

# **ANÁLISE COMPARATIVA DE RESULTADOS DE PROVAS DE CARGA EM PLACA EM SOLO COLAPSÍVEL BRASILEIRO EM CONDIÇÕES NATURAL E INUNDADA**

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF PLATE LOAD TEST RESULTS IN BRAZILIAN COLLAPSIBLE SOIL IN NATURAL AND FLOOD CONDITION**

Paula, Daniel Cavalcante de; *Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE, Brasil, danielcavcp@gmail.com*  
Aguiar, Marcos Fábio Porto de; *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br*  
Mendes, Giullia Carolina de Melo; *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, giucmendes@gmail.com*  
Oliveira, Francisco Heber Lacerda de; *Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, heber@det.ufc.br*

### **RESUMO**

O território brasileiro apresenta uma grande diversidade de tipos de solos com os mais variados comportamentos, entre esses os solos colapsíveis, que são aqueles que sofrem uma brusca e acentuada redução de volume, quando submetido a um determinado estado de tensão, com o aumento do teor de umidade até um valor crítico, mesmo sem atingir a saturação completa. Dessa forma, é preciso prever sua capacidade de suporte, através de provas de carga em placa, para que seja feita a escolha correta do tipo de fundação a ser utilizada. O presente trabalho visa prever o comportamento de um solo superficial localizado na cidade de Fortaleza-Ce, no Brasil, nas condições de umidade natural e inundado, submetidos a carregamentos lentos decorrentes de provas de carga sobre placa. Para a realização desta pesquisa, foram feitas coletas de dados de dois ensaios de prova de carga direta e ensaios de sondagens à percussão (SPT). A análise dos dados foi feita através dos gráficos de pressão x deslocamento, resultante dos ensaios de placa, com o intuito de se verificar a discrepância nos resultados obtidos em carregamentos com o solo em condição natural e quando há presença de água. Notou-se, para a mesma tensão de projeto, nesse caso, 200 kPa, significativa diferença de recalques para as variadas condições. Concluiu-se que é importante verificar o comportamento do solo saturado, de forma a evitar que o projetista recomende a utilização indevida de fundação direta, que pode acarretar em recalques excessivos e comprometer a estrutura da edificação.

### **ABSTRACT**

The Brazilian territory presents a great diversity soil types with the most variable behaviors, among them the collapsible soils, the ones that suffer an abrupt and sharp volume reduction when pass by a certain state of tension, increasing the moisture content to a critical value, even without reaching the complete saturation. This way, it is necessary to predict the supporting capacity, through plate load test, for make the right decision about the foundation type that will be used. The present paper aim to predict the behavior of a superficial soil situated in the City of Fortaleza - CE, in Brazil, in conditions of natural content and flooded, submitted by slow loads result of plate load tests. For this research achievement, data collections of two plate load tests and SPT were made. The data analysis was made through the load x settlement graphics, in order to verify the discrepancy in the results from loads with soil in natural condition and in the presence of water. It was noticed for the same project tension, in this case, 200 KPa, a significant settlement difference for the various conditions. It was concluded that it is important to verify the unsaturated soil behavior, in order to avoid that the project planner recommends the wrong superficial foundation, which can cause excessive settlements and compromise the building structure.

### **1 - INTRODUÇÃO**

Do ponto de vista da engenharia, a classificação de um solo é muito importante, para fins de avaliação do seu comportamento quanto às solicitações em que será submetido. Por conta da diversidade existente, é necessário realizar investigações prévias, para a correta classificação e identificação de características mecânicas e, em alguns casos, reconhecimento de sua estrutura, como por exemplo, em casos de solos expansivos e colapsivos. Quando em contato com água, esses solos podem comprovar problemas não desejados, causando patologias nas fundações. Dessa forma, o presente trabalho visa identificar o comportamento de um solo colapsível, localizado na cidade de Fortaleza-CE, Brasil, nas condições de umidade natural e inundado, submetidos a carregamentos lentos decorrentes de provas de carga sobre placa.

## **2 - SOLOS COLAPSÍVEIS**

O entendimento do fenômeno do colapso dos solos é de suma importância para diversos tipos de obras de engenharia, sejam fundações, barragens, entre outros, podendo, inclusive, interferir nas soluções de projetos utilizadas para tais obras. Quando identificado, o colapso do solo natural pode evitar sérios transtornos em muitas obras, tais como: desenvolvimento de trincas e rachaduras nas construções, ruptura de aterros construídos sobre estes materiais, deslizamento de taludes, danos estruturais em pavimentos e desabamento de túneis.

Segundo Vilar et al. (1981), praticamente todo o território brasileiro é propício para o desenvolvimento de estruturas de solo colapsível, pois são comuns nas regiões de clima tropical, devido ao fato de dependerem de fatores climáticos regionais e do ambiente geológico.

Na literatura, algumas definições foram propostas, tais como a de Cintra (1998), no qual os solos colapsíveis são aqueles que sofrem uma brusca e acentuada redução de volume, quando submetidos a um determinado estado de tensões, com o aumento do teor de umidade até um valor crítico, mesmo sem atingir a saturação completa. Já Cintra et al. (2011), definiram como solos não saturados, situados acima do lençol freático, com alto índice de vazios e baixo teor de umidade. Vale salientar também, que, segundo Reginatto e Ferrero (1973), os solos colapsíveis podem ser definidos de duas maneiras: solos verdadeiramente colapsíveis, que quando inundados, colapsam devido à atuação do seu peso próprio; e os solos condicionados ao colapso, cuja ocorrência de colapso está condicionada ao nível de tensão atuante no solo.

