



CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES HIDRÁULICAS DE SOLOS DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS DO COMPLEXO COSTEIRO EM ENCOSTA SITUADA NO GUARUJÁ-SP

Palavras-Chave: MINERALOGIA, CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA, CURVA DE RETENÇÃO À
ÁGUA

Autores(as):

JÚLIA VITORETTI DE GÓES, IG – UNICAMP

Prof.^a Dr.^a. ANA ELISA SILVA DE ABREU (orientadora), IG – UNICAMP

Doutoranda MSc. MALENA D'ELIA OTERO (coorientadora), IG – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Este projeto de iniciação científica tem como objetivo caracterizar as propriedades hidráulicas de solos de alteração das rochas do Complexo Costeiro em encosta situada no município de Guarujá-SP. A região possui taludes suscetíveis a escorregamentos, sendo a água um dos principais fatores associados a essas ocorrências e por este motivo a caracterização de suas propriedades hidráulicas é importante.. O projeto visa complementar a caracterização dos solos da área de estudo da pesquisa de doutorado do coorientadora e proporcionar capacitação técnico-científica à graduanda envolvida no projeto.

METODOLOGIA:

- *Determinação da Condutividade Hidráulica Saturada (Ksat)*

Para este ensaio foram submetidas duas amostras indeformadas de solos representativos da área estudada, uma de solo residual (amostra SR), retirada em uma trincheira aberta no leito da estrada de terra, e outra de solo coluvionar (amostra PI), retirada a uma profundidade de 50cm em um corte lateral à estrada. As duas amostras foram levadas ao Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Civil (FEC) e submetidas ao ensaio com carga variável. Tal ensaio exige que o corpo de prova esteja saturado por processo de circulação d'água durante algum tempo, por isso o permeâmetro foi conectado à torneira do laboratório, e depois de saturado, iniciou-se o ensaio. Após o término do experimento, foi realizado o cálculo de coeficiente de permeabilidade para cada uma das amostras através da equação abaixo:

$$\kappa = 2,3 \frac{AcH}{At} \log \frac{L0}{L1}$$

Onde:

Ac = área interna do tubo de carga, em cm²

H = altura do corpo de prova, em cm

A = área o corpo de prova em cm²

t = tempo decorrido, para percolar no volume V, em s.

L0, L1 = alturas da carga, nos instantes inicial e final, em cm.

- *Difração de Raio X (DRX)*

As medidas de DRX foram realizadas em amostras na forma de pó, portanto houve uma etapa de preparação que consistiu em desagregar o solo com espátulas, e depois secá-lo em estufa. Posteriormente as amostras foram quarteadas; o quarteamento possibilita que as frações sejam misturadas, para que então haja uma homogeneização e uma amostra final mais fiel possível. Depois de quarteadas, as amostras foram levadas para moer no pote de ágata. Após esse preparo, a amostra foi levada até a sala de DRX no Instituto de Geociências da Unicamp, para dar início ao ensaio. O preparo das amostras para a coleta dos difratogramas foi realizado por prensagem manual no porta amostra, seguido de exposição aos raios X no difratômetro D2 Phaser da Bruker, com tubo de filamento de tungstênio com ânodo de Cu ($\lambda=0,15\text{nm}$). O ângulo (2θ) de varredura variou no intervalo de 4° a 75° com o amostrador em rotação e as medidas realizadas a cada 6 segundos com variação de 0,2°. A interpretação dos picos dos difratogramas foram executadas no software X'Pert HighScore Plus (versão 4.6a) da Panalytical.

- *Curva característica de retenção à água*

Para este ensaio, a aluna esteve em campo com a orientadora coletando amostras indeformadas, sendo seis amostras do solo residual (SR) e outras seis do solo coluvionar (PI), onde 3 amostras de cada tipo de solo foram ensaiadas para a curva de secagem (SR-1, SR-2, SR-3, PI-1, PI-2, PI-3) e outras 3 para a curva de umedecimento (SR-4, SR-5, SR-6, PI-4, PI-5, PI-6). Os corpos de prova foram moldados em cilindros de PVC com altura e diâmetro médio de 0,024m e 0,05m, respectivamente. As curvas de retenção foram obtidas pelo método do papel filtro (MARINHO, 1995) para as trajetórias de umedecimento e secagem à água destilada.

Para a técnica de secagem, os corpos de prova foram saturados, colocando-os sobre uma pedra porosa. Em seguida, esse conjunto foi colocado sobre uma manta acrílica dentro de uma bandeja com água destilada. A água na bandeja cobria a pedra porosa para mantê-la saturada, permitindo que as amostras se saturassem por capilaridade (BONDER, 2008), essas amostras ficaram saturando por 7 dias. Para a curva de umedecimento, os corpos de prova foram levados à estufa (100°C) por 24 horas, pesados, e depois foi adicionado aproximadamente 1 grama de água destilada com ajuda de um conta gotas. Depois disso, o processo de colocação do papel filtro foi iniciado.

