

Análise da influência dos diâmetros dos corpos de prova na determinação dos coeficientes de adensamento

Analysis of the influence of specimen's diameters in the determination of consolidation coefficient

Análisis de la influencia de los diámetros de las probetas en la determinación de los coeficientes de densificación

Resumo


O ensaio de adensamento é realizado para obter parâmetros que auxiliam na previsão do comportamento dos solos em termos de deformação, permitindo prever, por exemplo, a magnitude e o tempo de recalques. Neste ensaio, existe a possibilidade de realização dos procedimentos com a utilização de diferentes diâmetros de corpos de prova. Estudos realizados comparando diâmetros de amostradores padrões e anéis que recebem o corpo de prova indicam que os resultados do ensaio são tão melhores quanto maior o diâmetro utilizado. Porém, faz-se necessário avaliar o quanto que os diâmetros dos moldes ensaiados influenciam no resultado, considerando amostras de solos com porcentagens de finos diferentes entre si. No presente trabalho, foram caracterizadas e classificadas três amostras de solos com diferentes porcentagens de finos, localizados no campus da Universidade Estadual de Santa Cruz e ensaiadas em uma máquina de ensaio de adensamento unidimensional, utilizando os moldes cilíndricos com corpos de prova de área 20, 40, 60 e 80 cm², para cada amostra com porcentagens de finos correspondentes a 60,4, 52,7 e 72,8%. Foi constatado, em conformidade com a literatura, que quanto menor o diâmetro utilizado, maior a diferença percentual entre os valores de coeficiente de adensamento considerados. Além disso, quanto menor a porcentagem de finos nas amostras, mais discrepantes encontram-se os resultados.

Palavras-chave: geotecnia experimental; propriedades do solo; ensaios laboratoriais.

Abstract

The consolidation test is carried to obtain parameters that help predict the behavior of soils in terms of deformation, making it possible to predict, for example, the magnitude and time of settlement. In this test, there is the possibility of carrying out the procedures using different diameters of specimens. Studies carried out comparing diameters of standard samplers and rings that receive the test specimen indicate that the test results are better the larger the diameter used. However, it is necessary to evaluate how much the diameters of the tested molds influence the result, considering soil samples with different percentages of fines. In the present work, three soil samples with diverse percentages of fines were characterized and classified, located on the campus of the State University of Santa Cruz, and tested in a one-dimensional compaction testing machine, using cylindrical molds with specimens of area 20, 40, 60 and 80 cm², for each sample with percentages of fines corresponding to 60.4, 52.7 and 72.8%. It was found in the literature that the smaller the diameter used, the higher the percentage difference between the densification coefficient values considered. Furthermore, the lower the percentage of fines in the samples, the more discrepant the results are.


Keywords: experimental geotechnics; soil properties; laboratory tests

Jocielle Rodrigues da Silva  

Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)
jrsilva@uesc.br

Stephanny Conceição Farias do Egito Costa  

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
scfecosta@uesc.br

Caique Lima de Santana  

Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)
clsantana@uesc.br



Resumen

El ensayo de densificación es realizado para obtener parámetros que auxilian en la previsión del comportamiento de los suelos en términos de deformación, permitiendo prever, por ejemplo, la magnitud y el tiempo de tensiones. En este ensayo, existe la posibilidad de realización de los procedimientos con la utilización de diferentes diámetros de probetas. Estudios realizados comparando diámetros de muestreadores estándares y anillos que reciben la probeta indican que los resultados de los ensayos son mejores cuanto mayor el diámetro utilizado. Sin embargo, es necesario evaluar cuánto que los diámetros de los moldes ensayados influyen en el resultado, considerando muestras de suelos con porcentajes de finos diferentes entre ellos. En el presente trabajo, fueron caracterizadas y clasificadas tres muestras de suelos con diferentes porcentajes de finos, localizados en el campus de la Universidad de Santa Cruz y ensayadas en una máquina de ensayo de densificación unidimensional, utilizando los moldes cilíndricos con probeta de área 20, 40, 60 y 80 cm², para cada muestra con porcentajes de finos correspondientes a 60,4; 52,7 y 72,8%. Fue constatado, en conformidad con la literatura, que cuanto menos el diámetro utilizado, mayor la diferencia porcentual entre los valores de coeficiente de densificación considerados. Además de esto, cuanto menos el porcentaje de finos en las muestras, más divergentes se encuentran los resultados.

Palabras clave: *geotecnia experimental; propiedades do solo; ensayos laboratoriales.*

1 Introdução

Na Geotecnia Experimental, uma das formas de obtenção das propriedades de amostras de solo, é a partir de ensaios laboratoriais realizados com amostras representativas, cujos métodos são capazes de obter parâmetros de solos tais como, umidade, resistência, índice de consistência, tamanho das partículas, graus de compactação e coeficiente de adensamento, que permitem realizar um prognóstico do desempenho da fundação.

O coeficiente de adensamento é o parâmetro utilizado na análise de deformações verticais que contempla características do solo tais como índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade, através da avaliação do comportamento do índice de vazios e da altura de um corpo de prova à medida que acréscimos de tensões são impostas sobre ele. Para a obtenção do coeficiente de adensamento de uma amostra de solo, deve ser realizado o ensaio de adensamento.

