado em 200 kPa	06/03/2021
PCP3	Saturado	08/03/2021
PCP4	Inundado em 200 kPa	12/03/2021
PCP5	Inundado em 200 kPa	20/03/2021

Para a realização das provas de carga em placa, utilizou-se placa circular, rígida, de aço, com 25 mm de espessura e 0,5 m de diâmetro. O carregamento foi aplicado com o auxílio de um cilindro hidráulico com capacidade de 500 kN, alimentado por uma bomba manual, e medidas a partir de um manômetro com escala de 0,1 kg/cm². Os ensaios foram executados na cota de assentamento da fundação da obra e, neste nível, o solo foi nivelado para a colocação da placa.

Os deslocamentos (recalque ou colapso) foram medidos com quatro relógios comparadores mecânicos de resolução 0,01 mm e curso de 50 mm, instalados proporcionalmente sob bases magnéticas articuláveis fixadas em vigas de referência rígidas, metálicas, de 3 m, dispostas transversalmente.

O sistema de reação do ensaio foi constituído por uma escavadeira hidráulica com função de fornecer no mínimo 10 toneladas de carga útil aos ensaios, garantindo assim uma carga superior à máxima prevista para o ensaio de prova de carga em placa. A Figura 3 apresenta o detalhe da montagem realizada no ensaio.



Figura 3. Detalhe da montagem da prova de carga em placa.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Os ensaios de prova de carga em placa foram executados com tensão admissível de projeto igual a 200 kPa e forma executados de acordo com as premissas da NBR 6489/2019. No ensaio executado na condição de solo não saturado (PCP1), foi realizado com carregamento tipo rápido, em que foram aplicados estágios de tensão equivalente a 10% da tensão admissível de projeto, no valor de de 20 kPa, até atingir a tensão máxima de ensaio igual a 400 kPa. Em cada estágio a tensão foi mantida pelo período de 10 minutos, independente da estabilização dos deslocamentos. O último estágio de carregamento foi mantido por 120 minutos e, em seguida, foi iniciado o processo de descarregamento.

O ensaio realizado na condição de solo saturado (PCP3), foi realizado também com carregamento do tipo rápido, porém foi executado com inundação prévia antes de iniciar os carregamentos pelo período mínimo de quarenta e oito horas. Para garantir que o solo mantivesse submerso, foi feita uma escavação de aproximadamente cinco centímetros de profundidade e a cava foi mantida preenchida com água ao longo de todo o ensaio.

Já os ensaios realizados na condição similar aos ensaio oedométricos simples (PCP2, PCP4 e PCP5), foram executados com carregamento do tipo lento, em que cada estágio foi aplicado uma tensão equivalente a 20% da tensão admissível de projeto, mantidas até a estabilização dos deslocamentos e no mínimo por 30 minutos. Desse modo, foram aplicadas tensões iguais e sucessivas de 40 kPa até a tensão máxima de ensaio igual a 400 kPa. Na PCP4 a tensão máxima alcançada no ensaio foi igual a 240 kPa. Ao atingir a tensão admissível de projeto ($\sigma = 200$ kPa), foi feito o processo de inundação e foi realizada leituras dos deslocamentos por 240 minutos. Após o último estágio de carregamento foi iniciado os estágio de descarregamento.

3 Resultados e Análises

As Figuras 4 e 5 apresentam as curvas tensão-recalque obtidas através dos ensaios realizados com o solo não saturado (PCP1), saturado (PCP3) e “parcialmente saturado” (PCP2, PCP4 e PCP5). A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados obtidos nos ensaios, indicando a carga máxima atingida, deslocamento máximo, recuperação elástica, recalque residual, e recalque proveniente do colapso obtidos nos ensaios executados na condição “parcialmente saturados”.

