

IX-075 - AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NA ZONA NÃO SATURADA E DISCUSSÃO DE SUAS APLICABILIDADES

Giovanni Chaves Penner⁽¹⁾

Engenheiro sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor Adjunto da Universidade Federal do Pará.

Brenna Souto Mota⁽²⁾

Engenheira Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Moisés Marçal Gonçalves⁽³⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Endereço⁽¹⁾: Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, cep: 66075-110, Belém - PA, Brasil - Tel: (91) 3201-8139 - E-mail: gpenner@gmail.com;

RESUMO

O artigo consistiu na realização de avaliação de métodos de campo para a determinação da condutividade hidráulica no solo na zona não saturada. A finalidade deste trabalho foi apresentar uma análise comparativa entre os métodos com o intuito de definir qual a aplicabilidade de cada método. A pesquisa efetuada apoiou-se em aquilatar três metodologias de infiltração que foram: Ensaio da ABGE, *Open End Hole* e Infiltrômetros de Anel. Desta forma efetuou-se a relação de atividades com as metodologias de ensaio de infiltração, realizando uma classificação dos parâmetros de campo. Observou-se o tipo de rebaixamento, infiltração e carga hidráulica, bem como, custos, tipo de mão de obra, deslocamento, operação e aplicação para cada método em suas particularidades. Portanto, com base na avaliação exposta no trabalho, a metodologia da ABGE possui maior aplicabilidade em sumidouros e trincheiras de infiltração, o infiltrômetro de anel em atividades ligadas a irrigação e construção de estradas e o método *Open End Hole* na determinação da condutividade hidráulica média em uma bacia.

PALAVRAS-CHAVE: Condutividade Hidráulica, Metodologias de infiltração, Taxa de infiltração. Ensaio de infiltração.

INTRODUÇÃO

A água precipitada, logo após um evento chuvoso, é capaz de ser encaminhada para várias direções, onde parte da chuva consegue ser retida pela vegetação e parte dela cai de forma direta sobre o solo (COELHO NETTO, 1994). Ao ser conduzida para a superfície do solo, a água poderá escoar superficialmente, evaporar ou infiltrar no solo. A infiltração é um procedimento que ocorre de maneira natural, tornando-se essencialmente significativa para o equilíbrio hídrico.

A condutividade hidráulica do solo é essencial para quaisquer estudos que compreendam o movimento da água no solo. Segundo FEITOSA *et al.* (2008), a condutividade hidráulica considera as particularidades do meio, que abrangem, por exemplo, as características do fluido, tamanho, porosidade, forma das partículas e etc., necessitando assim das propriedades do meio poroso e também do meio fluido.

A condutividade hidráulica é uma importante variável para se entender o movimento das águas subterrâneas, o entendimento dessa variável possibilita retirar diversas observações acerca do solo. Entre essas informações têm a facilidade e/ou resistência do movimento de água no solo, compreender melhor o conceito de grau de compactação do solo, entender os diferentes tipos de solo e suas características em relação a percolação da água. Existem diversos métodos para se determinar a condutividade hidráulica, estes diferentes métodos possuem aplicações diferentes, por exemplo, o infiltrômetro de anel é um método para determinação da condutividade hidráulica largamente utilizado na agricultura, uma vez que, parte do sistema de irrigação é dimensionado utilizando-se deste método.

Os métodos para a determinação da condutividade hidráulica podem ser realizados em campo ou em laboratório; os métodos desenvolvidos em campo, em geral, possuem menores custos e demonstram resultados bastante representativos além de apresentar facilidade para realização dos ensaios. A área onde foram desenvolvidos os ensaios de infiltração, pertence ao município de Belém – PA, na região Norte do país e está localizada nas dependências da Universidade Federal do Pará, em frente ao Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA). Este trabalho consistiu na comparação de métodos para determinação da condutividade hidráulica e a discussão de suas aplicabilidades.

OBJETIVOS

Este trabalho visou avaliar métodos para a determinação da condutividade hidráulica no solo realizados em campo. A ideia básica consiste em obter resultados satisfatórios para definir uma determinada aplicabilidade para cada tipo de ensaio realizado, assim como comparar as vantagens e desvantagens de cada método. Sendo assim, o objetivo principal é a comparação desses métodos e posterior a avaliação de suas aplicações e/ou aplicabilidades.

METODOLOGIA UTILIZADA

➤ CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Campus da Universidade Federal do Pará está localizado na cidade de Belém-PA, e recebe o nome de Cidade Universitária José da Silveira Netto. Possui as coordenadas geográficas $1^{\circ}28'26''\text{S}$ e $48^{\circ}27'6''\text{W}$ e 5m de altitude, com área territorial aproximadamente igual a 2,06 Km². Por sua vez, é composta pelo Campus 1 (Setor básico), Campus 2 (Setor profissional), o Campus 3 (Setor saúde) e o Campus 4 (Setor esportivo). Os métodos para a determinação da condutividade hidráulica foram desenvolvidos em campo se limitando ao campus 2, mais especificamente a área que circunda o laboratório de engenharia sanitária e ambiental – LAESA.

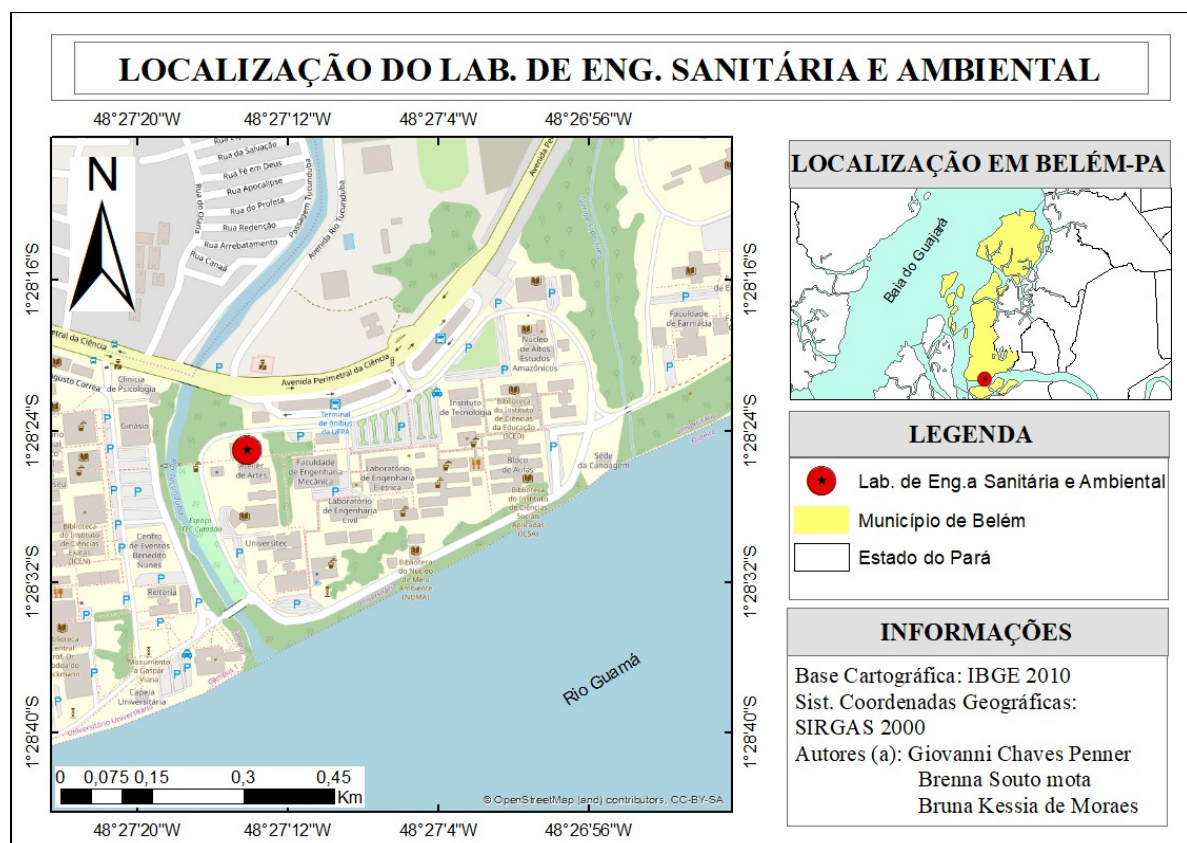


Figura 1: Localização do LAESA

➤ ENSAIO DE INFILTRAÇÃO ABGE (1996)

O teste de infiltração foi realizado em campo seguindo os procedimentos definidos pela ABGE (1996). Foi realizado um furo de sondagem com geometria cilíndrica no solo com o auxílio do trado manual (“boca de lobo”), onde as dimensões da perfuração eram de 30 cm de profundidade e 20 cm de diâmetro. Em seguida, saturou-se o solo utilizando o reservatório de água, até preencher completamente o furo.

O nível d’água foi mantido à superfície do terreno, tendo como finalidade a saturação em todo o perfil do furo de sondagem, tendo consequentemente, uma execução propícia do ensaio. A saturação do furo foi feita durante um período de tempo de 10 minutos com nível constante de água.

Em seguida, efetuou-se a contagem do tempo das medições de rebaixamento do nível d’água no furo, onde a mensuração foi feita durante 27 minutos de ensaio com a contribuição de uma régua. Os resultados das

leituras foram anotados na planilha até que a taxa de infiltração não sofresse mais nenhuma variação. Na **Figura 2** é possível verificar o solo já saturado e, por conseguinte, o início das leituras.



Figura 2: procedimento de ensaio de campo.

A ABGE tornou os ensaios de rebaixamento uniformes, tais ensaios também podem ser considerados como ensaios de infiltração a nível variável em solo na zona não saturada de acordo com a **Figura 3** a seguir:

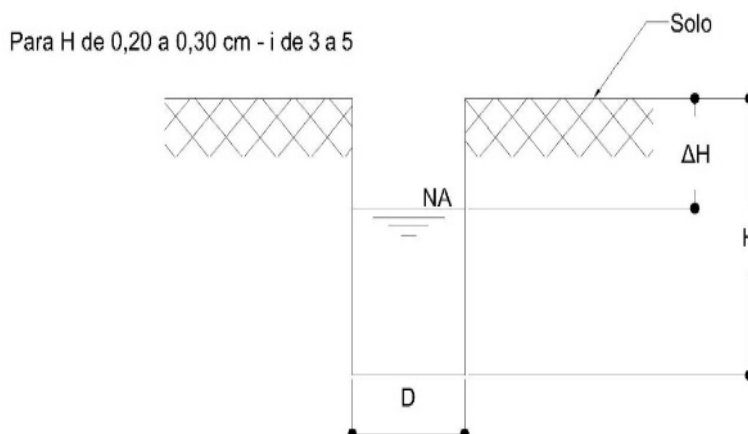


Figura 3: Ensaio de Rebaixamento ABGE 1996.

A **Equação 1** é utilizada para a determinação da condutividade hidráulica de acordo com o método ABGE, 1996 é dada por:

$$k = \frac{\Delta H}{\Delta t} * \frac{1}{i * \left(\frac{2 * H}{r} - 1 \right)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde k, é a condutividade hidráulica, ΔH é a variação do nível de carga hidráulica, Δt é a variação do tempo, H é a profundidade do poço, r é o raio do furo de sondagem e i é adimensional variando de 3 a 5.

➤ INFILTRÔMETRO DE ANEL

Neste ensaio foram instalados no solo dois anéis concêntricos com 40 e 20 centímetros de diâmetro, o anel interno é onde se avalia o processo de infiltração e o externo tem como objetivo provocar redução da dispersão lateral da água infiltrada no anel interior. Após a instalação, os anéis foram cravados no solo a uma profundidade de 10 cm, revestiu-se o anel interno com um filme plástico com a finalidade de evitar a infiltração da água no solo antes do teste ser iniciado.

Os anéis foram cravados no solo com auxílio de uma marreta, primeiramente posiciona-se os anéis na posição do ensaio, em seguida usasse um suporte para receber os impactos gerados pela marreta para que não se danifiquem os anéis e possam ser cravados de forma uniforme. Conforme demonstrado na **Figura 4**.



Figura 4: Instalação dos anéis no solo.

Adiciona-se água ao mesmo tempo nos dois anéis, desta forma, saturou-se o solo no que se refere ao anel externo. Assim, o plástico foi removido e com o auxílio de uma régua graduada, deu-se início as leituras de rebaixamento no anel interno em função do tempo.

Foi considerada como infiltração constante quando o valor da leitura se repetiu por pelo menos três vezes. Foram obtidas curvas de Infiltração Acumulada (I) e Velocidade de Infiltração (VI), de acordo com BERNARDO *et al.* (2006).

➤ OPEN END HOLE

O método *open end hole* ou “Ensaio de Ponta Aberta” consiste na utilização de um furo de sondagem revestido com tubo de PVC, do topo até a sua base, para a obtenção do coeficiente de condutividade hidráulica vertical de uma determinada profundidade de solo (FIORI, 2010). Na **Figura 5** apresenta-se as variáveis utilizadas para o ensaio.

A carga hidráulica (h_0) é o comprimento do tubo, do topo até a base do tubo e é dado pela expressão $h_0 = P + L$ (1). O método consiste na avaliação da infiltração vertical carga hidráulica e/ou nível de água variável. Essa variação do nível de água (Δh) é dada em função do tempo, sendo assim h_0 representa o nível de água inicial e h_1 representa o nível de água final. A **Equação 2** expressa essa relação: $h_1 = h_0 + \Delta h$ (2). Considerando, ainda, o raio do tubo de PVC ($R = D/2$) e representa a condutividade hidráulica vertical:

$$K_v = 2,303x \left(\frac{R}{4\Delta t} \right) x \left[\log \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \right] \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: K_v é a condutividade hidráulica vertical, R é raio, Δt é a variação do tempo, h_0 é a carga hidráulica inicial e h_1 é a carga hidráulica final.

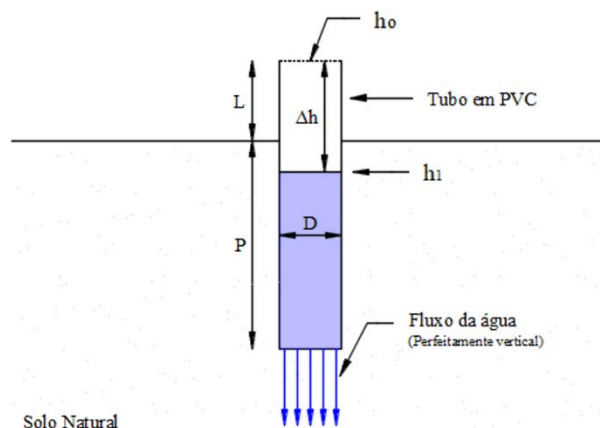


Figura 5: Esquema do ensaio de infiltração “open end hole”. Fonte: Autores, 2018.

O ensaio é realizado em três pontos distintos espacializados de forma triangular (equilátera) distanciados em aproximadamente 1,5m (**Figura 6**). Os furos de sondagem tiverem profundidade de 0,50; 1,00 e 1,50 metros, primeiramente deve-se esperar para se verificar se fluirá água nos furos. Após a verificação, se averiguada a presença de água deve-se então descartar o ponto e fazer o ensaio com os três furos, no entanto, com duas profundidades distintas (0,50 e 1,00 m), em caso de a um metro de profundidade também for observada a presença de água deve-se adotar três furos com a mesma profundidade (0,50m), isto pode ocorrer em regiões onde o lençol freático seja raso. Em caso de ainda assim for constatada a presença de água com a 0,50 m então este ponto deve ser descartado e selecionado outro ponto para a realização do ensaio.

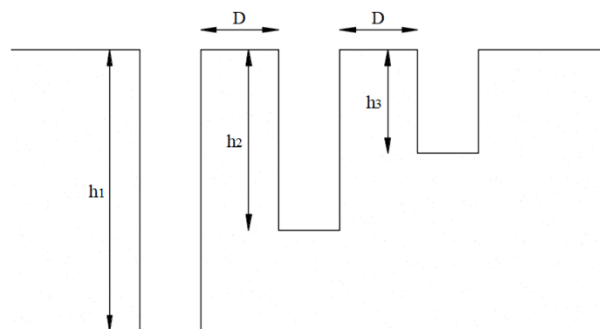


Figura 6: Esquema do ensaio de infiltração “open end hole”. (Fonte: Autores, 2018).

Um dos cuidados executivos para a realização do ensaio é que o tubo em PVC seja de diâmetro adequado para o furo de sondagem, haja vista, que se é necessário evitar infiltração entre o a parede do tubo de PVC e a parede do furo de sondagem (Externo ao tubo em PVC).

➤ **METODOLOGIA PARA COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS**

Para se realizar o comparativo dos métodos avaliaram-se alguns aspectos técnicos, relacionados a custos e praticidade, tendo em vista que são parâmetros importantes para que se possa definir qual método possibilitará maior custo-benefício e se aplicará de forma mais ajustada para cada atividade. Determinadas atividades usualmente necessitam que se estabeleça a condutividade hidráulica no meio para auxiliar na tomada de decisão, tendo em vista que se pode haver uma contribuição relevante para a realização de ações que comumente são realizadas nas obras de engenharia. Diversas atividades se relacionam intrinsecamente e/ou necessitam da determinação da condutividade hidráulica para a manutenção de seu funcionamento, algumas dessas atividades estão apresentadas na **Tabela 1**.

RELAÇÃO DE ATIVIDADES COM METODOLOGIAS DE ENSAIO DE INFILTRAÇÃO				
Atividades relacionadas	Infiltração predominante	Prof. Recomendada para o ensaio	Sensibilidade do ensaio	Utilização/Finalidade da atividade
Sumidouro	Lateral	Média/Alta	Baixa	Residencial
Estradas	Vertical	Superficial/baixa	Média	Urbana
Aterro Sanitário	Vertical	Superficial/baixa	Alta	Saneamento
Áreas de infiltração	Livre	Superficial/baixa	Baixa	Urbano
Trincheiras de infiltração	Livre	Média/Alta	Baixa	Residencial/Urbano

Tabela 1: Atividades relacionadas a metodologia de infiltração.

A **Tabela 1** apresenta algumas atividades que necessitam da determinação da condutividade hidráulica. Sumidouros e trincheiras de infiltração são mais usuais em unidades residências, ambas possuem como finalidade gerar a infiltração de efluentes e águas pluviais, respectivamente. Tanto estradas quanto os aterros sanitários necessitam de técnicas mais sensíveis que não agredam as áreas que já foram compactadas, portanto essas metodologias apresentadas não se enquadram para essas atividades, no entanto, é possível aplica-las na falta de metodologias mais sofisticadas. Com isso, a **Tabela 2** apresenta a avaliação de alguns parâmetros que as metodologias de infiltração devem possuir para que se tenha melhor percepção ao se determinar qual metodologia é mais apropriado para cada atividade e área de aplicação.

Tabela 2: Classificação de parâmetros para metodologias de infiltração.

CLASSIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA OS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO			
Parâmetro	Fácil	Moderada	Difícil
Operação	3	2	1
Transporte	3	2	1
Parâmetro	Baixa	Moderada	Alta
Custo de aquisição/operação	5	3	1
Sensibilidade	1	3	5
Parâmetro	Qualificada		Não qualificada
Mão de obra	1		2

RESULTADOS OBTIDOS

Para o cálculo proposto pela ABGE (1996), segundo a **Equação 1** foi encontrado uma condutividade hidráulica de $1,11.10^{-5}$ cm/s. Para o método do infiltrômetro de anel obtivemos uma condutividade hidráulica de $1,92.10^{-4}$ cm/s. Para o método *Open End Hole* obteve-se uma condutividade hidráulica $1,14.10^{-4}$ cm/s. A **Tabela 3** apresenta as características de cada ensaio.

Tabela 3: Resultados de condutividade hidráulica dos métodos.

Método	Tipo de ensaio	Carga	Infiltração	Condutividade
Ensaio ABGE	Rebaixamento	Variável	Livre	$1,11.10^{-5}$ cm/s
Infiltrômetro de anel	Rebaixamento	Variável	Vertical	$1,92.10^{-4}$ cm/s
<i>Open End Hole</i>	Rebaixamento	Variável	vertical	$1,14.10^{-4}$ cm/s

De acordo com a **Tabela 3**, o ensaio da ABGE foi o método que apresentou menor valor de condutividade hidráulica o que pode ser explicado por ser o único método onde primeiramente satura-se o solo em todo o furo de sondagem. Para o ensaio do infiltrômetro de anel que representa principalmente a infiltração vertical, tenta-se simular a infiltração de água no solo onde ocorra uma chuva na totalidade de uma área, ou seja, tenta reproduzir o comportamento da percolação de água no solo na forma natural.

Para o método *Open End Hole* assim como no ensaio dos anéis concêntricos a infiltração no solo ocorre de forma livre, no entanto, em três profundidades distintas. Este método permite num mesmo ensaio obter valores de condutividade em diferentes perfis de solo, dado isso é possível ter maior mapeamento do estrato do solo.

Sendo assim, para termos comparativos dos métodos estudados, foram selecionados alguns parâmetros primordiais que ajudaram na análise dos mesmos. Posteriormente, foi atribuído aos parâmetros que foram classificados em: fácil, médio, moderado, qualificada e não qualificada, distribuindo valores para essas faixas de acordo com a **Tabela 2**. Ao final todos os ensaios receberam uma pontuação que convergiu da soma dos valores atribuídos as faixas. Como pode ser observada na **Tabela 4**.

Tabela 4: Parâmetros analisados nos ensaios de infiltração

Parâmetros de ensaios de infiltração	ABGE	Infiltrômetro de anel	<i>Open End Hole</i>
Operação	Fácil	Moderada	Difícil
Transporte	Fácil	Moderado	Difícil
Custo de aquisição/operação	Baixo	Moderado	Baixo
Sensibilidade	Baixa	Moderada	Baixa
Mão de obra	Não qualificada	Não qualificada	Não qualificada
Pontuação	14	12	10

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A produção das Tabelas tem como objetivo auxiliar na escolha do método mais adequado para cada tipo de atividade listada na **Tabela 1**. Os sumidouros são dispositivos, em geral, residenciais utilizados para receber o efluente tratado proveniente de tanques sépticos, descartado para permitir sua infiltração no solo. Tem como característica infiltração predominantemente lateral.

Correlacionando as características mencionadas com os dados da **Tabela 3** e **4** o método que melhor se adequa para a determinação da condutividade hidráulica do solo para aplicação da atividade do sumidouro é o método proposto *Open End Hole*, este ensaio apresenta características de infiltração: livre; profundidade recomendada para o ensaio de média/alta e sensibilidade baixa. Uma análise similar pode ser realizada para as trincheiras de infiltração, onde os métodos mais apropriados para atividades similares são o ensaio da ABGE e o *Open End Hole*, para áreas de infiltração têm-se as metodologias da ABGE e Infiltrômetro de anel.

Essa atividade áreas de infiltração devem ser propostas para auxiliar no zoneamento urbano, de acordo com os diferentes tipos de solo, com isso o método dos anéis concêntricos pode ser atribuído para simular situações em que o solo não está saturado, ou seja, em que se tenham chuvas intensas e desta forma o solo rapidamente alcançará a saturação em uma lâmina curta de água que dependerá do tipo de solo na bacia. O ensaio da ABGE é mais propício para situações em que o solo já está saturado, ou seja, melhor para ser avaliado em condições de chuvas abundantes.

Os métodos até o momento apresentados foram desenvolvidos de modo a discutir suas aplicabilidades. O método proposto pela ABGE gera resultados significativos, no entanto, tem algumas limitações em virtude de gerar dados de condutividade hidráulica a uma profundidade de no máximo 0,30m. As informações geradas por este ensaio com o solo saturado podem ser expressivas para a discussão de medidas mitigadoras com relação ao escoamento superficial.

O método do infiltrômetro de anel é largamente aplicado na agricultura, sobretudo na irrigação. A partir dele pode-se estimar a capacidade de infiltração de uma determinada área e, em seguida, selecionar equipamentos para irrigação.

O método de *Open End Hole* é bem representativo para a determinação da condutividade hidráulica média em uma bacia em virtude de ser realizado em camadas distintas do solo. Com isso, a investigação no solo é melhor distribuída, levando-se em consideração as diferentes profundidades utilizadas.

Como pode-se observar as metodologias para a determinação da condutividade hidráulica devem ser amplamente usadas para auxiliar na tomada de decisão em áreas do conhecimento distintas. É fundamental o conhecimento desta variável, no entanto, nota-se que as atividades podem ter algumas restrições quanto as metodologias, que vão desde custos relacionados a operação e aquisição de equipamento, tanto como a necessidade da não alteração na área de aplicação.

A vista disso, destacasse a importância de haverem diversas metodologias para auxiliarem na geração de dados para esses estudos, posto isto é fundamental que se diferencie cada uma dessas metodologias e definir o quão cada método pode ser aplicado para determinada atividade ou empreendimento. Em busca disso a **Tabela 5** demonstra o balanço realizado entre as metodologias de ensaio de infiltração.

Tabela 5: Comparação entre os métodos.

BALANÇO COMPARATIVOS ENTRE AS METODOLOGIAS DE INFILTRAÇÃO				
Métodos	Vantagens	Desvantagens	Atividade apropriada	Investimento
Ensaio ABGE	Baixo custo e fácil aplicação	Limitado em zonas superficiais	<ul style="list-style-type: none"> Trincheiras de infiltração Sumidouros 	R\$ 600,00
Infiltrômetro de anel	Fácil operação e resultados bem expressivos na agricultura	Custo médio a elevado do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> Irrigação Construção de estradas 	R\$ 5.000
<i>Open End Hole</i>	Baixo custo e fácil aplicação	Dificuldade operacional e de deslocamento	<ul style="list-style-type: none"> Determinação da condutividade hidráulica média em uma bacia 	R\$ 800

CONCLUSÕES OU RECOMENDAÇÕES

Com o trabalho desenvolvido observou-se que o método proposto pela ABGE (1996) mostrou como vantagens, baixo custo e facilidade na aplicação do ensaio, como desvantagem, têm-se limitação a áreas superficiais devido à profundidade da perfuração sugerida. Possui um investimento de aquisição de equipamentos necessários por volta de 600,00 reais e as atividades apropriadas para aplicação do ensaio supracitado são as trincheiras de infiltração, sumidouros e também aplicável para áreas de infiltração.

O Infiltrômetro de Anel, como vantagem têm-se a facilidade de operação, um dos pontos que podemos destacar é que este método é largamente utilizado na agricultura, como desvantagem podemos destacar o custo de médio de aquisição chegando aproximadamente a R\$ 5 mil. As atividades onde pode ser aplicado o método com Infiltrômetro de Anel são as atividades relativas à irrigação, bem como no auxílio para a determinação da condutividade hidráulica para áreas de infiltração.

O *Open End Hole*, apresentou como vantagem baixo custo no investimento dos equipamentos utilizados no ensaio, onde a soma dos materiais é em torno de 800,00 reais, também podemos realçar a facilidade de aplicação do ensaio. Porém, esta metodologia de infiltração mostra desvantagens relacionadas a dificuldade de operação, assim como a dificuldade no deslocamento dos equipamentos utilizados. As atividades mais indicadas para esse método são referentes a determinação de condutividade hidráulica numa bacia, assim como para sumidouros e trincheiras de infiltração e para atividades similares.

Sendo assim, a determinação da condutividade hidráulica dos métodos em questão são informações importantes para auxiliar em diversas áreas de estudo de acordo com a análise comparativa das metodologias de infiltração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. Ensaio de Permeabilidade em Solos: Orientações para sua execução no campo. 4.ed. São Paulo, 2013.
2. AGUIAR, A. B. O emprego do permeâmetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura. 67 f. Dissertação (Mestrado em ciências)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001
3. BACCHI, O.O.S.; CORRENTE, J.E. & REICHARDT, K. Análise comparativa de dois métodos simplificados de determinação da condutividade hidráulica de solos. R. Bras. Ci. Solo, 15:249-252, 1991.

4. BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MONTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006.
5. COSTA, F. P. M.; NISHIYAMA, L. Utilização do permeâmetro guelph e penetrômetro de impacto em estudos de uso e ocupação dos solos em bacias hidrográficas. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 8, n. 24, Dez. 2007.
6. DECAGONDEVICES. Disponível em: <<http://www.decagon.com.br/hidrologia/conductividade/mini-disk/>>. Acesso em: 06 dez. 2018.
7. ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. Groundwater Monitoring Review. v.9, 1989. p.184- 193.
8. FAGUNDES, E. A. A. et al. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 8, n. 14, p. 369-378, 2012.
9. FEITOSA, F. A. C. et al. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. 3a Edição Revisada e Ampliada. CPRM Serviço Geológico Nacional, 2008. p. 77 – 91.
10. FILHO, A. G. A.; SZÉLICA, M. R.; ENOMOTO, C. F. Estudo de medidas não- estruturais para controle de inundações urbanas. *PUBLICATIO UEPPG: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias*, Ponta Grossa, v. 6, n. 1, 2000.
11. FIORI, Joyce Pinheiro de Oliveira. Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Área de concentração: Hidrogeologia e Meio Ambiente) – Instituto de Geociência, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
12. GUELPH PERMEAMETER 2800 MANUAL. Disponível em: <http://www.ictinternational.com/content/uploads/2014/03/Guelph-Manual.pdf>. Acesso em: 03/01/2019.
13. IBRAHIM M. M.; ALIYU J. Comparison of Methods for Saturated Hydraulic Conductivity Determination: Field, Laboratory and Empirical Measurements. British Journal of Applied Science & Technology. v. 15, n. 3, p. 1-8, 2016.
14. INFILTRÔMETRO DE TENSÃO MINI DISK. Disponível em: <http://www.decagon.com.br/hidrologia/conductividade/mini-disk/>. Acesso em: 20/11/2018.
15. JACKA, L. et al. A comparison of three measuring methods for estimating the saturated hydraulic conductivity in the shallow subsurface layer of mountain podzols. Geoderma, v. 219-220, p. 82-88, may. 2014.
16. LUCAS, A. H. et al. Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil. *EngSanitAmbient*, [S.l.], v. 20, n. 1, jan./mar. 2015.
17. MERCADO LIVRE. Disponível em: <<https://www.mercadolivre.com.br/>>. Acesso em: 06 dez. 2018.
18. PENNER, G. C. et al. Avaliação da capacidade de infiltração na bacia hidrográfica do igarapé sapucajuba (Belém-PA). In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos XXII, 2017, Florianópolis. Anais...Florianópolis: ABRH, 2017.
19. PERROUX, K.M. & WHITE, I. Designs for disc permeameters. Soil Sci. Soc. Am. J., 52:1205-1215, 1988.
20. PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA. RELATÓRIO PARCIAL RP 03. Estudos Hidrogeológicos para a Definição de Estratégias de Gestão das Águas Subterrâneas da Cidade de Belém/PA e Municípios Adjacentes. Porto Alegre, 2017.
21. REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; TOPP, G. C. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. Soil Science, v.136, 1983. p.250–268
22. REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the α -parameter using the Guelph permeameter. Soil Science, v.140, n. 4, 1985. p. 292–302
23. RICHARDS, B. G. Capillary conduction of liquids through porous medium. Physics, New York, 1, 1931. p. 318-333.
24. SANTOS, V. J.; SANTOS, C. O. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. Estação científica (UNIFAP). Macapá, v. 3, n.1, p. 19-30, jan-jun. 2013.
25. SHWETHA, P.; VARIJA K. Soil water retention curve from saturated hydraulic conductivity for sandy loam and loamy sand textured soils. Aquatic Procedia, v. 4, 2015. pg. 1142-1149
26. SILVA, L. P. Hidrologia: Engenharia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
27. SOILCONTROL. Disponível em: <<https://www.soilcontrol.com.br/produto/92574/infiltrometro-de-duplo-anel.aspx>>. Acesso em: 06 dez. 2018.

28. SOTO, M. A. A. Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos não Saturados. 1996, 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.
29. TECNAL EQUIPAMENTO CIENTIFICO. Disponível em:<<http://tecnal.com.br/orcamento/>>. Acesso em: 06 dez. 2018.