

# Determinação da Condutividade Hidráulica de Solos do Campus José Rodrigues Seabra da UNIFEI em Itajubá-MG por meio de Técnicas In Situ e em Laboratório

Valéria Flora Ramos

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, Brasil, [valeriafloraramos@gmail.com](mailto:valeriafloraramos@gmail.com)

Adinele Gomes Guimarães

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, Brasil, [adinele@unifei.edu.br](mailto:adinele@unifei.edu.br)

**RESUMO:** Este projeto tem por objetivo determinar e comparar os valores da condutividade hidráulica (K) de solos encontrados no Campus José Rodrigues Seabra da Universidade Federal de Itajubá em Itajubá – MG obtidos por ensaios de campo, de laboratório e uso de fórmulas empíricas. A metodologia empregada em campo foi o permeâmetro de Guelph, já em laboratório foram o permeâmetro de carga constante e permeâmetro de carga variável, ambos ensaiados com os procedimentos aprendidos durante o programa Ciências sem Fronteiras na Universidade de Guelph, Canadá, além da aplicação de fórmulas empíricas desenvolvidas por Hazen, Chapuis, Amer & Award e Gardner. O resultado proveniente do permeâmetro de Guelph confirma que tal método é eficiente para determinação de K, além de ser de fácil operação e sugere-se que o teste de Hvorslev seja realizado em parceria com o primeiro para maior credibilidade do resultado encontrado em campo. O permeâmetro de carga variável também foi simples de ser desenvolvido no laboratório e forneceu resultados precisos. Já o permeâmetro de carga constante teve resultado eficiente, porém a metodologia precisa ser aprimorada para operar com maior exatidão. Os resultados provenientes das fórmulas empíricas não se mostraram tão confiáveis, pois os solos das áreas em estudo não se enquadravam na faixa de valores típicos apresentados pela literatura. Por fim, tanto as técnicas in situ, como as técnicas em laboratório aplicadas neste projeto podem ser utilizadas para determinar a condutividade hidráulica do solo da região em estudo, ressaltando a importância de trabalhá-las em parceria uma com a outra, de forma a minimizar a possibilidade de erros e priorizar a eficiência e credibilidade dos resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Condutividade Hidráulica, Permeâmetro de Guelph, Permeâmetro de Carga Variável e Constante.

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo dos solos é de grande importância para os diversos setores do desenvolvimento, desde as atividades agrícolas e agrônômicas, como também, civil e de recursos hídricos. Segundo Carvalho (2002), a necessidade de explorá-lo e manejá-lo, visando o seu melhor aproveitamento, faz com que aprofundemos os conhecimentos relativos às suas propriedades físicas e ao comportamento binômio solo-água pois é esta relação que determina o uso do solo.

De acordo com Poehls & Smith 2009 (apud BETIM, 2013), a condutividade hidráulica é definida como a medida da resistência da água ao movimento através de um meio poroso. Ellis 1997 et al. (apud Carvalho, 2002) informa que a condutividade hidráulica é influenciada por diversos fatores, por exemplo, viscosidade do fluido, distribuição do tamanho dos poros, índices de vazios e distribuição granulométrica.

O conhecimento da condutividade hidráulica é aplicado em diversos estudos da área ambiental como na investigação e remediação

de áreas contaminadas por produtos químicos provenientes de atividades industriais, aterros sanitários, agrotóxicos e derivados de petróleo (CETESB, 2014), averiguação de absorção de água e nutrientes por plantas (BERNARDES, 2005), como também em modelagem hidrogeológica e na avaliação e monitoramento da capacidade de armazenamento e transmissão de água em aquíferos (GEOKLOCK, 2014).

Tal parâmetro pode ser avaliado por meio de fórmulas empíricas, como as desenvolvidas por Hazen, Chapuis, Amer & Award, Gardner, como também por meio de técnicas em laboratório, como os permeâmetros de carga constante e o permeâmetro de carga variável. Já como exemplo de ensaio in situ tem-se o permeâmetro de Guelph.

