

Análise comparativa das técnicas de campo e laboratório para a determinação do coeficiente de permeabilidade em solos granulares

Franciély Espindola da Silva, Bel.

Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Brasil, engcv.franciely@gmail.com

Fabio Krueger da Silva, Dr.

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fabio.krueger@ifsc.edu.br

Fernanda Simoni Schuch, Dra.

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fernandass@ifsc.edu.br

Cesar Schimdt Godoi, MSc.

Votorantim Energia, São Paulo, Brasil, cesargodoi@hotmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta os resultados de um estudo para determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares, por meio de diferentes métodos (tubo aberto e permeâmetro). Realizou-se num furo de sondagem, o método de tubo aberto, como descrito pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE, 2013). Em laboratório, os ensaios de permeabilidade foram conduzidos com base na Lei de Darcy e no procedimento conforme NBR-13292/1995. A pesquisa teve o objetivo de verificar se uma mesma amostra, nas mesmas condições físicas, porém, submetida a diferentes métodos de ensaio, apresentaria o mesmo coeficiente de permeabilidade. Devido às particularidades inerentes aos ensaios de campo e de laboratório ocorreu uma variação expressiva na condutividade hidráulica obtida no material através das técnicas aplicadas. O valor de permeabilidade obtido no ensaio de campo foi 34 vezes menor que o valor obtido em laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: Solos arenosos, Permeabilidade em campo; Permeabilidade em laboratório.

1 INTRODUÇÃO

O engenheiro francês, Henry Darcy, em 1856, propôs uma lei experimental para determinar o coeficiente de permeabilidade em solos. Na maioria das condições geotécnicas os siltes, areias e argilas satisfazem a lei de Darcy, para a condição de solos saturados (Maragon, 2018).

O coeficiente de permeabilidade k pode ser estimado através de ensaios conduzidos em campo ou em laboratório. Cada metodologia tem suas particularidades, por exemplo, a técnica em campo permite avaliar a totalidade do maciço terroso em condições de fluxo muito similares a que a obra vai experimentar, contudo, exige um árduo trabalho para preparação e realização do ensaio. Em

laboratório, a preparação da amostra e condução do ensaio é mais simples, porém também existem dificuldades na coleta e nas condições de fluxos impostas, que muitas vezes, não representam o regime de fluxo em campo, além do valor de k ser representativo apenas para a camada (profundidade) onde o material foi coletado (Massad, 2010; Braja, 2007).

Devido a necessidade de obtenção das propriedades hidráulicas para concepção de projetos e das atuais exigências para construção de obras, surge a proposta de confrontar os coeficientes de permeabilidade em areias, obtidos por distintos métodos de campo e laboratório.

Esta pesquisa faz parte da coleta de dados para o projeto hidrossanitário de uma edificação a ser

construída no local de estudo. Era necessário estimar o valor do coeficiente de permeabilidade do solo para os respectivos cálculos dos dispositivos de filtros, fossas sépticas e sumidouros. Nesta linha, o estudo tem como proposta uma análise comparativa dos coeficientes de permeabilidade em solos arenosos obtidos por meio: de ensaio de campo, através da técnica descrita no Manual de Sondagens (ABGE, 2013) e; pelos ensaios em laboratório, através das técnicas indicadas na NBR-13292/1995, e através de métodos alternativos, conforme a Lei de Darcy. Nas duas técnicas de laboratório foram utilizados dois diferentes permeômetros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Como citado, a determinação da condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade dos solos pode ser feita a partir de métodos de campo e métodos de laboratório. A seguir, serão descritos sucintamente as particularidades de cada técnica envolvida na pesquisa.

2.1 Permeabilidade em Campo

A determinação da condutividade hidráulica em campo é feita por meio de furos de sondagens que após serem preenchidos com água permitem medir o volume absorvido ou retirado do solo. Esta coluna de água é induzida com diferentes pressões e são analisados os intervalos de tempos decorridos das variações volumétricas de água no interior do furo de sondagem (Braja, 2007).

