

**Caracterização preliminar geotécnica do subsolo do Campo Experimental de Geotecnia e de Fundações da Universidade Federal do Ceará (CEGEF – UFC)**

**Preliminary geotechnical characterization of the subsoil of the Geotechnical and Foundation Experimental Field of the Federal University of Ceará (CEGEF - UFC)**

DOI:10.34117/bjdv7n4-028

Recebimento dos originais: 07/03/2021

Aceitação para publicação: 03/04/2021

**Alfran Sampaio Moura**

Doutor em Geotecnia

Universidade Federal do Ceará

Endereço: Av. Mister Hull, s/n, UFC, Centro de Tecnologia, Fortaleza, Brasil

E-mail: alfransampaio@gmail.com

**Mônica Rodrigues Ramos**

Bacharela em Engenharia Civil

Universidade Federal do Ceará

Endereço: Av. Mister Hull, s/n, UFC, Centro de Tecnologia, Fortaleza, Brasil

E-mail: monica.r1r2@gmail.com

**Edno Cerqueira Junior**

Mestre em Geotecnia

Universidade Federal do Ceará

Endereço: BR 116 km 4, UFC, Venâncio, Crateús, Brasil

E-mail: ednocjr@gmail.com

**Francisco Pinheiro Lima Filho**

Formação: Doutor em Geologia

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Endereço: Lagoa Nova, UFRN, Centro de Ciências Exatas, Natal, Brasil

E-mail: fplfilho@gmail.com

**Pedro Henrique Lustosa Bezerra de Menezes**

Mestre em Geotecnia

Universidade Federal do Ceará

Endereço: Av. Mister Hull, s/n, UFC, Centro de Tecnologia, Fortaleza, Brasil

E-mail: pedrolustosab@gmail.com

**RESUMO**

Este trabalho visa caracterizar, a partir da realização de ensaios geotécnicos de laboratório e campo, o subsolo do Campo Experimental de Geotecnia e Fundações da Universidade Federal do Ceará (CEGEF – UFC), com o objetivo de subsidiar trabalhos geotécnicos futuros. A metodologia de trabalho consiste, inicialmente, na extração de amostras deformadas e indeformadas em diferentes profundidades no subsolo. A partir daí, são

executados os seguintes ensaios de caracterização física: umidade natural, granulometria por peneiramento e por sedimentação, densidade real, limite de liquidez (wL), limite de plasticidade (wP) e compactação, na energia do Proctor Normal. Ademais, são realizados ensaios geotécnicos especiais, como o triaxial adensado e drenado (CD), o de adensamento e o de cisalhamento direto, bem como sondagens à percussão (SPT). Para uma melhor caracterização das camadas do subsolo em estudo, assim como de suas propriedades, o Georadar (GPR) também é utilizado como mecanismo de execução de um ensaio não destrutivo. A partir desses resultados, tem-se que o subsolo analisado apresenta granulometria aberta, ou seja, mal graduada, não plástico, sendo classificado como um solo granular do tipo areia-siltosa, do grupo SM, segundo o Sistema Único de Classificação de Solos (SUCS). Os ensaios Oedométricos possibilitaram observar aumento da rigidez do solo com a profundidade, até a profundidade ensaiada com esse ensaio que foi de 2 m. As determinações do ângulo de atrito efetivo ( $\phi'$ ) do solo a partir dos ensaios triaxial e cisalhamento direto foram convergentes, com variações máximas de 2°. Já o intercepto coesivo, apesar de baixo, variou em até cerca de 40 kPa.

**Palavras-chave:** Caracterização Geotécnica, Ensaio de Laboratório, Ensaio de Campo.

## ABSTRACT

This work aims to characterize, from the realization of geotechnical laboratory and field tests, the subsoil of the Experimental Field of Geotechnics and Foundations of the Federal University of Ceará (CEGEF - UFC), with the objective of subsidizing future geotechnical work. The methodology initially consists in extracting deformed and undeformed samples at different depths in the subsoil. Then, the following tests are performed for physical characterization: natural humidity, sieving and sedimentation granulometry, real density, liquidity limit (wL), plasticity limit (wP), and compaction, in the Normal Proctor energy. In addition, special geotechnical tests are performed, such as the triaxial densified and drained (CD), the densification and direct shear tests, as well as percussion surveys (SPT). For a better characterization of the subsoil layers under study, as well as their properties, Georadar (GPR) is also used as a mechanism to perform a non-destructive test. Based on these results, the subsoil analyzed presents open granulometry, i.e., poorly graded, non-plastic, and is classified as a granular soil of the sandy-silt type, of the SM group, according to the Unified Soil Classification System (SUCS). The Oedometer tests made it possible to observe an increase in soil stiffness with depth, until the depth tested with this test, which was 2 m. The determinations of the effective friction angle ( $\phi'$ ) of the soil from the triaxial and direct shear tests were convergent, with maximum variations of 2°. The cohesive intercept, although low, varied up to about 40 kPa.