Durante a realização de ensaios laboratoriais de forma geral e principalmente do ensaio de adensamento, o método, amostragem e análise dos parâmetros é essencial e deve ser realizado de forma sistemática e padronizada. Isso porque o estado de tensões do solo, o arranjo de suas partículas e de seus componentes deve refletir seu comportamento natural e sem perturbações, ou seja, sem efeito de amolgamento.

No ensaio de adensamento, onde a célula de carga é composta por um molde cilíndrico contendo o corpo de prova, o procedimento de amostragem reflete diretamente nos resultados. O diâmetro do corpo de prova possui relação direta com o efeito de amolgamento da amostra. De acordo com a DNER-IE 005/94 – Solos – Adensamento, quanto menor o diâmetro do corpo de prova ensaiado, maior a deformação ou a perturbação do estado natural da amostra, refletindo assim nos resultados do ensaio.

Na utilização de prensas para ensaio de adensamento, existe a possibilidade de utilização de diferentes diâmetros de corpos de prova. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar como as porcentagens de finos podem influenciar na variação dos resultados de coeficiente de adensamento, considerando a variação dos resultados provocados pelos diferentes diâmetros dos moldes ensaiados.

2 Teoria do adensamento

Desde o início do século XIX, conceitua-se adensamento como sendo a ocorrência da redução de volume por efeito da eliminação da água nos vazios do solo (Carvalho, 1989). Para tal fenômeno, Terzaghi, em 1925, (Terzaghi, 1943) propôs uma base teórica e fundamentada, ano também que foi publicado uma série de artigos denominadas “*Principle of soil mechanics*” (Biot, 1941).

Segundo Terzaghi e Fröhlich (1936 *apud* Carvalho, 1989), toda a teoria de adensamento é baseada em hipóteses, cujas considerações são que o solo homogêneo, em sua camada, está em condição completamente saturado, suas deformações ocorrem apenas no sentido vertical, seus coeficientes de permeabilidade e o módulo edométrico são constantes, dentre outras.

De acordo com Ozelim et. al (2014), a teoria de Terzaghi vem sendo questionada por estudiosos, por possuir algumas limitações e restrições, como possíveis não linearidades dos fenômenos que envolvem o processo de adensamento. Rodrigues et al. (2014) ressaltam a não verificação de algumas hipóteses admitidas por Terzaghi, dentre elas a constatação de que a permeabilidade varia durante o adensamento em virtude da diminuição do índice de vazios.

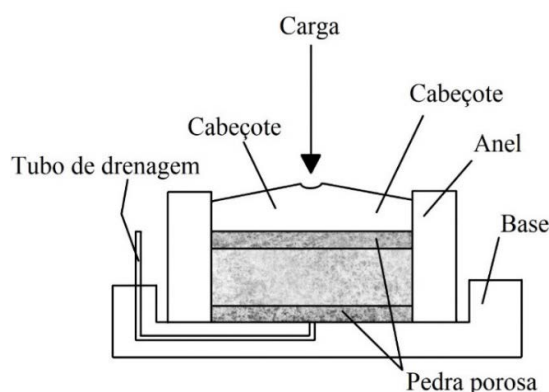
Taylor (1948) propôs uma analogia mecânica para explicar o processo do fenômeno do adensamento, explicando que, imediatamente após a aplicação de uma tensão ao conjunto (momento em que ainda não houve a saída da água), a água presente no solo é responsável por suportar todas as cargas impostas a ele. À medida que se permite a saída de água, as partículas sólidas gradativamente irão passando a suportar a carga aplicada, em detrimento da deformação provocada pela saída de água do meio. O autor ainda acrescenta que, quanto mais compressível for o solo, maior o tempo requerido para o adensamento, e quanto maior a permeabilidade, mais rápido é todo o processo.

2.1 Ensaio de Adensamento

O ensaio de compressão edométrica – também chamado de ensaio de compressão unidimensional – consiste na moldagem de um corpo de prova cilíndrico e na aplicação de uma tensão vertical, com contenção lateral e conseqüentemente impedimento da deformação lateral.

Nesse ensaio, uma amostra é colocada em um anel com duas pedras porosas justapostas e posicionado numa célula de compressão (Fig. 1). Convencionalmente, utiliza-se uma prensa para aplicação das cargas axiais por um sistema de alavanca. De acordo com a DNER-IE 005/94, a altura do corpo de prova utilizada no ensaio e ajustado à célula de compressão é de três a quatro vezes menor que o seu diâmetro.

Figura 1 – Célula de adensamento.



Fonte: Pinto, 2006.

Dentre as alternativas de equipamento para o ensaio de adensamento, Rodrigues et al. (2014) desenvolveram um estudo sobre confiabilidade da utilização de equipamento DSS (Equipamento de Cisalhamento Simples), efetuando uma comparação com o método convencional que utiliza uma prensa de adensamento, onde constatou-se que o DSS é um equipamento praticável para a realização dos ensaios de adensamento, exceto para argilas muito compressíveis.