O método conhecido com tubo aberto ou rebaixamento é feito com a cravação de um tubo de sondagem até a profundidade que se deseja conhecer a permeabilidade. Posteriormente, este tubo é preenchido por água e este momento é estabelecido como tempo zero (t_0). Após isso, mantendo-se o nível de água constante com auxílio de bomba e medidor de volume é calculado o tempo necessário para ocorrer percolação de água. O tempo médio do ensaio é de 20 minutos. Adota-se que a percolação no maciço provoca condições que se formem superfícies esféricas e concêntricas de fluxo de água. Com base na equação geral de Darcy, durante o ensaio, dados como: nível de água, vazão, profundidade do furo, diâmetro, raio externo do furo e comprimento, devem ser registrados para determinação da condutividade hidráulica (Azevedo, 2013).

Atualmente, não existe uma normatização brasileira para o ensaio de campo, seguiu-se, portanto nesta pesquisa, as recomendações do U.S.

Bureau of Reclamation — Earth Manual e Harry R. Cedergeen — Seepage, Drainage and Flow Nets. No Brasil adotam-se os métodos sugeridos no Manual de Sondagens da ABGE (2013).

2.2 Permeabilidade em Laboratório

A partir de um permeômetro e acessórios como tubos capilares, reservatórios de água, registros e mangueiras obtêm-se a permeabilidade de uma amostra de solo saturado no interior do permeômetro. A teoria segue a mesma proposta por Darcy, onde a velocidade de percolação em solos é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico. O ensaio pode ser feito com carga hidráulica constante ou variável.

Após definir-se qual camada se necessita investigar, procede-se com a coleta da amostra, sendo que esta pode ser deformada (a qual será compactada em laboratório posteriormente) ou indeformada. Após, o solo é hermeticamente instalado dentro do permeômetro, ligado a um conjunto de instalações hidráulicas (mangueiras, registros e reservatórios). Então satura-se a mostra e inverte-se o fluxo de água no sentido topo-base para se determinar o coeficiente de permeabilidade. A partir dos conceitos de Darcy, com base no gradiente hidráulico, é imposta uma condição de fluxo permanente e constante de maneira que possa ser avaliada a variação de um volume de água percolado num determinado intervalo de tempo. Este experimento é regido pela NBR-13292/1995, um método para determinação em laboratório do coeficiente de permeabilidade (k) de solos granulares à carga constante.

2.3 Diferenças entre os métodos de Campo e Laboratório

Os métodos de campo e laboratório possuem a mesma finalidade, determinar o “ k ” do solo amostrado, porém, há vantagens e desvantagens em cada um deles.

No caso do ensaio de campo tem-se como um diferencial o fato do volume de solo testado ser muito maior e, na sua condição real de formação, sem perturbação da amostra, sem fluxos de água forçados, podendo ser conduzidos ensaios em diferentes profundidades. Porém, necessita-se providenciar um ou mais furos de sondagens para definição da estratigrafia do solo e, conseqüentemente da mobilização de equipes e equipamentos para montagem do mesmo (Maragon, 2018).

Conforme Braja (2007) e Massad (2010), num

perfil de camadas de solos, sabe-se que k é diferente quando o sentido do fluxo de água é horizontal (k_h) e/ou quando o sentido é vertical (k_v). Existem relações entre k_v/k_h que podem ser adotadas, porém, é difícil garantir qual componente terá maior peso e, muitas vezes, adota-se um k equivalente (k_{eq}) que promova um valor representativo entre a parcela de fluxo paralelo as camadas (horizontal) e do fluxo perpendicular (vertical).

Aspectos importantes sobre o fluxo de água em solos podem ser encontrados em Pinheiro et al. (2017), Viana da Fonseca (2003) e Schnaid (2004). Esta variação de sentido de fluxo de água não existe em ensaios de laboratório realizados com permeâmetro, pois o fluxo é direcionado e tem um sentido definido. Isto significa que, em laboratório não se simula a real condição de fluxo que ocorre em campo, o que pode ser potencialmente ruim quando se identifica haver feições geológicas como falhas, dobramentos e fraturas que acabam favorecendo o sentido real do fluxo. Soma-se isto a possibilidade de perturbação do estado natural das amostras, falhas na montagem, saturação, presença de bolhas de ar no sistema, coleta de dados e outros. Assim, em certas situações, o k determinado em laboratório tende a divergir do estimado em campo.