## 2 OBJETIVO GERAL

Determinar a condutividade hidráulica de solos encontrados no Campus José Rodrigues Seabra da Universidade Federal de Itajubá em Itajubá – MG, por meio de técnicas em campo e em laboratório, a fim de comparar as diferentes metodologias e concluir qual método tem maior aplicabilidade na região em estudo e, portanto, colaborar para a determinação do melhor manejo e uso do solo.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Lei de Darcy

De acordo com Fetter (2001), a vazão de água no solo é controlada pela lei de Darcy. O experimento de Darcy consistiu em percolar água através de uma amostra de solo de comprimento  $L$  e área  $A$ , a partir de dois reservatórios de nível constante, sendo  $h$  a diferença de cota entre ambos. Os resultados indicaram que a velocidade de percolação  $v = Q/A$  é proporcional ao gradiente hidráulico  $i = dh/dl$  (ORTIGÃO, 2007).

A equação de Darcy é dada pela fórmula:

$$Q = -KA\left(\frac{dh}{dl}\right) \quad (1)$$

onde,  $Q$  é a vazão,  $A$  a área da seção transversal,  $K$  a condutividade hidráulica e  $dh/dl$  é o gradiente hidráulico.

### 3.2 Ensaio de carga constante

De acordo com Das (2007) neste tipo de ensaio o fornecimento de água na entrada é ajustado de forma que a diferença de carga entre a entrada e a saída permaneça constante durante todo o período do ensaio. Desta forma, tem-se uma vazão de água conhecida sendo coletada por um frasco graduado durante um intervalo de tempo conhecido.

O volume de água coletado pode ser expresso pela equação:

$$V = A(K_i) t \quad (2)$$

onde  $V$  é o volume de água coletado;  $A$  a área da seção transversal da amostra de solo;  $t$  tempo de coleta de água e  $i$  é o gradiente.

Portanto,

$$V = AK\left(\frac{h}{L}\right) t \quad (3)$$

Ou

$$K = \left(\frac{VL}{Aht}\right) \quad (4)$$

### 3.3 Ensaio de carga variável

De acordo com Das (2007), a água de um piezômetro flui através do solo e a diferença de carga inicial  $h_1$  no tempo  $t_1 = 0$  é registrada. Em seguida deixa-se a água fluir através da amostra de solo de modo que a diferença de carga final no tempo  $t_2$  é  $h_2$ . A vazão de água através da amostra em qualquer instante  $t$  pode ser calculada por meio da equação:

$$Q = K\left(\frac{h}{L}\right)A = -\alpha_1\left(\frac{dh}{dt}\right) \quad (5)$$

onde  $Q$  é a vazão;  $A$  é área da seção transversal da amostra de solo;  $\alpha_1$  é a área da seção transversal do piezômetro.

Rearranjando a equação e fazendo a

integração nos limites de tempo 0 a t entre os limites de diferença de carga  $h_1$  e  $h_2$  resulta em:

$$K = 2,303 \frac{a_1 L}{At} \frac{h_1}{h_2} \quad (6)$$

### 3.4 Permeâmetro de Guelph

O permeâmetro de Guelph foi desenvolvido na Universidade de Guelph, em Guelph Ontário – Canadá nos anos de 1983 e 1985 por Dan Reynolds, David Elrick e Norbert Baumgartner. O equipamento determina a condutividade hidráulica saturada ( $K_{fs}$ ) e o parâmetro  $\alpha$ , uma constante que depende das propriedades do solo e textura, em condições saturadas e insaturadas do meio (PARKIN, 2013).

O parâmetro  $\alpha$  também está relacionado a condutividade hidráulica insaturada por meio da equação desenvolvida por Gardner (1958):

$$K(h_p) = k_{fs} \exp(\alpha \cdot h_p) \quad (7)$$

onde  $h_p$  é a carga de pressão acima do nível da água.