2.2 Obtenção do coeficiente de adensamento a partir do ensaio

O coeficiente de adensamento (C_v) pode ser obtido a partir de ensaios em pequenas amostras, que simulam as condições encontradas no campo, utilizado para previsões de magnitudes de recalques e sua velocidade (Ortigão, 1975).

A norma DNER-IE 005/94 descreve o seguinte procedimento para realização dos cálculos para determinação do coeficiente de adensamento de uma amostra considerada, após a realização do seu ensaio: Calcula-se o coeficiente de adensamento (C_v) utilizando a fórmula descrita na Eq. (1):

$$C_v = \frac{T * \left(\frac{H_m}{2}\right)^2}{t} \quad (1)$$

Em que:

C_v = – coeficiente de adensamento (cm²/s)

H_m = – Altura média do corpo de prova (média das alturas antes da aplicação e depois dessa (cm)

T – fator tempo dado por:

T = 0,197 para 50% de adensamento

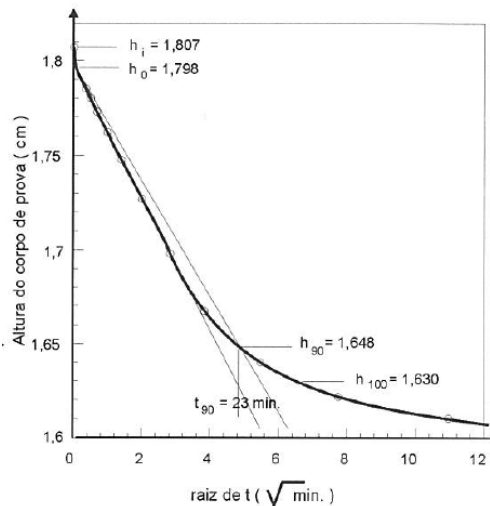
T = 0,848 para 90% de adensamento

O “t” ou tempo para que ocorra 50% ou 90% de adensamento em segundos, utilizado na fórmula, pode ser obtido através de dois métodos: Método de Casagrande e Método de Taylor, respectivamente. A norma DNER-IE 005/94 dispõe da possibilidade de utilização de ambos os métodos. No entanto, segundo Pinto (2006), a usabilidade dos métodos depende do tipo de solo estudado, pois os resultados podem não permitir, por exemplo, a utilização do Método de Taylor por não definir adequadamente a reta do trecho inicial de carregamento.

Porém, segundo uma avaliação realizada por Ortigão (1975), onde foram feitas previsões utilizando ambos os métodos, verificou-se que para determinados tipos de curvas, plotadas utilizando o t em escala logarítmica, não é possível determinar o valor de C_v , principalmente nos estágios em que os valores de pressão aplicada são baixos. Enquanto que, das curvas obtidas utilizando a raiz do tempo foi possível determinar o coeficiente de adensamento para todos os estágios de carga. Segundo Pinto (2006), o método proposto por Donald Taylor para determinação do tempo a 90% de adensamento consiste em plotar, em um gráfico, a altura do corpo de prova (em centímetros) nas ordenadas e a raiz tempo (em minutos) nas abscissas.

Inicialmente (Fig. 2), prolonga-se uma reta correspondente ao trecho inicial da curva teórica, onde a interseção dessa reta com o eixo das ordenadas indica a altura do corpo de prova no início do adensamento (h_0).

Figura 2 – Método de Taylor para determinação do tempo a 90% de adensamento



Fonte: Pinto, 2006.

Associado a esse valor, toma-se também a interseção dessa reta com o eixo das abscissas e indicamos como t_0 . Multiplica-se o valor de t_0 por 1,15, e obtém-se no eixo das abscissas o parâmetro t_1 . Em seguida, traça-se outra reta a partir de t_1 com a altura correspondente ao adensamento primário (h_0). O valor correspondente a um tempo de 90% de adensamento (t_{90}) é a interseção da última reta traçada com a curva de ensaio.

Portanto, a equação 1, pode ser transformada na Eq. 2 a seguir.

$$C_v = \frac{0,848 * \left(\frac{H_m}{2}\right)^2}{t_{90}} \quad (2)$$

2.3 Fatores que influenciam nos resultados dos coeficientes de adensamento

O coeficiente de adensamento é um parâmetro que engloba várias características em sua definição e por isso, fatores situacionais da amostra ensaiada podem exercer significativa influência sobre seus resultados.

Um solo no seu estado amolgado, de forma geral, é definido como um solo que foi submetido a um determinado grau de perturbação, que provoca um rearranjo da estrutura de partículas do solo. O ensaio de adensamento de corpos de prova de solos é prioritariamente realizado com amostras indeformadas, a fim de assegurar o menor efeito de amolgamento possível na amostra a ser ensaiada.

Rocha et al. (2016) estudou a atuação do efeito do amolgamento na tensão de pré-adensamento, realizando ensaios laboratoriais em amostras indeformadas retiradas com amostradores padrões e também em amostras completamente amolgada, e concluiu que a correção de parâmetros de compressibilidade devido ao estado de amolgamento se fez necessária.

Hvorslev (1949) afirma que a interferência do amolgamento nos resultados de ensaios de adensamento está intrinsecamente relacionado com sua categoria e intensidade, os métodos utilizados para ensaio e também as características do solo.