3 MÉTODO DA PESQUISA

Dividiu-se o programa experimental da pesquisa numa seção de campo, com condução do ensaio de permeabilidade pelo Método do Tubo Aberto ou Rebaixamento, e numa seção laboratorial, com realização de dois tipos de ensaios de carga constante, com o Método de Darcy e outro com base na NBR 13292/95. Totalizando assim 3 métodos de determinação de condutividade hidráulica em laboratório.

O solo arenoso ensaiado neste trabalho está localizado na região do bairro Campeche, ao leste da ilha de Florianópolis/SC. Na etapa de campo foi realizada uma sondagem a trado manual que promoveu um conhecimento prévio dos estratos e determinação do nível freático. Para a etapa laboratorial foi coletada uma porção de solo deformado que foi posteriormente reestruturado para moldagem de amostra representativa para o ensaio.

3.1 Etapa em Campo

O ensaio de campo seguiu as orientações abordadas no Manual de Sondagens (ABGE, 2013), onde são apresentados vários ensaios, que na prática, estão

vinculados ao método de prospecção escolhido (sondagem a trado manual). A escolha do método mais adequado depende ainda das condições existentes no local, como as características do solo, altura do nível d'água, existência de ponto de água e disponibilidade de dispositivos específicos.

Pela simplicidade de execução, a escolha frequentemente recai nos ensaios de carga hidráulica. E para estes ensaios, a norma da ABGE sugere o seguinte critério de escolha: “Será feito ensaio de rebaixamento quando a carga hidráulica do trecho ensaiado for superior a 0,02 Mpa (> 2 metros) e, por avaliação, será quando o rebaixamento da água no interior do revestimento for inferior a 10 cm/min”.

Após definido o método de campo, com um conhecimento prévio sobre o solo da região, a equipe técnica de laboratório visitou a área de estudos no bairro Campeche em Florianópolis/SC, onde realizou a sondagem com trado manual, objetivando-se o reconhecimento do perfil do terreno e a determinação do nível do lençol freático. O furo de sondagem alcançou uma cota de aproximadamente 5 metros (Figura 1). Julgou-se suficiente a profundidade atingida a partir de estudos preliminares indicando que os dispositivos hidrosanitários seriam construídos em cota mais superficial. Identificaram-se duas camadas de material arenoso: uma camada de areia fina amarela escura e uma camada de areia fina amarelo claro.



Figura 1. Detalhes do ensaio em campo.

Para realização do ensaio por rebaixamento, introduziu-se no furo de sondagem, um tubo de PVC com diâmetro de 75 mm. Logo após o seu posicionamento, despejou-se material de preenchimento nas laterais do tubo para garantir sua fixação. O tubo foi preenchido completamente com água, e mantido neste nível por aproximadamente 10 minutos para “saturação”. Depois deste tempo, interrompeu-se o abastecimento de água no tubo e iniciou-se o acompanhamento do rebaixamento por aproximadamente 15 minutos, obtendo-se a primeira

leitura. O resultado do ensaio foi obtido com a média de 3 leituras. Realizou-se este ensaio de campo numa camada classificada como areia fina amarelo claro.

3.2 Etapa de Laboratório

Coletou-se em campo uma amostra deformada em quantidade suficiente para realização dos ensaios e, encaminhou-se ao Laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul).

Conduziu-se nesta pesquisa os ensaios a seguir:

- Compactação e Caracterização (NBR-6457/2016; Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm. Determinação da massa específica - NBR-6508/1984; Análise granulométrica - NBR 7181/2016);
- Índice de vazios máximo de solos não-coesivos (NBR 12004/1990);
- Índice de vazios mínimo de solos não-coesivos (NBR 12051/1991).
- Coefficiente de permeabilidade “k” (NBR-13292/1995) e;
- Coefficiente de permeabilidade em materiais granulares - carga constante pela Lei de Darcy.