### 3.5 Fórmulas empíricas

A seguir são apresentadas as fórmulas empíricas empregadas neste estudo.

Para Hazen (1892, 1911), tem-se:

$$K = C_H D_{10}^2 \quad (8)$$

onde,  $K$  é a condutividade hidráulica (cm/s),  $C_H$  coeficiente empírico de Hazen e  $D_{10}$  (cm) o diâmetro efetivo da partícula para o qual 10% do solo seja constituído de partículas finas.

Kozeny (1927) e Carman (1938, 1956) propuseram:

$$K = \left( \frac{\gamma}{\eta} \right) \left( \frac{1}{C_{kc}} \right) \left( \frac{1}{s_0^2} \right) \left[ \frac{e^3}{1+e} \right] \quad (9)$$

onde,  $\eta$  é a viscosidade,  $\gamma$  é o peso específico,  $C_{kc}$  é o coeficiente empírico Kozeny- Carman,  $s_0$  é área específica da superfície por unidade de volume de partículas e  $e$  é o índice de vazios.

Para Amer e Award (1974), tem-se:

$$K = 35 \left( \frac{e^3}{1+e} \right) C_u^{0,6} D_{10}^{2,32} \quad (10)$$

onde,  $C_u$  é o coeficiente de uniformidade da curva granulométrica,  $D_{10}$  é o diâmetro efetivo (mm) e  $e$  é o índice de vazios.

Mais recentemente, Chapuis (2004) et al. (DAS, 2007) propôs uma relação empírica para  $K$  que pode ser expressa por:

$$K = 2,4622 \left[ D_{10}^2 \left( \frac{e^3}{1+e} \right) \right]^{0,7825} \quad (11)$$

onde,  $K$  é a condutividade hidráulica em (cm.s<sup>-1</sup>),  $D_{10}$  é o diâmetro efetivo (mm) e  $e$  é o índice de vazios.

### 3.6 Valores típicos

Na literatura da área de Mecânica dos Solos geralmente são apresentados alguns valores típicos para a condutividade hidráulica para distintos materiais, em função, principalmente, da granulometria dos mesmos.

Nas Tabelas 1 e 2 estão reproduzidos, como ordem de grandeza, os valores que podem ser considerados para a condutividade hidráulica ( $K$ ) para diferentes tipos de solos sugeridos por Pinto (2002) e Ortigão (2007), respectivamente.

Sendo que os valores típicos de condutividade hidráulica apresentados por Pinto (2002) são referentes a solos sedimentares, não contemplam os solos residuais.

Vale também destacar que o que determina a condutividade hidráulica não é apenas o tamanho dos grãos, mas também a sua estrutura e sua compacidade ou consistência.

Tabela 1. Valores típicos de condutividade hidráulica para solos sedimentares (Pinto, 2002, p.105).

| Tipo de solo     | K (m.s <sup>-1</sup> )              |
|------------------|-------------------------------------|
| Argilas          | <10 <sup>-9</sup>                   |
| Siltes           | 10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-9</sup> |
| Areias argilosas | 10 <sup>-7</sup>                    |
| Areias finas     | 10 <sup>-5</sup>                    |
| Areias médias    | 10 <sup>-4</sup>                    |
| Areias grossas   | 10 <sup>-3</sup>                    |

Tabela 2. Valores de condutividade hidráulica (Ortigão, 2007, p.104).

| Permeabilidade     | Tipo de solo     | K<br>(m.s <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|------------------|---------------------------|
| Solos permeáveis   |                  |                           |
| Alta               | Pedregulhos      | $>10^{-3}$                |
| Alta               | Areias           | $10^{-3}$ a $10^{-5}$     |
| Baixa              | Siltes e argilas | $10^{-3}$ a $10^{-7}$     |
| Solos impermeáveis |                  |                           |
| Muito baixa        | Argila           | $10^{-7}$ a $10^{-9}$     |
| Baixíssima         | Argila           | $<10^{-9}$                |

#### 4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto foram coletadas amostras indeformadas em dois pontos, denominados A e B, localizados no Campus José Rodrigues Seabra da Universidade Federal de Itajubá em Itajubá/MG. Ambos os solos residuais foram classificados, pela metodologia do diagrama triangular de textura, como Areia Siltosa.