Segundo Menezes e Fraga (1994), as principais características e propriedades dos solos colapsíveis são: solos jovens, com estrutura fofa e altamente porosa; matriz granular impregnada por partículas de silte ou argila, com raros contatos grão a grão; não apresentam continuidade na relação tensão-deformação, o que significa uma enorme mudança na estrutura do solo devido a alterações no nível de sobrecargas ou do aumento do grau de saturação. Quando secas, as partículas apresentam forças intergranulares suficientes para se manterem estáveis, sendo desfeitas com o umedecimento.

Gonçalves (2006) ressalta que, o fenômeno de colapso não pode ser confundido com o fenômeno de adensamento, pois, enquanto que no adensamento ocorre a expulsão de água, no colapso ocorre expulsão de ar. Outro fator importante, segundo o mesmo autor, é que a variação de volume ocorre lentamente no adensamento, enquanto que no colapso ocorre em curto espaço de tempo.

### **2.1 - Estrutura dos Solos Colapsíveis**

Para melhor se entender o processo de colapso dos solos, faz-se necessário conhecer a sua estrutura básica. Segundo Rocha e Camapum de Carvalho (1989), a estrutura é altamente determinante para o comportamento e características que os solos colapsíveis exibem. Ou seja, o solo colapsível apresenta uma estrutura capaz de influenciar no comportamento do solo que, embora instável, possui uma rigidez temporária mantida pela pressão de sucção ou cimentação. Toda via, essa resistência pode ser alterada mediante o aumento do teor de umidade, que, ao ultrapassar um determinado limite crítico e simultaneamente carregado, chega ao colapso. Portanto, conclui-se que a estabilidade provisória ou aparente da estrutura deste solo é interrompida quando ocorrem variações de sucção por umedecimento, alterações do equilíbrio eletromagnético das partículas e por alterações no estado de tensões.

Para Dudley (1970), a resistência adicional do solo está ligada diretamente às tensões capilares que atuam no interior do maciço, em que a interface ar-água existente nos vazios do solo produz poropressão. Isto faz com que a estrutura possua uma considerável resistência à deformação e ao cisalhamento.

### **2.2 - Processo de Colapso dos Solos**

Quando algum agente externo é introduzido, geralmente água, tem-se uma diminuição da ação dos mecanismos de suporte, o qual pode originar uma situação de desequilíbrio, fazendo com que os grãos sejam capazes de deslizar (cisalhar) em direção aos espaços vazios, gerando, desta forma, o colapso da estrutura do solo (Dudley, 1970).

Segundo Mathias e Radhakrishna (1968) apud. Mota (2006), para solos em que a ação de tensões capilares e sucção são responsáveis pela sua resistência, o aumento do teor de umidade ocasionado por algum processo de inundação faz com que os meniscos capilares diminuam e, conseqüentemente, ocorra uma diminuição da sucção e da resistência ao cisalhamento do solo não saturado, acarretando em uma grande redução de volume do solo, ou seja, do colapso. Para solos submetidos a estabilidades temporárias de sua estrutura por meio de vínculos de argila, a ocorrência de carregamentos sob a umidade natural ou próxima dela não é o suficiente para grandes deslocamentos entre suas partículas, visto que a resistência dos vínculos de argila é elevada, podendo resistir à compressão. O aumento do teor de umidade do solo ocasiona um enfraquecimento dos vínculos, ou, em alguns casos, a sua dissolução dada pelo espaçamento excessivo dos grãos, levando o solo ao colapso.

De acordo com Jennings e Knight (1957), qualquer redução de volume seria oriunda da compressão dos finos entre os grãos maiores. Entretanto, se o solo recebe carga e ganha uma determinada umidade, os vínculos podem não resistir às forças de deformação e a estrutura colapsa. Dudley (1970) sugere que a resistência à deformação em estruturas mantidas por vínculos de argila é função, além da concentração de sais, da temperatura e do índice de vazios da estrutura floclada.

Para solos com vínculos de partículas com arranjo floclado, há uma diminuição das tensões capilares com o aumento do teor de umidade, reduzindo a concentração iônica do fluido e a coesão mantida pelos vínculos, devido ao surgimento de forças repulsivas, acarretando na queda da resistência ao cisalhamento, e até mesmo na dissolução das agregações, ocasionando o colapso do solo.

### 3 - PROVA DE CARGA EM SOLO

A prova de carga em solo ou ensaio de placa é um ensaio estático de campo, realizado na superfície ou em uma determinada profundidade, cuja finalidade é correlacionar cargas aplicadas ao terreno de fundação direta e os recalques do solo ocasionados por essas cargas. Segundo Aguiar *et al.* (2014), o ensaio de prova de carga em placa é um método experimental para determinação de parâmetros do comportamento tensão x deslocamento de solos devido as solicitações.