Existem algumas diferenças entre os dois métodos de ensaios laboratoriais adotados. No método de Darcy, o permeâmetro A apresenta uma relação h/ϕ de 1,14, enquanto no permeâmetro B esta relação é de 1,75, isso resulta de diferentes alturas (h) e diâmetros (ϕ) do corpo de prova. No método da NBR 13292, a relação h/ϕ é de 1,75. O processo de saturação e esquema de montagem dos tubos manométricos é idêntico para ambas as metodologias, onde se pode aplicar um vácuo no processo de saturação e, posteriormente, é feita a inversão nas ligações dos tubos manométricos.

Nos ensaios de laboratório, avaliou-se os dois materiais, areia fina amarelo escuro e areia fina amarelo claro. As amostras destes ensaios foram remoldadas no índice de vazios mínimo para se assemelhar as condições de campo. A escolha pelo uso dos dois materiais foi feita com o objetivo de se verificar se, mantendo as características granulométricas semelhantes e alterando as condições de ensaio (campo e laboratório), os resultados apresentariam as mesmas tendências.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados da pesquisa foram separados a partir dos dois tipos de campanhas de investigação realizadas: campo e laboratório.

4.1 Resultados do Ensaio de Campo

A localização da sondagem a trado (ST) com diâmetro de 21,2 centímetros foi determinada com o auxílio de GPS de navegação cujas coordenadas registradas são: S27°40.507' W048°29.037'. Na Figura 2 pode-se observar o perfil de sondagem. Para o ensaio de permeabilidade foi posicionado no interior do furo, o tubo de revestimento em PVC no diâmetro interno de 73 milímetros.

Conforme Figura 2, o perfil de solo apresenta 0,20 metros de aterro, 4,18 metros de areia fina amarela escura sobreposta a um estrato de areia fina amarelo claro. Aos 4,75 metros foi encontrado o nível freático.

Percebeu-se, com o emprego do trado, ser difícil analisar a compactidade das areias. Encontrou-se bastante resistência a penetração do trado então acredita-se que a compactidade das areias variava de compacta a muito compacta, sendo a camada de areia fina amarelo claro mais compacta que a anterior.

O ensaio de campo avaliou a permeabilidade da areia fina amarelo claro, pois o tubo de revestimento estava apoiado neste material, permitindo assim, uma condição de ensaio abaixo do nível d'água. O perfil do solo analisado na sondagem é uniforme, apresentando variação de densidade e na coloração do material, inicialmente com características de areia fina amarela escura e posteriormente areia fina amarelo claro com base em análise tátil-visual (Figura 2).

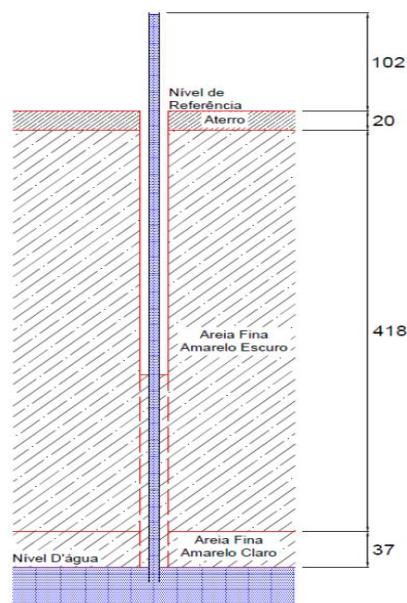


Figura 2. Perfil do solo através Sondagem à Trado.

Como citado usou-se o método de rebaixamento, carga hidráulica variável. Foram feitas três leituras

sendo que o resultado médio obtido atende o critério de validade do manual da ABGE (2013), onde a diferença entre leituras isoladas e seu valor médio não deve superar 20%. O processamento dos dados da variação de coluna de água em relação ao tempo permitiu um valor estimado para o k na camada de areia fina amarelo claro igual a $5,64 \times 10^{-4}$ cm/s.