O diâmetro do corpo de prova, por exemplo, por estar intimamente relacionado com possíveis efeitos de amolgamento durante a sua amostragem, pode produzir interferências nos valores obtidos.

Seguindo esse princípio, Oliveira (2002) realizou uma pesquisa com o objetivo de analisar o quanto a qualidade da amostra influencia no comportamento tensão-deformação de argilas moles, e, dentre suas conclusões, avaliou que amostras obtidas com amostradores *Sherbrooke* e *Shelby* 100 mm conseguiram garantir menores perturbações, conservando a estrutura da amostra quando comparadas a amostradores de diâmetros menores com 60 mm, confirmando que amostradores com diâmetros maiores fornecem melhores resultados, pois apresentam uma menor perturbação durante sua moldagem.

Além dos efeitos do amolgamento, verifica-se que as porcentagens de finos influenciam nos resultados do coeficiente de adensamento. Isto porque este parâmetro está diretamente relacionado com a permeabilidade da amostra considerada, que tem relação direta com a classificação granulométrica do solo. Carvalho et. al. (2019) analisaram a influência da porcentagem de bentonita nos resultados de coeficiente de adensamento, elaborando misturas homogêneas de solos artificiais produzidos com lamas de caulim, caulim, bentonita e água destilada com teores de umidades controlados, concluindo que as diferenças no teor de bentonita utilizado nos solos causaram alterações nos coeficientes de adensamento verticais medidos nos ensaios edométricos.

Zanin et. al (2018) realizaram ensaios em amostras indeformada e compactadas, variando-as em inundada e não inundada para avaliar a consequência dos resultados que cada uma das condições de amostragem nos resultados dos parâmetros de adensamento de um solo argiloso provoca, e observaram que os solos inundados apresentaram menores valores de tensão de pré-adensamento e maiores deformações, além de que as amostras em condições indeformadas apresentaram maiores deformações quando comparadas às amostras compactadas.

3 Método ou Programa Experimental

Os métodos utilizados para realização deste trabalho dividiram-se em duas grandes partes: ensaios de caracterização e ensaios de adensamento. Neste tópico serão abordados: localização e obtenção das amostras, ensaios de caracterização realizados, equipamentos utilizados e procedimentos do ensaio de adensamento.

3.1 Localização e obtenção das amostras

As amostras utilizadas foram extraídas no município de Ilhéus-BA, no campus da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), localizada no bairro Solobrinho, na Rodovia Jorge Amado. O território de pesquisa foi direcionado à região da Cabruca, que se caracteriza como um sistema de cultivo agroflorestal, onde há plantação de Cacaú em meio à vegetação natural da região (Mata Atlântica), abundante na região.

A região apresenta um clima tropical úmido, apresentando médias pluviométricas de 1.750 mm anuais. A formação geológica dos solos é composta por rochas sedimentares consolidadas e não consolidadas, bem como rochas ígneas e metamórficas de formação antiga (Amorim et al., 2010).

Uma coleta de solo com retiradas de amostras deformadas foi realizada, a fim de que fossem obtidas amostras com porcentagens de finos diferentes entre si. A localização das jazidas das Amostras 1, 2, e 3, designadas de AM1, AM2 e AM3, são dadas pelas seguintes localizações geográficas: Lat. -14.79602, Lng. -39.17243; Lat. -14.79584, Lng. -39.17144; Lat. -14.7954, Lng. -39.17232, respectivamente.

Segundo a norma DNER-IE 005/94, para a realização do ensaio de adensamento, está previsto a retirada de amostra por bloco indeformado ou amostradores mecânicos para garantir a preservação do estado natural da amostra. Também se apresenta como alternativa o procedimento de compactação dinâmica. Porém, por questões operacionais do laboratório onde os ensaios foram realizados, optou-se por realizar a retirada de amostras diretamente do poço de sondagem a partir dos moldes cilíndricos que fazem parte da prensa de adensamento. O procedimento foi realizado igualmente para todas as amostras e para todos os diâmetros disponíveis, garantindo, assim, que as amostras analisadas fossem submetidas às mesmas condições de amostragem, possuindo a mesma qualidade.

3.2 Ensaio de caracterização

Para caracterização das amostras foram seguidos os procedimentos descritos nas seguintes normas:

a) NBR 6457:2016 Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;

b) NBR 16097:2012 Solo – Determinação do teor de umidade – métodos expeditos de ensaio;

c) NBR 6459:2016 Solo – Determinação do limite de liquidez;

d) NBR 7180:2016 Solo – Determinação do limite de plasticidade;

e) DNER-ME 093/94: Solos – Determinação da densidade real;

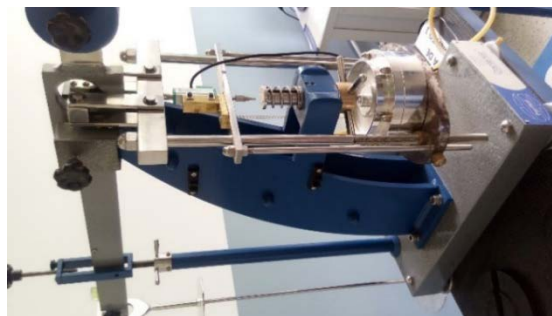
f) NBR 7181:2016 Solo – Análise granulométrica;

As amostras foram caracterizadas e classificadas de acordo com o sistema de classificação SUCS e TRB.

3.3 O equipamento utilizado

Os equipamentos utilizados foram duas máquinas para ensaios de adensamento unidimensional em solos (Fig. 9), cujas medidas de deformação do corpo de prova, durante o ensaio, são realizadas através de transdutor de deslocamento (LVDT), presente no Laboratório de Geomecânica na Universidade Estadual de Santa Cruz. A máquina de adensamento funciona pelo método de aplicação de cargas ao corpo de prova por meio de um sistema de alavanca, onde faz-se a inserção de contrapesos no sistema. Além disso, o conjunto conta com uma célula de adensamento do tipo anel fixo, onde permite-se a realização do ensaio de permeabilidade conjuntamente. Porém, este último não foi considerado, por não fazer parte do escopo da pesquisa.

Figura 3 – Máquina de Adensamento Unidimensional



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O conjunto da máquina de adensamento possui componentes da célula de adensamento, tais como pedras porosas, anéis redutores, moldes cortantes vazados, cabeçotes de compressão e anéis guias, que

podem receber corpos de prova de 20, 40, 60 ou 80 cm² de área. Na Tab. 1 estão dispostos a relação área do corpo de prova com seus respectivos diâmetros, a fim de correlaciona-los para posterior análise.

Tabela 1– Relação área e diâmetro do corpo de prova.

Código	A20	A40	A60	A80
Área do CP (cm ²)	20	40	60	80
Altura do CP (cm)	2	2	2	2
Diâmetro do CP (cm)	5,04	7,14	8,74	10,09

3.4 Procedimento de Ensaio

O ensaio de adensamento foi realizado de acordo com a norma DNER-IE 005/94, excetuando-se para as condições de amostragem e transporte das amostras, que foram realizadas diferentes da norma, por motivos previamente citados.

Por contar com apenas duas prensas de adensamento, para um número de quatro moldes cilíndricos de diâmetros diferentes por amostra, para todas elas, a ordem de retirada, moldagem e ensaio de diferentes diâmetros seguiam um padrão dois a dois. Inicialmente realizava-se o procedimento completo dos moldes de 80 e 20 cm² e posteriormente dos moldes de áreas 60 e 40 cm².

Após extraídas, as amostras eram moldadas com fios metálicos e espátulas, a fim de garantir a uniformidade das faces, evitando ao máximo que houvesse qualquer tipo de perturbação extra. O procedimento foi realizado igualmente para todas as amostras e para todos os diâmetros de anéis disponíveis.

Após moldados, e com os valores de umidade obtidos pelo método da estufa, anéis com o corpo de prova foram pesados em balança com precisão de 0,1 g, e anotados os valores. Na Fig. 4 estão representados os componentes da célula de carga. Em seguida, prosseguiu-se com a montagem da célula de carga, obedecendo sempre às seguintes etapas:

- a) Fixou-se a placa ranhurada na base da célula de ensaio;
- b) Colocou-se a pedra porosa seguido pelo disco de papel filtro;
- c) Prenderam-se as duas partes da célula com o auxílio dos parafusos e chave própria;
- d) Caso a amostra fosse de 80 cm², colocou-se diretamente na célula. Em amostras de 60, 40 e 20 cm², encaixou-se o anel redutor primeiramente e em seguida a amostra;
- e) Colocou-se o papel filtro seguido pela pedra porosa;
- f) Inseriu-se o anel guia;
- g) Colocou-se o cabeçote próprio.

Figura 4 – Componentes da célula de adensamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Posteriormente, colocou-se a célula na máquina de adensamento, prosseguiu-se com os ajustes da máquina e seguiu-se para inserção dos dados da amostra no *software* ligado ao LVDT. As informações inseridas foram:

- a) Umidades da amostra: massa da cápsula, massa da amostra úmida e massa da amostra seca;
- b) Altura do corpo de prova;
- c) Massa específica;
- d) Massa do anel;
- e) Massa do anel com corpo de prova;
- f) Informações de pressões desejadas e número de estágios.

Iniciou-se, então, a aplicação de carga e o ensaio com 6 estágios de carregamento com duração de 24 horas, onde cada corpo de prova foi submetido a uma pressão de assentamento equivalente a 0,2kPa. O primeiro estágio do ensaio iniciou-se com uma carga pra uma pressão de 20 kPa, sendo, em seguida, acrescida para o estágio subsequente um incremento correspondente ao dobro do anterior. Desta forma, para cada corpo de prova, foram submetidas as seguintes pressões de assentamento, dispostas na Tab. (2).

Tabela 2 – Pressões aplicadas para cada estágio de carregamento.

Estágios de carregamento	Pré-adensamento	1	2	3	4	5	6
Pressões de carregamento (kPa)	0,2	20	40	80	160	320	640

Para cada acréscimo de pressão, correspondente a um estágio, foram realizadas as leituras de deformação no deflectômetro nos intervalos de tempo de 7,5s, 15s, 30 s, 1min, 2min, 4min, 8min, 15min, 30min, 1hr, 2hrs, 4hrs, 8hrs e 24hrs.