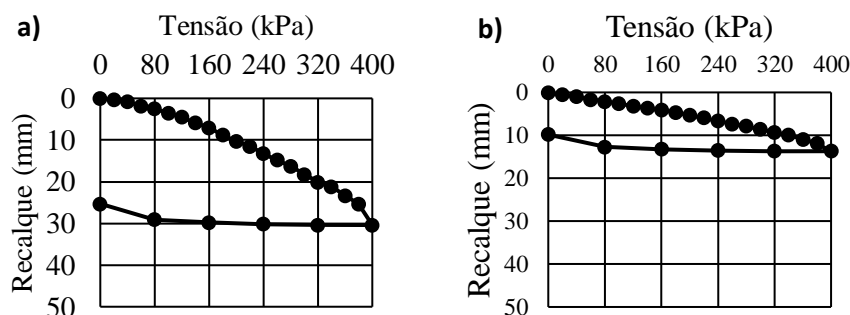


Figura 4. Curvas tensão versus recalque: a) solo não saturado (PCP1); b) solo saturado (PCP3).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



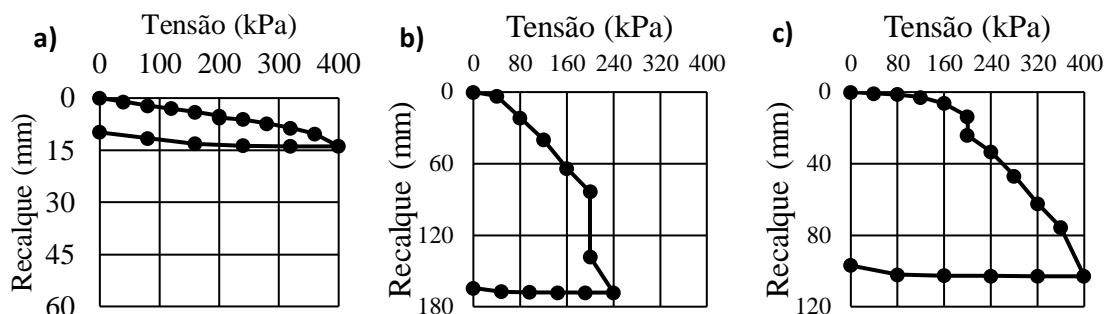


Figura 5. Curvas tensão versus recalque dos ensaios similar ao ensaio oedométrico simples, inundados em 200 kPa: a) PCP2 b) PCP4 c) PCP5.

Tabela 2. Resumo dos resultados dos ensaios

Ensaio	Tensão máxima atingida (kPa)	Recalque máximo+Colapso (mm)	Deslocamentos devido ao Colapso (mm)
PCP1	400	30,39	-
PCP2	400	13,90	0,58
PCP3	400	13,70	-
PCP4	240	168,16	54,45
PCP5	400	103,01	10,49

As provas de carga em placa realizadas em campo simulam ensaios edométricos duplos e simples que são realizados em laboratório. As provas de carga em placa PCP1 e PCP3 possibilitam a identificação de solos colapsíveis utilizando a metodologia de Reginatto e Ferrero (1973), simulando ensaios edométricos duplos. Para as demais provas de carga PCP2, PCP4 e PCP5 a susceptibilidade ao colapso pode ser identificada através da metodologia de Jennings e Knight (1957;1973), através da simulação de um ensaio edométrico simples.

Nos ensaios PCP1 (não saturado) e PCP3 (saturado) são esperados que os recalques obtidos no solo não saturado seja inferior aos recalques obtidos no solo saturado previamente. Porém, a curva tensão-recalque do ensaio PCP1 possibilitou a obtenção de um recalque 2,2 vezes superior ao do ensaio PCP3. Essa inconsistência dos resultados foi investigado e chegou-se à conclusão de que houveram problemas de má execução na preparação do local em que foram realizados os ensaios de placa. Outra possibilidade, é que na PCP3, sob o peso próprio da placa, a inundação já tenha provocado o colapso e durante o carregamento a estrutura do solo já havia colapsado. Esta consideração não foi possível de ser averiguada, pois durante o processo de inundação prévia do ensaio PCP3, os relógios comparados não estavam instalados. Portanto, neste trabalho não foi possível fazer a análise de identificação de colapsibilidade do solo nos ensaios de placa PCP1 e PCP3, os quais simulavam o ensaio edométrico duplo e utilizariam a metodologia de Reginatto e Ferrero (1973).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Desse modo, foi utilizado a metodologia de Jennings e Knight (1957;1973), aplicados nos ensaios PCP2, PCP4 e PCP5, para determinar a susceptibilidade ao colapso do solo local. A Tabela 3 apresenta os resultados de potencialidade de colapso. O potencial de colapso pode ser determinado a partir da divisão entre o colapso pela espessura da camada de solo que contribuiu para o colapso. Esta espessura pode ser determinada pela variação da umidade do solo alterada pela inundação ou pela profundidade abaixo da placa em que a distribuição de tensão é significativa (FERREIRA; LACERDA, 1993). Neste trabalho, esta espessura foi considerada através da relação $Z = 2B$, que representa a profundidade do bulbo de tensões (Z) em função da dimensão da placa (B).