4.2 Resultados dos Ensaio de Laboratório

Após preparação do material coletado foram conduzidos ensaios de granulometria e massa específica dos grãos. A figura 3 mostra as curvas granulométricas de cada amostra e respectivos resultados de ensaios. Analisando o gráfico, nota-se que praticamente não existem diferenças nas proporções granulométricas dos materiais ensaiados.

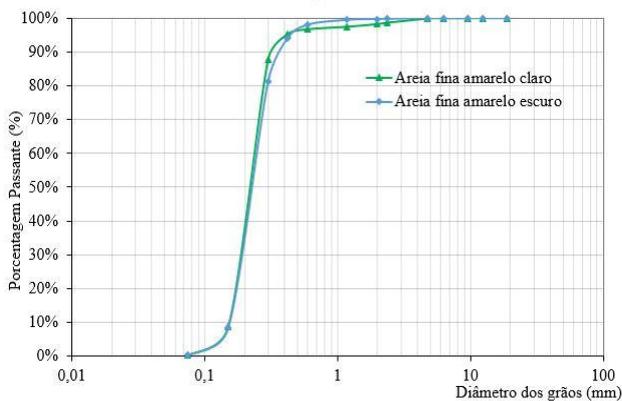


Figura 3. Curva de granulometria das areias.

A massa específica dos grãos obtida foi $2,66 \text{ g/cm}^3$. Também foram feitos ensaios de índice de vazios máximo e mínimo. A amostra foi reestruturada dentro do permeâmetro procurando obter-se uma densidade com valor próximo ao obtido no índice de vazios mínimo. Isso iria representar uma aproximação com o estado de compactação obtido em campo, que se mostrava bastante densa. Desta forma, o peso específico aparente seco na moldagem dos corpos de prova teve um valor médio $1,565 \text{ g/cm}^3$, o que na prática mostra uma compactação relativa (CR) de densa a muito densa. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Quanto a realização dos dois métodos de permeabilidade. Para o ensaio de Darcy utilizou-se o permeâmetro A e B e, no ensaio da NBR 13292 só o permeâmetro B. Na fase de peneiramento da areia, foram separados os grãos retidos na peneira 19,0 mm e realizado o seu descarte. Do material passante na peneira de 19,0 mm, foi selecionado por quartejamento, uma quantidade aproximadamente

igual a 2 (duas) vezes a necessária para preencher o permeâmetro e homogeneizado em uma bandeja.

Entre a face inferior do permeâmetro e o disco perfurado e geotêxtil foi colocada uma camada compactada de material granular, de granulometria uniforme, com altura de aproximadamente 3 cm, e de permeabilidade superior à do corpo de prova. Foi preparada a amostra em camadas uniformes, com altura tal que após a compactação, a espessura resultou em aproximadamente 2 cm. No permeâmetro A, a amostra foi compactada em 6 (seis) camadas. A altura final da amostra foi de 13 (treze) cm. Já no permeâmetro B, a amostra foi compactada em 10 (dez) camadas. A altura final da amostra foi de 21 (vinte e um) cm. Entre o disco perfurado e o geotêxtil e a face superior do permeâmetro foi colocada uma camada de material granular, com características semelhantes às da colocada na face inferior, com altura tal, que ao ser instalado o prato superior do permeâmetro, este comprimiu levemente o material subjacente.

Tabela 1. Índices físicos das amostras.

Amostras		Areia fina amarelo escuro	Areia fina amarelo claro
NBR 12004	γ_s máx. (g/cm^3)	1,33	1,40
NBR 12051	γ_s mín. (g/cm^3)	1,61	1,60
Condições de moldagem	γ_s mold. (g/cm^3)	1,54	1,59
	CR (%)	79 (Denso)	96 (Muito denso)

No método de Darcy efetuou-se as ligações para o processo de saturação. Com as válvulas da base e topo abertas, iniciou-se a saturação do corpo de prova, onde o fluxo de água aconteceu no sentido base-topo e o de ensaio topo-base. Registrou-se a vazão e o tempo correspondente, mediu-se a carga hidráulica e a temperatura de ensaio.