Os valores de deformação, tempo e acréscimo de pressão eram trabalhadas pelo *software* e gerados resultados em planilha eletrônica.

4 Resultados e discussões

Foram escolhidas três jazidas, e elas apresentaram porcentagens de finos de 52.7, 60.4 e 72.8%. Após realizados os ensaios de densidade real, limite de liquidez, limite de plasticidade e umidade higroscópica, os resultados obtidos foram dispostos na Tab. (3).

Tabela 3 – Resultados de ensaio de caracterização das amostras.

Parâmetros Geotécnicos	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Umidade higroscópica (%)	3,03	2,73	3,71
Limite de liquidez (%)	31,25	49,40	55,80
Limite de plasticidade (%)	17,35	23,02	27,71
Índice de plasticidade	13,90	26,38	28,09
Massa específica (g/cm³)	2,628	2,394	2,391

A partir das curvas granulométrica – obtidas com os dados dos ensaios de cada uma das amostras – plotadas em gráfico e analisando as porcentagens passantes, pode-se classificar as amostras de acordo com o sistema de classificação SUCS e pelo método de classificação TRB. Dessa forma, as amostras podem ser classificadas de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo dos resultados de classificação

Amostra	Classificação TRB	Classificação SUCS
AM 1	A-6	CL
AM 2	A-6	CL
AM 3	A-7-6	CH

4.1 Curvas de adensamento

As leituras correspondentes a cada molde cilíndrico, contendo corpo de prova de cada uma das amostras, foram organizadas em tabelas.

As curvas de deformação por raiz do tempo utilizadas para visualização gráfica da deformação da amostra e para a obtenção do tempo a 90% de adensamento proposto pelo Método de Taylor. Para obtenção do coeficiente de adensamento, foi utilizado o procedimento descrito no item 2.3.

Análise Comparativa: influência do diâmetro das amostras

Portanto, analisando os dados obtidos, pode-se construir a Tab. (4), onde estão disponíveis as informações de altura média de amostra (Hm), tempo a 90% de adensamento (t90) e coeficientes de adensamento (λ).

Tabela 4 –Valores de t90, Hm e λ para todos os CP's

Amostras	Parâmetros	Pressões (kPa)					
		20	40	80	160	320	640
AM1 A20	Altura média (cm)	1,993	1,982	1,973	1,950	1,881	1,818
	t90 (s)	156	84	192	120	132	84
	(10-3) (cm ² /s)	5,40	9,91	4,30	6,72	5,68	8,34
AM1 A40	Altura média (cm)	1,987	1,964	1,934	1,886	1,819	1,732
	t90 (s)	504	468	264	216	216	72
	(10-3) (cm ² /s)	1,66	1,75	3,00	3,49	3,25	8,83
AM1 A60	Altura média (cm)	1,983	1,959	1,916	1,867	1,806	1,738
	t90 (s)	216	288	240	120	288	84
	(10-3) (cm ² /s)	3,86	2,82	3,24	6,15	2,40	7,62
AM1 A80	Altura média (cm)	1,985	1,961	1,923	1,850	1,759	1,664
	t90 (s)	288	288	216	144	288	120
	(10-3) (cm ² /s)	2,90	2,83	3,63	5,04	2,28	4,89
AM2 A20	Altura média (cm)	1,983	1,955	1,931	1,892	1,841	1,780
	t90 (s)	288	240	192	240	264	504
	(10-3) (cm ² /s)	2,89	3,38	4,12	3,16	2,72	1,33
AM2 A40	Altura média (cm)	1,990	1,974	1,955	1,921	1,870	1,807
	t90 (s)	264	288	240	240	216	468
	(10-3) (cm ² /s)	3,18	2,87	3,38	3,26	3,43	1,48
AM2 A60	Altura média (cm)	1,980	1,948	1,919	1,880	1,833	1,773
	t90 (s)	192	216	288	228	264	240
	(10-3) (cm ² /s)	4,33	3,73	2,71	3,29	2,70	2,78
AM2 A80	Altura média (cm)	1,969	1,920	1,880	1,831	1,778	1,721
	t90 (s)	192	216	264	192	342	288
	(10-3) (cm ² /s)	4,28	3,62	2,84	3,70	1,96	2,18
AM3 A20	Altura média (cm)	1,983	1,957	1,932	1,887	1,840	1,815
	t90 (s)	192	288	264	174	216	288
	(10-3) (cm ² /s)	4,34	2,82	3,00	4,34	3,32	2,43
AM3 A40	Altura média (cm)	1,970	1,928	1,895	1,846	1,776	1,692
	t90 (s)	240	288	264	168	288	240
	(10-3) (cm ² /s)	3,43	2,74	2,88	4,30	2,32	2,53
AM3 A60	Altura média (cm)	1,931	1,847	1,728	1,595	1,525	1,445
	t90 (s)	216	240	264	132	240	216
	(10-3) (cm ² /s)	3,66	3,01	2,40	4,09	2,05	2,05
AM2 A80	Altura média (cm)	1,954	1,887	1,846	1,782	1,698	1,614
	t90 (s)	216	192	288	192	288	240
	(10-3) (cm ² /s)	3,75	3,93	2,51	3,51	2,12	2,30

Baseado na análise dos resultados de coeficientes de adensamento e, considerando para análise o maior diâmetro (A80) como obtendo o resultado ideal (100%), pode-se perceber que os valores correspondentes às amostras de diâmetros menores, distam em percentual, conforme indicado na Tab. (5).

