

DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO EM CAMPO POR MEIO DO SOFTWARE HYDRUS 1-D

MATHEUS BARCELOS DE SOUSA¹, JOÃO JOSÉ DA SILVA JÚNIOR²

¹ Graduando em Agronomia, UnB- Universidade de Brasília, (61) 3107-7569, mbarcelosunb@gmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Prof. Adjunto, FAV/UnB, Brasília-DF, , jjsjunior@unb.br

Apresentado no
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

RESUMO: Devido a importância do conhecimento da condutividade hidráulica do solo para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, sua alta variabilidade entre repetições experimentais e do avanço tecnológico dos últimos anos este trabalho teve como objetivo de realizar a determinação rápida e de baixo custo em campo da condutividade hidráulica saturada com auxílio do software HYDRUS 1-D. O experimento foi executado na estação experimental da Biologia na Universidade de Brasília, área em que predomina um Latossolo vermelho argiloso, local onde foram realizados testes de infiltração em 15 locais diferentes com infiltrômetro de anel duplo e a caracterização física do solo. Com os dados de infiltração acumulada, seus respectivos tempos e das características físicas do solo, foram realizadas simulações no HYDRUS 1-D, as quais determinaram valores que variaram de 0.3 até 47.88 (cm/min) com coeficiente de determinação (R²) superior a 0.95 em 13 testes. Estes resultados juntamente com o curto intervalo de confiança e baixos valores de desvio padrão demonstram confiabilidade das estimativas o que permite determinar a condutividade hidráulica saturada com o software HYDRUS 1-D.

PALAVRAS-CHAVE: infiltrômetro, simulações, infiltração acumulada.

DETERMINATION OF SOIL SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN FIELD BY HYDRUS 1-D SOFTWARE

ABSTRACT: Due to the importance of the knowledge of the hydraulic conductivity of the soil for any study involving water movement in the soil, its high variability between experimental repetitions and the technological advance of the last years, this study was done with the objective of accomplish the fast and low cost determination in the field of saturated hydraulic conductivity with the aid of the software HYDRUS 1-D. The experiment was carried out at the Biology Experiment Station at the Universidade de Brasília, where a clayey Red Latosol predominates, local that infiltrations tests were performed in 15 different sites with a double ring infiltrometer and the physical characterization of the soil. With the accumulated infiltration data, their respective times and the physical characteristics of the soil, simulations were made in HYDRUS 1-D, which determined values ranging from 0.3 to 47.88 (cm/min) with coefficient of determination (R²) greater than 0.95 in 13 tests. These results together with the short confidence interval and low values of standard deviation demonstrate reliability of the estimates, which allows determining the saturated hydraulic conductivity with HYDRUS 1-D software.

KEYWORDS: infiltrometer, simulations, accumulated infiltration.

INTRODUÇÃO: O avanço tecnológico verificado nas últimas épocas tem permitido o desenvolvimento, a crescente utilização e o aperfeiçoamento de modelos matemáticos de circulação e/ou de balanço da água e de transporte de solutos no solo cada vez mais sofisticados e exigentes. Esses modelos são geralmente baseados na resolução numérica da equação de Richards que, por conter duas incógnitas numa única equação, requer previamente o conhecimento das características hidráulicas do solo de modo a permitir a sua resolução. Embora de uso relativamente simples, muitos