No método da NBR, efetuaram-se as ligações para o processo de saturação. Com a válvula da base fechada e a válvula do topo aberta, utilizando uma bomba de vácuo, foi aplicado um vácuo gradativamente crescente, até atingir 67 KPa (50 cm

Hg), o qual foi mantido durante 10 min, para remover o ar dos vazios. Com o vácuo aplicado a válvula da base foi aberta, iniciando a saturação do corpo de prova. A entrada da água no corpo de prova foi realizada com a ação da gravidade, de baixo para cima e sob condições de vácuo, de modo a se remover o ar remanescente nele. Após a saturação do corpo de prova e o preenchimento do permeâmetro com água, reduziu-se gradualmente o vácuo aplicado no corpo de prova e no reservatório de água, até que fosse anulado. As imagens do esquema geral do ensaio são mostradas na Figura 4.

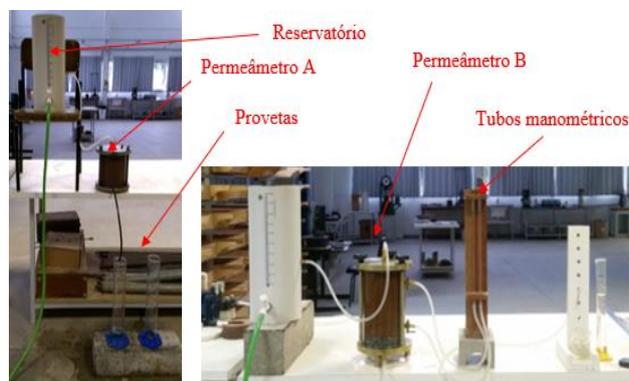


Figura 4. Aparelhagem dos ensaios de permeabilidade.

A válvula da base do permeâmetro foi fechada e as ligações com o reservatório de água e com a bomba de vácuo foram desconectadas. Cuidou-se para assegurar que o permeâmetro e o sistema de manômetros estivessem livres de ar e trabalhando satisfatoriamente. Para tanto, preencheu-se com água o tubo de ligação do reservatório de carga constante com o topo do permeâmetro, que estava saturado. A seguir, foram abertas ligeiramente as válvulas dos manômetros, para permitir a passagem de água livre de ar. Os tubos manométricos foram conectados às válvulas correspondentes, de forma a preenchê-los com água. Aguardou-se um tempo para que os níveis nos tubos manométricos atingissem uma condição estável e se igualassem, o que ocorreu aproximadamente na cota da água no reservatório de carga constante.

Após, efetuou-se as ligações para o processo de ensaio. Com todas as válvulas abertas, aguardou-se um tempo para que as cargas se estabilizassem, sem apresentar variações apreciáveis nos níveis de água dos tubos manométricos. Mediu-se e registrou-se a carga H (diferenças nos níveis dos tubos manométricos), a temperatura T , o tempo t e o volume percolado neste tempo V , com exatidões de 0,1 cm, 0,1 °C, 1 s e 2 cm³, respectivamente. Em seguida, aumentou-se a carga gradativamente, repetindo-se o procedimento anteriormente descrito,

até serem obtidas 5 leituras, a partir das quais determinou-se os valores resultantes das variações do gradiente hidráulico (Figura 5).

Para os dois tipos de areias testadas em diferentes compacidades, elaboraram-se as retas da relação: velocidade de fluxo versus gradiente hidráulico para determinação do coeficiente angular da reta, que corresponde ao coeficiente de permeabilidade k , numa temperatura de 20°C.