O ensaio de placa, descrito pela ABNT (1984), consiste na instalação de uma placa rígida com área não inferior a 0,5 m<sup>2</sup>, equivalente ao diâmetro de 80 cm, instalada sobre o solo natural na mesma cota prevista no projeto das fundações superficiais. Aplicam-se cargas verticalmente no centro da placa, através de macacos hidráulicos, que são acoplados a um sistema de reação que pode ser de diversos tipos como, por exemplo: caixões de areia (Figura 1a), plataformas carregadas (Figura 1b), estruturas ou vigas ancoradas no terreno (Figura 1c), entre outros, de modo a não produzir choques ou trepidações, em estágios, e medem-se os deslocamentos verticais simultaneamente com os incrementos de carga. Os resultados são apresentados em gráficos de pressão x recalque.

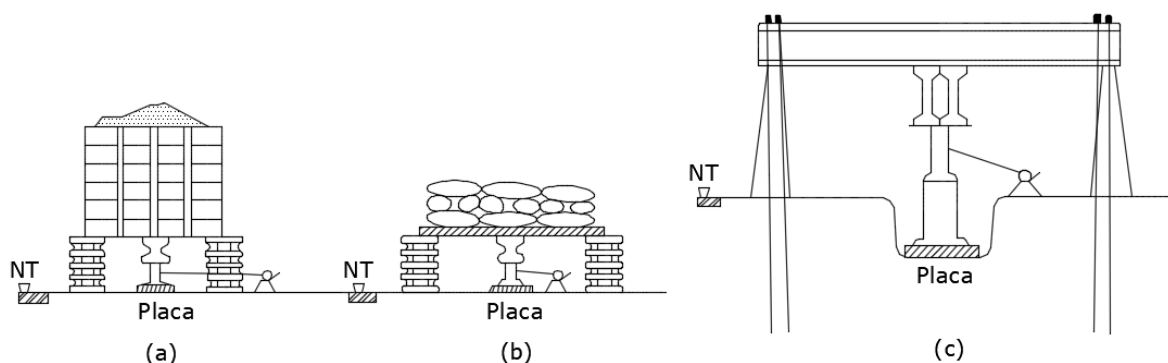


Figura 1 – Tipos de sistemas de reação (Fonte: Barata, 1984)

De acordo com Cintra (1998), o ensaio de placa só é aplicável para solos razoavelmente uniformes em profundidade, pois em caso de existência de camadas compressíveis mais profundas que não sejam solicitadas pela placa, mas que sejam solicitadas pela fundação, essa prova de carga não terá validade, visto que os bulbos de pressões serão diferentes, a não ser que se aumente o tamanho da placa para que englobe a camada compressível, conforme ilustra a Figura 2.

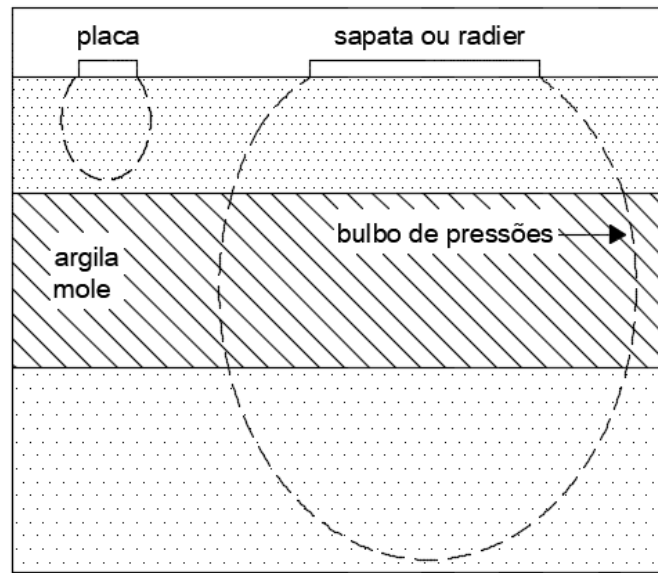


Figura 2 – Diferença de bulbos de pressão (Fonte: Vellos e Lopes, 1984)

É importante ponderar a influência da umidade do solo na camada suporte da fundação. Para isso, são realizadas provas de carga com e sem inundação. Entretanto, existem diferenças entre o procedimento de inundação e sua relação com a prova de carga. O procedimento de inundação do solo para a prova de carga tem grande valor na dimensão dos resultados da curva pressão-recalque. Em geral, os métodos mais utilizados são: inundação através de uma cava em torno do topo da estaca ou sapata; inundação através de furos verticais próximos às fundações. Outro detalhe que deve ser levado em consideração é o tempo de inundação, pois quanto maior a fundação, mais tempo será necessário para inundar toda a área adjacente, ou seja, maior será o volume e a profundidade dos solos que serão atingidos pela variação do grau de saturação (Camapum de Carvalho et al., 2015).

#### 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Segue a apresentação das principais informações da pesquisa, dados para o estudo e resultados com interpretação e análise.

##### 4.1 - Local de Estudo

O estudo foi realizado no bairro Maraponga, na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil, cuja localização é apresentada na Figura 3.

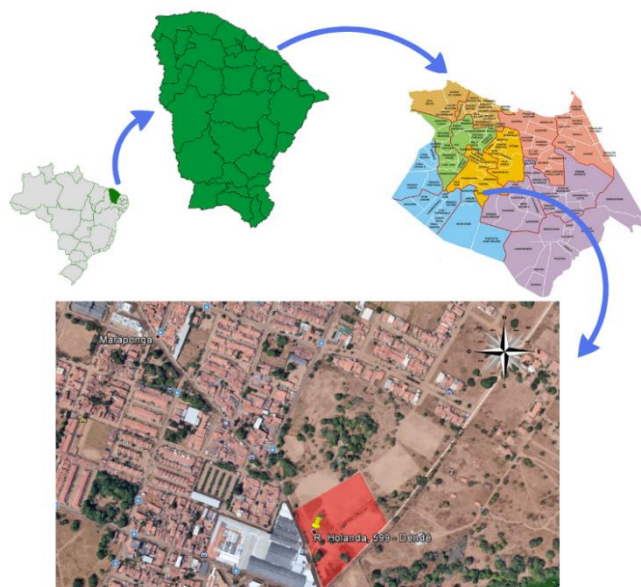


Figura 3 – Localização dos ensaios de campo (Fonte: Elaborado pelo autor)

Foram realizadas quatro sondagens à percussão SPT, nas condições inundada e não inundada, bem como dois ensaios de placa, também nas condições inundada e não inundada. A localização dos furos de sondagem e dos pontos de ensaio de placa são apresentados na Figura 4.

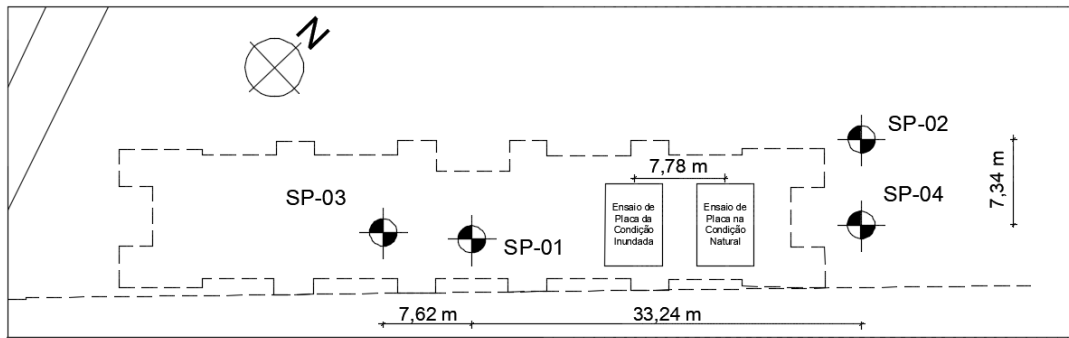


Figura 4 - Localização das sondagens SPT e ensaios de placa (Fonte: Elaborado pelo autor)

Os ensaios de prova de carga foram feitos nos pontos que apresentaram um menor índice de resistência à penetração, de forma a considerar a situação mais desfavorável. Dessa forma, realizou-se dois ensaios: o primeiro em condição natural, e o outro iniciado em condição natural e prosseguido inundado, a partir do 5º estágio de carregamento.

No ensaio de placa na condição natural, ou não inundada, as cargas foram aplicadas por meio de carregamentos do tipo lento, divididos em dez estágios de carga de aproximadamente 0,40 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 40 kPa, atingindo-se uma tensão total no ensaio de 4,00 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 400 kPa, equivalente ao dobro da tensão de projeto. A descarga foi executada em quatro estágios de 1,00 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 100 kPa. Em todos os estágios de carga, o carregamento foi mantido até a estabilização dos deslocamentos, com tolerância máxima permitida de 5% do recalque total obtido no estágio, entre leituras sucessivas.

Para a execução da prova de carga sob condição inundada, foram escavados 10 poços, tipo estacas broca, com 30cm de diâmetro e 3,00m de profundidade, distribuídos radialmente ao redor da placa, que também teve a área do seu entorno inundada. A Figura 5 ilustra a metodologia executiva do ensaio de prova de carga mista, identificando a disposição das estacas de areia ao redor da região da placa para inundação, vista em planta, assim como os demais equipamentos utilizados.

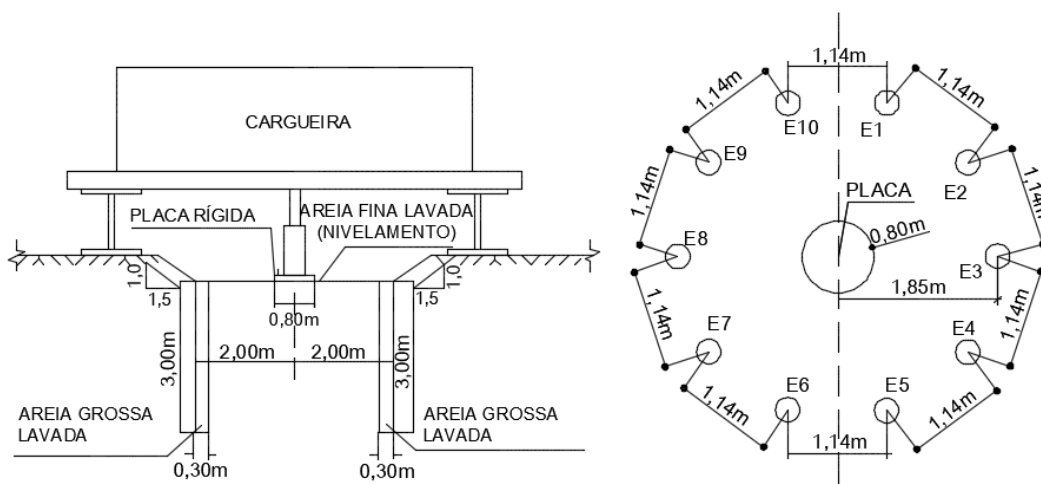


Figura 5 - Metodologia executiva da prova de carga sob condição inundada (Elaborado pelo autor)

