



I Workshop Internacional de Inovações
Tecnológicas na Irrigação

&
I Conferência sobre Recursos
Hídricos do Semi-Árido Brasileiro

26 a 28 de Setembro de 2007
Sobral - CE

DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA COM O USO DA TÉCNICA DOS FRACTAIS¹

PAIXÃO, F. J. R.²; ANDRADE, A. R. DOS S. DE³; AZEVEDO, C. A. V. DE⁴;
COSTA, T. L.⁵; SOUSA, J. DOS S.²; LIRA, V. M.² & D. NETO, J.⁴

¹Parte da Dissertação de Mestrado do 1º. Autor, apresentada ao DEAg/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB;

²Doutorando, DEAg/CCT/UFCG, Campina Grande-PB, e-mail: jardel.paixao@gmail.com;

³Pesquisador Dr. Bolsista DRC/CNPq, DEAg/CCT/UFCG, Campina Grande – PB,

⁴Prof. Dr. DEAg/CTRN/UFCG, Campina Grande – PB, Br.

⁵MSc. Eng. Agric., Bolsista do CNPq, Prof. FATEC-SERTÃO CENTRAL.

RESUMO: Objetivando-se verificar a adequabilidade dos métodos da dimensão fractal na estimativa da condutividade hidráulica saturada, estimada pela teoria fractal. Conduziu-se esta pesquisa, na estação experimental da Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias da Paraíba, EMEPA-Lagoa Seca estado da Paraíba Brasil. A curva de retenção de água no solo foi estimada através dos modelos de Brooks e Corey, Brooks e Corey modificado para a dimensão fractal. A condutividade hidráulica saturada foi estimada pela dimensão fractal do solo e determinada em campo com cilindro infiltrômetro. O uso da dimensão fractal nas estimativas da condutividade hidráulica saturada permitiu avaliar satisfatoriamente essas propriedades.

Palavrachave: dimensão fractal, curva de retenção, propriedades físicas do solo.

DETERMINATION OF THE SATURETED HYDRAULIC CONDUCTIVITY WITH THE USE OF FRACTAL TECNICS

ABSTRACT: The objective of this work was to verify adequate methods of fractal dimension to estimate the saturated hydraulic conductivity. The experiment was conducted in sandy soil of the experimental area of the State Enterprise of Agricultural Research EMEPA, located in the Lagoa Seca city, Paraíba State, Brazil. The retention water curve was estimated by Brooks and Corey model, Brook and Corey model modified to fractal dimension. The saturated hydraulic conductivity was estimated by the soil fractal dimension and determined in the field by an infiltrometer ring. The use of fractal dimension to estimate the saturated hydraulic conductivity permit to evaluate these satisfactorily.

Key-words: fractal dimension, retention curve, soil physic curve.

INTRODUÇÃO

Em ciências do solo, os fractais são utilizados para descrição do percurso de infiltração e redistribuição da água, além de modelar, de forma eficiente, a ocorrência de fenômenos durante esses dois processos, uma vez que o solo é um corpo tridimensional. A dimensão fractal pode ser determinada com alguns atributos físicos do solo, permitindo estudos com novas abordagens fundamentadas em parâmetros físicos, passando a ocupar o espaço de estudos utilizando-se parâmetros puramente empíricos (Hott et al., 2005).

Existem modelos matemáticos de linhas, volumes e superfícies fractais, para se descrever aspectos relacionados às propriedades físico-hídricas do solo saturado e não saturado; no segundo caso, pode-se citar a equação de van Genuchten (1980). A dimensão fractal com base na distribuição dos tamanhos dos poros e das partículas do solo é de fundamental importância para a compreensão do comportamento da variabilidade das propriedades físicas do solo, que constitui uma descontinuidade da estrutura do solo ocorrendo, conseqüentemente, implicações na dinâmica da água do solo (Zhuang et al., 2001, citado por Andrade, 2002).

A dimensão fractal tem sido aplicada em solos levando-se em conta a distribuição das partículas e a tortuosidade dos poros do solo, com o objetivo de caracterizar o espaço poroso referente às propriedades de condução e retenção de água do solo, podendo-se avaliá-las pela dimensão fractal da distribuição das partículas (Bacchiet et al., 1996).

Diante o exposto a presente pesquisa tem como objetivo, verificar a adequabilidade dos métodos da dimensão fractal na estimativa da condutividade hidráulica saturada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Experimental da Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias – EMEPA, localizada no município de Lagoa Seca, Estado da Paraíba, a uma altitude média de 335 m, apresentando as coordenadas geográficas de 07° 13' S; 35° 52' W. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw'i (clima tropical úmido com estação seca da primavera a início do verão). O solo da área é classificado como um Neosolo Reolítico (Embrapa, 1999).