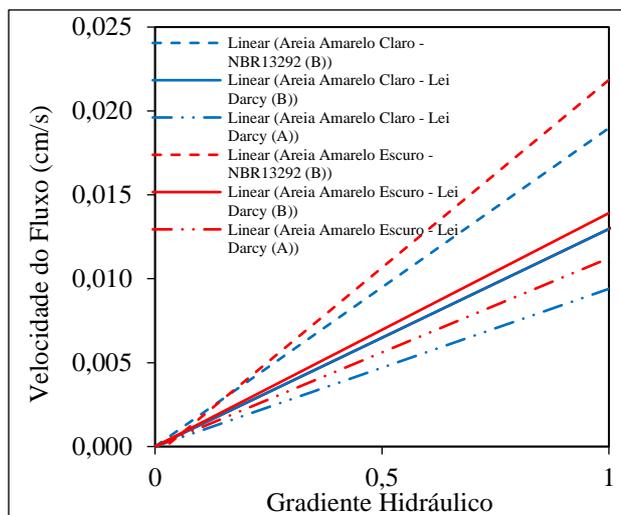


Figura 5. Velocidade de fluxo x Gradiente hidráulico.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos coeficientes de permeabilidade (cm/s) determinados pelos métodos anteriormente descritos.

Tabela 2. Resultados dos coeficientes de permeabilidade.

Amostra			Areia fina amarelo escuro	Areia fina amarelo claro
k (cm/s)	Método Lei de Darcy	Permeâmetro (A)	1,12 E-02	0,94 E-02
		Permeâmetro (B)	1,39 E-02	1,30 E-02
	Método NBR-13292/95	Permeâmetro (A)	2,24 E-02	1,92 E-02
		Permeâmetro (B)	2,24 E-02	1,92 E-02
Método (ABGE, 2013) Rebaixamento			—	5,65 E-04

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, analisou-se os valores obtidos de condutibilidade hidráulica, de um solo arenoso através de diferentes métodos. O ensaio de

granulometria indica que as amostras analisadas são semelhantes em sua composição granulométrica. Os resultados de permeabilidade em laboratório apresentaram valores similares para o solo arenoso, moldado em diferentes compacidades. Com os valores de índice de vazios máximo e mínimo foi possível reconstituir as amostras em laboratório de maneira que sua compacidade foi de densa a muito densa. Sob estas condições o solo arenoso fino amarelo escuro indicou valores de permeabilidade mais próximos quando se confronta os métodos laboratoriais de Darcy e da NBR 13292/95.

No que se refere a velocidade do fluxo x gradiente hidráulico observou-se que o método conduzido conforme NBR 13292/95 foi o que apresentou as maiores velocidade de fluxo para um respectivo gradiente hidráulico. Para os ensaios feitos pelo método de Darcy, o permeâmetro B apresentou as maiores velocidade de fluxo.

O ensaio de permeabilidade de campo foi conduzido apenas com na areia fina amarelo claro, pelo fato deste material estar acima do nível do lençol freático. Desta forma, as comparações entre os ensaios de laboratório e campo restringiram-se a este material.

Concluiu-se que, tanto para a areia fina amarelo claro, quanto para a areia fina amarela escura, os resultados do coeficiente de permeabilidade pelos métodos de laboratório quando comparados entre si apresentaram um variação de até 2 vezes, no entanto, ambos ficaram na ordem de grandeza em expoente 10^{-2} . O método de Darcy no permeâmetro A foi o que indicou a maior permeabilidade, enquanto o método da NBR 13292/95 no permeâmetro B apresentou uma permeabilidade menor.

Contudo, para os resultados obtidos através do método de campo, essa diferença é bem mais discrepante, apresentando valores de aproximadamente 34 vezes inferiores quando comparados aos ensaios de laboratório. Na verdade, um coeficiente de permeabilidade (k) em 20°C na ordem de 10^{-4} já indica um material com granulometria de silte, com comportamento parcialmente drenante.

Com a análise dos dados identificou-se que o coeficiente de permeabilidade em campo pode ser bem divergente daquele obtido em laboratório. Essas conclusões corroboram com as conclusões de Massad (2010) que envolvem a heterogenidade da permeabilidade em relação a direção do fluxo e as tipos de materiais envolvidos.