Nesse procedimento, inicialmente, as tensões foram aplicadas por meio de carregamentos do tipo lento até o 5º estágio, em condições naturais, de aproximadamente 0,40 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 40 kPa, cada, atingindo-se uma tensão total no ensaio de 2,00 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 200 kPa. Após a estabilização dos recalques do 5º estágio, iniciou-se a inundação ininterrupta das estacas de areia e sobre a região da placa, mantendo-se a tensão aplicada de 2,00 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 200 kPa, e realizando as respectivas leituras, até que o critério de paralisação da ABNT (1984) fosse obtido. A tensão foi mantida e iniciou-se a fase de descarregamento, dividida em 4 estágios de 0,50 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 50 kPa.

## 4.2 - Sondagens à percussão

Com os resultados obtidos na sondagem a percussão, onde apresentou-se até a profundidade de 4,00m para todos os furos um solo do tipo areia siltosa com baixo índice de resistência a penetração ( $N_{SPT}$ ), optou-se em comparar os resultados obtidos nas sondagens SP-01 e SP-02, realizados na condição natural, e as sondagens SP-03 e SP-04 para a condição inundada. Na Figura 6 são apresentados os resultados de  $N_{SPT}$  das sondagens SP-01 e SP-03.

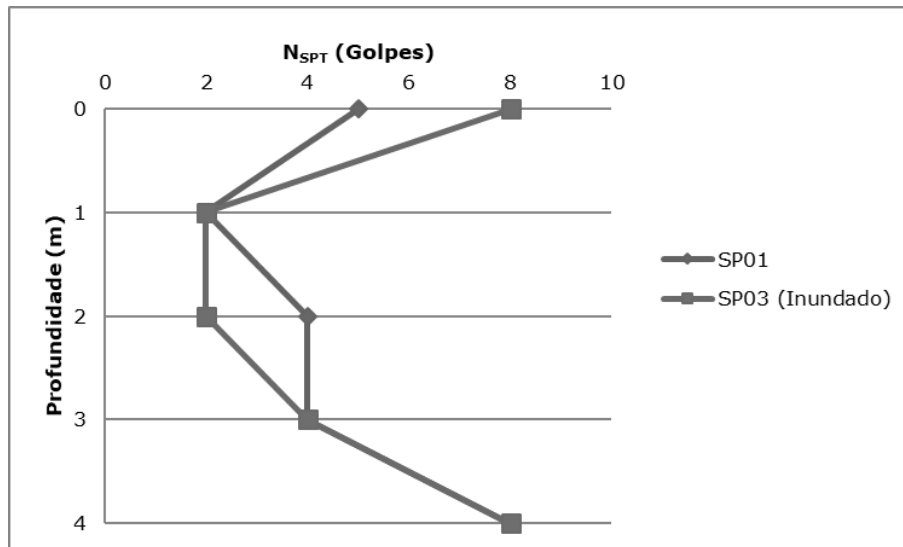


Figura 6 – Comparação do  $N_{SPT}$  entre as sondagens SP-01 e SP-03 (Elaborado pelo autor)

É notável os valores de  $N_{SPT}$  semelhantes para ambas as sondagens. Isto pode ter ocorrido devido ao SP-03 possuir, a partir de 1,10m, uma camada de areia siltosa com pedregulhos de quartzo, que proporciona uma maior resistência ao solo, apesar da diminuição de pressão efetiva. A Figura 7 apresenta a comparação entre os resultados do  $N_{SPT}$  das duas sondagens SP-02 e SP-04.

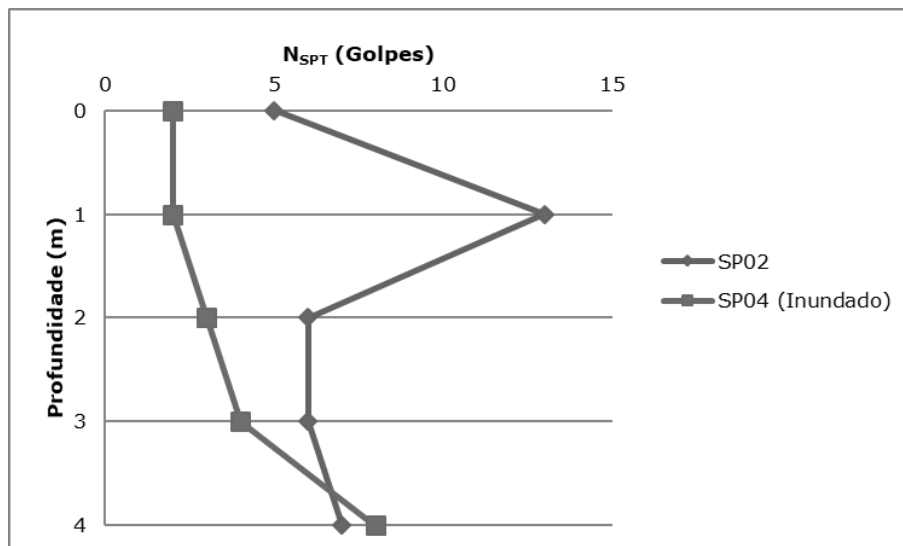


Figura 7 – Comparação do  $N_{SPT}$  entre as sondagens SP-02 e SP-04 (Elaborado pelo autor)