Tabela 3. Potencial de colapso para ensaios inundados a tensão de 200 kPa.

Ensaio	Diâmetro da placa (m)	Espessura da camada, Z (mm)	Colapso, Δh (mm)	Potencial de colapso, PC (%)
PCP2	0,50	1000	0,58	0,1
PCP4	0,50	1000	54,45	5,5
PCP5	0,50	1000	10,49	1,1

De acordo com o critério de Jennings e Knight (1957;1973), que classifica a gravidade dos problemas nas obras de engenharia, o ensaio PCP2 cujo potencial de colapso é igual a 0,1%, indica classificação como “sem problemas”. Já nos ensaios PCP4 (PC = 5,5%) e PCP5 (PC = 1,1%) a classificação indicada é de “problemático” e “problema moderado”, respectivamente.

4 Considerações finais

Para os ensaios PCP2, PCP4 e PCP5, que simularam o ensaio edométrico simples, inundados na tensão admissível de projeto igual a 200 kPa, foram verificados colapsos de 0,58 mm, 54,45 mm e 10,49 mm, respectivamente. De acordo com o potencial de colapso obtido pelo método de Jennings e Knight (1957;1973), foram determinadas gravidades “sem problemas”, “problemático” e “problema moderado”, respectivamente. O colapso registrado pela PCP5 e principalmente na PCP4 poderiam proporcionar consequências significativas em uma obra.

Esses resultados demonstram a heterogeneidade dos solos, visto que em apenas uma obra, foi possível obter três tipos de gravidades de problemas, evidenciando ainda, a necessidade de se ensaiar os solos antes da realização de obras de engenharia, para se conhecer a realidade do mesmo e, assim, evitar problemas futuros. O conhecimento do comportamento do solo em que se constrói se faz necessário, e deve ser realizado através de ensaios que proporcionam a execução de projetos de engenharia mais eficientes e que não comprometam o futuro empreendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, A. G. D., Caldas, G. P., Ferreira, S. R. M., Rolim Neto, C., Silva Neto, A. N. (2018) Identificação de Solos Colapsíveis da Região de São Bento do Norte/RN através de Ensaio

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



de Caracterização e Provas de Carga em Placa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, XIX. Salvador, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. *Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6489. *Solo – Prova de carga estática em fundação direta*. Rio de Janeiro.

Ferreira, S. R. M. (1995) *Colapso e expansão de solos naturais não saturados devidos à inundação*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 379 p.

Ferreira, S. R. M., Fucale, S. P. (1999) Características de variação de volume em solos colapsíveis do estado de Pernambuco. 1999.

Ferreira, S. R. M., Lacerda, W. A. Variação de volume em solo colapsível medidas através de ensaios de campo e de laboratório. REVISTA SOLOS E ROCHAS, v.16, n.4, 1993. p. 245-253.

Ferreira, S. R. M., Monteiro, P. C. L. Colapso devido à inundação em Arenitos da cidade do Recife e do município de Petrolândia-PE. 2007.

Ferreira, S. R. M.; Vilar, O. M. (2023). *Solos Colapsíveis e Expansivos*. In: José Camapum de Carvalho; Gilson de Farias Neves Gitirana Junior; Sandro Lemos Machado Márcia Maria dos Anjos Mascarenha; Francisco Chagas da Silva Filho; Roger Augusto Rodrigues. (Org.). Solos não saturados no contexto geotécnico. 2ed. São Paulo: ABMS, v. 1, p. 559-595. <https://doi.org/10.4322/978-65-992098-3-3.cap17>.

Jennings, J. E., Knight, K. (1975) A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure. In: REGIONAL CONFERENCE FOR AFRICA ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, VI. 1975. p. 99-105.

Jennings, J. E., Knight, K. (1957) The Additional Settlement of Foundations due to a Collapse of Structure of Sand Subsoils on Wetting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, IV. vol. 1, 1957. p. 316- 319.

Reginatto, A. R., Ferrero J. C. (1973) Collapse Potential of Soils and Soil-Water Chemistry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, VIII. vol. 2, Moscou, 1973. p. 177-183.

Xavier, J. M. (2018) *Estudo do comportamento geotécnico de um solo colapsível voltado para fundações superficiais*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 175 p.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