Considerando que o ensaio de campo foi realizado com uma coluna d'água de aproximadamente 5 metros e que o comportamento

hidráulico do solo tende a indicar resultados de permeabilidade maiores quanto maior for o gradiente hidráulico aplicado no sistema, acredita-se que os resultados obtidos em campo não representem as reais propriedades do material. Para justificar este resultado algumas considerações devem ser analisadas: primeiramente, sobre o estado real de compacidade em campo, que foi estimada pela escavação à trado e, não obtida por um método de investigação que analise a resistência à penetração. Percebem-se pela granulometria do material existir uma pequena parcela de finos que pode colmatar os vazios e interferir no fluxo *in loco*. Assim, a estrutura natural do material não pode ser plenamente reconstruída em laboratório. Ou seja, mesmo que sejam obtidos valores de peso específico seco similares entre o solo natural e as amostras de laboratório sabe-se que uma areia fina de origem sedimentar apresenta um arranjo estrutural típico e possivelmente estratos de finos intercalados entre si. Esta estrutura natural é impossível de reproduzir em laboratório através da moldagem do corpo de prova. Desta forma, aspectos como permeabilidade com fluxo horizontal e permeabilidade com fluxo vertical devem ser sempre considerados. Ainda cita-se a possibilidade de decantação de sedimentos no fundo do tubo, colmatando-o, e a sua verticalidade que prejudicada uma análise mais acurada das condições de ensaio. Outra hipótese para divergências campo x laboratório estão relacionadas com a altura da coluna d'água empregada no ensaio de campo.

AGRADECIMENTOS

À Universidade do Sul de Santa Catarina por disponibilizar o laboratório de Engenharia Civil e seus equipamentos para os ensaios.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 7181: Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 12 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 6457: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). *NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm: Determinação da massa específica dos grãos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1990). *NBR 12004: Solo: Determinação do índice de vazios máximo de solos não-coesivos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991). *NBR 12051: Solo: Determinação do índice de vazios mínimo de solos não-coesivos*. Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). *NBR 13292: Solo: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. (2013). *Ensaio de permeabilidade em solos - orientações para sua execução no campo*. 4a. Ed. São Paulo, 80 p.
- Azevedo, A. A. Filho, J. L. A. (2013). *Ensaio de permeabilidade em solos: orientações para sua execução no campo*. 4. ed. São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental.
- Das, Braja M. (2007). *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. 6. ed. Thomson.
- Filho, E. P. (2018). *Ensaio de permeabilidade "in situ"*. Disponível em: <<https://www.apl.eng.br/artigos/ensaio-de-permeabilidade-in-situ.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2018.
- Gerscovich, D. M. S. (2019). *Fluxo em solos saturados*. Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/~denise/cursos/pgeciv.htm>>. Acesso em: 21 jan. 2019.
- Maragon, M. (2018). *Apostila de Mecânica dos Solos 2. Hidráulica dos Solos*. Faculdade de Engenharia. Edição Dezembro. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/164364785/Solos-II-Marangon-Cap01> Acesso em: 08 de Julho de 2021.
- Massad, F. (2010). *Obras de Terra: curso básico de geotecnia*. 2º Edição. São Paulo: Oficina de Textos.
- Massad, F. (2016). *Mecânica dos solos experimental*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Monticeli, J. J., Tressoldi, M. (2013). *Diretrizes para classificação de sondagens*. 1. ed. São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental.
- Neto, F. O. P. et al. (2018). *Comparativo entre métodos de determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante*. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/seminario/belem/T100/A06.PDF>>. Acesso em: 03 nov. 2018.
- Pinheiro, R.J.B, NUMMER, A.V., RAUBER, A.C. (2017). *Determinação da condutividade hidráulica das principais unidades geológico-geotécnicas de Santa Maria/RS*. Revista Geociências. UNESP/SP. v.36, n.2, p.347-363.
- Schnaid, F., Fahey, M., Lehane, B. (2004). *In situ test characterization of unusual geomaterial*. Geotechnical & Geophysical Site Characterization. ISC'2. Keynote Lecture. Viana da Fonseca, A. and Mayne, P.W. (eds). Milpress, Rotterdam, pp.49-74.
- Viana da Fonseca, A. (2003). *Characterization and deriving engineering properties of a saprolitic soil from granite, in Porto*. Characterization and Engineering Properties Natural Soils. Eds Tan et al. Vol 2, pp. 1341-1378. Swets and Zeitlinger, Lisse.