**Keywords:** Geotechnical Characterization, Laboratory Testing, Field Testing.

## 1 INTRODUÇÃO

Para a execução de projetos de engenharia, é necessário, preliminarmente, caracterizar solo que receberá a obra. Dessa forma, o objetivo de uma adequada investigação geotécnica é obter a estratigrafia do subsolo, identificar nele algum tipo de contaminação, quando ocorrer, obter a profundidade do nível d'água (NA), e, possibilitar a obtenção dos parâmetros do solo para a realização de previsões de comportamento.

A utilização de campos experimentais destinados a pesquisas em geotecnia é de grande utilidade já que, a partir do acúmulo de informações geradas, possibilita os desenvolvimentos de outras pesquisas aplicadas.

A literatura disponibiliza diversos trabalhos científicos sobre caracterização de Campos Experimentais de Geotecnia, a exemplo do que foi feito apresentado por Cavalcante et. al (2006). Os autores descreveram os aspectos geotécnicos de Campos Experimentais de Geotecnia e Fundações a partir de 11 localidades do Brasil, todos dispostos tanto em universidades federais quanto estaduais. Os estudos realizados nesses subsolos foram responsáveis por embasar as pesquisas desenvolvidas em dissertações, teses e publicações científicas.

Moura et al (2008) apresentam uma pesquisa na qual o autor caracteriza um solo arenoso de dunas com vista à realização de projetos de fundações de aerogeradores. Além dos ensaios de caracterização de laboratório, os autores realizam ensaios de cisalhamento direto em amostras reconstituídas e, em campo, apresentam os resultados de sondagem à percussão (SPT) e de ensaios pressiométricos (PTM).

## **2 LOCAL DE ESTUDO**

O local de estudo da pesquisa em questão é o Campo Experimental de Geotecnia e Fundações da Universidade Federal do Ceará (CEGEF – UFC), localizado no Campus do Pici, em uma área de cerca de 900 m<sup>2</sup>, situado nas proximidades do departamento de Educação Física da UFC. A Figura 1 ilustra a localização da mencionada área.

Conforme ilustrado da Figura 1b), foram obtidas amostras deformadas nas profundidades de 20, 60 e 120 cm, para a realização dos ensaios de caracterização física, e foi executada um poço de investigação para a obtenção de 2 amostras indeformadas, uma na profundidade de 60 cm e outra na profundidade de 1,1 m. Na mesma figura mostra-se ainda a localização de uma sondagem à percussão (SPT) realizada.

Figura 1. Desenho esquemático do CEGEF – UFC. a) Vista geral. b) Localização da coleta de amostras e da sondagem à percussão (SPT) realizada.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, é apresentada a metodologia adotada para a realização dos ensaios geotécnicos do presente estudo. Foram realizadas 2 baterias de ensaios geotécnicos. A primeira delas corresponde aos ensaios de laboratório, de caracterização física e especiais, e a outra bateria trata dos ensaios de campo realizados.

#### 3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Quanto aos ensaios de caracterização, executados com amostras deformadas realizaram-se, inicialmente, ensaios de granulometria. A análise granulométrica, que corresponde à determinação das faixas de tamanhos dos grãos em um solo, compreende os processos da sedimentação e de peneiramento, que são regulamentados pela NBR 7181 (ABNT, 2016). A partir disso, foi possível traçar a curva granulométrica do subsolo do campo experimental para as profundidades de 1,0 m a 1,5 m e de 1,5 m a 2,0 m.

Com as amostras deformadas das profundidades de 20 cm, 60 cm e 110 cm, realizaram-se ainda ensaios de densidade real, conforme a Norma 093 (DNER, 1994). Realizaram-se também ensaios para a obtenção dos limites de Atteberg, limite de liquidez (wL) e de plasticidade (wP), conforme recomendações da NBR 6459 (ABNT, 1984) e da NBR 7180 (ABNT, 1984).

Além disso, para as profundidades de 20 cm e de 60 cm e 110 cm, determinou-se a umidade natural do solo, por meio do método da estufa.

Realizaram-se ainda ensaios de compactação, com as mesmas amostras obtidas nas profundidades de 20 cm, 60 cm e 110 cm, de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016). Dessa forma, adicionou-se, em uma bandeja cilíndrica, água ao solo até se obter,

aproximadamente, uma umidade 5% abaixo da umidade ótima. A energia aplicada foi à referente ao ensaio de Proctor Normal.

O processo de compactação seguiu, rigorosamente, a NBR 7182 (ABNT, 2016), possibilitando obtenção de valores para o peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_{d,m\acute{a}x}$ ) e a umidade ótima ( $w_{\acute{o}t}$ ) correspondente das amostras ensaiadas.