Existem diversos tipos de ensaios de campo para determinação da condutividade hidráulica. De acordo com Lisboa (2006) os ensaios podem ser realizados em furos de sondagem, poços, piezômetros já presentes no local de estudo, como também com arranjos especiais como é o caso dos infiltrômetros. Neste projeto optou-se pelo uso do permeâmetro de Guelph, por ser o equipamento que se dispunha na ocasião.

Enquanto que os ensaios em laboratório foram os permeâmetros de carga constante e de carga variável. As montagens dos experimentos no laboratório foram realizadas conforme esquemas estudados na Universidade de Guelph no Canadá, durante o Programa Ciências sem Fronteiras, no período de Janeiro de 2013 a Abril de 2014, e teve como professor Dr. Gary Parkin.

As técnicas estudadas utilizam amostras indeformadas coletadas com trado tipo TAI, usualmente empregados para análises físicas do solo, como densidades, porosidades, curvas de retenção, composto por coletor com capacidade para um cilindro, hastes prolongadoras e anéis em aço inox com 50 mm de diâmetro e 51 mm de altura. As amostras permanecem nos anéis de aço durante os ensaios de laboratório. Os ensaios são realizados em triplicata para cada ponto em análise.

Após a extração das amostras, acoplou-se outro cilindro vazio no topo de cada anel coletado, com uma fita de alta resistência e impermeável. Em seguida, colocou-se uma tela de proteção na base das amostras, de forma a evitar que houvesse o carreamento de partículas do solo durante a percolação da água.



Figura 1. Preparação da amostra para o ensaio.

Na montagem do permeâmetro de carga variável foi necessário bureta de vidro, tampão, béquer e bandeja plástica, conforme esquema mostrado na Figura 2. Primeiramente coloca-se o tampão na boca do cilindro superior e em seguida encaixa-se a bureta, que fica acoplada ao tampão por uma abertura central sem qualquer folga para garantir a vedação. Em seguida esse conjunto é inserido no interior de um béquer, que se encontra dentro de uma bandeja plástica. Preenche-se então o béquer com água até que transborde. Determinada uma diferença de altura na bureta, preencheu-se a bureta com água e cronometra-se o tempo necessário para a água infiltrar.

Para o ensaio de carga constante utilizou-se uma garrafa mariotte, um recipiente grande de plástico, uma pequena proveta graduada e mangueiras plásticas, conforme Figura 3. Neste caso o tampão recebeu uma abertura central para passagem da mangueira plástica. A montagem do ensaio consistiu-se em preencher todo o recipiente de plástico com água. Posicionou-se o fundo da garrafa mariotte no

mesmo nível que o nível de água no interior do recipiente grande de plástico e as conectaram. Em seguida inseriu-se a amostra no interior do recipiente de plástico grande e a vedou com o tampão. Removeu-se o ar do interior do tubo que estava acoplado ao tampão e prendeu-se a extremidade do tubo do lado de fora do recipiente de plástico a uma altura inferior ao nível da água de tal recipiente. Por fim, cronometrou-se o tempo necessário para que a proveta fosse preenchida com água.



Figura 2. Montagem do ensaio de carga variável.

Esse trabalho foi realizado com a intenção de reproduzir as montagens experimentais vistas no Canadá para demonstrar o funcionamento

dos ensaios para determinação da condutividade hidráulica. Assim foram adotados os procedimentos recomendados nas notas de aula do professor Dr. Gary Parkin.