dos métodos laboratoriais existentes para determinação das propriedades hidráulicas (Wind, 1968; Stakman, 1974; Silva et al, 1975; Arya et al, 1975; Bouma et al.,1983, Embrapa 2009) são morosos, dispendiosos, bastante trabalhosos e limitados ao tamanho das amostras colhidas, restringindo a sua utilização na avaliação das propriedades hidráulicas do solo devido à heterogeneidade do meio. O conhecimento da condutividade hidráulica do solo é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo. Ela pode ser determinada por vários métodos, no campo ou no laboratório, e a sua alta variabilidade entre repetições é frequentemente apontada como um problema experimental. O método de estimativa de parâmetros ou método inverso envolve a estimativa indireta das funções hidráulicas do solo através da solução numérica da equação que governa o processo de fluxo sujeita às condições de contorno impostas. Assim o objetivo deste trabalho é a determinação rápida e de baixo custo em campo condutividade hidráulica saturada (K_s) com a utilização do método numérico inverso do software Hydrus 1D.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido na estação experimental da Biologia na Universidade de Brasília, nesta área predomina um Latossolo Vermelho de textura argilosa a muito argilosa. Para a obtenção dos dados de infiltração acumulada foram realizados testes de infiltração em 15 locais diferentes com infiltrômetro de anel duplo com diâmetro de 30 e 60 cm e 30 cm de altura. Os mesmos foram cravados a uma profundidade de 15 cm no solo. Antes do início do teste de infiltração foram obtidas as condições de umidade inicial nas profundidades de 20 cm, e na superfície do solo. A técnica de modelagem inversa foi aplicada para a obtenção da condutividade hidráulica saturada a partir da minimização de uma função objetivo formulada usando-se os dados de infiltração acumulada e os valores de umidade e tensão na capacidade de campo com o uso do software Hydrus-1D. Para a estimativa pelo método inverso dos valores de condutividade hidráulica saturada, para os testes de infiltração, foram realizadas simulações no Hydrus-1D, no modo inverso. O software HYDRUS-1D requer para a simulação inversa as mesmas informações que para o problema direto, que é o tempo de simulação, informação geométrica (perfil do solo com 100 cm de profundidade), as condições iniciais e as condições de contorno, mais as estimativas iniciais dos parâmetros, a posição dos pontos de observação e o tempo medido com os correspondentes dados. Para a caracterização física do solo a área foi dividida em três e foram coletadas amostras indeformadas e também deformadas em três repetições na camada de 0-0,10 m, para determinação da textura segundo Embrapa (1997), densidade das partículas (g/cm^3) pelo método do balão volumétrico, densidade do solo (g/cm^3) método do anel volumétrico e porosidade total do solo (%), segundo Embrapa (1997). Utilizou-se diferentes critérios estatísticos para a comparação das condutividades hidráulicas saturadas obtidas por modelagem inversa com o HYDRUS-1D e pelo método padrão de laboratório: Erro Médio (EM), Erro Absoluto Médio (MAE) e Raiz quadrada do Erro Médio (RMSE).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na tabela 1 pode se observar os valores de condutividade hidráulica saturada estimados para os 15 testes de infiltração realizados assim como o desvio padrão e intervalo de confiança dos mesmos. Observa-se que os valores estimados pelo software Hydrus 1D para a condutividade hidráulica saturada variou de 0,3 (cm/min) até 47,88 (cm/min), Fontana et AL. (2016), obtiveram para um latossolo em área de cerrado valores de condutividade hidráulica saturada variando de 0,3 a 6,73 (cm/min) . Jury et al. (1991) verificaram que o coeficiente de variação para a condutividade hidráulica em solo saturado variou de 48 a 320%. Abreu et al. (2004) encontraram o valor de 62,7% para o coeficiente de variação da condutividade hidráulica no solo saturado, determinada em campo com a utilização do permeâmetro de Guelph, na profundidade de 0,15 m. A condutividade hidráulica do solo saturado depende do espaço poroso e este parâmetro varia bastante de solo para solo e, também, para o mesmo solo, em função das variações estruturais. O elevado grau de variabilidade da condutividade hidráulica tem sido atestado na literatura, observando-se comportamento Log-Normal desta variável (Woodbury & Sudicky, 1991), a qual depende da escala adotada em sua estimativa. Assim devido à alta variabilidade espacial da condutividade hidráulica saturada no campo, é consistente encontrar-se elevada variabilidade desta característica do solo.

TABELA 1. Valores de condutividade hidráulica saturada estimada para os 15 testes de infiltração realizados, desvio padrão e intervalo de confiança (IC).

Teste	Condutividade Hidráulica Saturada (cm/min)	Desvio padrão (S)	R ²	IC (inferior)	IC (superior)
23/set	3,047	2,112	0,999	-1,142	7,236
24/set	12,615	31,514	1,000	-50,718	75,948
30/set	4,725	3,268	0,999	-1,994	11,444
07/out	7,229	16,272	0,950	-26,958	41,417
08/out	5,871	30,277	0,961	-59,541	71,282
08/out	37,160	50,732	0,997	-65,838	140,160
15/out	47,880	285,740	0,687	-526,660	622,420
04/nov	6,438	7,821	0,975	-9,131	22,006
05/nov	11,037	9,360	1,000	-7,609	29,684
11/nov	0,300	0,232	0,949	-0,188	0,788
17/nov	0,300	0,948	0,892	-2,019	2,619
18/nov	28,348	26,928	0,999	-25,742	82,438
19/nov	46,827	142,190	0,998	-235,470	329,120
25/nov	9,735	48,931	0,964	-95,977	115,450
09/dez	0,300	0,260	0,958	-0,272	0,872

Para a maioria dos valores estimados pelo software Hydrus 1D, o coeficiente de determinação R² foi superior a 0,95 exceto para a condutividade estimada para os testes realizados nos dias 15/10 com R² de 0,687 e 17/11 com R² de 0,892, os elevados valores do coeficiente de determinação demonstram confiabilidade das estimativa de condutividade hidráulica saturada obtidas pelo Hydrus-1D. Assim Como o curto intervalo de confiança e os baixos valores de desvio padrão obtidos pelas estimativas de condutividade hidráulica saturada com exceção das estimativas dos testes realizados nos dias 15/10 que obteve um valor de desvio padrão de 285,740 (cm/min) e intervalo de confiança variado de - 526,660 a 622,420 (cm/min). Na tabela 2 pode se observar os valores de condutividade hidráulica saturada estimados para os 15 testes de infiltração realizados assim como os índices estatístico Erro Médio (EM), Erro Absoluto Médio (MAE) e Raiz quadrada do Erro Médio (RMSE) para as curvas de infiltração acumulada obtidas com os valores de condutividade hidráulica saturada estimada pelo Software Hydrus 1D.