Visando ainda caracterizar o solo no seu estado realizam-se ainda ensaios de frasco de areia, conforme as orientações da Norma NBR 7185 (ABNT, 1986).

### 3.2 ENSAIO ESPECIAIS

Os ensaios especiais utilizados neste trabalho foram os seguintes: ensaios oedométricos, ensaios de cisalhamento direto e ensaios de compressão triaxial, cuja metodologia será descrita a seguir.

Os ensaios oedométricos, normatizado pela NBR 12007 (ABNT, 1990), foram realizados em corpos de prova (cp) obtidos de amostras indeformadas, conforme relatado no item 3.1.

Para isso, os cp's foram moldados e colocados na célula de adensamento entre duas pedras porosas. Após a saturação, o processo de aplicação dos carregamentos foi efetuado. Os deslocamentos verticais foram obtidos através de leituras feitas ao longo do tempo, conforme recomendações da Norma, em extensômetros.

Vale mencionar que, na presente pesquisa, foram utilizados, para os ensaios oedométricos, amostras indeformadas das profundidades de 1,0 m a 1,5 m e de 1,5 m a 2,0 m.

Para a realização dos ensaios de ensaio de cisalhamento, foram moldados corpos de prova, também a partir das amostras indeformadas coletadas, que foram colocados em uma caixa metálica bipartida e, posteriormente, submetido aos processos de saturação e de adensamento. Em seguida, foi aplicada uma força normal constante, pela introdução de pesos a estrutura do equipamento, até que se atingisse a tensão normal definida para o ensaio. Em seguida, os corpos de prova foram cisalhados a partir do deslocamento horizontal relativo das partes da caixa de cisalhamento.

As tensões normais aplicadas no ensaio em questão foram de 50, 100 e 200 kPa. A velocidade aplicada no ensaio foi de 1,15 mm/min.

O ensaio triaxial foi realizado a partir da moldagem de corpos de prova cilíndricos, saturação dos cp's, aplicação de um estado hidrostático de tensões e, por fim, um carregamento axial. Para isso, os corpos de prova foram envolvidos por uma membrana

de borracha antes de serem colocados na câmara. Após isso, a câmara foi cheia com água e foi aplicada uma pressão confinante aos cp's.

O carregamento axial exercido sobre a amostra, que se deu por meio do pistão que penetrou na câmara de ensaio, gera um acréscimo de tensão axial (tensão desviadora).

A velocidade utilizada aos ensaios foi de 0,03 mm/min, permitindo-se a saída d'água dos cp's sem geração de excesso de poro pressão (ensaio CD). Foram ensaiados corpos de prova indeformados das profundidades de 60 cm e de 110 cm.

### 3.3 ENSAIOS DE CAMPO

Conforme relatado, em campo foram realizados ensaios de sondagem à percussão (SPT), GPR e provas de carga direta.

Na área do campo experimental de geotecnia e fundações foi realizada, até o momento, uma sondagem à percussão por ocasião do VIII Simpósio de solos não saturados (ÑSAT, 2015) na posição esquematicamente representada na Figura 1. A referida sondagem foi realizada até a profundidade de 8,45 m e com procedimento em conformidade com a Norma NBR 6484 (ABNT, 2001).

Já o GPR (GroundPenetrating Radar), ou radar de penetração no solo, é um equipamento de investigação geofísica, não destrutivo, utilizado no imageamento de subsolo superficial. Seu funcionamento se baseia na passagem do aparelho, munido de duas antenas, sobre trechos lineares de um terreno. No ensaio, uma antena transmissora enviou um sinal eletromagnético, que foi refletido e captado por outra antena receptora. O tempo de retorno dos sinais indicou a profundidade dos materiais, e a intensidade dos sinais captados indicou as diferenças das constantes dielétricas entre as camadas. Desta forma, foram produzidas imagens da qual se extraiu informações acerca dos estratos de solos pesquisados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os ensaios geotécnicos realizados, até o momento, no subsolo do Campo Experimental de Geotecnia e Fundações (CEGEF) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

### 4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

A Figura 2 mostra as curvas granulométricas dos solos presentes nas profundidades ensaiadas, ou seja, 20, 60 e 120 cm.



Pela Figura 2, observa-se que trata-se de solo arenoso, bastante homogêneo e com cerca de 10% de finos. As amostras mais profundas apresentaram um pequeno aumento da quantidade de finos de cerca de 2%.

Os ensaios de densidade real executados nos solos das profundidades de 20 cm, 60 cm e 110 cm, forneceram resultados de 2,51, 2,54 e 2,58, respectivamente.

Quanto à execução dos ensaios dos limites de Atteberg, obteve-se que o índice de plasticidade (IP) apresenta valor nulo, denotando características arenosas e não plásticas ao subsolo em análise.

A umidade natural do solo foi obtida a partir da coleta de amostras de campo, que foram coletadas em sacos plásticos e, no laboratório, foram submetidas ‘a estufa. Os resultados dos ensaios de umidade são apresentados na Tabela 1; observa-se um aumento da umidade com a profundidade, variando de 4,9% a 12,4%, comportamento típicos de solos granulares.

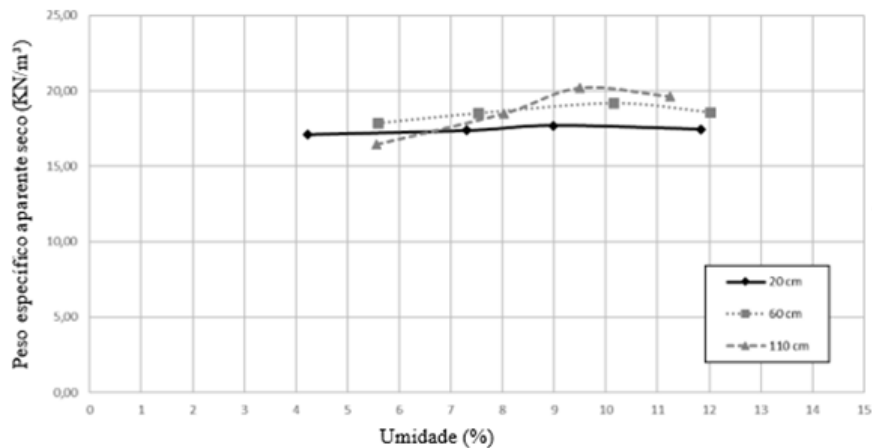
Tabela 1 – Umidade natural das amostras ensaiadas.

Profundidade (cm)	Umidade natural (%)
20	4,9
60	11,3
110	12,4

Fonte: Menezes (2018)

Para cada uma das amostras deformadas coletadas realizaram-se ensaios de compactação, conforme relatado anteriormente, que permitiu a construção de curvas peso específico aparente seco ( $\gamma_d$ ) x umidade (w), conforme está apresentado na Figura 3.

Figura 3. Curvas de compactação para a energia do Proctor Normal.



Fonte: Menezes (2018)

As curvas de compactação da Figura 3 apresentam forma bastante abachada, típicas de solos granulares. Observa-se peso específicos secos máximos crescentes com a profundidade e variando de 17,5 a 20 kN/m<sup>3</sup>. Pela Figura 3 a umidade ótima é de difícil definição e em torno de 9 a 10%.

#### 4.2 ENSAIOS ESPECIAIS

Os ensaios oedométricos foram executados com amostras indeformadas. Na profundidade entre 1,0 e 1,5 m, o módulo de elasticidade oedométrico (EOED) e o módulo de Young (E) obtidos foram 17600 kPa e 10966 kPa, respectivamente. Para a amostra correspondente à profundidade entre 1,5 e 2,0 m, EOED foi de 21600 kPa, e E foi de 13458 kPa. Nas Figuras 4 e 5 mostram-se as curvas índice de vazios x pressão obtidas com a realização dos referidos ensaios.

Vale mencionar que, pelos ensaios oedométricos realizados, observa-se um aumento da rigidez do solo com a profundidade.

Figura 4. Curva índice de vazios x pressão para o solo da profundidade de 1,0 m a 1,5 m.

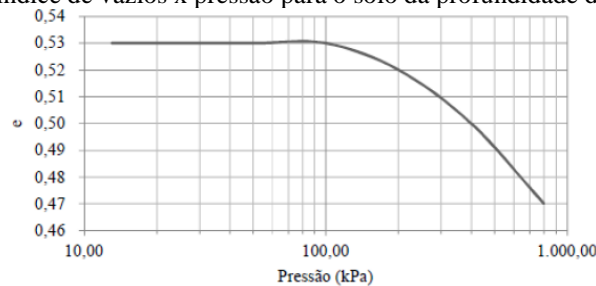
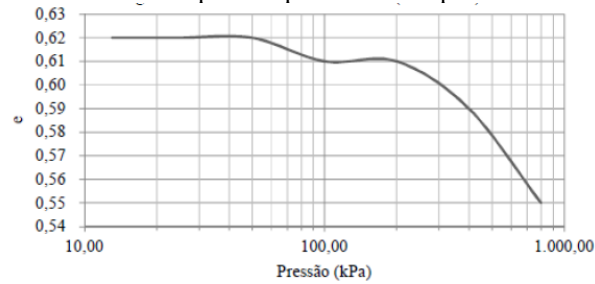




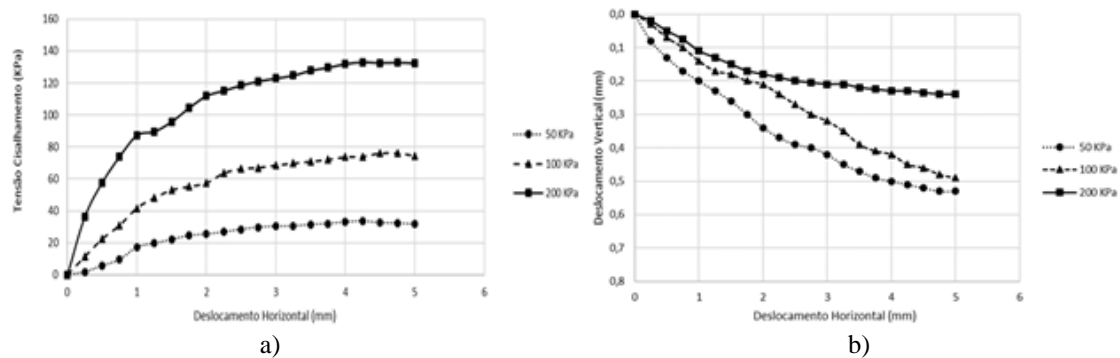
Figura 5. Curva índice de vazios  $e$  x pressão para o solo da profundidade de 1,5 m a 2,0 m.



Foram realizados ainda ensaios de cisalhamento direto em corpos de provas obtidos de amostras indeformadas retiradas também das profundidades de 60 cm e 110 cm.

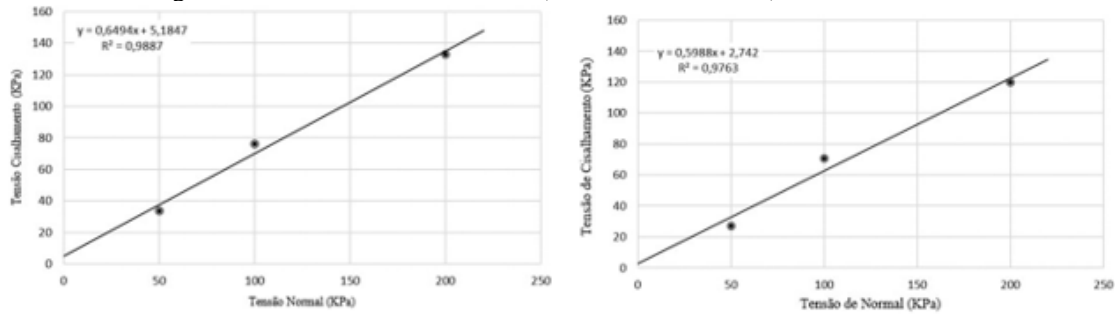
Os ensaios foram realizados até um deslocamento horizontal máximo de 5 mm. As curvas tensão de cisalhamento x deslocamento horizontal dos corpos de prova obtidos da amostra da profundidade de 60 cm são mostradas na Figura 6a e as curvas de variação volumétrica versus deslocamento horizontal são apresentadas na Figura 6b.

Figura 6. a) Tensão de Cisalhamento versus deslocamento horizontal amostra da profundidade de 60 cm  
b) Variação volumétrica versus deslocamento horizontal da amostra de 60 cm.



Apresentam-se, na Figura 7, as envoltórias de resistência das amostras retiradas das profundidades de 60 cm e 1,10 m. Para a profundidade de 60 cm estima-se um ângulo de atrito efetivo de  $33^\circ$  e um intercepto coesivo de 5,2 kPa. Já para a profundidade de 1,10 m, estima-se um ângulo de atrito efetivo de  $31,8^\circ$  e um intercepto coesivo de 1,3 kPa.

Figura 7. Envoltórias de resistência a) amostra de 60 cm b) amostra de 1,10 m.



Com base nas envoltórias das Figuras 7a e 7b, observa-se que, praticamente, não houve elevação do ângulo de atrito do solo com a profundidade. Por outro lado, nota-se um pequeno decréscimo da coesão com a profundidade. Além disso, observa-se que as curvas da Figura 6a apresentam valores máximos sem pico e a redução da altura dos corpos de prova com o cisalhamento é típica de areias menos compactas.

Essa variação de ângulo de atrito está inserida da faixa de areias mal graduadas de grãos arredondados indicada por Pinto (2006), que é de 28° a 35°.

Aplicando-se tensões de confinamento de 50, 100 e 200 kPa, determinaram-se círculos de Mohr e a envoltória de ruptura para as amostras de 60 cm e de 110 cm de profundidade, conforme mostrado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Curva  $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$  versus deformação do solo da amostra de 60 cm.