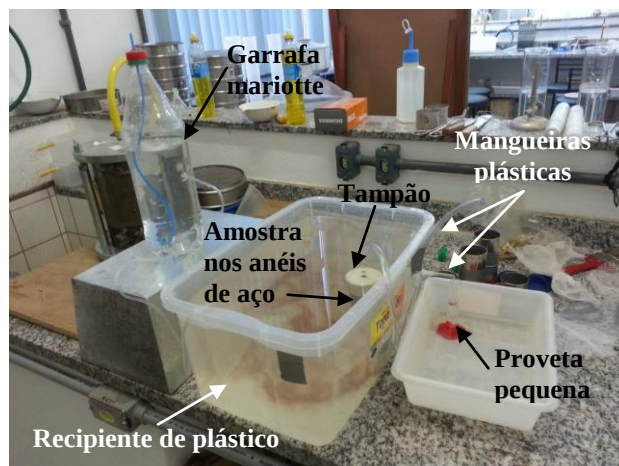


Figura 3. Montagem do ensaio de carga constante.

Por fim foram aplicadas fórmulas empíricas desenvolvidas por Hazen, Chapuis, Amer & Award e Gardner para determinação da condutividade e hidráulica.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios determinados para condutividade hidráulica para os pontos A e B empregando-se os ensaios de campo e de laboratório são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Condutividade hidráulica média dos pontos

| Tipo de Ensaio                 | Condutividade Hidráulica Média<br>(m.s <sup>-1</sup> ) |                       |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                | Ponto A                                                | Ponto B               |
| Permeâmetro de Guelph          | 2,78.10 <sup>-5</sup>                                  | 2,82.10 <sup>-5</sup> |
| Permeâmetro de Carga Variável  | 1,13.10 <sup>-5</sup>                                  | 8,07.10 <sup>-6</sup> |
| Permeâmetro de Carga Constante | 1,0.10 <sup>-4</sup>                                   | 1,0.10 <sup>-6</sup>  |

O ensaio com o permeâmetro de Guelph mostrou que tanto para o ponto A quanto para o ponto B os valores da condutividade hidráulica média foram da ordem 10<sup>-5</sup>m.s<sup>-1</sup>. Utilizando o método permeâmetro de carga variável nota-se que a condutividade hidráulica média dos pontos A e B se diferiram, mas ambos na faixa de baixa permeabilidade. No ensaio com

permeâmetro de carga constante os valores médios das condutividades hidráulicas de ambos os pontos também se diferiram.

Os solos granulares (areias e pedregulhos) são analisados quanto a sua permeabilidade com ensaios de carga constante, e solos finos (siltes e argilas), em ensaios de carga variável. Optou-se por realizar os dois ensaios com ambos os pontos a fim de examinar o comportamento das montagens para um mesmo tipo de material.

Para os resultados do permeâmetro de Guelph, utilizou-se a fórmula de Gardner, (desenvolvida para determinar a condutividade hidráulica insaturada) cujos valores foram produzidos de acordo com a Figura 4, gerada com os dados mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Condutividade hidráulica determinada para as cargas de pressão de 5 e 10 cm pelas fórmula de Gardner

| Gardner K ( $\text{m.s}^{-1}$ ) |                      |                      |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| H (cm)                          | Ponto A              | Ponto B              |
|                                 | Experimento 1        |                      |
| 5                               | $2,43 \cdot 10^{-5}$ | $1,21 \cdot 10^{-5}$ |
| 10                              | $1,33 \cdot 10^{-5}$ | $6,64 \cdot 10^{-6}$ |
|                                 | Experimento 2        |                      |
| 5                               | $1,19 \cdot 10^{-5}$ | $1,88 \cdot 10^{-5}$ |
| 10                              | $6,54 \cdot 10^{-6}$ | $1,03 \cdot 10^{-5}$ |
|                                 | Experimento 3        |                      |
| 5                               | $9,51 \cdot 10^{-6}$ |                      |
| 10                              | $5,22 \cdot 10^{-6}$ |                      |