Os papéis filtro utilizados foram da marca Unifil C42, retirados da caixa e colocados imediatamente em contato com os corpos de prova. Depois disso, cada conjunto (corpo de prova e papel filtro) recebeu uma placa pvc como sobrecarga e foi envolto por atilhos de borracha, para garantir que houvesse um total contato entre o papel e o solo. Todo esse conjunto foi protegido novamente com filme plástico de PVC para evitar a interferência da variação de umidade do ar no equilíbrio entre o papel filtro e o solo. Assim os corpos de prova permaneciam por 7 dias.

Passados os 7 dias, as amostras da curva de secagem eram desembaladas, pesadas (corpo de prova e papel filtro) e levadas para estufa, corpo de prova por apenas 20 min e papel filtro por 2 horas, depois disso, pesados novamente e embalados novamente seguindo a sequência já descrita acima, fazendo uso de novos papéis filtro. Já as amostras da curva de umedecimento, também foram desembaladas e pesadas (corpo de prova e papel filtro), os papéis secaram na estufa por 2 horas e depois foram pesados para observar a variação de umidade, mas as amostras foram umedecidas com aproximadamente 1g de água destilada, pesadas, e embaladas com novos papéis filtros. E assim ficaram por mais 7 dias, se repetindo por semanas os mesmos procedimentos. Com o ensaio finalizado, foi possível calcular as sucções utilizando as equações de Chandler (Equações 1 e 2) para o papel Whatman nº42. Sendo a primeira equação usada para quando a umidade ultrapassar 47%, e a segunda, para umidade inferior a 47%.

$$Su = 10^{(4,84-(0,0622*(w<47\%)))} \quad (1)$$

$$Su = 10^{(6,05-(2,48*\log(w>47\%)))} \quad (2)$$

Onde:

Su = Sucção do solo (KPa);

W = umidade gravimétrica do papel filtro (%).

RESULTADOS:

Com os dados coletados no ensaio de Condutividade Hidráulica Saturada (Ksat), foi possível efetuar os cálculos e obter para a amostra de solo residual (SR-01G) o valor de Ksat igual à 1×10^{-4} cm/s, que é o valor esperado para um solo areno siltoso (FREEZE e CHERRY, 1979), e para a amostra de solo coluvionar (PI-01A) o resultado de Ksat foi de 5×10^{-3} cm/s. De acordo com Freeze e Cherry (1979) e os resultados de Ksat apresentados aqui para PI e SR, pode-se inferir que ambas as amostras apresentaram resultados de condutividade hidráulica de areia siltosa, ou então de baixa permeabilidade. A amostra SR de solo residual, ao ser manuseada, de fato apresentou um aspecto de solo mais arenoso, mais desagregável em relação a amostra PI de solo coluvionar. Este, por sua vez, apresentou visivelmente um aspecto de solo mais agregado, compactado, argiloso; contudo, os resultados de ambas as amostras foram bem próximos.

O levantamento bibliográfico prévio feito para este trabalho apresenta os minerais predominantes nas rochas da área de estudo. Com isso, é possível correlacionar os minerais encontrados no resultado da DRX com

os possíveis minerais de alteração resultados da intemperização da rocha-mãe daquela área, uma vez que os solos residuais geralmente são provenientes do processo de intemperização e decomposição da rocha in situ.

Os minerais encontrados nas amostras por meio da Difração de Raios X foram, em ordem de predominância, quartzo e argilominerais, como a caulinita e haloisita e um hidróxido chamado gibbsita. Esses já eram esperados uma vez que havia abundância de quartzo nas rochas daquela área e mesmo após o intemperismo o quartzo comumente oferece resistência às alterações, então permaneceu no solo. Já os argilominerais e o hidróxido também são justificáveis uma vez que são produtos da alteração das micas e dos feldspatos, e este tinha em abundância nas rochas que ocorrem na região e deram origem ao solo.

Também se esperava que óxidos de Fe fossem detectados no ensaio DRX, uma vez que sua formação pode estar relacionada à liberação do Fe constituinte de silicatos. Além disso a amostra de solo coluvionar (PI 01A) possui aspecto bastante amarelado, e segundo Schwertmann e Taylor (1989) até mesmo em baixas concentrações, os óxidos de Fe têm um alto poder pigmentante e imprimem cor a muitos solos, todavia, em ambas as amostras não foram detectados minerais de óxidos de Fe no ensaio DRX, tampouco minerais expansivos.

Para as curvas de retenção, tanto na trajetória de secagem quanto na de umedecimento, o gráfico apresentado será em função dos teores de umidade gravimétrica (%), além disso, foi gerado um gráfico de curva de retenção para cada tipo de solo, como pode ser observado na Figura y.

