Montagem de equipamento, utilizando garrafas PET, para determinação de curva de retenção de umidade (CRU)

Jardel Sodré Farias¹; Maria do Socorro Costa São Mateus ;

1. Bolsista FAPESB, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:

Jardel.sfarias@gmail.com

2. Orientadora, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: so_mateus@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE: Curva de retenção de umidade; Solos não saturados; Equipamento com garrafa PET.

INTRODUÇÃO

A importância de estudar solos não saturados reside não somente no fato de a grande maioria dos solos serem encontrados nesse estado, mas também devido à necessidade de compreender fenômenos até pouco tempo desconsiderados nos projetos e nas análises de engenharia (Marinho, 2005). Os solos não saturados apresentam condições melhores em suas propriedades, tais como aumento de resistência e menor permeabilidade na presença de fluidos contaminantes, dependendo das condições que se encontram no campo em termo de manutenção de obras.

Uma das principais características dos solos não saturados é a relação entre a umidade volumétrica e a magnitude de sucção, ao longo de uma camada de solo. Essa relação é descrita pela Curva de Retenção de Umidade do Solo (CRU), ou curva característica do solo (Fredlund & Rahardjo, 1993).

Para determinação experimental da CRU do solo, existem vários métodos: centrífuga de pequena escala, extrator de placa de pressão volumétrica, técnica da translação de eixo, célula de pressão, entre outros. No entanto, esses métodos necessitam de um aparato experimental de alto custo, o que muitas vezes inviabiliza a realização do ensaio. Existe também a técnica do papel filtro que, embora de baixo custo, pode apresentar erros devido à sensibilidade do papel filtro (Dias 2012; Marinho, 2005).

Neste trabalho, foi montado um equipamento com uma nova técnica de baixo custo e sustentável, utilizando garrafa PET, proposta por Sousa (2012), para determinar a CRU dos solos de 0 kPa – 19,6 kPa. Também foi utilizado o higrômetro do ponto de condensação WP4C, para complementar a curva nos intervalos de 100kPa – 200MPa. Para realização desses ensaios, coletou-se um solo do Centro Industrial Subaé de Feira de Santana-BA, o qual foi caracterizado geotecnicamente.

METODOLOGIA

Para o equipamento (Figura 1), foi desenvolvido, inicialmente, um suporte para assegurar estabilidade às camadas de solo e ao reservatório. Este suporte é composto por uma base de madeira com quatro orifícios de aproximadamente 4 cm de diâmetro (Figura 1 - A). Acima dos orifícios destinados às colunas de garrafa PET, têm-se cantoneiras de alumínio com braçadeiras de aço para garantirem o suporte estrutural necessário às colunas de solo (Figura 1 - B), e o ultimo orifício é reservado ao reservatório, confeccionado com um garrafão de capacidade igual à 20L (Figura 1 - C). Este reservatório é um tubo Mariotte, o qual mantém um fornecimento constante de água ao sistema, independente do seu nível, sem influenciar na sucção da coluna. Embora o sistema montado admita um ensaio em triplicata, foi montada apenas uma coluna por conta do tempo de compactação do solo.

Sob a base de madeira encontra-se a tubulação de PVC, a qual faz a comunicação entre o reservatório e as colunas. Essa tubulação desce do reservatório por meio de uma mangueira, que esta conectada a um registro por uma união macho. O registro por sua vez foi

conectado à tubulação de PVC, que também está conectada às colunas por uniões macho e mangueiras (Figura 2).

Figura 1 – Suporte para equipamento

Figura 2: Tubulação de PVC

As garrafas foram cortadas preservando a sua parte central, um tubo com de cerca de 10cm de diâmetro e 17cm de altura, em seguida, foram coladas três a três com cola epóxi e em seguida foram costuradas com arames para garantir um reforço. Assim, a medida que a coluna de solo compactado ia crescendo, eram acrescentadas mais três garrafas já coladas. Na base da coluna foi colocada uma garrafa com apenas o corte realizado na parte superior, a qual foi adicionado um filtro de PVC (Disco perfurado) e, sobrejacente ao disco, uma camada de 4 cm de pedrisco em contato com a base da coluna de solo compactado, para evitar carreamento do solo e para regular o fluxo antes de atingir esse material.

Para a construção desse sistema, foram utilizadas 12 garrafas PET transparentes e de mesmo fabricante, para garantir um padrão e assim facilitar o encaixe uma a outra.

Depois da coluna montada, realizou-se a compactação do solo em camadas de espessura igual a 4mm, para manter a densidade constante ao longo dos 2m de altura da coluna, cujo valor de campo é $1,77 \text{ g/cm}^3$. Para o controle da densidade, estimou-se um diâmetro médio das garrafas de aproximadamente 10cm, obtendo 52,63g como o valor da massa de solo que deveria ter cada camada. De posse desses valores, foi possível determinar a energia de compactação, utilizando uma garrafa de teste para se calcular o número de golpes em cada camada.