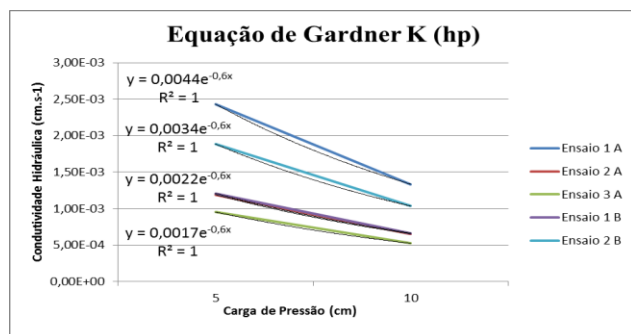


Figura 4. Relação entre carga de pressão e a condutividade hidráulica para os pontos A e B.

Os índices físicos necessários para aplicação das fórmulas teóricas foram determinados nos ensaios de caracterização física dos solos, cujos valores médios são apresentados na Tabela 5.

O coeficiente de Hazen é usualmente assumido como 100 (CARRIER, 2003) ao passo que os valores de  $D_{10}$  e coeficiente de

uniformidade ( $C_u$ ) utilizados nas equações de Chapuis e Amer & Award são provenientes do estudo de granulometria desenvolvido por Rangel (2014) na mesma área de estudo deste trabalho.

Tabela 5. Índices físicos dos pontos

|                                                 | Ponto A | Ponto B |
|-------------------------------------------------|---------|---------|
| Peso específico aparente ( $\text{kN.m}^{-3}$ ) | 12,98   | 14,77   |
| Umidade (%)                                     | 26      | 15      |
| Peso espec. dos grãos ( $\text{kN.m}^{-3}$ )    | 16,65   | 15,52   |
| Índice de vazios                                | 0,57    | 0,29    |
| $D_{10}$ (cm)                                   | 0,0034  | 0,0037  |
| Coeficiente de Uniformidade                     | 168,28  | 87,37   |

Na Tabela 6 encontram-se os valores determinados para condutividade hidráulica dos solos A e B utilizando-se as fórmulas empíricas.

Tabela 6. Condutividade hidráulica determinada pelas fórmulas empíricas

| Fórmula      | Condutividade Hidráulica Média ( $\text{m.s}^{-1}$ ) |                      |
|--------------|------------------------------------------------------|----------------------|
|              | Ponto A                                              | Ponto B              |
| Hazen        | $1,16 \cdot 10^{-9}$                                 | $1,37 \cdot 10^{-7}$ |
| Chapuis      | $1,73 \cdot 10^{-8}$                                 | $4,71 \cdot 10^{-9}$ |
| Amer & Award | $8,03 \cdot 10^{-9}$                                 | $1,06 \cdot 10^{-9}$ |

Os valores encontrados para a condutividade hidráulica de acordo com as fórmulas empíricas desenvolvidas por Hazen, Chapuis e Amer & Award para ambos os pontos em média é da ordem de  $10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ . Em termos de ordem de grandeza estes resultados diferem significativamente das ocorrências encontradas por meio dos ensaios de campo e de laboratório.

A fórmula de Hazen é aplicada para determinação da condutividade hidráulica em areia saturada e exige que o coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ) seja menor que 2. De acordo com as curvas granulométricas de ambos os materiais nota-se que o valor do  $C_u$  é maior que 2, como também o solo da região em estudo não é uma areia saturada. Assim, descarta-se o uso e a credibilidade desta equação para a determinação da condutividade hidráulica de solos dessa região.