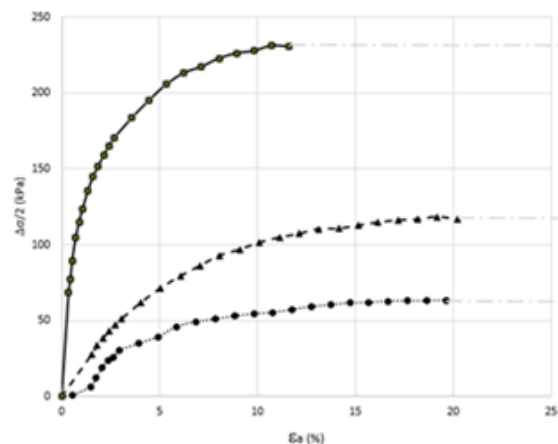
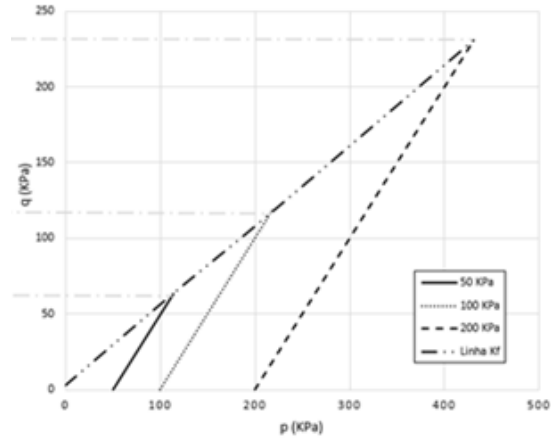


Figura 9 - Curva p x q da amostra de 60 cm.



A Figura 10 apresenta a  $\Delta V/V_0$  versus deformação do solo, onde se observa a redução do volume durante a fase de ruptura.

A envoltória de ruptura da amostra obtida a 60 cm de profundidade é mostrada na Figura 11a, utilizando-se a referida envoltória determina-se um ângulo de atrito de  $31,6^\circ$  e um intercepto coesivo de 7 kPa. Comparando-se com a envoltória obtida a partir dos ensaios de cisalhamento direto, observa-se concordância de valores em relação a Lambe e Whitman (1979), que afirmam que o ângulo de atrito de ensaios de cisalhamento direto, em geral, supera os de triaxial em até 2 graus.

Figura 10 -  $\Delta V/V_0$  versus deformação do solo da amostra de 60 cm.

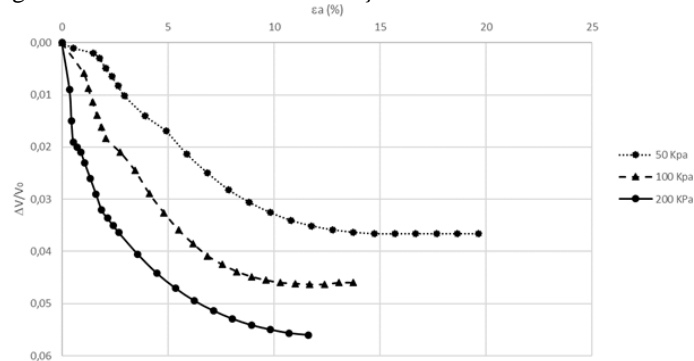
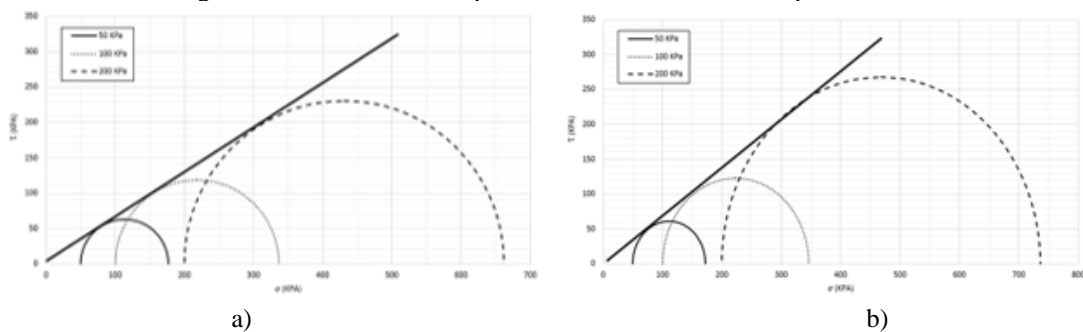


Figura 11 - Envoltória de ruptura da amostra de 60 cm de profundidade.



Já a envoltória de ruptura da amostra obtida a 1,10 m de profundidade é mostrada na Figura 11b. Neste caso, o ângulo de atrito apresentou o valor de 33,5° e um intercepto coesivo nulo. Comparando-se os valores do ângulo de atrito nas profundidades de 60 cm e 1,1 m, verifica-se uma discreta elevação com a profundidade.

A Tabela 2 resume os resultados dos ensaios realizados no solo estudado.

Tabela 2 – Resumo das principais características/parâmetros do solo estudado.