Neste caso, há uma distinção clara dos resultados obtidos nas sondagens nas condições inundada e não inundada. Apesar de possuir uma camada de pedregulho de quartzo em toda a sua estratigrafia, o SP-04 (condição inundada) apresentou uma resistência inferior em relação ao SP-02 até a penetração do SPT em 3,00m, profundidade esta que foi inundada previamente ao ensaio. A maior distorção foi na cota de 1,00m, em que a sondagem SP-02 apresentou  $N_{SPT}$  igual a 13 enquanto que o SP-04 obteve  $N_{SPT}$  igual a 2, ou seja, uma diferença de 550%. Nas profundidades seguintes, a diferença foi de 100% na cravação de 2,00m, e de 50% na de 3,00m. Com 4,00m o  $N_{SPT}$  do SP-04 ficou muito próximo ao valor encontrado no SP-02, fato este que pode ser influenciado pela baixa poropressão no solo, pois a inundação foi realizada até 3,00m.

Verificou-se, através destas análises, que o valor do  $N_{SPT}$  pode ter grande variação em um mesmo tipo de solo. Um fator importante é a presença da água, visto que o acréscimo da poropressão faz com que ocorra uma redução da tensão efetiva das partículas do maciço, e ainda na condição não saturada o solo apresenta o acréscimo de resistência dado pela coesão aparente.

### 4.3 - Provas de carga em solo (ensaios de placa)

As tensões de projeto para as duas condições, natural e inundada, foram inicialmente adotadas em 2,00 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 200 kPa. Com o objetivo de analisar o comportamento do solo na prova de carga realizada inicialmente em condição natural, a Figura 8 apresenta o gráfico da curva pressão x deslocamento vertical (recalque) obtida através da aplicação de pressões crescentes, divididas em dez estágios, cada um representando 10% do valor da pressão final, que é equivalente ao dobro da tensão de projeto (4,00 kgf/cm<sup>2</sup> ou 400 kPa).

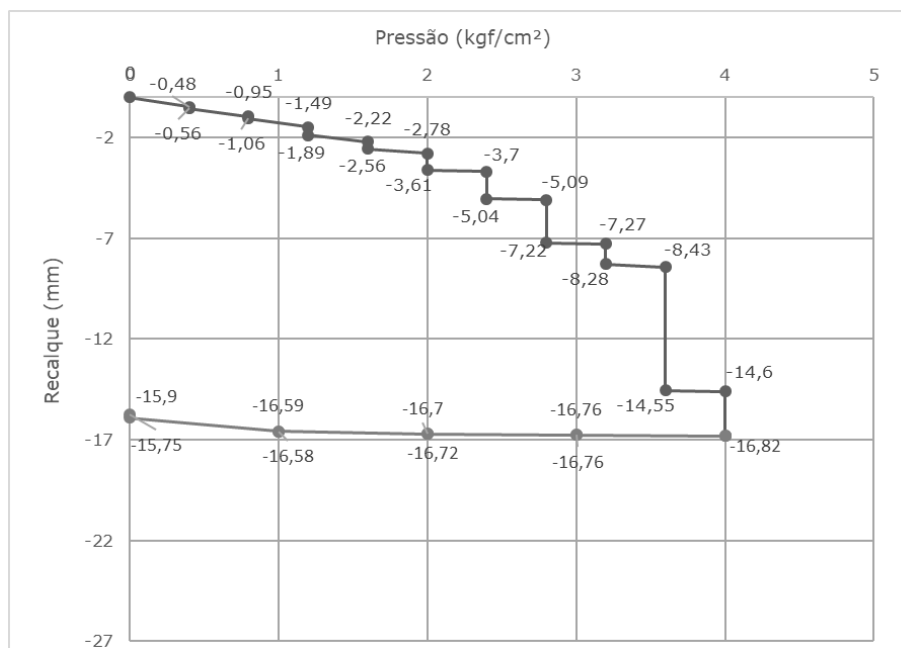


Figura 8 – Curva pressão x deslocamento resultante do ensaio de placa em condição natural (Elaborado pelo autor)

Nota-se que o recalque total do ensaio foi de 16,82 mm quando estabilizada a pressão de 4,00 kgf/cm<sup>2</sup>, equivalente ao 10<sup>o</sup> estágio do carregamento. Porém, verifica-se através do gráfico pressão x deslocamento que o recalque obtido no 5<sup>o</sup> estágio, equivalente à pressão de 2,00 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 200 kPa, que corresponde à tensão de projeto, foi de apenas 3,61 mm. A diferença entre o recalque na tensão de projeto comparado com o recalque da tensão de ensaio foi de aproximadamente 366%.

Embora o recalque total obtido tenha sido considerado excessivo, é necessário realizar o ensaio até se observar um deslocamento total de 25 mm, ou atingir-se o dobro da tensão admitida prevista para o solo, conforme recomendado por ABNT (1984).

A segunda prova de carga foi executada em condição mista, ou seja, executada até o 5<sup>o</sup> estágio do carregamento com o solo em condições naturais e, a partir da estabilização deste estágio, iniciou-se a inundação da região da placa e das estacas de areia adjacentes até o final do ensaio, de forma ininterrupta. A Figura 9 apresenta os resultados encontrados neste ensaio.