A fórmula de Chapuis é aplicada para determinação da condutividade hidráulica em areias pedregulho uniformes e naturais, ou seja, para K com valor entre  $10^{-1}$  a  $10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$  (DAS, 2007). Portanto, o fato da condutividade hidráulica não estar entre os limites propostos

por Chapuis, nos impede de confiar que a utilização desta fórmula seja adequada para os solos das áreas em estudo.

Amer & Award propõe uma formulação para solos granulares. Como a característica textural do solo proposto por Amer & Award não é a mesma da área de estudo, não é possível também confiar no resultado encontrado.

A fórmula empírica desenvolvida por Gardner é aplicada para a condição de solo não saturado e relaciona a condutividade hidráulica à carga de pressão aplicada durante o ensaio do permeâmetro de Guelph. Por meio dos resultados da Tabela 4 desenvolveu-se o gráfico da Figura 3, o qual mostra que a condutividade hidráulica é maior quando submetido a uma menor carga de pressão. Isto ocorre devido ao fato de que nas condições de solo não saturado a carga de pressão é menor que a pressão atmosférica ( $H_1$  e  $H_2 < 0$ ) acima do nível da água. Deste modo, Gardner não é utilizado para classificar o solo, mas sim para mostrar a relação entre carga de pressão e condutividade hidráulica em solo não saturado.

Os testes que avaliam as propriedades físicas dos solos devem ser efetuados com precisão, pois eles vão determinar a indicação de qual formulação empírica poderá ser adotada.

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

De forma geral, foi possível avaliar a condutividade hidráulica de solos de uma região por diferentes metodologias que forneceram resultados favoráveis de acordo com o material constituinte dos mesmos.

A técnica *in situ* aplicada neste projeto foi o uso do permeâmetro de Guelph, a qual se mostrou simples e prática de ser realizada. Tal método forneceu resultado confiável o qual foi possível de ser alcançado devido ao fato do manual ser claro desde os primeiros passos para a montagem do equipamento, como também operação e cálculos a serem seguidos para a determinação da condutividade hidráulica. Porém sugere-se que em um próximo projeto que avalie a condutividade hidráulica do solo de uma região aplique-se mais uma técnica em campo para comparar com os valores obtidos com o permeâmetro de Guelph, para confirmar

a veracidade e a aplicação de um ou não do outro. Outra técnica que poderia ser empregada em parceria com o permeâmetro de Guelph seria o teste de Hvorslev.

As técnicas em laboratório trazidas pela aluna enquanto estava no programa Ciências sem Fronteiras foram eficazes para determinação da condutividade hidráulica. Tais métodos foram simples de serem construídos, com materiais e acessórios baratos e fáceis de serem adquiridos.

Como principal vantagem destas técnicas tem-se o uso de amostras indeformadas idênticas às coletadas para determinação de densidade, que reproduzem bem as condições naturais, entretanto as dimensões das amostras por serem reduzidas exige-se uma maior repetitividade dos ensaios para melhor confiabilidade dos resultados.

O ensaio de carga constante apresentou dificuldades para manter o nível de água do recipiente maior, onde as amostras eram inseridas. Tal técnica, portanto, precisa ser melhorada, como por exemplo, com o uso de um recipiente de plástico maior, assim a variação do nível da água não ocorrerá rapidamente ou alternativas que controlem melhor a vazão da garrafa mariotte.

As fórmulas empíricas desenvolvidas por Hazen, Chapuis e Amer & Award empregadas neste projeto não forneceram resultados confiáveis para a determinação da condutividade hidráulica do solo das áreas em estudo, visto que o solo não correspondia as condições iniciais de cada uma delas. Já Gardner mostrou a relação entre carga de pressão e a condutividade hidráulica aplicada em um solo sob condições não saturado de forma bastante precisa, e determinou que há maior condutividade hidráulica com menor carga de pressão pois ressalta-se que em condições de solo não saturado a carga de pressão é menor que a pressão atmosférica acima do nível da água no solo.