Os pontos amostrais para determinação da taxa de infiltração, condutividade hidráulica, curva de retenção, nas profundidades de 0-20, 20-40 e de 40-60 cm, totalizando 36 pontos amostrais.

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) na parcela experimental, foi determinada através de medidas de infiltração de água, pelo método do Infiltrômetro de anel, conforme metodologia descrita por Libardi (2000), permitindo-se monitorar a velocidade de infiltração até sua estabilização ao longo do tempo, assumindo um valor constante denominado velocidade de infiltração básica, donde se calcula a condutividade hidráulica saturada (K_s), através da Eq. 1. Esta velocidade básica de infiltração (V_b) é tão somente o valor da assíntota da velocidade de infiltração final (V_f) na curva de infiltração:

$$K_s = \frac{V_b L}{(L + h)} \quad (1)$$



Donde: V_b - Velocidade de infiltração básica de água no solo (cm h^{-1}); L - Profundidade do anel enterrado no solo (cm); h - Carga hidráulica (cm)

A equação empírica capaz de estimar KS neste trabalho se baseia na tortuosidade dos poros do solo, na qual foi proposta por Poulsen et al. (1999) e modificada por ANDRADE (2002) com uso da aproximação fractal na qual será usada neste trabalho, ficando da seguinte forma:

$$K_s = 8,64 \cdot 10^{-6} \frac{\rho_{H_2O} g}{\eta} \left(\frac{0,45 r^2 (\mu_{10})^D}{8 \theta_s^2} \right)^{(3-D)} \quad (2)$$

Em que: ρ - densidade da água (1.106 g m^{-3}); g - aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m s}^{-2}$); η - viscosidade da água (1.005 m s^{-2}); μ_{10} - porosidade drenável na tensão de 10 Kpa; θ_s - umidade do solo na saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); D - corresponde a dimensão fractal do solo determinada pela distribuição do tamanho das partículas sólidas do solo (DPSD) (adimensional); r - tamanho médio do raio de poros do solo.

Para se estimar KS usando-se a Eq. (2), é necessário determinar os parâmetros D , μ_{10} , θ_s e r , em que D foi estimada com base na distribuição granulométrica das partículas sólidas do solo, denominado de método; DPSD e com base na curva de retenção de água no solo, DSWRC.

No presente trabalho a curva de retenção de água do solo foi determinada em laboratório usando-se o Extrator de Umidade de Reichardt, nas tensões de 10, 33, 100, 300, 500, 1000 e 1500 kPa. A análise granulométrica foi realizada pelo Método do Hidrômetro, como recomendado por Bouyoucos. Na análise textural, a dispersão foi obtida mecânica (agitação) e quimicamente utilizando-se, como dispersante, o hidróxido de sódio IN.

A estimativa da dimensão fractal (D) que foi usada nos modelos matemáticos da curva de retenção de água foi estimada com base nos dados da curva de retenção de água no solo (D_{SWRC}). Frisen & Mikula (1987) derivaram uma equação que relaciona o incremento entre o volume de poros com o diâmetro dos raios com uso da dimensão fractal, dada por:

$$-\frac{dV(\geq r)}{dr} \propto r^{2-D} \quad (3)$$

em que: $V(\geq r)$ é o volume de poros com raio maior ou igual a r e D representa a dimensão fractal que descreve a superfície dos poros que, por sua vez, formam as partículas do solo. Uma maneira mais específica entre o volume de poros e o seu raio, foi encontrada por Perrie et al. (1996) e se escreve da seguinte forma:

$$-\frac{dV(\geq r)}{dr} = \beta(E-D)r^{E-D-1} \quad (4)$$

em que: E - representa a dimensão euclidiana, β - uma constante. A curva de retenção de água no solo pode ser obtida integrando a equação (2) da seguinte maneira:

$$\theta(r) = \int_{r_{\min}}^r r^{2-D} dr \quad (5)$$

Onde: $\theta(r)$ - corresponde ao conteúdo de água nos poros de raio r ; r - raio do poro; r_{\min} - raio mínimo de poros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo da área em estudo apresenta a camada superficial bastante arenosa, seguida da última camada com um acréscimo progressivo do teor de argila, tendo a seguinte composição: de 00-20cm: areia; 75,27 g kg⁻¹, silte; 8,08 g kg⁻¹ e argila; 16,65 g kg⁻¹ de 20-40cm: areia; 72,24 g kg⁻¹, silte; 10,10 g kg⁻¹ e argila; 17,66 g kg⁻¹, sendo caracterizado como um solo franco-arenoso nas duas profundidades, respectivamente.