Na tabela 2 observa-se que o Erro Médio variou de -0,001 até 0,329 para os valores de condutividade hidráulica saturada estimadas pelo software ficando próximo de zero exceto para as datas 08/out, 17/Nov, 25/Nov e 09/dez, em todos os outros 11 testes o valor de ME obtidos estão bem próximo de zero indicando uma boa estimativa do valor da condutividade hidráulica saturada, segundo Dilworth (1992) o erro médio deve ser muito próximo de zero quando o valor da variável estimada não é superestimada ou subestimada. O Mesmo comportamento foi observado para os índices estatísticos Erro Absoluto Médio (MAE) que variou de 0,003 a 0,511 o erro absoluto médio fornece a magnitude média dos erros, assim pode - se afirmar que a maior parte das estimativas de condutividade hidráulica estimadas pelo Hydrus-1D esta próxima do valor real. O MAE é considerado preciso e robusto como medida da habilidade de modelos numéricos em reproduzir a realidade (Fox, 1981) Para o parâmetro Raiz quadrada do Erro Médio (RMSE), as estimativas de condutividade hidráulica saturada do software obteve bom desempenho variando de 0,007 ate 0,797, sendo os testes realizados nas datas 08/out, 17/Nov, 25/Nov e 09/dez os que apresentaram o pior desempenho neste parâmetro estatístico, e mesmo na datas em que a estimativa da condutividade hidráulica saturada obteve baixo RMSE exceto para 17/Nov os valores foram baixos corroborando o bom desempenho do modelo.

TABELA 2. Condutividade hidráulica saturada estimada e índices estatísticos Erro Médio (ME), Erro Absoluto Médio (MAE) e Raiz quadrada do Erro Médio (RMSE) para as curvas de infiltração acumulada obtidas com os valores de condutividade hidráulica saturada estimada pelo Software Hydrus-1D.

Teste	Condutividade Hidráulica Saturada (cm/min)	ME	MAE	RMSE
23/set	3,047	-0,001	0,004	0,007
24/set	12,615	-0,001	0,003	0,009
30/set	4,725	-0,003	0,009	0,014
07/out	7,229	0,011	0,092	0,120
08/out	5,871	0,199	0,250	0,356
08/out	37,160	-0,006	0,014	0,019
15/out	47,880	-0,011	0,016	0,071
04/nov	6,438	-0,006	0,023	0,029
05/nov	11,037	-0,001	0,004	0,008
11/nov	0,300	0,058	0,136	0,194
17/nov	0,300	0,329	0,511	0,797
18/nov	28,348	-0,001	0,007	0,010
19/nov	46,827	0,000	0,005	0,009
25/nov	9,735	0,244	0,283	0,420
09/dez	0,300	0,173	0,220	0,347

CONCLUSÕES: O software Hydrus-1D através do problema inverso permite determinar o parâmetro condutividade hidráulica saturadas (K_s), com base em dados de infiltração acumulada obtidos no campo com infiltrometro de duplo anel e da tensão e umidade na capacidade de campo. Os valores de K_s , estimados pelo Hydrus-1D por meio do problema inverso proposto confirmam o elevado grau de variabilidade espacial relatado na literatura para este parâmetro do solo. Os índices estatísticos ME, MAE e RMSE corroboram o bom desempenho do método inverso do software Hydrus 1D para a determinação da condutividade hidráulica saturada.

REFERÊNCIAS: Angulo-jaramillo, r.; Vandervaere, j,p.; Roulier, s.; Thony, j,l.; Gaudet, j,p.; Vauclin, m, field Measurement of soil hydraulic properties by disc and ring infiltrometers: A review and recent developments, *Soil & Tillage Research*, Madison, v,55, p,1-29, 2000.
 Carneiro, M. A. C.; Souza, E. D. de; Reis, E. F. dos; Pereira, H. S.; Azevedo, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.147-157, 2009.
 Fontana, A; Teixeira, W.G, Balieiro, F de C; Moura, T.P.A; Menezes, A. R; Santana, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1457-1465, set. 2016.
 Polyanna, M. O.; Silva, A. M. da; Coelho, C.; Silva, R. A. da. Análise comparativa da caracterização físico-hídrica de um Latossolo Vermelho distrófico in situ e em laboratório. *Irriga*, v.10, p.1-19, 2005.
 Simunek, j.; Van genuchten, m,th.; Sejna, m, The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media, Version 4,14, HYDRUS Software Series 1, Riverside: Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, 2009