Características/Parâmetros	20 cm	60 cm	110 cm	Forma de Obtenção
Classificação do solo	SM	SM	SM	Granulometria
Umidade natural (%)	4,9	11,3	12,4	Estufa
$G_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,51	2,54	2,58	Picnômetro
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	17,5	19,0	22,5	Compactação
$w_{ot}$ (%)	9,0	10,2	9,6	Compactação
$\phi$	-	33,0 °	31,8°	Cisalhamento direto
C (kPa)	-	5,2	1,3	Cisalhamento direto
$\phi$	-	31,6°	33,5 °	Triaxial
C (kPa)	-	7,0	0	Triaxial
E (MPa)	-	20	20	Triaxial
E (MPa)		11,0		Oedométrico
EOED (MPa)		17,6		Oedométrico

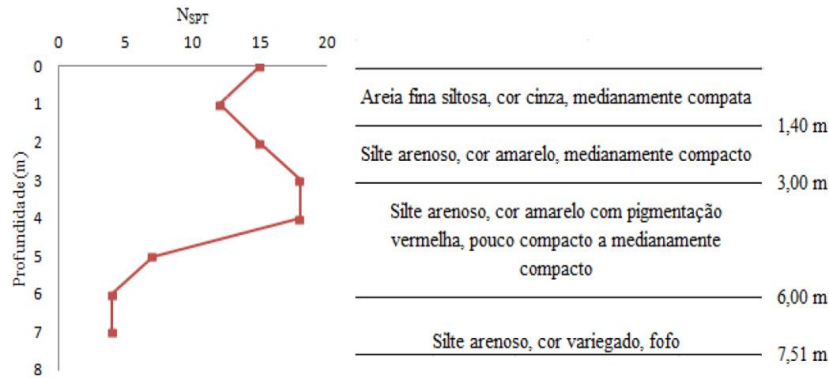
Fonte: Autor, 2018.

#### 4.3 ENSAIOS DE CAMPO

Os ensaios de campo realizados no campo experimental da UFC até o momento foram sondagens à percussão (SPT), GPR e prova de carga direta.

Foi realizada uma sondagem à percussão (SPT) até a profundidade de 8,45 m. Verifica-se que, até a profundidade de até 4,0 m, o NSPT varia de 12 a 18, e que, para maiores profundidades, o valor desse parâmetro diminui para, aproximadamente, 5 golpes (Figura 12). A estratigrafia é composta pelos seguintes materiais: areia siltosa e silte arenoso e sua compacidade varia de fofo a mediamente compacta. O nível da água (NA) foi identificado na profundidade de 7,4 m. Já a Figura 13 mostra o radargrama correspondente a uma aquisição GPR de aproximadamente 28m de comprimento realizada no Campo Experimental de Geotecnia e Fundações da Universidade Federal do Ceará. As linhas verdes e vermelhas são refletoras que marcam variações de constantes dielétricas entre as camadas investigadas.

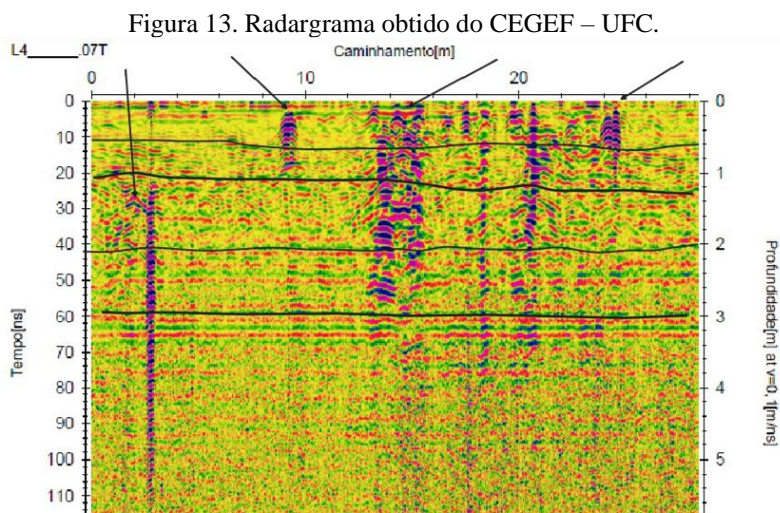
Figura 12. Resultado da sondagem à percussão realizada (SPT).



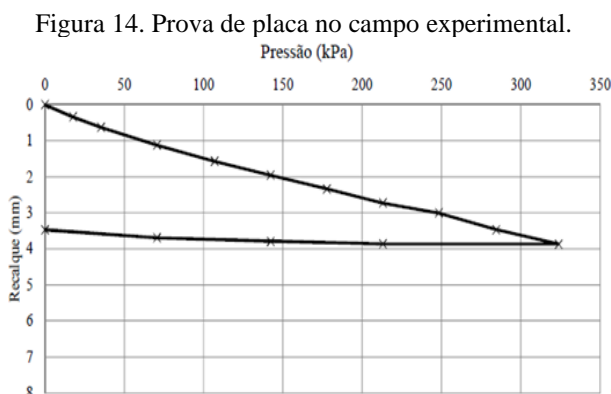
Observa-se que as ondas eletromagnéticas atenuam quando atingiram o tempo de 60 ns, que corresponde, aproximadamente, a 3 metros de profundidade, caracterizada pela ausência de refletores retos. A partir desse nível, devido, principalmente, à resistividade do material, a relação sinal/ruído é baixa, o que não permite mais a identificação das camadas de solo subjacentes.