Tabela 5 – Diferença percentual entre amostras em comparação aos moldes A80

Pressão (kPa)	20	40	80	160	320	640
Amostra 1						
A80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A60	33,1	0,2	10,6	22,2	5,5	55,9
A40	42,7	38,3	17,2	30,7	42,6	80,5
A20	86,1	250,3	18,4	33,4	149,7	70,6
Amostra 2						
A80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A60	1,1	2,9	4,4	11,2	37,7	27,4
A40	25,6	20,7	18,9	12,0	75,1	32,1
A20	32,3	6,6	45,0	14,6	38,8	38,8
Amostra 3						
A80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A60	2,28	23,3	4,4	16,5	3,2	10,9
A40	8,45	30,4	14,9	22,6	9,3	9,8
A20	15,95	28,3	19,5	23,7	56,5	5,3

A menor diferença foi percebida entre os valores da AM1 A60, que se distanciou em 0,2% do valor base.

Apenas em cinco situações, considerando a variação de diâmetro e pressão, a proporcionalidade divergiu do que foi observado. Na Amostra 1, para uma pressão de 640 kPa, foi observado uma variação maior para o molde A40, do que para o molde A20. O mesmo ocorreu para a Amostra 3, porém para uma pressão de 320 kPa e de 40 kPa. Na Amostra 3, a divergência foi observada também para as pressões de 40kPa e 640 kPa, sendo que este último houve uma discrepância para os três moldes analisados, sendo que o A60 possuiu uma maior diferença percentual, seguido pelo molde A40 e A20.

Ademais, todos os outros valores seguiram o mesmo padrão de divergência quando comparado ao A80, em conformidade com o apresentado na literatura, onde diz-se que quanto maior o diâmetro, melhores os resultados do ensaio de adensamento, e, conseqüentemente, da obtenção do coeficiente de adensamento.

Análise Comparativa: influência da porcentagem de finos

Outra análise que pode ser feita é em relação a influência da porcentagem de finos no ensaio de adensamento. Para isso, considera-se os valores dos moldes A80, dispostos na Tab. (6), para cada amostra analisada.

Tabela 6 – Valores de coeficiente de adensamento para CPs de 80cm²

Porcentagem de Finos (%)	Amostras	Pressão (kPa)					
		20	40	80	160	320	640
60,4	Amostra 1	2,899	2,830	3,630	5,038	2,277	4,890
52,7	Amostra 2	4,279	3,619	2,839	3,704	1,960	2,179
72,8	Amostra 3	3,746	3,933	2,509	3,507	2,123	2,302

Analisando os dados, foi possível observar um leve padrão quando aos valores de coeficiente de adensamento. Em sua maioria, a Amostra 1 possui maiores valores de coeficiente, seguido da Amostra 2 e Amostra 3 que divergem das previsões sugeridas pela literatura, indicando tanto menores valores de coeficiente

de adensamento quanto maiores as porcentagens de finos. Pois quanto mais finos a amostra possuir, menor o coeficiente de permeabilidade da amostra, que, por sua vez, é diretamente proporcional ao coeficiente de adensamento.

Porém, essa divergência pode ser explicada pela predominância de argila nas amostras, que se configuram em 28,05%, 42,33% e 58,71% para as Amostras 1, 2 e 3 respectivamente. Apesar da variação da porcentagem de finos das amostras, deve-se levar em conta a porcentagem de predominância de argila, fazendo, assim, uma sobreposição de influências. Considerando apenas essa característica, observa-se que os coeficientes de adensamento, são inversamente proporcionais a esta. Seguindo essa linha, nota-se que os coeficientes de adensamento das Amostras 2 e 3 são inferiores, comparadas à Amostra 1.

5 Considerações Finais

As amostras utilizadas para realização do ensaio de adensamento unidimensional foram classificadas de acordo com a SUCS e TRB. As Amostras 1 e 2 foram identificadas como A-6 e CL, considerada dessa forma argilas inorgânicas de baixa compressibilidade. Já a Amostra 3 pode ser classificada como A-7-6 e CH, caracterizando uma argila de alta compressibilidade.

Na análise da influência dos diâmetros dos corpos de prova, os resultados apresentaram-se em conformidade com a literatura, em que se observou padrões de variação nos valores do coeficiente de adensamento dos moldes A60, A40 e A20, no qual constatou-se que quanto menor o diâmetro, maior a diferença percentual quando comparado ao A80.

Porém, a mesma conformidade não foi observada quando comparados os valores do coeficiente de adensamento para as diferentes amostras, considerando sua porcentagem de finos. Precisou-se recorrer à porcentagem de argilas em sua composição, o que permitiu explicar a diferença entre os valores de obtidos, já que é sabido que as argilas possuem grande influência no comportamento dos solos.