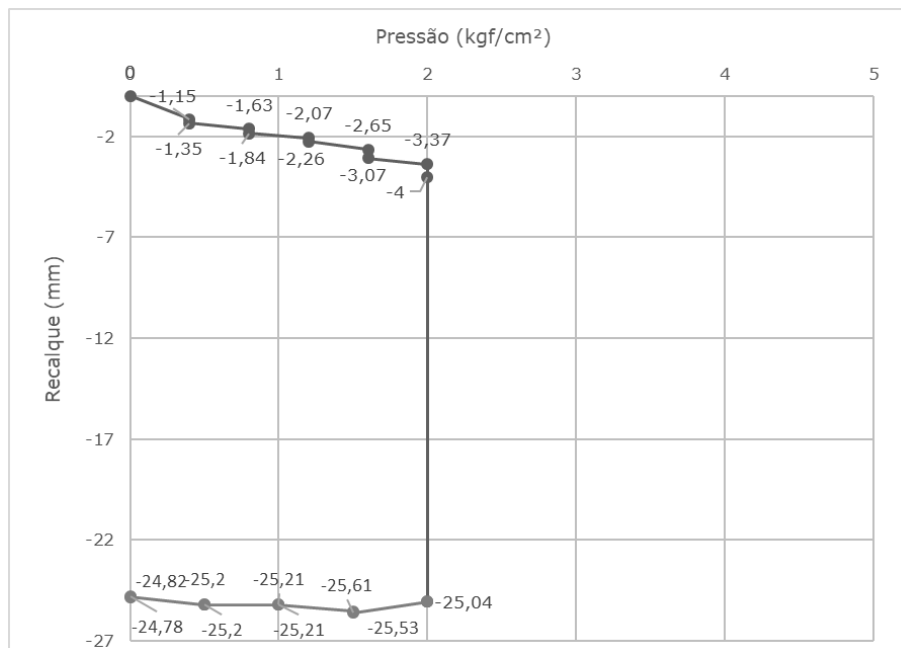


Figura 9 – Curva pressão x deslocamento resultante do ensaio de placa em condição mista (natural e inundada) (Elaborado pelo autor)

Verifica-se que o recalque obtido no 5º estágio de carregamento antes do início da inundação, ou seja, na tensão de projeto de 2,00 kgf/cm², ou 200 kPa, foi de 4,00mm, valor este bastante semelhante ao encontrado no mesmo estágio na primeira prova de carga.

Ao iniciar o processo de inundação, houve acréscimo significativo do recalque no solo, com o carregamento constante, alcançando o valor de 25,04mm. Dessa maneira, de acordo com parâmetros estabelecidos pela ABNT (1984), houve ruptura do solo. Portanto, interrompeu-se a fase de carregamento e iniciou-se o descarregamento.

Com a finalidade de comparar o desempenho do solo na etapa de carregamento nas provas de carga em condição natural e inundada, a Figura 10 apresenta as curvas pressão x deslocamento resultantes dos dois ensaios.

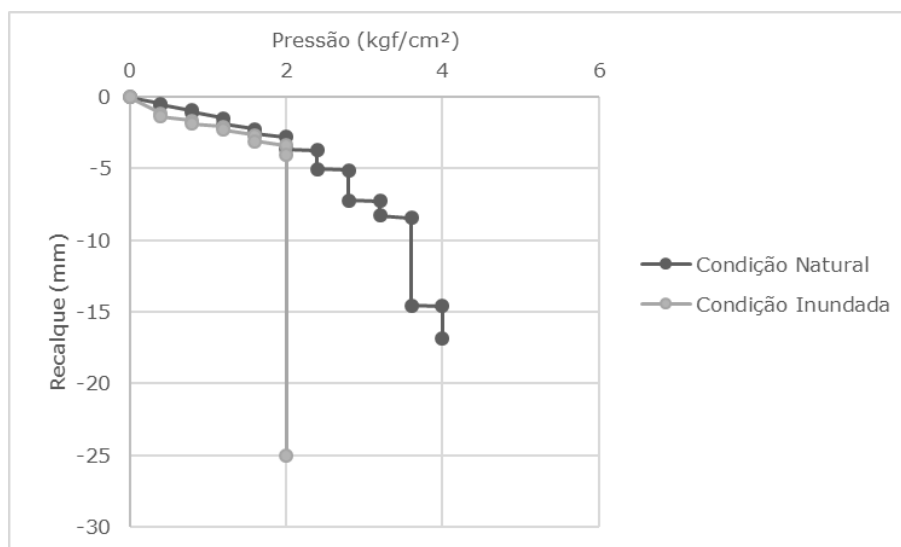


Figura 10 - Comparação dos gráficos pressão-deslocamento dos ensaios realizados (Elaborado pelo autor)

Percebe-se que para a tensão de projeto de 2,00 kgf/cm² (200 kPa) tem-se um recalque de 3,61mm na prova de carga não inundada, enquanto que na condição mista para o mesmo valor de pressão foi verificado um recalque de 4,00mm logo depois da aplicação da carga, antes do início da inundação, e de 25,04mm depois da inundação, mantida a mesma pressão. Neste caso, o comportamento do solo antes da saturação é satisfatório até sofrer um recalque adicional de magnitude significativa, ocasionado por um acréscimo de água não considerada, capaz de inundar o solo, levando-o ao colapso.