Em um ponto contido no alinhamento pelo qual foi passado o GPR, foi realizada uma sondagem SPT (Figura 11). Nos três primeiros metros, partindo da superfície para cotas inferiores, a sondagem de simples reconhecimento identificou dois estratos de solo. Já o radargrama apontou a ocorrência de cinco camadas, indicadas por linhas negras, contínuas e horizontais (Figura 13). Essa divergência de resultados se atribui às diferenças de características físicas utilizadas pelos dois métodos, pois, enquanto o GPR utiliza a reflexão de ondas eletromagnéticas, a sondagem geotécnica tradicional se baseia na identificação tátil-visual do operador do ensaio para descrever as características de cada estrato do subsolo.

Além disso, uma vez que o nível freático identificado pelo SPT está situado em cota significativamente inferior à alcançada, com mais qualidade, pelo método GPR, não foi possível se comparar as duas metodologias nessa determinação. Também não foi estabelecida nenhuma comparação entre a resistência do solo medida pela sondagem à percussão (SPT) e pelo imageamento produzido pela investigação geofísica. Por fim, foi realizada ainda uma prova de carga direta (PCD) lenta, de acordo com a norma NBR 6489/84.



O ensaio foi executado com a utilização de uma placa metálica de 50 cm de diâmetro e dois extensômetros posicionados em extremidades opostas da placa. A pressão máxima aplicada foi de 323,7 kPa, resultando em um recalque máximo de 3,87 mm. A Figura 14 apresenta a curva pressão x recalque.



Fonte: NSAT (2015)

O módulo de deformabilidade secante foi estimado para 50% do recalque estimado (2,75 mm), obtendo-se o valor de 90,2 MN/m<sup>2</sup> e o mesmo foi obtido dividindo o recalque de 2,75 mm pela profundidade do bulbo de tensões, considerada o dobro do diâmetro da placa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta resultados de ensaios geotécnicos referentes ao Campo Experimental de Geotecnia e Fundações da Universidade Federal do Ceará. Por meio deles, foi possível identificar, por exemplo, os aspectos físicos do subsolo investigado, com características de solo granular do tipo areia-siltosa, do grupo SM, segundo o Sistema

Único de Classificação de Solos (SUCS), com granulometria aberta e comportamento não plástico.

Quanto à estratigrafia do solo, observa-se que não há concordância entre a descrição obtida a partir da sondagem à percussão realizada (SPT) e a efetuada a partir dos resultados obtidos dos ensaios com o GPR. Essa divergência de resultados se atribui às características físicas diferentes utilizadas pelos dois métodos.

A partir dos ensaios oedométricos foi observado uma tendência de elevação da rigidez do solo com a profundidade até a profundidade ensaiada, de 2 m.

Com bases nas envoltórias obtidas dos ensaios de cisalhamento direto, observa-se que, praticamente, não houve elevação do ângulo de atrito do solo com a profundidade. Por outro lado, nota-se um pequeno decréscimo da coesão com a profundidade que pode ser resultante do aumento da umidade natural em profundidades maiores.

Comparando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto e de compressão triaxial observa-se convergência dos resultados.

As estimativas do módulo de elasticidade (E) realizadas pela prova de carga direta foram bastante superiores aos estimados a partir dos ensaios oedométricos. Tais divergências são atribuídas as diferenças dos níveis de deformação impostos nos dois ensaios, assim como distúrbios ocorridas por ocasião da amostragem.

## REFERÊNCIAS

Bezerra de Menezes, P. H. L. Avaliação de métodos de previsão de recalque a partir da transferência de carga de estacas escavadas em perfil de solo granular. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

DNER-ME 093/94: solos: determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1994.

Pinto, C.S. (2006) Curso básico de Mecânica dos Solos. 3. ed. Oficina de Textos, São Paulo, 354 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), (2016) NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_, (1984) NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 6p.

\_\_\_\_\_, (2001) NBR 6484: Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento de Solos – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 17 p.

\_\_\_\_\_, (1984) NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 3p.

\_\_\_\_\_, (2016) NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 9p.

\_\_\_\_\_, (2016) NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 10 p.

\_\_\_\_\_, (1990) NBR 12007: Solo – Ensaio de adesamento unidimensional – Método de ensaio. Rio de Janeiro.