Para essas etapas de compactação foi desenvolvido um compactador específico, confeccionado com ferro fundido, base de 9cm diâmetro e um cabo oco de 46cm de altura. Este cabo foi preenchido com concreto, para se obter uma massa total de 4,5kg. O compactador conta também com um alongamento de 47,5cm em PVC, para promover a compactação das primeiras camadas, que estavam mais profundas.

Após montado o equipamento, coletou-se um solo que foi caracterizado em laboratório por meio dos seguintes ensaios: peso específico dos grãos, granulometria conjunta, limite de liquidez e limite de plasticidade. E também foi determinada a densidade de campo.

Após montada a coluna de garrafa PET, deu-se início ao fluxo ascendente de água no solo compactado.

A altura capilar representa o potencial matricial da água no solo (sucção). Para a montagem da CRU, é necessário determinar o teor de umidade correspondente à cada altura capilar. Para isso, após a conclusão do ensaio serão retiradas amostras do solo em diversas alturas, por meio de anéis de PVC, e em seguida, será determinado o teor de umidade na estufa.

Para a determinação de parte da curva utilizando o equipamento WP4C, foi retirada uma amostra indeformada do solo com as dimensões do copo do equipamento (4 cm de

diâmetro e 1 cm de altura). Em seguida, a amostra foi umedecida aos poucos, adicionando água no topo com uma seringa. Após cada etapa de umedecimento, a amostra era colocada no aparelho para determinar o valor da sucção e a leitura do equipamento levava em torno de 10min, podendo ultrapassar esse tempo nos pontos de maior sucção. Assim, após percorrer diversos pontos, obteve-se o valor da sucção referente a cada umidade, para confeccionar a CRU.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO

O solo analisado se encontra no campo com uma massa específica de $1,77\text{g/cm}^3$ ($17,7\text{ kN/m}^3$) e possui uma massa específica real dos grãos de $2,65\text{g/cm}^3$ ($26,6\text{ kN/m}^3$). A curva granulométrica está apresentada na Figura 17, mostrando que se trata de uma areia argilosa com 43,5% de argila; 4,5% de silte; 17% de areia fina; 21,5% de areia média; 9,9% de areia grossa e 3,6% de pedregulho, de acordo com a classificação da NBR 6502 (ABNT, 1995). Quanto aos Limites de Atterberg, o solo tem $LL = 37\%$ e $LP = 16\%$. Portanto, é classificado como um solo altamente plástico com $IP = 21\%$.

Utilizando o Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS, o material estudado é classificado como (SC).

Após o término da compactação do solo na coluna de garrafa PET, foi iniciado o ensaio de ascensão capilar, o qual está em andamento e ocorrendo como planejado (Figura 3). No início a ascensão é rápida por conta da elevada diferença de potencial matricial entre a base do solo, que está saturada, e o restante da coluna de solo que se encontra na umidade higroscópica, no entanto, após alguns centímetros esse movimento ascendente do fluido se torna mais lento.

Figura 3 – Equipamento finalizado

A CRU obtida utilizando o equipamento WP4C, por umedecimento, está apresentada na Figura 4. Não foi possível realizar o ajuste seguindo o modelo de Van Genuchten (1980), uma vez que a curva não está completa, no entanto, após a coleta dos resultados da ascensão capilar e a junção dos dados, isso será possível.

Mesmo sem a linha de tendência ajustada é possível verificar que a CRU do solo estudado apresenta um comportamento bimodal, já que existem dois pontos de inflexão, o primeiro ponto ocorre em potenciais matriciais em torno de 1.000 kPa, enquanto o segundo ocorre sob potenciais muito altos (15.000 kPa).

Figura 4 – CRU obtida pelo WP4C

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A coluna de garrafa PET, para determinação da CRU do solo, foi montada e testada após a compactação estática do solo. O ensaio se mostrou uma alternativa sustentável, útil e de baixo custo para a determinação da parte da CRU com valores baixos de sucção (0 Kpa – 20 Kpa), uma vez que está funcionando de acordo com o previsto e sem problemas quanto a sua funcionalidade até o momento.

A CRU obtida pelo equipamento WP4C mostrou que esse material apresenta uma característica bimodal, apresentando dois pontos de sucção. O ajuste da curva será realizado após a coleta dos resultados do ensaio de determinação da curva pelo método da ascensão capilar em colunas feitas de garrafa PET, o qual está em andamento.

REFERÊNCIAS

DIAS, C.O; Determinação da condutividade hidráulica de solos não saturados. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Construção Civil. 2012.

FREDLUND, D.G.; RAHARDJO, H. Soil mechanics for unsaturated soils. New York: John Wiley and Sons, INC., 1993.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S. & CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. R. Bras. Ci. Solo. 28:327-336, 2004.

MARINHO, F.A.M., Os solos não Saturados: Aspectos Teóricos, Experimentais e Aplicados. Texto apresentado a USP/SP para o concurso de livre docência. USP, São Paulo/SP, 2005.

SOUSA, R. P; Estudo dos fluxos de óleo diesel e água em solos não saturados: desenvolvimento experimental e modelagem matemática. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia. 2012.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., n. 44, p. 892-898, 1980.