Para realizações de pesquisas futuras, sugere-se a realização dos ensaios para um número maior de amostras, que fornecerá maiores quantidades de dados, melhorando a precisão dos resultados realizada para os valores de diâmetros.

Além disso, recomenda-se a realização de estágios de compressão e descompressão, a fim de que sejam analisados os resultados de outros parâmetros obtidos com o ensaio de adensamento, tais como coeficiente de compressibilidade, coeficiente de variação volumétrica, módulo de compressão edométrica e do coeficiente de adensamento.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Raul Reis *et al.* Estratificação de ambientes como ferramenta no estudo das unidades de paisagem: o cenário do município de Ilhéus-Bahia. **Caminhos de geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, p.140-157, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:2016**: Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16097:2012**: Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:2016**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:2016**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:2016**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BIOT, Maurice Anthony. General Theory of Three-Dimensional Consolidation. **Journal of Applied Physics**, New York, v. 12, n. 2, p. 155-164, Feb. 1941.

BRAJA, Das. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Tradução da 6ª edição americana. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

CARVALHO, Sérgio Roberto Ladeira. **Ensaio de adensamento edométrico com taxa constante de deformação específica relacionada ao tempo na argila do Sarapuí**. 1989. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 1989.

CARVALHO, João Vítor de Azambuja *et al.* Avaliação do coeficiente de adensamento de solos artificiais. *In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DO RIO GRANDE DO SUL – GEORS*, 9., 2019, Santa Maria. **Anais** [...]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2019. p. 1-9.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-IE 005/94**: Instrução de Ensaio. Solos - Adensamento. Brasília: DNER, 1994a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 093/94**: Solos – determinação da densidade real. Brasília: DNER, 1994b.

HVORSLEV, Mikael Juul. **Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes**. Mississipi: Waterways Experiment Station, 1949. Disponível em: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015002125634&view=1up&seq=18>. Acesso em: 02 ago 2019.

OLIVEIRA, Joaquim Teodoro Romão de. **A influência da qualidade da amostra no comportamento tensão-deformação-resistência de argilas moles**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

ORTIGÃO, José Alberto Ramalho. **Contribuição ao estudo de propriedades geotécnicas de um depósito de argila mole da baixada fluminense**. 1975. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1975.

OZELIM, Luan Carlos de Sena Monteiro *et al.* Aplicação de Novos Paradigmas para o Entendimento do Fenômeno de Adensamento em Solos Estruturados e Colapsíveis. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA*, 17., 2014, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: COBRAMSEG, 2014. p. 1-8

PAVAN, Roberto Carlos; COSTELLA, Marcelo Fabiano; GUARNIERI, Gustavo. Interação solo-estrutura para sistemas estruturais reticulados sobre fundações rasas. **Rev. IBRACON Estrut. Mater**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 273-285, abr. 2014.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RODRIGUES, Natália Lopes *et al.* Comparação de ensaios de adensamento realizados em equipamento de cisalhamento simples (DSS) e em prensa de adensamento. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA; GEOTECNIA E DESENVOLVIMENTO URBANO - COBRAMSEG*, 17., 2014. Goiânia, 2014. **Anais** [...]. Goiânia: ABMS, 2014. p. 1-8

ROCHA, Felipe Melo de Assis. Compressibilidade de uma Argila Orgânica Mole do Bairro Chão de Estrelas no Recife. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA O FUTURO SUSTENTÁVEL DO BRASIL PASSA POR MINAS - COBRAMSEG*, 18., 2016, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: ABMS, 2016. p. 1-9.

TAYLOR, Donald Wood. **Fundamentals of soil Mechanics**. New York: John Wiley & Sons, 1948.

TERZAGHI, Karl. **Theoretical Soil Mechanics**. New York: John Wiley & Sons, 1943.

ZANIN, Renan Felipe Braga *et al.* Influência da Compactação nos Parâmetros de Adensamento de um Solo Argiloso. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA; GEOTECNIA E DESENVOLVIMENTO URBANO - COBRAMSEG*, 19., 2018, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: ABMS, 2018. 1-8.

Sobre os autores

Jocielle Rodrigues da Silva

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC (2019), pós-graduada em Docência do Ensino Superior pela Instituição de Ensino Dom Alberto e Mestre em Modelagem Computacional em Ciências e Tecnologias, pela UESC. Pós-graduanda no programa de Especialização em Engenharia Ambiental Urbana pela UFSB.

Stephanny Conceição Farias do Egito Costa

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG (2013) e Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, com ênfase na área de Geotecnia pela UFCG (2015). Membro do corpo docente da área de Engenharia Civil na Universidade Estadual de Santa Cruz. Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, com ênfase na área de Geotecnia pela UFCG.

Caique Lima de Santana

Engenheiro Civil, pela Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC (2020) e Mestre em Modelagem Computacional em Ciências e Tecnologias, pela UESC. Especialista em Recursos Minerais na Agência Nacional de Mineração – ANM.

Aceite: 15/12/2024

Avaliação: 05/10/2023