Os resultados apresentados evidenciam a mudança de comportamento do solo na condição inundada e a perda de rigidez do solo na presença de água. Do mesmo modo, a curva carga x deslocamento na condição inundada apresenta desnível característico do colapso, e mostra claramente a redução da capacidade de carga devida à inundação do solo.

A interpretação da prova de carga inundada foi de essencial importância na análise dos resultados, pois nesse ensaio apresentam-se as condições mais críticas, visto que resultaram em recalques expressivos na tensão de projeto. Assim, constata-se o quanto a variação da saturação pode influenciar no comportamento do solo colapsável e, conseqüentemente, no comportamento das fundações.

## 5 - CONCLUSÃO

O estudo de caso descreveu a realização de dois ensaios de placa, sendo um com o solo em condição natural e o outro em condição mista, ou seja, iniciado sem inundação e prosseguido com inundação da região da placa e estacas adjacentes durante o processo de carregamento.

A partir das implicações deste estudo, conclui-se o quanto relevante é a análise do potencial de colapso do solo de uma determinada região, principalmente quando existe a possibilidade do emprego de fundações diretas. Neste tipo de solo, a inundação do material de apoio durante a realização da prova de carga fornece informações relevantes ao projetista geotécnico, além daquelas já fornecidas através dos ensaios de SPT. Pondera-se, ainda, a importância da realização de sondagens à percussão nas mesmas condições, ou seja, com inundação do solo, pois, como analisado neste trabalho, os resultados do  $N_{SPT}$  podem variar de acordo com o nível de saturação de um determinado maciço de solo.

Vale ressaltar que na execução da prova de carga com o solo em condição natural, o ensaio foi realizado por completo, ou seja, com aplicação da pressão até o dobro da tensão admissível prevista em projeto, sem ocorrência de colapso do solo, ou seja, recalque inferior a 25,0mm. Já no ensaio seguinte, o solo se comportou como essencialmente elástico até o estágio sem inundação. Após este, houve o colapso da estrutura devido à diminuição da tensão efetiva do solo, ocasionando a sua ruptura. Ou seja, na prova de carga inundada o desempenho do solo é satisfatório até o momento em que há um recalque significativo, ocasionado devido à inundação, levando-o ao colapso.

Conclui-se que o grau de saturação de solos com características semelhantes às do solo estudado é importante para a definição do tipo de fundação a ser utilizada, pois a presença de água pode acarretar na redução da rigidez do solo. Caso este fator não tivesse sido considerado, o projetista poderia recomendar a utilização de fundações diretas, sem estas análises detalhadas, podendo ocorrer excessivos recalques e possíveis patologias à edificação.

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa do autor<sup>3</sup>, à RochaBrasil Engenharia pela execução dos ensaios de campo.

## REFERÊNCIAS

- Aguiar, M. F. P., Oliveira, F. H. L., Matos, Y. M. P. e Monteiro, F. F. (2014) - Estudo da Extrapolação do Coeficiente de Reação em Solos Arenosos para Fundações a Partir de Provas de Carga em Placa, XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia-GO.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (1984) - NBR 6489: Prova de carga direta sobre terreno de fundação. Rio de Janeiro.
- Barata, F.E. (1984) - Propriedades mecânicas dos solos: uma introdução ao projeto de fundações. Rio de Janeiro: *Livros Técnicos e Científicos S.A.*
- Camapum de Carvalho, J. et al. (2015) - Solos não saturados no contexto geotécnico, p. 759.
- Cintra, J. C. A. (1998) - Fundações em solos colapsáveis. São Carlos: *Serviço Gráfico da EESC/USP*, 116. p.
- Cintra, J. C. A. e Aoki, N. E Albiero, J. H. (2011) - Fundações diretas. São Paulo: Oficina de Textos, 40. p.
- Dudley, J.H. (1970) - Review of Collapsing Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, New York, v. 96, n. SM3, p. 925-947.
- Gonçalves, R. L. (2006) - Estudo do comportamento de estacas apiloadas em solo colapsável da região de Londrina-PR. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, Paraná.

- Jennings, J. E, e Knight, K. (1957) - The additional settlement of foundations due to a collapse structure of sandy subsoils on wetting. *International conference on soil mechanics and foundation engineering*, London, v. 1, p. 316-319.
- Menezes, R.S. e Fraga, M.B.T. (1994) - Solos colapsíveis. In: *Simpósio Sobre Solos Não Saturados, 2*, Recife-Pe. Anais... Recife. p.111-116.
- Mota, E.Q. (2006) - Análise do colapso de um solo compactado devido à inundação e à interação solo-líquido contaminante. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Reginatto, A. R e Ferrero, J. C. (1973) - Collapse Potential of Soils and Soil Water Chemistry. *VIII ICSMFE*, Moscow, v. 2, n. 2, p. 177-183.
- Rocha, A. C. e Camapum De Carvalho, J. (1989) - Estudo da colapsividade de solos - Revisão Bibliográfica - *Universidade de Brasília* - Enc. I.C.G. 001, 24 p.
- Velloso, D. A. e Lopes, F.R. (2010) - Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo e fundações superficiais. *Oficina de Textos*, São Paulo-SP.
- Vilar, O. M., Rodrigues, J. E. e Nogueira, J. B. (1981) - Solos colapsíveis: um problema para a engenharia de solos tropicais. In: *Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia*, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, v. 1, p. 209-224.