Se fosse necessária a escolha de apenas uma das técnicas para determinação da condutividade hidráulica, recomendar-se-ia a técnica desenvolvida *in situ*, permeâmetro de Guelph, uma vez que as condições ambientais reais estarão devidamente representadas e não

apenas simuladas como ocorre nos ensaios de laboratório. Já as fórmulas teóricas devem ser evitadas uma vez que são empíricas, levam em consideração poucas características físicas do solo e são bastante específicas para qual tipo de solo podem ser aplicadas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a professora e orientadora Adinele Gomes Guimarães pela excelente parceria no desenvolvimento deste projeto. Por acreditar nos objetivos, metodologias e resultados deste ensaio, pelo incentivo à aplicação de novas técnicas aprendidas durante o Programa Ciências sem Fronteiras, na Universidade de Guelph - Canadá, por estar presente nos momentos de dúvidas e então solucioná-las com grande sabedoria.

Em segundo agradeço a todos os técnicos dos laboratórios da Universidade Federal de Itajubá que contribuíram com este projeto, sendo eles José Cláudio Braga de Souza, Josivaldo Junior Rodrigues, Tânia Aparecida de Souza Barbosa e principalmente ao Osvaldo de Melo Rodrigues que esteve presente durante todo o processo de desenvolvimento dos ensaios como também nas idas à campo.

## REFERÊNCIAS

- Bernardes, R.S. (2005) *Condutividade hidráulica de três solos da região norte fluminense*. 2005. 80p. Tese de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro.
- Betim, L.S. (2013) *Caracterização da condutividade hidráulica dos solos e estudo da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do Córrego Palmital – Viçosa/MG*. 2013. 186p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Carrier, W.D. Goodbye Hazen, hello Kozeny-Carman. (2003) *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE*. V.129 p. 1054- 1056.
- Carvalho, L.A. (2002) *Condutividade hidráulica do solo no campo; as simplificações do método do perfil instantâneo*. 2002. 98p. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- Cetesb (2014) Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2014. *Investigação para remediação 10000*. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/Capitulo\\_X.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/Capitulo_X.pdf)> Acesso em: 05 maio 2014.
- Chapuis, R.P. (2004) Predicting the saturated hydraulic conductivity of sand and gravel using effective diameter and void ratio. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 41, n. 5, p. 787-795.
- Das, B.M. (2007) *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. 6 ed. São Paulo: Thomson Learning, 562p.
- Ellies, A.; Grez, R.; Ramirez, C. (1997) *La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta par el diagnostic de la estructura del suelo*. *Agro Sur*, v. 5, p. 51-56.
- Fetter, C.W. (2001) *Applied Hydrogeology*. 4 ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 691p
- Geoklock (2014) *Água, engenharia ambiental, avaliação ambiental*. Disponível em: <[http://www.geoklock.com.br/avaliacao\\_ambiental\\_\\_ensaios\\_hidrologicos.html](http://www.geoklock.com.br/avaliacao_ambiental__ensaios_hidrologicos.html)> Acesso em: 05 maio 2014.
- Lisboa, R.L.L. (2006) *Determinação da condutividade hidráulica não saturada de solos residuais com permeâmetro Guelph e ensaios de laboratório*. 89p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Ortigão, J.A.R. (2007) *Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos*. 3 ed. Rio de Janeiro: Terratek, 387p.
- Parkin, G. (2013) *Lab and Field Methods in Groundwater – Measuring Soil Hydraulic Properties with the Guelph Ring Infiltrometer*. 2013. 3p. Laboratory Notes. University of Guelph, Guelph, ON.
- Pinto, C. S. (2002) *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 355p.
- Poehls, D.; Smith, G. (2009) *Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology*. Boston: Academic Press/Elsevier, 528p.
- RANGEL, A.C.M. (2014) *Estudo do uso de fibra de cana de açúcar para fins de melhoramento do solo*. 2014. Trabalho Final de Graduação. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG.