



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL**

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO POR
DIFERENTES METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO**

FRANCISCO DE PAULA NOGUEIRA LEITE

PETROLINA, PE

ANO 2019

FRANCISCO DE PAULA NOGUEIRA LEITE

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO POR
DIFERENTES METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao IF SERTÃO-PE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a
obtenção de título de Engenheiro Agrônomo.

PETROLINA, PE

ANO 2019

L533

Leite, Francisco de Paula Nogueira.

Condutividade hidráulica de solo saturado por diferentes metodologias de determinação / Francisco de Paula Nogueira Leite. - 2019.

53 f.: il.; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia)-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina, 2019.

Bibliografia: f. 43-44.

1. Hidráulica. 2. Solo saturado. 3. Latossolo.
4. Petrolina-PE. I. Título.

CDD 627

FRANCISCO DE PAULA NOGUEIRA LEITE

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO POR
DIFERENTES METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO**

Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado ao IF SERTÃO-PE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a
obtenção de título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 29 de Novembro de 2019.

Professor Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo - Examinador

Dra. Jucicléia Soares da Silva - Examinadora

Professor Dr. José Sebastião Costa de Sousa - Orientador

Aos meus pais Dario Rodrigues Leite (*In Memória*), Maria Lúcia Nogueira de Sá Leite e irmãos. Pelo amor, cuidados, ensinamentos, apoio e compreensão.

As minhas filhas e esposa.

Vocês são a minha maior fonte de inspiração e força para enfrentar e vencer qualquer batalha, obrigado pela paciência e incentivo.

A vocês dedico esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos sempre serão insuficientes, para comportar em uma diminuta página, mas gostaria de expressar minha imensa gratidão. Com início primordial a Deus, fonte de toda força e sabedoria e o único capaz de permitir realizações em nossas vidas, mesmo que os obstáculos pareçam ser insuperáveis.

Agradeço aos meus pais: Dario Rodrigues Leite (*in memória*) e Maria Lúcia Nogueira de Sá Leite, pelos ensinamentos de vida, amor, carinho e compreensão que me ajudaram a ser o que sou hoje.

Agradeço a família, em especial, minha esposa Marcira Nunes Fernandes e filhas Ana Lúcia Nunes Nogueira Leite, Cecília Nunes Nogueira Leite e aos futuros, por preencherem minha vida de alegria. Vocês são e sempre serão um presente de Deus e fonte de força em minha vida.

Aos meus irmãos, em especial Silvana Nogueira Leite, por possuir um coração enorme e acolhedor de irmã-mãe, a Dario Nogueira Leite, que sempre esteve ao meu lado me aconselhando e incentivando.

Meus sobrinhos que amo muito, vocês possuem um lugar especial em meu coração.

Aos primos (a), cunhados (a), e demais que sempre estiveram me apoiando.

Vocês foram meu porto seguro, por sempre acreditar, acompanhar e fortalecer os meus sonhos de vida. A toda família que acompanha meus passos e torce pelos meus propósitos.

Aos verdadeiros amigos, e os que deixaram de ser, foram exemplos para minha lapidação, contribuindo com minha perseverança, confiança, caráter e honra.

Ao Professor Doutor José Sebastião Costa de Sousa, por acreditar no meu potencial acadêmico, desenvolvimento na pesquisa experimental e pela excelência nas orientações, agregando valores ao trabalho que hoje se apresenta como contribuição científica.

A todos os discentes do curso que incentivaram a minha caminhada. Imensa é minha gratidão por terem compreendido as situações cotidianas durante os cinco anos de vivência acadêmica.

Aos servidores pela atenção, paciência, ajuda nas atividades e pela contribuição significativa para permanência durante minha graduação, em especial Edson Rosa (mecânico da instituição) e Washington Luiz (coordenador de manutenção) pela grande contribuição dada para fabricação dos equipamentos e que sempre estavam dispostos a ajudar no tempo de vivência acadêmica.

Aos nobres colegas de graduação Aldeny Araújo, Andressa Dayane, Ipojucan Santos, Márcia Vieira e demais que ajudaram de forma direta e, ou, indiretamente na realização deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – *CAMPUS* PETROLINA ZONA RURAL, a oportunidade da realização do curso, que sempre foi um sonho.

E por fim, mas não com menos importância, agradeço aos meus nobres colegas da instituição com referência a minha turma AG-07, em especial Antônia Antunes, Antônio Marcos e Douglas José e a todos, os atos de companheirismo, cumplicidade, apoio e força durante toda nossa jornada acadêmica. Agradeço a Deus por cada um que foi colocado em minha vida.

Sempre fui vaqueiro, mas nunca aprendi aboiar.

E como está no sangue do homem sertanejo que nunca pode parar.

Fui atrás do meu sonho e não é que eu consegui alcançar.

Estou vendo logo ali o diploma o vaqueiro pegar.

(Francisco Nogueira Leite)

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO POR DIFERENTES METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO

RESUMO

Existem diversas metodologias de determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (K_o), algumas delas laboratoriais outras de campo, é sabido, porém, que para uma mesma condição de solo, é comum a ocorrência de diferenças de valores para elas. Objetivou-se, portanto, com o presente trabalho, comparar metodologias de determinação da K_o , padronizado a 20 °C, para um Latossolo Amarelo no município de Petrolina-PE. Foram avaliados os métodos do permeâmetro de carga constante e poço seco (Auger-Hole Inverso) em 19 poços de amostragem (blocos), com solos coletados, para os testes do permeâmetro, a 0,125 e 0,375 m de profundidade, correspondentes respectivamente as camadas de 0 – 0,25 e de 0,25 a 0,50 m. Foram avaliados estatisticamente os valores de K_o para dois e quatro tratamentos, sendo estes, cenário 1, T1 - poço seco e T2 - permeâmetro com dados médios das duas camadas de solo amostradas, e cenário 2, T1 - poço seco, T2 - permeâmetro com dados médios das duas camadas de solo amostradas, T3 - permeâmetro com amostra de solo da primeira camada (0 – 0,25 m) e T4 - permeâmetro com amostra de solo da segunda camada (0,25 – 0,50 m). Observaram-se em ambos os cenários, diferença estatística para as metodologias de determinação da K_o , e em um deles, cenário 2, foi detectada diferença significativa também para os poços. Observou-se ainda elevada variabilidade do parâmetro K_o a 20 °C, que foi de 0,23 a 1,01 com média de 0,59 cm h⁻¹ para o método do poço seco e de 0,66 a 13,47 com média de 4,49 cm h⁻¹ para o permeâmetro de carga constante. E constatou-se que as amostragens de solo na camada de 0 - 0,25 m permitiram estimar com precisão todo o perfil de solo.

Palavras-chave: Latossolo. Poço seco. Auger Hole. Permeâmetro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração esquemática de um permeâmetro de carga constante. Fonte: Teixeira et al. (2017).	18
Figura 2 – Ilustração esquemática de um permeâmetro de carga variável. Fonte: Libardi (2005).	21
Figura 3 – Ilustração do teste do poço seco para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado. Fonte: Bernardo et al. (2019).	23
Figura 4 – Localização da área experimental. Fonte: Google IBGE (2019) adaptado e Google Earth (2019).	25
Figura 5 – Ilustração esquemática dos poços de coleta de dados de condutividade hidráulica de solo saturado. Nota: na abertura dos poços eram coletados solos no centro das camadas de 0 – 0,25 m e de 0,25 – 0,50 m para os testes laboratoriais. Após abertura o poço era usado para o método de campo.	26
Figura 6 – Utensílios usados na determinação da K_o pelo método do permeâmetro: Anéis volumétricos usados nos testes (A), saturação das amostras de solo (B) e permeâmetro de carga constante desenvolvido para o experimento (C).	27
Figura 7 – Utensílios usados para determinação da K_o pelo método do poço seco: Anéis volumétricos e sonda, usados nos testes (A), escavação do poço e coleta de solo (B) e realização do teste com detalhamento da régua de leitura (C).	28
Figura 8 – Interface do software DET- K_o desenvolvido, e usado, na determinação da condutividade hidráulica de solo saturado (método do permeâmetro de carga constante).	29
Figura 9 – Ilustração do teste de campo para obtenção da VIB.	30
Figura 10 – Trado desenvolvido para coleta de solo e abertura de poços. Tubulação usada (A); tampão adaptado (B); abertura lateral na base inferior do trado para inserção do anel volumétrica (C); obtenção da amostra indeformada de solo (D). ...	33
Figura 11 – Recipiente de plástico com três litros de capacidade (A); mangueira transparente de 1/4" para o tubo piezométrico (B); tubo PVC 40 mm para fabricação do corpo e filtro (C); arame galvanizado (D); mangueira transparente 1/2" (E); tecido tipo morim para o filtro (F); luva de PVC 40 mm (G); anel volumétrica (H); borracha de vedação para luva (I); torneira de filtro 1/2" (J); tampa do recipiente perfurada com mangueira introduzida e arame no seu interior (K); registro (L); filtro conectado ao corpo do permeâmetro (M); permeâmetro montado (N).	34
Figura 12 – Tambor de metal (A); Tubo Piezométrico (B); registro de saída (C); entrada para abastecimento de água (D e E).	35
Figura 13 – Tambor de metal (A); cap com registros conectados (B); redução de 100 mm com cap e registro (C); fita métrica com marcações de leitura para volume de 250 mL (D); reservatório pronto com tubo piezométrico (E).	36

Figura 14 – Condutividades hidráulicas de solo saturado, obtidos pelos métodos do poço seco (PocoSeco) e do permeâmetro de carga constante com solo coletado a 0,25 e 0,50 m de profundidade (Per25 e Per50, respectivamente), nos diferentes poços amostrados. Detalhe à rotulação de dados para o valor máximo observado. .	39
Figura 15 – Representação gráfica dos valores reais (obtidos em campo) e estimados da K_o para diferentes equações de correlação. (1) K_o [Per, D_s , D_p , Pt]; (2) K_o [Per, D_s , Pt]; (3) K_o [D_s , D_p , Pt]; (4) K_o [D_s , D_p]; (5) K_o [D_s , Pt]; e (6) K_o [Per, D_s , D_p , Pt]. Em que: Per, D_s , D_p e Pt, são respectivamente, K_o a 20 °C determinada pelo método do permeâmetro de carga constante, densidade do solo, densidade das partículas e porosidade total.	41
Figura 1A – Histograma e polígono de frequência para os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C obtidas com o método do poço seco.	47
Figura 2A – Histograma e polígono de frequência para os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C obtidas com o método do permeâmetro com solo coletado a 0,25 m de profundidade.	47
Figura 3A – Histograma e polígono de frequência para os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C obtidas com o método do permeâmetro com solo coletado a 0,50 m de profundidade.	47
Figura 4A – Histograma e polígono de frequência para os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C obtidas com o método do permeâmetro para solo das duas profundidades (0,25 e 0,50 m), valor médio.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de densidade solo (Ds), densidade das partículas (Dp) e porosidade total (Pt) para diferentes camadas de solo em alguns poços amostrados, e velocidade básica de infiltração de água no solo (VIB).	30
Tabela 2 – Resumo da análise de variância (teste F) e classificação das médias da condutividade hidráulica de solo saturado (Ko) a 20 °C para o cenário estatístico 1 (dois tratamentos).	37
Tabela 3 – Resumo da análise de variância (teste F) e classificação das médias da condutividade hidráulica de solo saturado (Ko) a 20 °C para o cenário estatístico 2 (quatro tratamentos).....	39
Tabela 4 – Parâmetros da equação $Ko = a + b*Per + c*Ds + d*Dp + e*Pt$ para estimativa da condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C. Em que: a, b, c, d e e são os parâmetros da equação proposta, Per, Ds, Dp e Pt, são respectivamente, Ko a 20 °C determinada pelo método do permeâmetro de carga constante, densidade do solo, densidade das partículas e porosidade total.....	40
Tabela 1A – Conjunto de todos os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C (em $cm\ h^{-1}$) obtidos no experimento a partir do método do permeâmetro de carga constante e do método do poço seco.	45
Tabela 2A – Conjunto de todos os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C (em $cm\ h^{-1}$) obtidos no experimento a partir do método do permeâmetro de carga constante e do método do poço seco. Com estatística descritiva completa.	46
Tabela 1B – Classes de condutividade hidráulica para solo saturado segundo Ferreira (2001).	53
Tabela 2B – Viscosidade absoluta da água, em centipoise, em diferentes temperaturas segundo Ferreira (2001).....	53

LISTA DE SÍMBOLOS

§ - parágrafo

A - Área da secção transversal da coluna de solo (em cm^2);

a_1 - Área da secção transversal do tubete, cm^2

A_1 - Área do cilindro, em cm^2 ;

A_2 - Área da secção transversal da amostra de solo, cm^2 ;

a_2 - Área da secção transversal do tubo de vidro (haste do funil ou tubete), em cm^{-2}

Dg - Densidade global

Dp - Partículas

dt - Variação do tempo, s;

dV - Variação do volume de água no tubete, cm;

H_1 - Altura do bloco do solo e da coluna de água, em cm;

H_1 ; H_2 e H_2 - Carga hidráulica, cm;

H_3 - Altura da água dentro do poço, cm;

K_0 - Condutividade hidráulica, em cm h^{-1} ;

K_{020} - Condutividade hidráulica na temperatura de 20 °C, cm min^{-1} ;

L_1 e L - Altura (espessura) do bloco do solo, em cm;

L_2 - Espessura da amostra, cm;

MPS - Método do poço seco

PCC - Permeâmetro de carga constante

P_{CI} - Profundidade da camada impermeável;

P_P - Profundidade do poço;

P_t - Porosidade total

Q - Volume do percolado, em mL;

Q_1 - Vazão constante, $\text{cm}^3 \text{h}^{-1}$;

q_0 - Densidade de fluxo, cm s^{-1} ;

r - Raio do poço, cm;

S - Distância do fundo do poço até a camada impermeável, cm;

S - Distância do fundo poço até a camada impermeável, cm;

t - Tempo de percolação, em horas;

$\Delta t = t_2 - t_1$ - Intervalo de tempo, em h;

μ - Porosidade drenável;

μ_{20} - Viscosidade absoluta da água à temperatura de 20 °C, cP;

μ_T - Viscosidade absoluta da água à temperatura T, medida durante o teste, cP;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO A PARTIR DA METODOLOGIA DOS PERMEÂMETROS	17
2.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO A PARTIR DA METODOLOGIA DO POÇO SECO OU AUGER-HOLE INVERSO	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 EQUIPAMENTOS DESENVOLVIDOS	32
4.2 COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO DA K_0	36
5. CONCLUSÃO	42
6. REFERÊNCIAS	43
7. APÊNDICE	45
8. ANEXOS	53

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro é destaque no cenário agrícola nacional em produção de frutas, especialmente uva e manga no polo Petrolina/PE-Juazeiro/BA (CONAB, 2018).

O sucesso deste segmento se dá, em partes, pelo elevado nível tecnológico alcançado pelos produtores da localidade, resultante da ação conjunta do esforço privado e de políticas públicas de instauração de perímetros irrigados para a região.

A exemplo, na região do Vale do São Francisco, os Perímetros Senador Nilo Coelho, Bebedouro, Tourão, Maniçoba, Mandacaru, dentre outros, que abrangem no total uma área de mais de 30 mil hectares irrigados, com aproximadamente 2.600 produtores e 100 mil empregos (WOLFGAN, 2010).

A manutenção das características produtivas das áreas irrigadas, no entanto, demanda emprego de práticas conservacionistas do solo, como a drenagem agrícola que visa à retirada dos excessos de água e sais da camada de solo explorada pelas culturas (BERNARDO et al., 2019).

Esta prática (drenagem agrícola), no entanto, para manifestar seus reais benefícios demanda investigações precisas do movimento de água no solo e consequentemente dos parâmetros físicos, porosidade drenável (μ) e a condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) (BATISTA et al., 2002).

Via de regra a μ pode ser estimada em função da K_o e esta pode ser obtida em testes de campo e laboratorial. Sendo que, segundo Bernardo et al. (2019) os métodos de campo se sobressaem em termos de exatidão aos laboratoriais, porém subjugados em praticidade. Estas observações foram constatadas nos trabalhos de Marques et al. (2008) e Almeida et al. (2017), dentre outros. Os autores apontaram necessidade de uma análise criteriosa na escolha do método de determinação da K_o e mostraram o quão danoso é a adoção equivocada da K_o para o manejo da drenagem.

Neste contexto, a determinação da K_o em testes de campo é realizada, comumente, pelos métodos do furo do trado (Auger-Hole) e do poço seco (Auger-Hole Inverso), já para as análises laboratórias os métodos dos permeômetros (carga constante e variável) são os mais empregados (LIBARDI, 2005).

Para as condições edafoclimáticas da região de Petrolina/Juazeiro, no semiárido Pernambucano, o método de campo do poço seco e os métodos laboratoriais são, possivelmente, os mais aplicáveis pela comum ausência de lençol freático (Araújo, 2011).

Desta forma esse trabalho teve como premissa investigar a condutividade hidráulica de solo saturado por diferentes metodologias de determinação no intuito de subsidiar debates a cerca da temática.

1.1 OBJETIVO GERAL

Determinar e comparar a condutividade hidráulica de solo saturada por diferentes metodologias.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Desenvolver e, ou adaptar equipamentos para a coleta de dados da condutividade hidráulica de solo saturado;
- ✓ Obter a condutividade hidráulica de solo saturado pelo método do poço seco (Auger-Hole Inverso);
- ✓ Obter a condutividade hidráulica de solo saturado pelo método do permeâmetro (carga constante ou variável);
- ✓ Classificar o solo segundo valores da condutividade hidráulica de solo saturado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Na definição da necessidade de drenagem agrícola o estudo do movimento de água no solo é de substancial importância (LIBARDI, 2005). Neste uma série de parâmetros físicos são avaliados a citar a condutividade hidráulica de solo saturado, e a porosidade drenável (BERNARDO et al., 2019).

A condutividade hidráulica de solo saturado (K_o) é uma propriedade que expressa à facilidade com que a água nele se movimenta. Conforme Gaspar (2006) e Marques et al. (2006), a sua avaliação é realizada através do coeficiente de permeabilidade, que pode ser determinado diretamente através de ensaios de campo ou em ensaios laboratoriais. Sendo, a K_o , controlada pela porosidade, arranjo e forma das partículas, e granulometria dos solos e também das propriedades do fluido, como viscosidade e da massa específica (FEITOSA et al., 2008; GONÇALVES; LIBARDI, 2013).

Nos métodos de laboratório, para determinação da K_o , são usados permeômetros de carga constante e variável, sendo o primeiro o mais utilizado, enquanto nos métodos de campo, os mais empregados são o método do furo do trado e o poço seco (Auger-Hole e Auger-Hole Inverso, respectivamente). Apesar da assegurada precisão dos métodos, Bernardo et al. (2019) comenta que os métodos de campo são mais representativos que os ensaios laboratoriais, isso por amostrarem maior volume de solo, não alterarem a sua estrutura e manterem as condições naturais do solo, além de usar a própria água do lençol na determinação (isso para o método do Auger-Hole).

2.1 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO A PARTIR DA METODOLOGIA DOS PERMEÔMETROS

Os permeômetros de carga constante e carga decrescente (carga variável) são os mais utilizados em condição de laboratório, estes fornecem resultados aproximados sendo recomendados quando os de campo são impraticáveis (MARQUES et al., 2008).

Segundo Bernardo et al. (2019), o método permeômetro de carga constante deve ser preparado preferencialmente com amostra de solo não

destorroadada, buscando-se manter sua estrutura, sendo retirada com amostrador de anéis do tipo Uhland. Este aparelho é mais adequado para amostras de solo cujos valores de K_o sejam maiores que $2,00 \times 10^{-3} \text{ mm s}^{-1}$ (solos de textura grossa). Para valores menores recomenda-se o permeâmetro de carga variável (LIBARDI, 2005).

Permeâmetro de carga constante

Para este Teixeira et al. (2017), apontam os seguintes procedimentos:

- Princípio do teste

“A condutividade é estimada a partir da percolação da água por uma amostra indeformada e saturada contida em um cilindro sobre a qual é aplicada uma carga de água constante. A água percolada é recolhida, e seu volume, medido. Faz-se então a relação do volume percolado pela área da seção transversal da amostra. A medida quantitativa da condutividade hidráulica é obtida por meio da aplicação da equação de Darcy após um período de avaliação de uma a duas horas; caso ainda ocorram variações, continuar as avaliações até quando os valores forem constantes.”

- Material e equipamentos necessários

Permeâmetro (Figura 1); Cilindros metálicos; Tecido tipo morim; Cuba com água; Béquer de 100 mL; Pisseta; Proveta graduada de 20 mL.

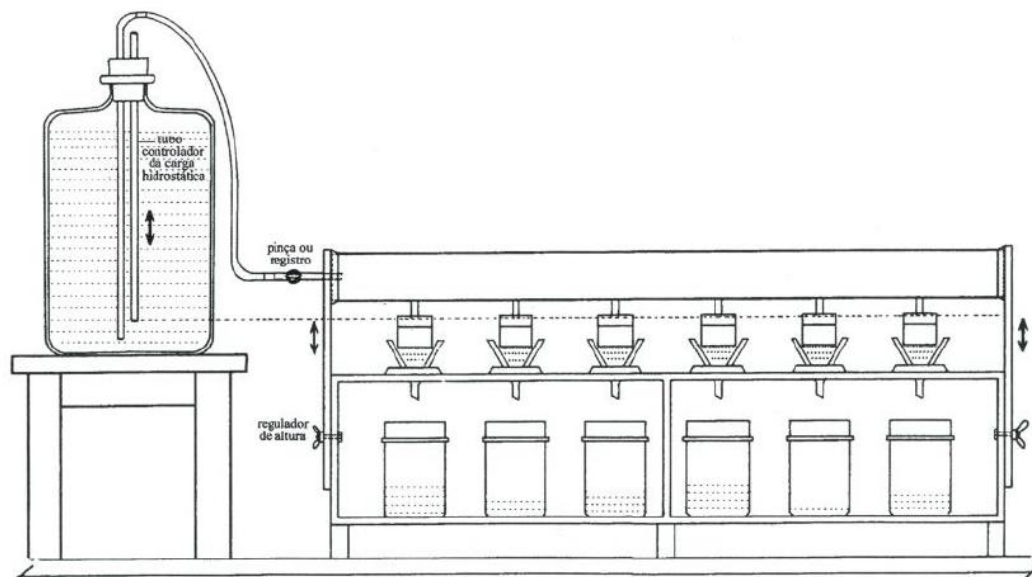


Figura 1 – Ilustração esquemática de um permeâmetro de carga constante. Fonte: Teixeira et al. (2017).

- Procedimentos

- Utilizar amostras indeformadas coletadas em cilindros metálicos.
- Colocar na extremidade inferior do cilindro um pedaço de tecido tipo morim retido por liga de borracha. Colocar na parte superior do cilindro outro de igual diâmetro e espessura de 2 cm de altura. Ajustar e fixar com fita adesiva impermeável.
- Colocar o conjunto em cuba contendo água até a saturação do solo. Transferir o conjunto para o suporte do permeâmetro. O percolado deve ser coletado em béquer de 500 mL.
- Colocar os cilindros sobre as telas, nivelar o tubo do reservatório, de modo que a parte inferior fique em nível com a parte superior do anel, para manter a carga hidráulica de 2 cm de altura.
- Com o auxílio de uma pisseta, colocar água cuidadosamente.
- No primeiro cilindro, retirar a rolha manualmente, evitando entrada de ar no sistema.
- Observar e anotar o momento do início da percolação de cada cilindro.
- Medir com proveta o volume percolado após 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos. Continuar as avaliações após este período se o coeficiente de variação das três últimas amostras for maior que 20%.
- Anotar o volume percolado.

- Cálculo (equação 1)

$$K_o = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H \cdot t} \text{ [Equação 1]}$$

Em que: K_o – condutividade hidráulica, em cm h^{-1} ; Q – volume do percolado, em mL, ou seja, o valor da última leitura quando não há variação entre os valores anteriores, ou a média das duas leituras quando há alguma variação; L – altura do bloco do solo, em cm; H – altura do bloco do solo e da coluna de água, em cm; A – área do cilindro, em cm^2 ; t – tempo de percolação, em horas.

Uma observação importante se faz ao emprego da equação 1, no termo H – carga hidráulica ou altura do bloco do solo e da coluna de água. Este representa o somatório da altura da amostra (L) com a lâmina de água constante mantida sobre a amostra de solo (h). O termo H, apesar de corretamente definido na descrição das variáveis da equação, é comumente confundido com a parcela da lâmina líquida apenas. Por este motivo na metodologia apresentada por Bernardo et al. (2019), esta distinção é feita diretamente na equação, ficando o termo H substituído por $h + L$, para permeâmetros verticais (que é o caso em questão).

Permeâmetro de carga variável

Libardi (2005) indica este método para solos de textura fina, onde a K_o é inferior a $2,00 \times 10^{-3} \text{ mm s}^{-1}$, e comenta que o procedimento de saturação da amostra é o mesmo descrito para o caso do permeâmetro de carga constante. A única diferença entre os dois equipamentos (métodos) é que neste a carga hidráulica é variável, sendo conseguida com o uso de um tubete ou um funil de haste longa de vidro transparente, sobre a amostra saturada de solo. Na Figura 2, encontra-se ilustração do permeâmetro de carga variável.

O autor apresenta a dedução da fórmula da condutividade hidráulica do solo saturado por este método, partindo do princípio que num determinado instante t , em que o potencial total no topo da amostra é H , a densidade de fluxo q_o através da amostra de solo de espessura L será obtida pela equação de Darcy-Buckingham, equação 2, e pela equação 3 (conservação da massa):

$$q_o = -k_o \cdot \frac{H}{L}, \quad [\text{Equação 2}]$$

$$q_o = \frac{dV}{A dt} a, \quad [\text{Equação 3}]$$

Em que: q_o – densidade de fluxo, cm s^{-1} ; K_o – condutividade hidráulica de solo saturado, em cm h^{-1} ; H – carga hidráulica, cm ; L – espessura da amostra, cm ; dV – variação do volume de água no tubete, cm^3 ; a – área da seção transversal do tubete, cm^2 ; A – área da seção transversal da amostra de solo, cm^2 ; dt – variação do tempo.

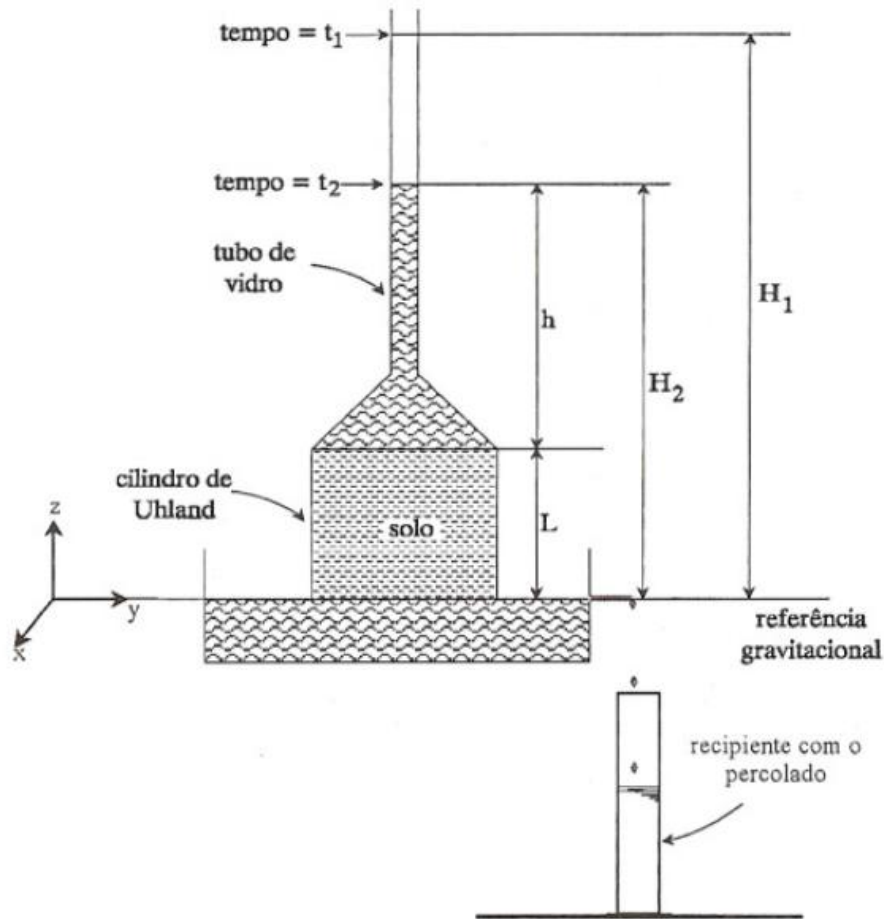


Figura 2 – Ilustração esquemática de um permeômetro de carga variável. Fonte: Libardi (2005).

Que unidas gera a equação 4, que ao ser editada substituindo o termo dV por $a \cdot dH$ (variação do volume de água do tubete) origina a equação 5, e o resultado da integral desta (equações 6.1 a 6.3), com os contornos t_1 para H_1 e t_2 para H_2 , resulta na equação 7 que é expressão matemática indicada para determinação da K_o pelo método do permeômetro de carga variável.

$$\frac{dV a}{dt} = -K_o \cdot A \frac{H}{L}, \quad [\text{Equação 4}]$$

$$\frac{K_o A}{a L} \cdot dt = \frac{dH}{H}, \quad [\text{Equação 5}]$$

$$\frac{K_o A}{a L} \int_{t_1}^{t_2} dt = - \int_{H_1}^{H_2} \frac{dH}{H}, \quad [\text{Equação 6.1}]$$

$$\frac{K_o A}{a L} \cdot [t]_{t_1}^{t_2} = [\ln H]_{H_1}^{H_2}, \quad [\text{Equação 6.2}]$$

$$\frac{K_o A}{a L} \cdot (t_2 - t_1) = \ln H_1 - \ln H_2, \quad [\text{Equação 6.3}]$$

$$K_o = \frac{a L}{A (\Delta t)} \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right), \quad [\text{Equação 7}]$$

Em que: K_o – condutividade hidráulica de solo saturado, em cm h^{-1} ; $\Delta t = t_2 - t_1$ o intervalo de tempo (em h) para a diferença de potencial total entre os extremos da amostra diminuir de H_1 para H_2 (em cm); A = área da secção transversal da coluna de solo (em cm^2); L = comprimento da amostra de solo (em cm); a = área da secção transversal do tubo de vidro (haste do funil ou tubete), em cm^2 , onde se mede H .

2.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO A PARTIR DA METODOLOGIA DO POÇO SECO OU AUGER-HOLE INVERSO

Segundo Libardi (2005) para aplicar este método deve-se escolher uma parcela de solo de área suficientemente grande, de tal maneira que os processos em seu centro não sejam afetados pelos seus limites. Esta área deve ser convenientemente instrumentada para medida do conteúdo de água no solo e do potencial mátrico, ao longo do perfil, até a profundidade de interesse.

O método é usado quando o lençol freático se encontra profundo. E consiste, basicamente em medir a vazão infiltrada num poço aberto com trado, no qual se mantém água com altura constante. Os principais procedimentos segundo Bernardo et al. (2019) são os seguintes:

No local onde será determinada a condutividade hidráulica, abre-se um furo no solo com trado holandês, criando-se um poço, de raio r , até uma profundidade de 1,00 a 1,50 m, ou em profundidade desejada (Figura 3). Em seguida, aplica-se água no poço com uso de um reservatório munido de uma régua e de um dispositivo que possibilite manter altura constante (H) de água no poço. Este dispositivo pode ser dotado de válvula com bóia ou de um sistema de controle de nível semelhante ao do frasco de Mariotte. Para se obter bons resultados, recomenda-se que a altura H seja igual ou maior a 10 vezes o raio do poço.

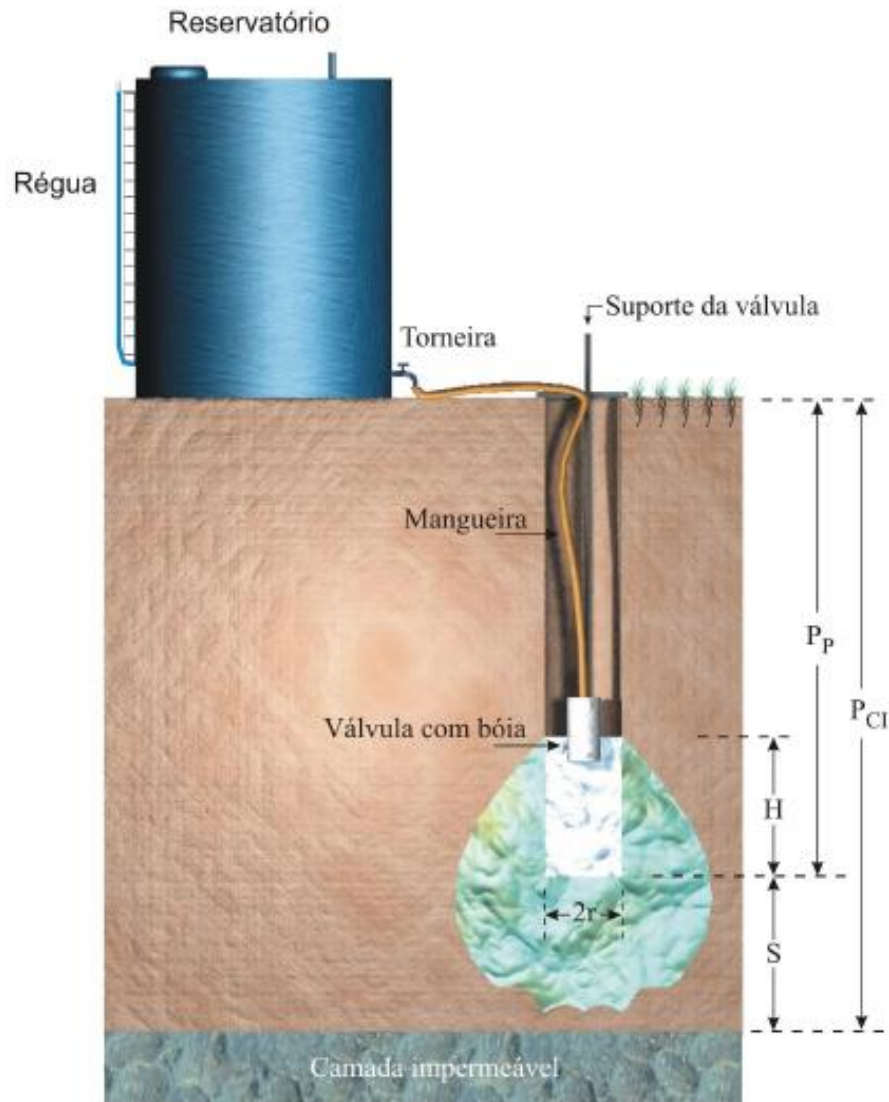


Figura 3 – Ilustração do teste do poço seco para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado. Fonte: Bernardo et al. (2019).

Assim que se observar a estabilidade do nível de água no poço, inicia-se a medição do volume de água infiltrada num intervalo de tempo, permitindo calcular a vazão. Este procedimento é repetido até que a vazão fique constante, momento em se deve encerrar a aplicação de água. Em seguida, aprofunda-se o poço de uma distância equivalente ao dobro do valor de H , com a finalidade de identificar a posição da camada impermeável em relação ao fundo do poço. Duas situações são consideradas: (a) a distância entre a camada impermeável e o fundo do poço é inferior às $2H$ ($S < 2H$) e (b) a distância entre a camada impermeável e o fundo do poço é igual ou superior a ($S \geq 2H$).

A condutividade hidráulica é calculada aplicando-se as equações 8 ou 9, para as condições a e b do parágrafo anterior, respectivamente:

$$K_o = \frac{3Q}{\pi H(H + 2S)} \ln \frac{H}{r}, \quad [\text{Equação 8}]$$

e

$$K_o = \frac{Q}{2\pi H^2} \left[\ln \left(\frac{H}{r} + \sqrt{\frac{H^2}{r^2} - 1} \right) - 1 \right], \quad [\text{Equação 9}]$$

Em que: K_o = condutividade hidráulica do solo, cm h^{-1} ; Q = vazão constante, $\text{cm}^3 \text{h}^{-1}$; H = altura da água dentro do poço, cm ; r = raio do poço, cm e S = distância do fundo do poço até a camada impermeável, cm .

3. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido no *Campus Petrolina Zona Rural* do IF Sertão-PE, em Petrolina-PE, região de clima BSh segundo Köppen (AZEVEDO et al., 2003), numa área de aproximadamente 200 m² (Figura 4) de um Latossolo Amarelo com camada impermeável para além de 2,00 m de profundidade. Localização geográfica da área experimental: 9°20'8,18"S; 40°41'44,63"O e 419 m de altitude.



Figura 4 – Localização da área experimental. Fonte: Google IBGE (2019) adaptado e Google Earth (2019).

O experimento consistiu em determinar a condutividade hidráulica de solo saturado (K_o) por duas metodologias, permeâmetro de carga constante (PCC) e método do poço seco (MPS). A escolha das metodologias se deu pelas configurações edáficas da área: solo arenoso e ausência de lençol freático.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com dois cenários de avaliação. No primeiro consideraram-se apenas dois tratamentos, T1 - poço seco e T2 - permeâmetro com dados médios das duas camadas de solo amostradas, e cenário 2, T1 - poço seco, T2 - permeâmetro com dados médios das duas camadas de solo amostradas, T3 - permeâmetro com amostra de solo da primeira camada (0 – 0,25 m) e T4 - permeâmetro com amostra de solo da segunda camada (0,25 – 0,50 m). Em ambos foram amostrados 19 blocos (cada bloco constituiu-se de um poço, Figura 5). Assim o primeiro cenário estatístico, 2x19, compunha 38 parcelas experimentais e 18 graus de liberdade para o resíduo e no segundo (4X19) foram 76 parcelas experimentais e 54 graus de liberdade para o erro experimental.

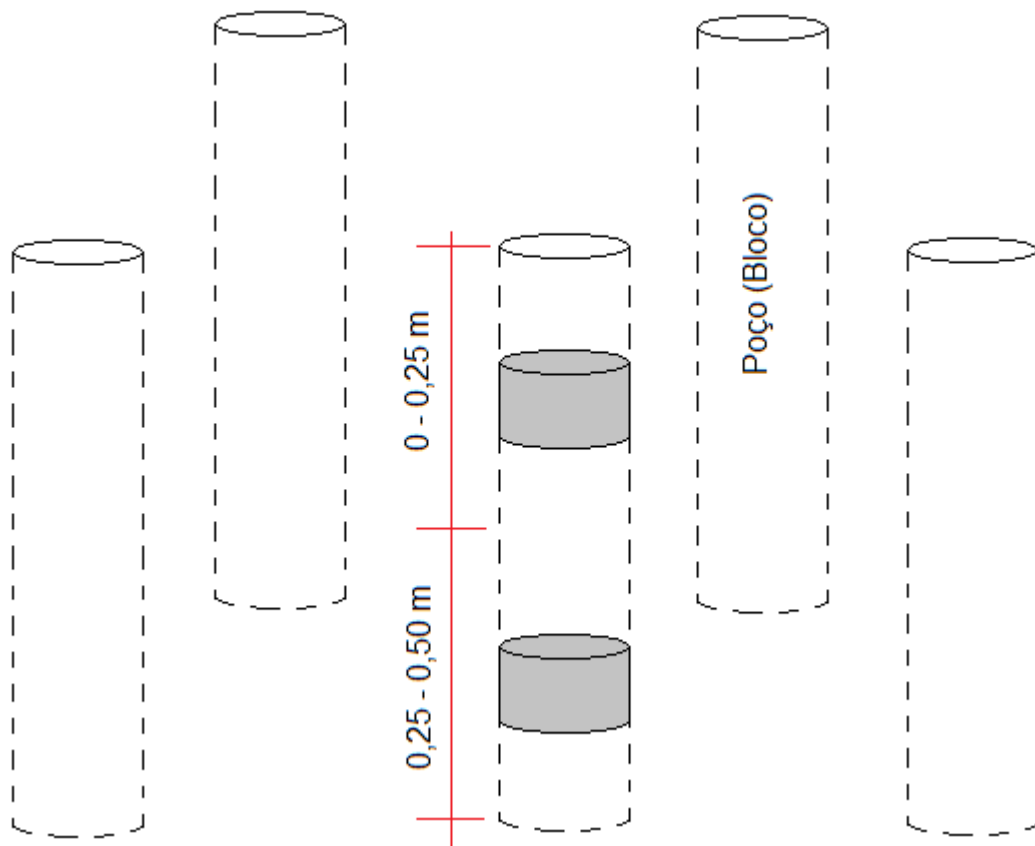


Figura 5 – Ilustração esquemática dos poços de coleta de dados de condutividade hidráulica de solo saturado. Nota: na abertura dos poços eram coletados solos no centro das camadas de 0 – 0,25 m e de 0,25 – 0,50 m para os testes laboratoriais. Após abertura o poço era usado para o método de campo.

Essa estratégia permitiu verificar a influência da profundidade de coleta do solo para os testes laboratoriais.

Para os testes com o PCC o solo foi coletado em duas profundidades 0,125 m (camada de 0 - 0,25 m) e 0,375 m (camada de 0,25 - 0,50 m), com anéis volumétricos de 35,65 e 47,84 mm de diâmetro interno e altura, respectivamente (Figura 6A). As amostras de solo foram saturadas em ambiente adequado (Figura 6B) e colocadas no permeâmetro (Figura 6C), desenvolvido especificamente para o experimento, donde os dados de K_o foram obtidos.

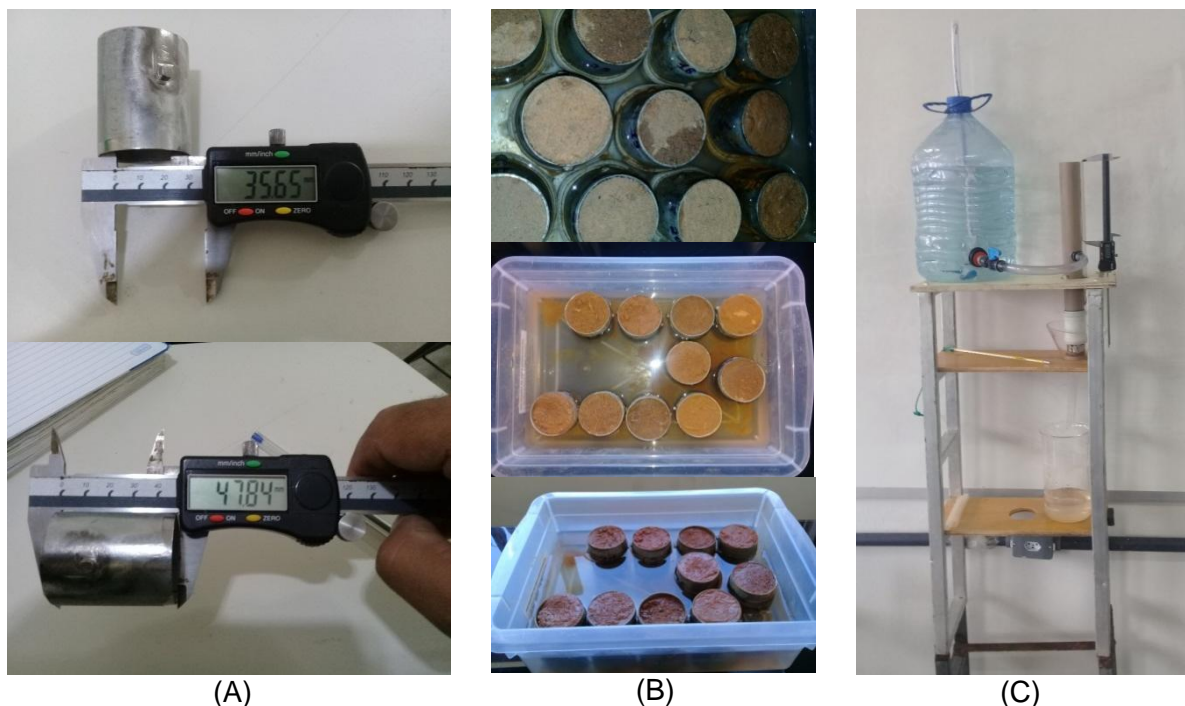


Figura 6 – Utensílios usados na determinação da K_o pelo método do permeâmetro: Anéis volumétricos usados nos testes (A), saturação das amostras de solo (B) e permeâmetro de carga constante desenvolvido para o experimento (C).

Os procedimentos de determinação foram realizados de acordo com Teixeira et al. (2017), item 2.1 deste trabalho, com exceção do tempo de duração dos ensaios e da carga hidráulica adotada, que foram em média 30 minutos e 25 cm, respectivamente.

Nas determinações em campo, MPS, inicialmente foram construídos trados especiais (em tubos metálicos) para abertura dos poços e coleta de solo (Figura 7A), coletas estas usadas nos testes laboratoriais; em sequência os poços

foram abertos com 0,50 m de profundidade e 42,60 mm de diâmetro interno (Figura 7B); foi adicionada água aos poços em quantidades suficientes para atingir vazão constante, com uso de um conjunto de reservatórios e tubulações (Figura 7C) e logo após foram realizadas as coletas de dados. Os procedimentos foram realizados de acordo com Bernardo et al. (2019), item 2.2.

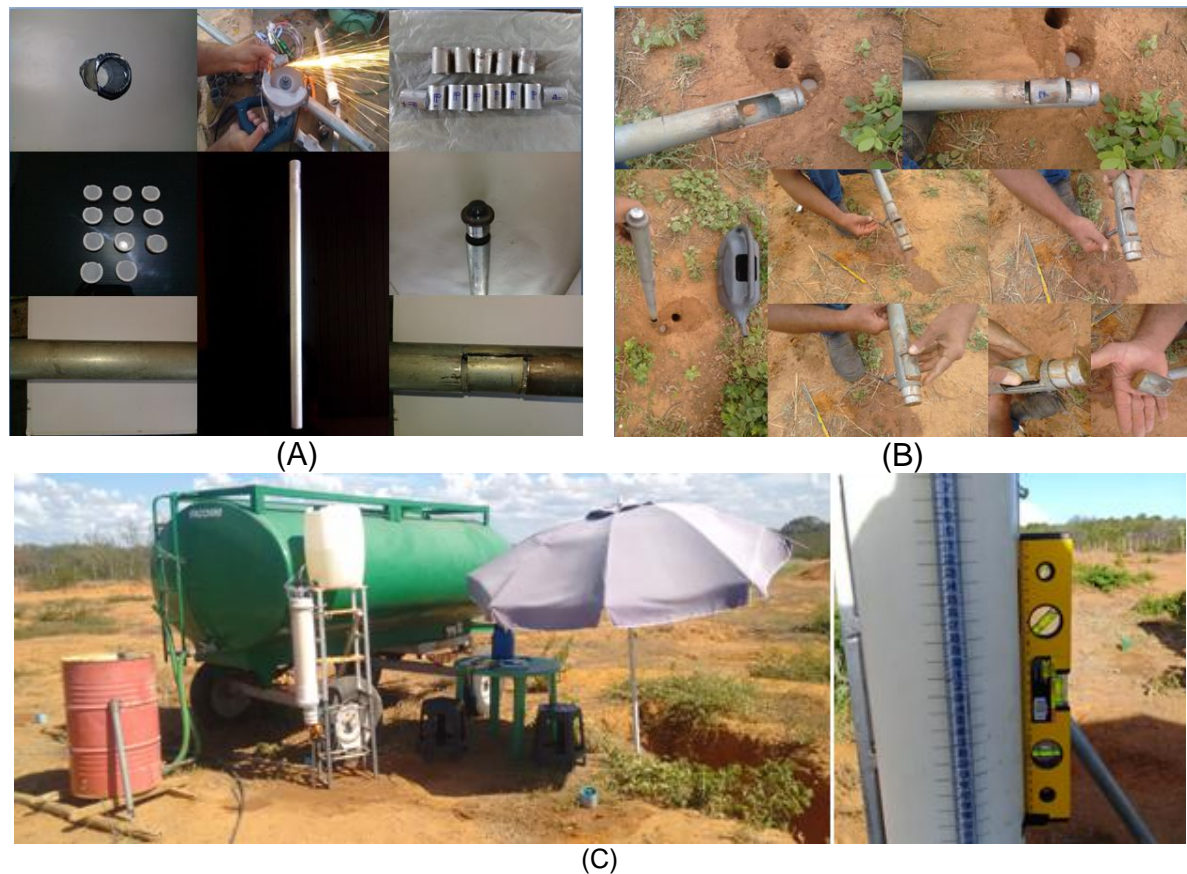


Figura 7 – Utensílios usados para determinação da K_o pelo método do poço seco: Anéis volumétricos e sonda, usados nos testes (A), escavação do poço e coleta de solo (B) e realização do teste com detalhamento da régua de leitura (C).

Para ambos os métodos a condutividade hidráulica de solo saturada foi obtida segundo equação específica (descritas nos itens 2.1 e 2.2) por meio do aplicativo DET-Ko desenvolvido em linguagem de programação C++ usando Framework Qt (Figura 8).

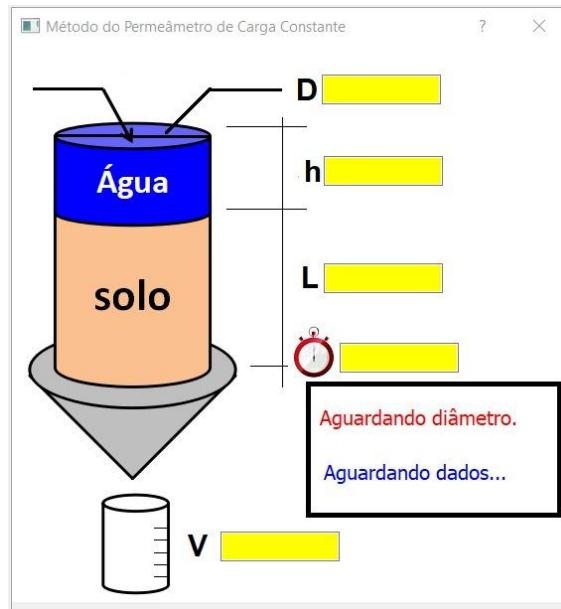


Figura 8 – Interface do software DET-Ko desenvolvido, e usado, na determinação da condutividade hidráulica de solo saturado (método do permeâmetro de carga constante).

Para classificação da condutividade hidráulica de solo saturado, aplicou-se a equação 10 para convertê-la em K_o a 20 °C. A classificação adotada foi a de Ferreira (2001) citada por Bernardo et al. (2019), Tabela 1B do anexo.

$$K_{o20} = K_o \cdot \frac{\mu_T}{\mu_{20}}, \quad [\text{Equação 10}]$$

Em que: K_{o20} - condutividade hidráulica na temperatura de 20 °C, cm min^{-1} ; μ_T - viscosidade absoluta da água à temperatura qualquer, cP; e μ_{20} - viscosidade absoluta da água à temperatura de 20 °C, cP. (Tabela 2B do anexo);

Foi determinada também, para alguns poços, a densidade do solo (D_s) e das partículas (D_p), estimada a porosidade total dos mesmos (P_t , equação 11) e a velocidade básica de infiltração de água no solo (VIB) utilizando-se dos procedimentos e cálculos apontados por Teixeira et al. (2017). Os valores destes parâmetros físicos do solo encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de densidade solo (Ds), densidade das partículas (Dp) e porosidade total (Pt) para diferentes camadas de solo em alguns poços amostrados, e velocidade básica de infiltração de água no solo (VIB).

Parâmetro/Poço	1	4	5	6	7	9	10	13
	Camada 0 – 25 cm							
Ds (g cm ⁻³)	1,61	1,59	1,50	1,61	1,43	1,50	1,46	1,65
Dp (g cm ⁻³)	2,74	2,78	2,70	2,78	2,70	2,70	2,70	2,70
Pt (%)	41,23	42,79	44,60	42,12	46,97	44,39	45,88	38,92
	Camada 25 – 50 cm							
Ds (g cm ⁻³)	1,55	1,57	1,68	1,68	1,69	1,76	1,63	1,58
Dp (g cm ⁻³)	2,82	2,70	2,78	2,74	2,70	2,70	2,70	2,82
Pt (%)	45,03	41,90	39,52	38,64	37,54	34,89	39,80	43,85
VIB (cm h ⁻¹)	17,39							

A VIB foi obtida pelo método dos anéis infiltrômetros concêntricos, sendo que no teste usou-se apenas o anel menor (30 cm de altura e 25 cm de diâmetro interno). Para substituir o anel maior (anel externo) foi escavado bacia com 60 cm de diâmetro (em média) e o anel menor instalado no centro desta, Figura 9. Este procedimento é apontado por Bernardo et al. (2019) como artifício para realização do teste na falta do anel externo. A amostragem nesta metodologia é referente ao perfil de solo e não a camada específica (Sales et al., 1999; Bernardo et al., 2019).



Figura 9 – Ilustração do teste de campo para obtenção da VIB.

Os dados de K_o , corrigidos pela equação 10, foram submetidos à análise de variância pelo teste F e na situação de significância estatística as médias foram classificadas segundo Tukey a 5% de probabilidade, a partir do programa computacional SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho encontram-se apresentados nos subitens descrição dos equipamentos desenvolvidos e comparação das metodologias de determinação da condutividade hidráulica de solo saturado (K_0).

4.1 EQUIPAMENTOS DESENVOLVIDOS

Foram desenvolvidos trados para coleta de solo em profundidade, permeâmetro artesanal e conjunto de utensílios para uso no teste do poço seco.

Os trados foram confeccionados em tubos metálicos galvanizados de 1.1/4" de diâmetro nominal externo, chapa de 2 mm, (Figura 10A), cortado em tamanhos de 1,50 a 2,00 m. Em uma das extremidades adicionou-se um tampão (capacete - Figura 10B) para não danificar a borda no ato da coleta, devido às vezes ser necessário o uso de marreta e cinco centímetros acima da outra extremidade foi feita uma abertura para comportar um anel volumétrico (Figura 10C) com mecanismos de trava soldado na parte interna do trado para fixação do mesmo, fabricados com tubo metálico galvanizado de 1" de diâmetro externo, chapa de 1,2 mm, tamanhos de 0,05 m. A inserção do anel volumétrico no corpo do trado permitiu que durante a abertura do poço, amostras de solo fossem coletadas nas profundidades desejadas (Figura 10D). O uso do equipamento agilizou o processo de obtenção das amostras indeformadas para os testes laboratoriais.

As amostras obtidas com o trado em descrição apresentaram adequada acomodação, todo o interior do anel era preenchido (como se pode observar na Figura 9D), e por não necessitar de escavações extras para acessar a profundidade pretendida (abertura de trincheiras) gerou simplicidade e rapidez na coleta. Assim indica-se o seu emprego nas coletas de amostras indeformadas para determinação da condutividade hidráulica de solo saturado e densidade global do solo.

O custo médio unitário do trado de 1,50 m de comprimento foi de R\$ 21,50 e para os anéis de 0,05 m foi R\$ 0,70. O material (tubos galvanizado) utilizado só é vendido com 6,0 m de comprimento, esses valores incluem apenas os insumos. Adiciona-se a necessidade de uso de equipamentos e ferramentas como: torno (tipo morça), makita ou lixadeira, furadeira (melhor a de bancada) com brocas número 12

para ferro, arco e serra, alicate universal, lima (plana e redonda), máquina de policorte, máquina de solda, prensa hidráulica e torno mecânico.



Figura 10 – Trado desenvolvido para coleta de solo e abertura de poços. Tubulação usada (A); tampão adaptado (B); abertura lateral na base inferior do trado para inserção do anel volumétrica (C); obtenção da amostra indeformada de solo (D).

O permeâmetro artesanal proposto foi construído com base na ilustração da Figura 1, o frasco de Mariotte foi adaptado por um recipiente de plástico com três litros de capacidade, como mostrado na Figura 11 (detalhe A), fez-se um furo na tampa (K) do recipiente para introduzir uma mangueira flexível em PVC transparente de 1/2" (E), na mesma foi introduzido um arame rígido (D) no seu interior para mantê-la mais ereta possível. Próximo a base inferior do recipiente foi inserido um conector com saída de 1/2" (torneira de filtro) (J) e uma mangueira similar a anterior, com um registro (L) conectando o reservatório (A) a um tubo de plástico (C) com luva e borracha de vedação (G e I), em uma de suas extremidades (corpo do permeâmetro) onde foi colocado o anel (H) com a amostra de solo indeformada e previamente saturada junto com um filtro (M) em sua parte inferior. O corpo do permeâmetro possui uma mangueira de 1/4" (B) conectando as extremidades formando um piezômetro assim possibilitando observar a coluna da carga hidráulica.

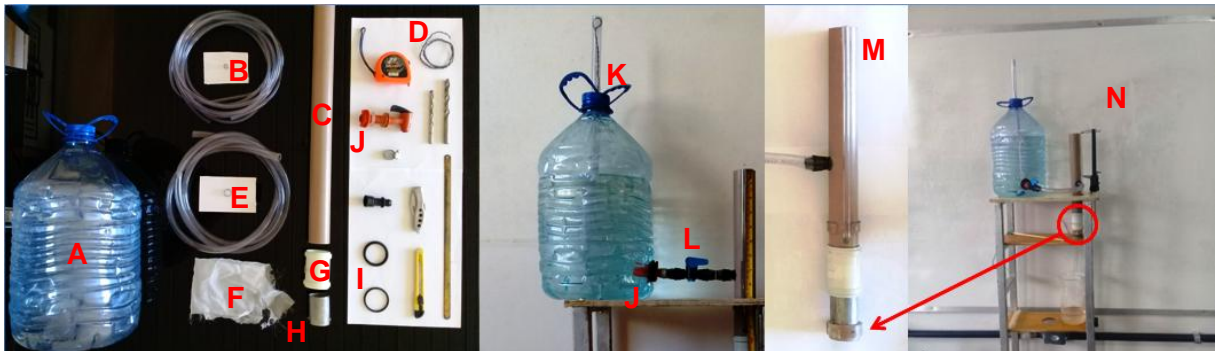


Figura 11 – Recipiente de plástico com três litros de capacidade (A); mangueira transparente de 1/4" para o tubo piezométrico (B); tubo PVC 40 mm para fabricação do corpo e filtro C); arame galvanizado (D); mangueira transparente 1/2" (E); tecido tipo morim para o filtro (F); luva de PVC 40 mm (G); anel volumétrico (H); borracha de vedação para luva (I); torneira de filtro 1/2" (J); tampa do recipiente perfurada com mangueira introduzida e arame no seu interior (K); registro (L); filtro conectado ao corpo do permeâmetro (M); permeâmetro montado (N).

Foram fabricados dois reservatórios herméticos, um de metal com capacidade aproximadamente de 200 L (Figura 12A) munido de um registro próximo a sua base inferior como mostra a figura 12C (saída de água) e uma mangueira cristalina efetuando o modelo de um piezômetro (Figura 12B), na sua parte superior existe duas aberturas com tampas rosqueadas uma para reabastecimento e outra

servindo de suspiro (saída de ar), figuras 12D e 12E. Este reservatório serviu para saturar o solo mais rapidamente.

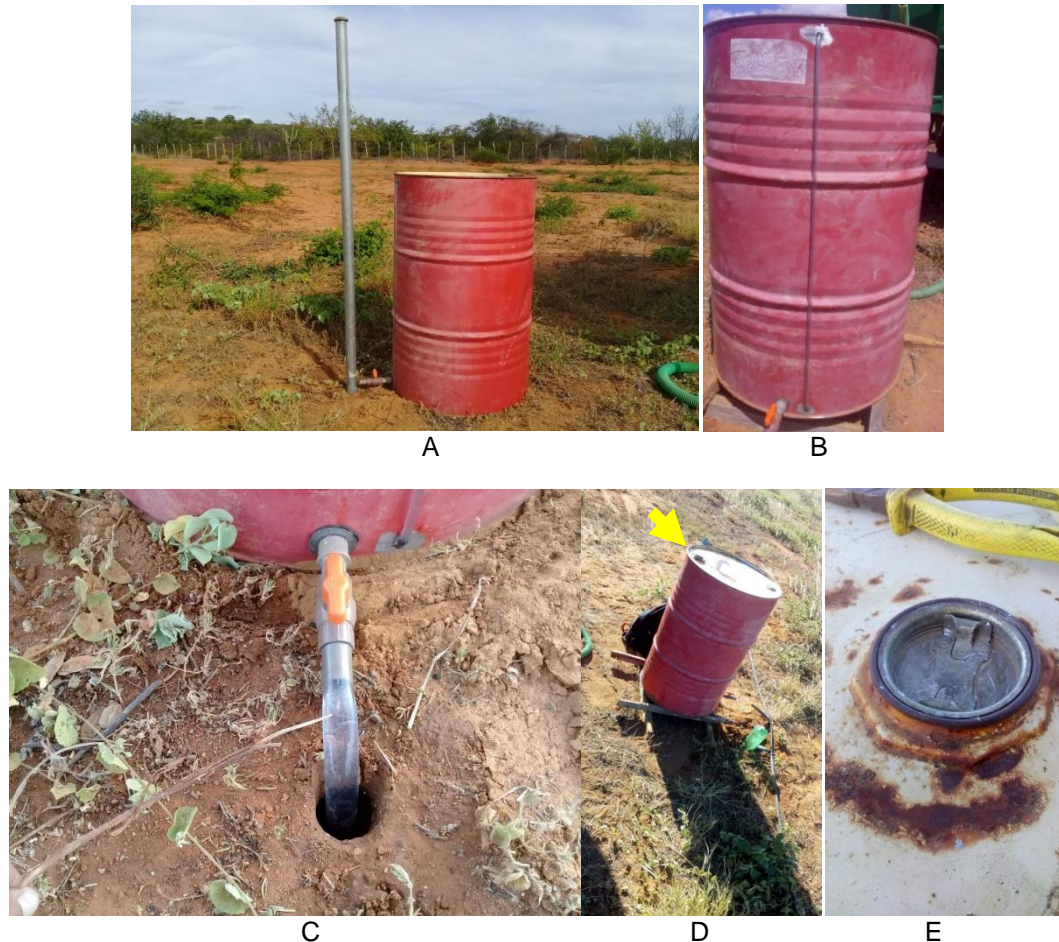


Figura 12 – Tambor de metal (A); Tubo Piezométrico (B); registro de saída (C); entrada para abastecimento de água (D e E).

Foi fabricado outro reservatório, porém de menor capacidade utilizando tubo PVC com diâmetro interno de 200 mm (Figura 13A). Na extremidade superior utilizou-se um cap no mesmo diâmetro, com dois furos para conexão de dois registros, um 3/4" e 1/2", sendo um para abastecimento e o outro para saída de ar, utilizados no momento do abastecimento de água figura 13B, uma mangueira de 1/4" de diâmetro conectada as extremidades formando um tubo piezométrico (Figura 13C), na parte inferior conectou-se uma redução para 100 mm com seu respectivo cap e um registro de 3/4" para saída (Figura 13D) e infiltração de água no poço para realizar do teste. Esse último é um reservatório graduado com leituras de 250 mL

(Figura 13E) que mantém a carga hidráulica constante no momento da aplicação do MPS.

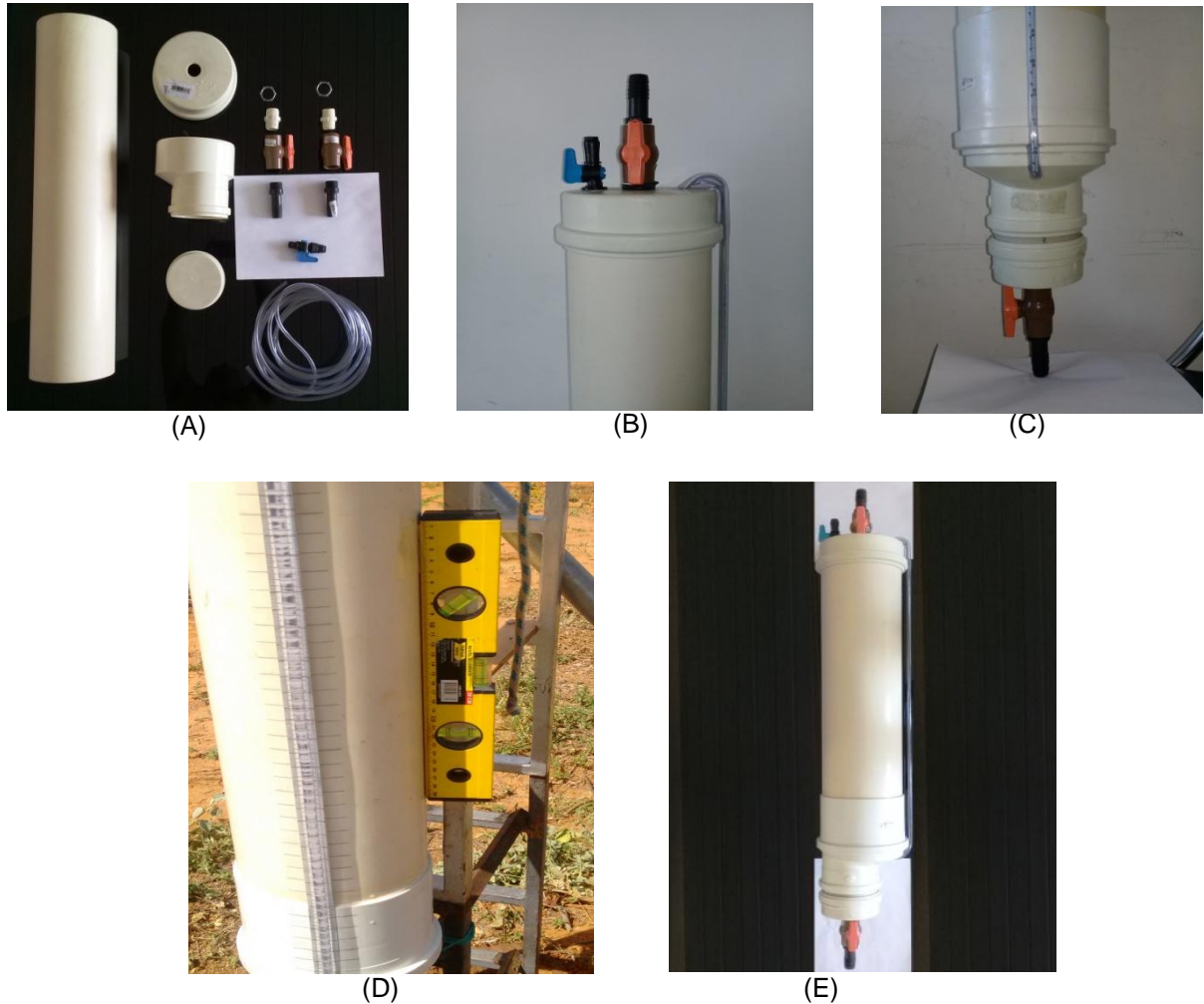


Figura 13 – Tambor de metal (A); cap com registros conectados (B); redução de 100 mm com cap e registro (C); fita métrica com marcações de leitura para volume de 250 mL (D); reservatório pronto com tubo piezométrico (E).

4.2 COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO DA K_o

Dos testes estatísticos realizados para o cenário 1 (dois tratamentos investigados), observou-se efeito significativo apenas para tratamentos. Com valor médio de K_o a 20 °C de aproximadamente 8 (oito) vezes maiores para o método dos permeâmetros em comparação ao do poço seco (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância (teste F) e classificação das médias da condutividade hidráulica de solo saturado (K_o) a 20 °C para o cenário estatístico 1 (dois tratamentos).

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	1	143,988445	143,988445	52,927	0,0000**
Poço (bloco)	18	53,409847	2,967214	1,091	0,4280 ^{ns}
Erro	18	48,969205	2,720511		
Total	37	246,367497	- Coeficiente de variação = 64,94% -		
Tratamento	Ko a 20 °C(cm h^{-1})		Classificação da Ko segundo Ferreira (2001)		
Poço Seco	0,59 b		Moderadamente lenta		
Permeômetro	4,49 a		Moderada		

Nota: **significativo a 1% de probabilidade segundo Tukey; ns – não significativo; médias seguidas de letra distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Estes resultados são consensuais aos obtidos por Moraes e Santos (2015), que encontraram K_o médios pelo permeômetro de carga constante até 27 vezes maiores que os K_o gerados por teste de campo (neste os ensaios foram realizados na presença de lençol freático, método do furo do trado). Schossler et al. (2013), contudo, observaram variações menores que estas, chegando a no máximo 4 (quatro) vezes a superioridade das K_o pelo permeômetro em comparação a K_o pelo método de Guelph(método similar ao poço seco).

A discrepância entre as metodologias de determinação da K_o com valores elevados para o permeômetro em comparação ao poço seco pode ser explicada pela maior resistência que a matriz do solo impõe ao escoamento multidirecional, ao maior volume de solo envolvido no teste e a presença de ar aprisionado no interior da massa úmida nos ensaios in loco (Ghiberto e Moraes, 2011). Para se ter entendimento do que isso representa, Skaggs e Khaleel (1982) e Arya et al. (1998) apontaram que a falta de saturação do solo pode ser tal que não se alcance em condições normais 90% desta, podendo em caso especiais ser inferior a 70%. Com isso os bolsões de ar no interior do solo imporão barramento físico considerável no movimento de água, tornando situações extremamente diferentes do que ocorre com o permeômetro, que além de admitir fluxo em apenas uma direção e usar uma quantidade diminuta de solo, utiliza amostras saturadas (Bernardo et al., 2019).

Motivo este que levou diversos pesquisadores, a citar Libardi (2005), a recomendar os métodos de campo para a determinação da K_o .

Das análises estatísticas para o cenário 2 (quatro tratamentos) foi constatada diferença significativa para tratamentos e blocos, sendo que para tratamentos a diferença observada ocorreu somente para com o permeâmetro (Tabela 3). Isso significa que a amostragem apenas na primeira camada de solo foi suficiente para obtenção da condutividade hidráulica de solo saturado no experimento em questão; resultado coerente já que os Latossolos apresentam pequena variação textural no perfil de solo (Santos et al., 2008); os resultados foram ainda similares aos de Sales et al. (1999) que verificaram valores aproximados da K_o determinados com permeâmetro de carga constante e amostras de solo das camadas de 0-20 cm e de 60-80 cm em Latossolo na cidade de Lavras/MG.

O coeficiente de variação (CV) obtido para ambos os cenários foi elevado, 64,94% (Tabela 2) e 58,06% (Tabela 3), porém, estes valores estão dentro do intervalo normal para a condutividade hidráulica de solo saturado, que segundo Jury et al. (1991) é de 48 a 320%. Scherpinski et al. (2010), por exemplo, encontraram CV de 110,24% para Latossolo Vermelho distrófico em Cascavel/PR e Abreu (2003) 62,7% em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico no município de Santa Maria/RS. O alto CV explica as diferenças estatísticas encontradas entre blocos (poços) exibidas na Tabela 3, e o motivo destas diferenças só se apresentarem no cenário estatístico 2 está relacionado ao aumento dos graus de liberdade dos resíduos, que elevaram o valor do F de 1,091 (Tabela 2) para 3,096 (Tabela 3), tornando-o superior ao F tabelado (para o primeiro cenário, o F tabelado para bloco é de 2,22 e 3,13 para 5 e 1% respectivamente, portanto não significativo; e para o cenário 2, F tabelado igual a 1,79 e 2,28, respectivamente, ou seja significativo a 1% de probabilidade) (Zimmermann, 2014).

Os valores da K_o a 20 °C para o solo em estudo, 0,59 a 4,68 cm h^{-1} (Tabela 3), foram inferiores aos obtidos por Scherpinski et al. (2010), 19,62 cm h^{-1} para o mesmo solo (sendo que a obtenção se deu pelo método de Guelph com poço de 0,15 m de profundidade). Observou-se, no entanto, que o valor obtido por Scherpinski et al. (2010) se aproxima do valor obtido para o poço 19 com solo coletado a 0,25 m de profundidade e método do permeâmetro de carga constante, 13,47 cm h^{-1} (Figura 14) e também ao valor da velocidade básica de água no solo

(VIB), $17,39 \text{ cm h}^{-1}$ (Tabela 1). Já Sales et al. (1999), estudando um Latossolo em Lavras/MG, obteve os valores de 4,13 e $2,12 \text{ cm h}^{-1}$ para a K_o determinada pelo permeâmetro de carga constante (camada de solo de 0 - 20 cm) e a VIB, respectivamente. Neste último o valor da K_o foi aproximado ao da Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância (teste F) e classificação das médias da condutividade hidráulica de solo saturado (K_o) a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ para o cenário estatístico 2 (quatro tratamentos).

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	3	217,478558	72,492853	17,420	0,0000**
Poço (bloco)	18	231,920618	12,884479	3,096	0,0007**
Erro	54	224,725792	4,161589		
Total	75	674,124968	- Coeficiente de variação = 58,06% -		
Tratamento	K_o a $20 \text{ }^\circ\text{C}(\text{cm h}^{-1})$	Classificação da K_o segundo Ferreira (2001)			
Poço Seco	0,59 b	Moderadamente lenta			
Per25	4,68 a	Moderada			
Per50	4,30 a	Moderada			
PerMedia	4,49 a	Moderada			

Nota: **significativo a 1% de probabilidade segundo Tukey; médias seguidas de letra distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Per25, Per50 e PerMedia – refere-se ao valor da condutividade hidráulica de solo saturado obtido pelo método do permeâmetro de carga constante com uso de amostra de solo coletado a 0,25, 0,50 m de profundidade e média entre estas duas profundidades.

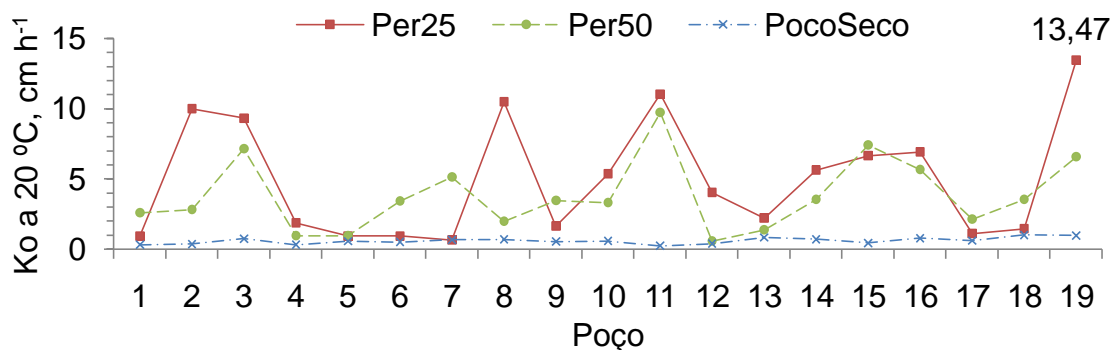


Figura 14 – Condutividades hidráulicas de solo saturado, obtidos pelos métodos do poço seco (PocoSeco) e do permeâmetro de carga constante com solo coletado a 0,25 e 0,50 m de profundidade (Per25 e Per50, respectivamente), nos diferentes poços amostrados. Detalhe à rotulação de dados para o valor máximo observado.

As incoerências e convergências de valores apontadas entre os dados deste trabalho e da literatura, explicam-se mais uma vez na variabilidade dos dados da K_o e da VIB. No trabalho já citado de Scherpinski et al. (2010), foi observado desvios padrões maiores que o dobro do valor médio da K_o e diferenças de quase 30 vezes entre a K_o e a VIB.

A maior proximidade dos dados da VIB com os dados do permeâmetro de carga constante ocorre por existir tendência de fluxo vertical, unidirecional, nos dois testes (Bernardo et al., 2019).

Foram geradas correlações com diversos parâmetros do solo para estimativa da K_o a 20 °C para situação do poço seco (considerada como real). Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 4 e graficamente na Figura 15.

Tabela 4 – Parâmetros da equação $K_o = a + b*Per + c*D_s + d*D_p + e*P_t$ para estimativa da condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C. Em que: a, b, c, d e e são os parâmetros da equação proposta, Per, D_s , D_p e P_t , são respectivamente, K_o a 20 °C determinada pelo método do permeâmetro de carga constante, densidade do solo, densidade das partículas e porosidade total.

Funções da K_o	Camada 0 – 0,25 m					R^2
	a	b	c	d	e	
(1) K_o [Per, D_s , D_p , P_t]	190,43	0,02	-155,97	86,04	-4,24	0,60
(2) K_o [Per, D_s , P_t]	19,04	0,02	-6,51	0,00	-0,20	0,56
(3) K_o [D_s , D_p , P_t]	196,44	0,00	-161,47	89,32	-4,38	0,56
(4) K_o [D_s , D_p]	10,49	0,00	0,69	-4,04	0,00	0,52
(5) K_o [D_s , P_t]	18,50	0,00	-6,31	0,00	-0,19	0,52
Funções da K_o	Valores médios (camada de 0 – 0,50 m)					R^2
	a	b	c	d	e	
(6) K_o [Per, D_s , D_p , P_t]	-69,95	-0,24	73,71	-47,82	2,02	0,84

Nota: (1, 2, ... 6) – número de ordem das equações; R^2 - coeficiente de determinação.

Nota-se que a correlação com valores médios apresentou maior coeficiente de determinação (R^2) do que as correlações com valores da camada superficial do solo (0 – 0,25 m). Contudo, pela simplicidade de determinação e variabilidade dos dados de K_o (Scherpinski et al., 2010), pode-se recorrer a estimativas com menor quantidade de dados de entrada, por exemplo, a situação de estimativa da K_o em função dos dados de densidades e porosidade total, (3) da Tabela 4, cujo R^2 é de 0,56, quando não houver dados suficientes para outras estimativas.

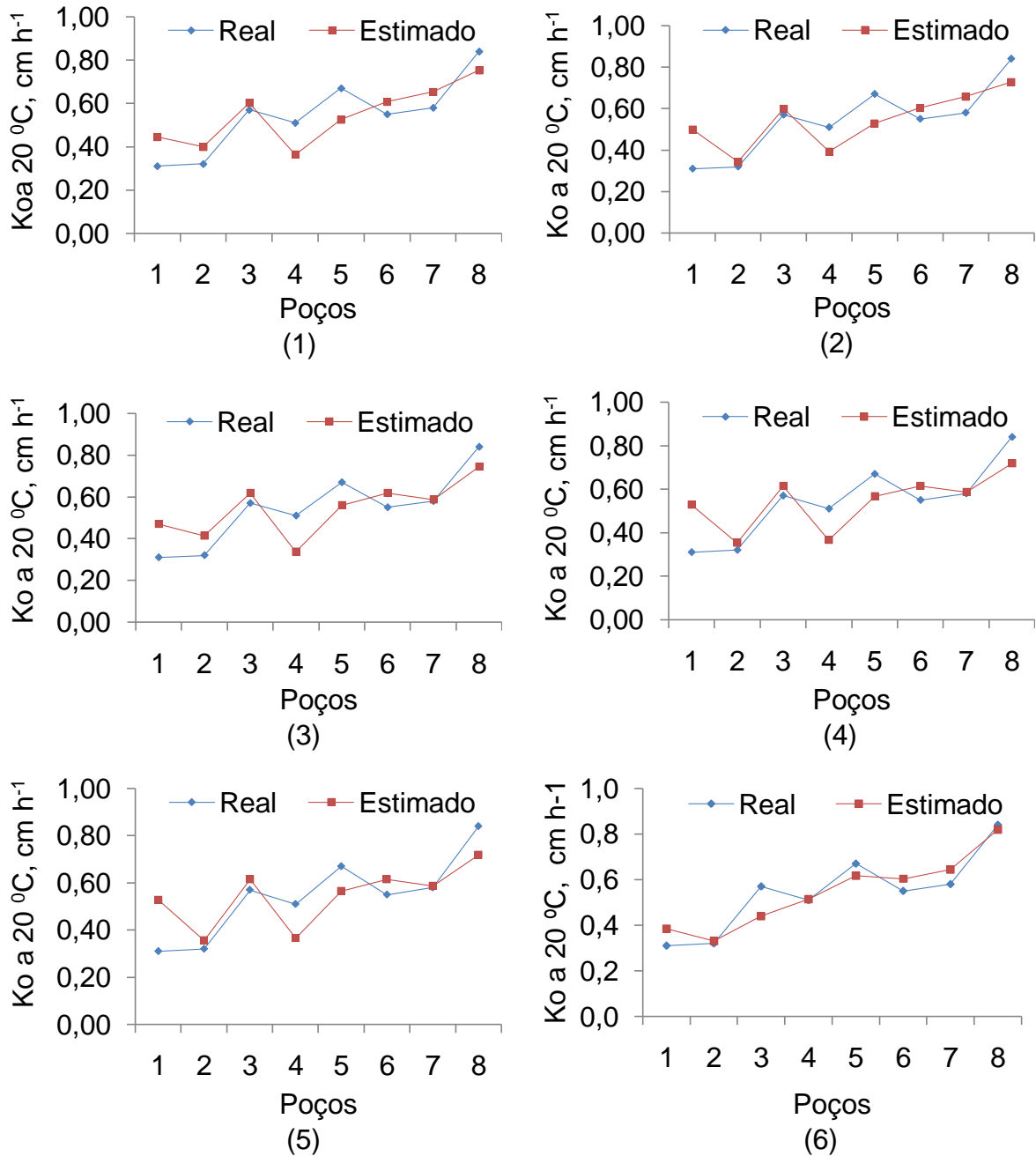


Figura 15 – Representação gráfica dos valores reais (obtidos em campo) e estimados da K_o para diferentes equações de correlação. (1) K_o [Per, Ds, Dp, Pt]; (2) K_o [Per, Ds, Pt]; (3) K_o [Ds, Dp, Pt]; (4) K_o [Ds, Dp]; (5) K_o [Ds, Pt]; e (6) K_o [Per, Ds, Dp, Pt]. Em que: Per, Ds, Dp e Pt, são respectivamente, K_o a 20 °C determinada pelo método do permeâmetro de carga constante, densidade do solo, densidade das partículas e porosidade total.

5. CONCLUSÃO

Os equipamentos desenvolvidos permitiram a coleta de solo e a determinação da condutividade hidráulica de solo saturado.

Houve diferença estatística significativa entre as metodologias de determinação da condutividade hidráulica de solo saturado, com superioridade de valores para o método do permeâmetro de carga constante.

Coletas de solo a 0,125 m (camada 0 - 0,25 m) de profundidade representaram estatisticamente o perfil amostrado na determinação da condutividade hidráulica de solo saturado pelo método do permeâmetro de carga constante.

Houve diferença entre os valores da velocidade básica de infiltração de água no solo e da condutividade hidráulica de solo saturado.

Ocorreu predomínio da classe moderada, para a condutividade hidráulica de solo saturado, determinada pelo método do permeâmetro de carga constante e de moderadamente lenta para o método do poço seco no Latossolo estudado.

Observou-se elevada heterogeneidade nos valores da condutividade hidráulica de solo saturado independente da metodologia de determinação.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade de da qualidade de grão de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 02, p. 275-282, 2003.
- ALMEIDA, K. S. S. A.; SOUZA, L. S.; PAZ, V. P. S.; SILVA, F. T. S.; SANTOS, D. N.; PEREIRA, J. S. L. Variabilidade Espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em Latossolo Amarelo distrocoeso, no município de Cruz das Almas. **IRRIGA**, v. 22, n. 02, p. 259-274, 2017.
- ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Revista Rios Eletrônica**, v. 05, n. 05, p. 89-98, 2011.
- ARYA, L. M.; DIEROLF, T. S.; SOFYAN, A.; WIDJAJA-ADHI, I.P.G.; VAN GENUCHTEN, M. T. Field measurement of the saturated hydraulic conductivity of a macroporous soil with unstable subsoil structure. **Soil Science**, v. 163, n. 11, p. 841-852, 1998.
- AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. & SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in Northeast Brazil. **Agricultura I Water Management**, v. 58, n. 03, p. 241-245, 2003.
- BATISTA, M. J.; NOVAES, F.; SANTOS, D. G. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2.ed., Brasília: CODEVASF, 2002, 216p.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. Viçosa: Ed. UFV, 2019, 545p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectiva para a agropecuária, safra de 2017/2018**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 12 Set. 2018.
- FEITOSA, A.C. et al. Hidrogeologia: conceitos e aplicações/organização. 3 ed. Ver. E ampl. Rio de Janeiro: **CPRM: LABHID**, 2008, 812p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.
- Ferreira, P. A. Drenagem. In: Curso de engenharia de irrigação. Módulo XI. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. 2001. 167p.
- GASPAR, M. T. G. **Sistema Aquífero Urucuia: caracterização regional e propostas de gestão**. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Brasília, 2006, 158p.
- GIBERTO, P. J.; MORAES, S. O. Comparação de métodos de determinação da condutividade hidráulica em um latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1177-1188, 2011.
- GONCALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 05, p. 1174-1184, 2013.
- GOOGLE EARTH - Google Maxar Technologies CNES / Airbus 2019. Disponível em: <<https://earth.google.com/>> Acesso em: 07 nov. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/petrolina.html>> Acesso em: 07 nov. 2019.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. **Soil physics**. New York: John Wiley and Sons, 1991. 328 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2005, 335p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo** / editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 02, p.193-206, 2008.

MARQUES, J. D.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O.; MARTINS, G. C. Avaliação da Condutividade Hidráulica Saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência de solos amazônicos com diferentes coberturas vegetais. In: XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2006, Aracajú: SBCS/UFV, 2006.

MORAES, I. L. A.; SANTOS, E. H. M. . COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO PARA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA. In: **XXV CONIRD CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**, São Cristóvão: ABID, 2015.

SANTOS, J. C. P.; ARAÚJO FILHO, J. C.; BURGOS, N.; CAVALCANTI, A. C. Solos de Pernambuco: características e ocorrências. In: Recomendação de adubação para o estado do Pernambuco. 2008.

SCHERPINSKI, C.; URIBE-OPAZO, M. A.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, vol. 32, n. 01, p. 7-13, 2010.

SCHOSSLER, T. R.; ALENCAR, V. S.; SANTOS, I. L.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R.L. Condutividade hidráulica em campo e laboratório sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Amarelo. In: **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Florianópolis. Ciência do Solo: Para que e para quem? Programa & Resumos**. Florianópolis: Epagri e SBCS, 2013.

WOLFGAN, W. **Irrigação transforma o vale do São Francisco**. Canal Rural, 2010. Disponível em: <http://www.canalrural.com.br/noticias/trigo/irrigacao-transforma-vale-rio-sao-francisco-13352> Acesso em 15 de outubro de 2017.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M.S . Estimativa da Velocidade de Infiltração Básica do Solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 2091-2095, 1999.

ZIMMERMANN, F. J. P. Estatística aplicada à pesquisa agrícola. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2014. 582 p.

7. APÊNDICE

Tabela 1A – Conjunto de todos os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C (em cm h^{-1}) obtidos no experimento a partir do método do permeâmetro de carga constante e do método do poço seco.

Poço	PocoSeco	PerMedio	Per25	Per50
1	0,31	1,76	0,93	2,59
2	0,37	6,41	10,00	2,83
3	0,75	8,24	9,33	7,16
4	0,32	1,40	1,87	0,94
5	0,57	0,94	0,94	0,94
6	0,51	2,19	0,94	3,45
7	0,67	2,90	0,66	5,14
8	0,69	6,24	10,49	2,00
9	0,55	2,55	1,64	3,46
10	0,58	4,33	5,36	3,30
11	0,23	10,38	11,03	9,73
12	0,38	2,31	4,05	0,58
13	0,84	1,80	2,22	1,38
14	0,70	4,60	5,64	3,56
15	0,44	7,03	6,66	7,41
16	0,78	6,30	6,92	5,67
17	0,61	1,62	1,10	2,14
18	1,01	2,50	1,47	3,53
19	0,96	10,02	13,47	6,58
		<u>Estatística descritiva básica</u>		
Máximo	1,01	10,38	13,47	9,73
Mínimo	0,23	0,94	0,66	0,58
Média	0,59	4,40	4,98	3,81
Mediana	0,58	2,90	4,05	3,45
DesvioPA	0,220017	2,991626	4,180841	2,518389

Onde: Per25, Per50 e PerMedia – refere-se ao valor da condutividade hidráulica de solo saturado obtido pelo método do permeâmetro de carga constante com uso de amostra de solo coletado a 0,25, 0,50 m de profundidade e média entre estas duas profundidades; DesvioPA – desvio padrão da amostra.

Tabela 2A – Conjunto de todos os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C (em cm h^{-1}) obtidos no experimento a partir do método do permeâmetro de carga constante e do método do poço seco. Com estatística descritiva completa.

Poço	PocoSeco	PerMedio	Per25	Per50
1	0,31	1,76	0,93	2,59
2	0,37	6,41	10,00	2,83
3	0,75	8,24	9,33	7,16
4	0,32	1,40	1,87	0,94
5	0,57	0,94	0,94	0,94
6	0,51	2,19	0,94	3,45
7	0,67	2,90	0,66	5,14
8	0,69	6,24	10,49	2,00
9	0,55	2,55	1,64	3,46
10	0,58	4,33	5,36	3,30
11	0,23	10,38	11,03	9,73
12	0,38	2,31	4,05	0,58
13	0,84	1,80	2,22	1,38
14	0,70	4,60	5,64	3,56
15	0,44	7,03	6,66	7,41
16	0,78	6,30	6,92	5,67
17	0,61	1,62	1,10	2,14
18	1,01	2,50	1,47	3,53
19	0,96	10,02	13,47	6,58

<u>Estatística descritiva (obtida do software SISVAR)</u>				
n:	19	19	19	19
Média aritmética amostral:	0,5932	4,4863	4,6795	4,2958
Média harmônica amostral:	0,5079	3,4033	2,2504	2,7530
Média geométrica amostral:	0,5516	3,9115	3,2783	3,6072
Variância:	0,0484	5,6394	14,2603	5,4212
Desvio padrão:	0,2199	2,3747	3,7763	2,3284
Desvio padrão não viesado:	0,2230	2,4079	3,8291	2,3609
Coeficiente de variação (em %):	37,0771	52,9328	8,0699	54,2009
Erro padrão da média:	0,0505	0,5448	0,8663	0,5342
Soma total:	11,2700	85,2400	88,9100	81,6200
Soma de quadrados não corrigida:	7,5555	483,9220	672,7369	448,2048
Soma de quadrados corrigida:	0,8706	101,5084	256,6849	97,5825
Amplitude total (A ou R):	0,7800	8,1800	12,3500	9,1700
Mínimo:	0,2300	1,6200	0,6600	0,5600
Máximo:	1,0100	9,8000	13,0100	9,7300
Amplitude estudentizada (W):	3,5467	3,4446	3,2704	3,9384
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	0,1812	0,6404	0,7821	0,5518
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	0,1971	0,6966	0,8508	0,6003
Coef. de curtose - Estimador beta:	2,2216	2,4110	2,3984	2,7930
Coef. de curtose - Estimador gama:	-0,6331	-0,3826	-0,3992	0,1231
Momento de ordem 3 centrado na média:	0,0019	8,3474	40,9938	6,7799
Momento de ordem 4 centrado na média:	0,0049	72,6386	462,0551	77,7661

Onde: Per25, Per50 e PerMedia – refere-se ao valor da condutividade hidráulica de solo saturado obtido pelo método do permeâmetro de carga constante com uso de amostra de solo coletado a 0,25, 0,50 m de profundidade e média entre estas duas profundidades.

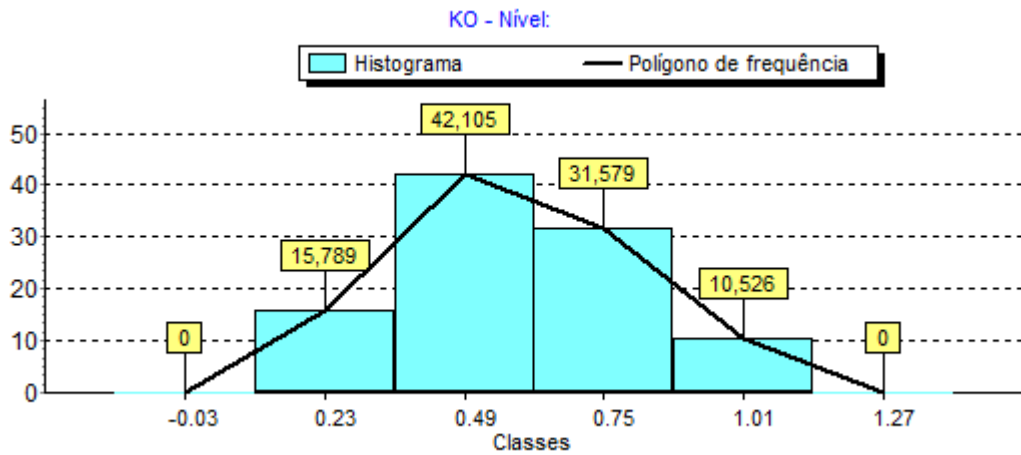


Figura 1A – Histograma e polígono de freqüência para os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C obtidas com o método do poço seco.

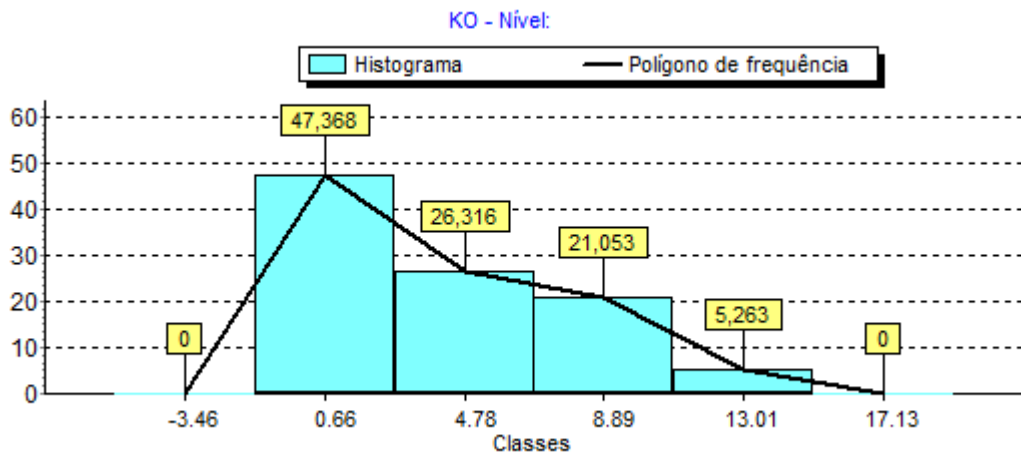


Figura 2A – Histograma e polígono de freqüência para os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C obtidas com o método do permeâmetro com solo coletado a 0,25 m de profundidade.

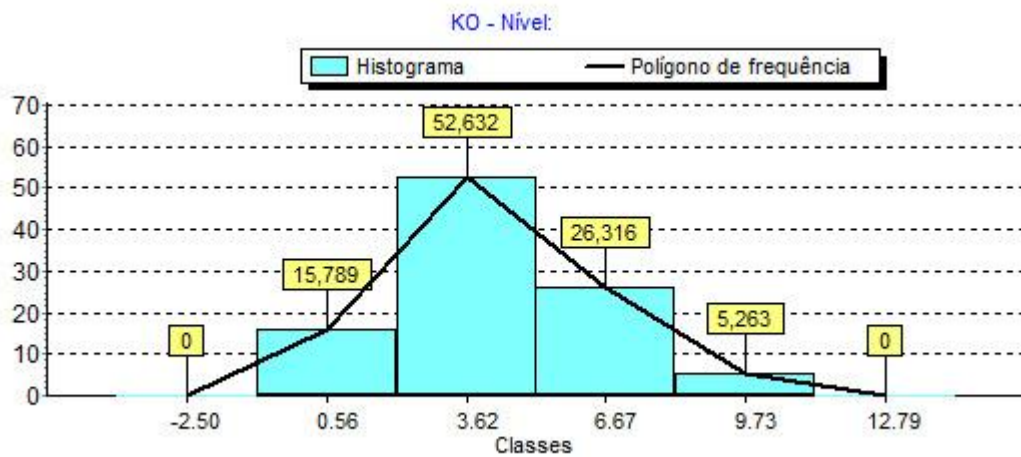


Figura 3A – Histograma e polígono de freqüência para os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C obtidas com o método do permeâmetro com solo coletado a 0,50 m de profundidade.

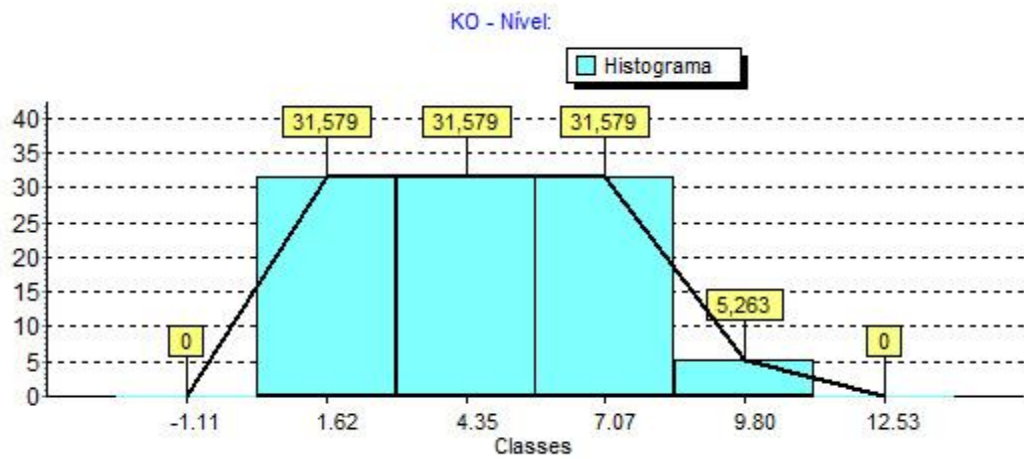


Figura 4A – Histograma e polígono de frequência para os dados de condutividade hidráulica de solo saturado a 20 °C obtidas com o método do permeâmetro para solo das duas profundidades (0,25 e 0,50 m), valor médio.

Análises estatísticas

Normalidade dos dados:

Teste de normalidade W de Shapiro-Wilk e seu valor de significância.

Algoritmo usado: AS R94. T. Applied Statistic - Serie C (1995) vol.44, n4.

Variável	n	W	Pr<W
KO	76	0.8417437532673	0.0000002
CL	76	0.8805824189007	0.0000033

ANOVA para o cenário 1 estatístico:

Variável analisada: KO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	143.988445	143.988445	52.927	0.0000
POCO	18	53.409847	2.967214	1.091	0.4280
erro	18	48.969205	2.720511		

Total
Corrigido 37 246.367497

CV (%) = 64.94
Média geral: 2.5397368
Número de observações: 38

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 1,12427722781678 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 19
Erro padrão: 0,378397688564542

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
PocoSeco	0.593158	a1
PerMedio	4.486316	a2

Teste Tukey para a FV POCO

DMS: 6,69912595929513 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 2
 Erro padrão: 1,16630000503918

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	1.035000	a1
17	1.115000	a1
13	1.320000	a1
12	1.340000	a1
9	1.550000	a1
4	1.715000	a1
7	1.785000	a1
5	1.800000	a1
6	2.005000	a1
18	2.280000	a1
10	2.455000	a1
14	2.650000	a1
11	3.200000	a1
2	3.390000	a1
8	3.465000	a1
16	3.540000	a1
15	3.735000	a1
3	4.495000	a1
19	5.380000	a1

ANOVA para o cenário 2 estatístico:

Variável analisada: KO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	3	217.478558	72.492853	17.420	0.0000
POCO	18	231.920618	12.884479	3.096	0.0007
erro	54	224.725792	4.161589		

Total
Corrigido 75 674.124968

CV (%) = 58.06
Média geral: 5136842
Número de observações: 76

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 1,75503360976164 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 19
Erro padrão: 0,468007464104336

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
PocoSeco	0.593158	a1
Per50	4.295789	a2
PerMedio	4.486316	a2
Per25	4.679474	a2

Teste Tukey para a FV POCO

DMS: 5,3296640661364 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 4
Erro padrão: 1,01999862042677

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
17	1.367500	a1
1	1.397500	a1
13	1.560000	a1
12	1.822500	a1
9	2.050000	a1
7	2.342500	a1 a2
4	2.412500	a1 a2
5	2.415000	a1 a2
6	2.755000	a1 a2
18	2.917500	a1 a2
10	3.392500	a1 a2
14	3.625000	a1 a2
11	4.685000	a1 a2
8	4.855000	a1 a2
2	4.902500	a1 a2
16	4.917500	a1 a2
15	5.385000	a1 a2
3	6.370000	a1 a2
19	7.587500	a2

8. ANEXOS

Tabela 1B – Classes de condutividade hidráulica para solo saturado segundo Ferreira (2001).

Muito lenta	< 0,125
Lenta	0,125 – 0,5
Moderadamente lenta	0,5 – 2,0
Moderada	2,0 – 6,25
Moderadamente rápida	6,25 – 12,5
Rápida	12,5 – 25,0
Muito rápida	>25,0

Tabela 2B – Viscosidade absoluta da água, em centipoise, em diferentes temperaturas segundo Ferreira (2001).

Temperatura (°C)	Viscosidade (cP)	Temperatura (°C)	Viscosidade (cP)
2	1,6728	20	1,0050
4	1,5674	22	0,9579
6	1,4728	24	0,9142
8	1,3860	26	0,8737
10	1,3077	28	0,8360
12	1,2363	30	0,8007
14	1,1709	32	0,7679
16	1,1111	34	0,7371
18	1,0559	36	0,7085