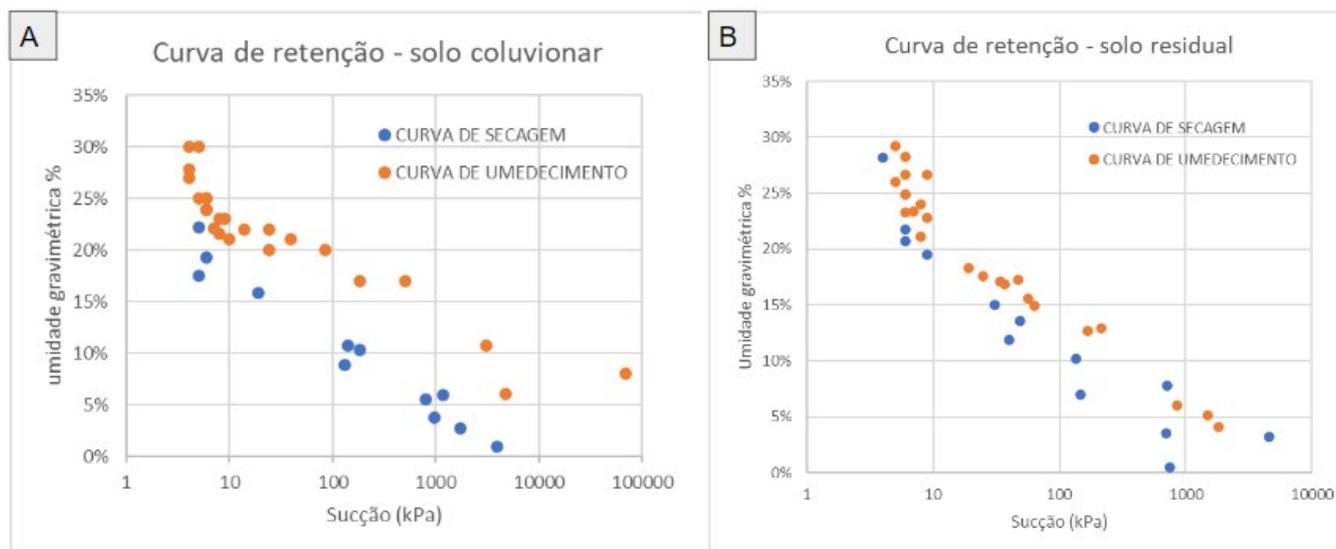


Figura 1: Curvas características de retenção à água por trajetória de secagem e por umedecimento, para solo coluvionar (A) e residual (B)

Na curva de retenção do solo residual, percebe-se que quando a umidade está acima de 20% a sucção é baixa permanecendo até 10 kPa, ou seja, os poros do solo estão cheios de água então a sucção não precisa ser tão alta para conseguir remover a água, mas quando a umidade está abaixo de 20%, há pouca água nos poros do solo e a inclinação da curva característica se altera, evidenciando a maior dificuldade para remover água do solo. Em umidade abaixo de 5%, a sucção atuante fica entre 1.000 e 10.000 kPa. Já na curva de retenção do solo coluvionar, é possível notar que em baixas umidades, a sucção pode ultrapassar 10.000 kPa e ficar entre 100.000 kPa, ou seja, para uma mesma sucção, o solo coluvionar retém mais água nos seus poros do que o solo residual.

Conforme afirmado por Rohm (1993), a forma das curvas características dos solos é influenciada por vários fatores, incluindo a distribuição granulométrica, a distribuição dos poros, a estrutura e a mineralogia das partículas. Esses fatores explicam as diferenças nas curvas de retenção entre dois tipos de solo: um residual mais arenoso e outro coluvionar mais argiloso. Pereira (2004) esclarece que as curvas de retenção variam significativamente entre solos argilosos, siltosos e arenosos. Pequenas mudanças na sucção são responsáveis por quase toda a variação de umidade nos solos arenosos, ao passo que nos solos argilosos, grandes variações de umidade são obtidas mediante a aplicação de sucções elevadas. Isso se deve ao fato de os solos argilosos possuírem poros menores em comparação aos solos arenosos, o que leva à formação de capilares extremamente finos.

CONCLUSÕES:

A presente pesquisa revelou que tanto o solo residual quanto o coluvionar apresentam baixa permeabilidade, indicada pelos valores de Condutividade Hidráulica Saturada (K_{sat}). A análise mineralógica evidenciou a predominância de quartzo e argilominerais, alinhada com as rochas da área de estudo e comprovando a origem dos solos por intemperismo in situ. Embora a amostra coluvionar apresente aspecto amarelado, não foram detectados minerais de óxidos de Fe. As curvas de retenção mostraram diferenças entre os solos, influenciadas pela distribuição granulométrica e mineralogia. Essas conclusões são relevantes para projetos geotécnicos e auxiliam na compreensão do comportamento desses solos no talude.

BIBLIOGRAFIA

- BONDER, B.H. **Curvas de Retenção de Água de um Solo Coluvionar de Campinas Obtidas Mediante técnicas de Laboratório e de Campo**. 152 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008
- FREEZE R. A., CHERRY J. **A Groundwater**. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, p. 624, 1979
- MARINHO, F. A. M. **A técnica do papel filtro para a medição da sucção**. In: Encontro sobre solos não saturados, Porto Alegre, Anais... p. 112 – 125, 1995.
- ROHM, S.A. **Solos Não Saturados**: Monografia Geotécnica no 4, São Carlos/EESC-USP, Publicação 081/93, 135p, 1993
- SCHWERTMANN U. & TAYLOR R.M. **Iron oxides**. In: Dixon J.B. & Weed S.B. (eds.) Minerals in soil environments. Soil Science Society of America, Madison, p.:789-824, 1989