Na Tabela 1 está descrito o resumo estatístico da condutividade hidráulica saturada do solo (K_s). Os valores do desvio padrão (DP) (31,440%) e do coeficiente de variação (CV) (63,123%) para K_s quando determinada pelo método do cilindro Infiltrômetro (método adotado como padrão nesta pesquisa) indicam uma alta variabilidade dos valores médios da K_s , mesmo levando-se em consideração a pequena área estudada.

Analizando os valores médios da condutividade hidráulica do solo ilustrados na Tabela 1, de acordo com o U.S. Bureau of Plant Industry and Agricultural Engineering, indicam que a área apresenta classificação de condutividade hidráulica moderada, na profundidade estudada (0-20 cm), quando estimados pelos métodos D_{PSD} e D_{SWRC} . Porém, os menores valores de CV (%) e DP foram constatados quando a K_s foi prognosticada pelos dois métodos com o uso da aproximação fractal (D_{SWRC} e D_{PSD}).

Pode-se constatar que os menores erros relacionados com as estimativas dos modelos usados para determinação de K_s foram para o método D_{PSD} ($Er = 7,387$). LIBARDI (2000) e REICHARDS e TIMM (2004) salientam que a condutividade hidráulica está relacionada com a granulometria e com a geometria dos poros do solo, sendo esta última não estática, mas sim

Tabela 1. Valores médios experimentais e estimados da condutividade hidráulica do solo saturado, para as três profundidades do solo, Campina Grande, PB, 2006

Parâmetros estatísticos	Condutividade hidráulica do solo saturado (cm h ⁻¹)		
	K_s - Infiltrômetro	K_s - D_{SWRC}	K_s - D_{PSD}
Média	0,50074	0,14738	0,17250
Variância	0,09885	0,00438	0,00773
Desvio padrão	31,440	6,621	8,794
Coef. de variação - CV (%)	63,123	55,82465	81,90016
Valor máximo	1,26022	0,28969	0,49005
Menor valor	0,06471	0,07025	0,06882
Amplitude total	1,19551	0,21943	0,42123
Erro padrão de estimativa (Er)	-----	8,082	7,387
Coef. de assimetria	0,38186	0,98770	1,81928
Coef. de curtose	-0,66241	-0,19633	4,20031



dinâmica, uma vez que o fluxo de água no solo poderá modificar o arranjo estrutural do mesmo, afetando a geometria de seus poros; assim sendo, a condutividade hidráulica do solo pode variar de solo para solo e para um mesmo solo, dependendo de sua porosidade e grau de compactação.

Para as condições de campo desta pesquisa, onde se tinha um solo franco arenoso, o método D_{SWRC} não foi capaz de prever a K_s com certa exatidão, quando comparada com a K_s medida em campo ($Er = 8,082$). Entretanto, Andrade (2000), trabalhando com solos de textura franco argilosa do estado de São Paulo obteve bons resultados da K_s com a aplicação do método baseado na dimensão fractal obtida pela curva de retenção de água no solo (D_{SWRC}).

CONCLUSÕES

Observam-se valores elevados do parâmetro estatístico; erro padrão de estimativa (ER), porém se justifica o uso da técnica da aproximação fractal tendo em vista a rapidez e o baixo custo com que se obtém essa propriedade hídrica do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. R. S. de. **Aplicação da teoria fractal e da geoestatística na estimativa da condutividade hidráulica saturada e do espaçamento entre drenos**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita” Faculdade de Ciências Agrônomicas Campus de Botucatu, Botucatu, SP, 2002. (Tese de Doutorado).
- BACCHI, O.O.S., REICHARDT, K., VILLA NOVA, N.A. Fractal scaling of particle and pore size distributions and its relation to soil hydraulic conductivity. **Sei. Agric.**, v.53, n.2, p. 1-9, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: CNPS, 1999. 412p.
- FRIESEN, W. J., MIKULA, R. J. Fractal dimensions of coal particles. **J. Colloid Interface Sci.**, v.120, p263-271, 1987.
- HOTT, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. Á. S.; GRIFFITH, J. J. Análise fractal de textura usando um operador de Hurst em uma imagem TM/Landsat. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4089-4093. IN. **Anais**.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da Água no Solo**. Piracicaba – ESALQ, 2000, 497 p.
- REICHARDT, K & TIMM, L. C. SOLO PLANTA E ATMOSFERA, **Conceitos, processos e aplicações**. Manole editora Piracicaba- São Paulo, 2004, 471p.
- POULSEN, T.G., MOLDRUP, P. YAMAGUCHI, T. JACOBSEN, O.H. Predicting saturated and unsaturated hydraulic conductivity in undisturbed soils from soil water characteristics. **Soil Sci.**, v. 164, n. 12, p.877-887, 1999.
- VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, v.44, p.892-898, 1980.