



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

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA DIMENSÃO FRACTAL DO SOLO¹

PAIXÃO, F. J. R.²; ANDRADE, A. R. DOS S. DE³; AZEVEDO, C. A. V. DE⁴,
COSTA, T. L.⁵; SOUSA, J. DOS S.⁶; FRANCO, E. S.²

¹Parte da Dissertação de Mestrado do 1º. Autor, apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola - DEAg, Centre de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande-PB;

²MSc Eng. Agric. Bolsista do CNPq. Doutorando, DEAg/CCT/UFCG, Campina Grande-PB, e-mail:

jardel.paixao@gmail.com;

³Pesquisador Dr. Bolsista DRC/CNPq, DEAg/CCT/UFCG, Campina Grande – PB, Br; 3 - Eng. Agric. Profª. Dra. DEAg/CCT/UFCG, Campina Grande – PB, Br.

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

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

⁶MSc. Eng. Agric., Bolsista do CNPq, Doutorando, DEAg/CCT/UFCG, Campina Grande-PB

RESUMO: Objetivando avaliar dois métodos de estimativa da dimensão fractal do solo (D) realizou-se uma pesquisa onde foram coletadas amostras de solo deformadas nas profundidades de 0-20, 20-40 e de 40-60 cm de profundidade, em um total de 36 pontos amostrais, em que se determinou a curva característica e curva de distribuição de partículas para posterior determinação da dimensão fractal (D). 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. A teoria fractal por meio da determinação da dimensão fractal (D) baseada na curva de retenção de água no solo e na curva de distribuição de partículas, estimou com excelente precisão os valores da dimensão fractal do solo.

Palavra chave: física do solo, curva de retenção, irrigação, modelos físicos-matemáticos

METHODOLOGY TO DETERMINE THE SOIL FRACTAL DIMENSION

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate two methods of estimate the soil fractal dimension (D) soil samples were collected at depth of 0-20, 20-40 and 40-60 cm, in a total of 36 points, the characteristic curve and particle distribution curve for further fractal dimension determination. The experiment was conducted in sandy soil of the experimental area of the State Enterprise of Agricultural Research, located in the Lagoa Seca city, Paraíba State, Brazil, with an average altitude of 335 m, and geographic coordinates 07° 13' S; 35° 52' W. The fractal theory by the determination of fractal dimension (D) based on the soil water retention curve and particle distribution curve, gave with an excellent precision the values of the soil fractal dimension.

Key word: soil physics, retention curves, irrigation, mathematical physical models

INTRODUÇÃO

A geometria fractal foi introduzida, nos anos 70, por Benoit Mandelbrot, matemático polonês, que propôs, através dela, uma maneira que possibilitasse melhor capacidade de representar estruturas complexas e irregulares da natureza. Ao contrário da geometria euclidiana, a fractal se apresenta como ferramenta eficientemente capaz de quantificar e qualificar série de dados temporais e espaciais descrevendo, com maior exatidão, a sua complexidade.

Pela definição de MANDELBROT (1982) citado por REICHARDT e TIMM (2004) e HOTT (2005), o termo fractal provém do latim *fractus*, que significa fragmentar, quebrar as partes, opostamente ao termo álgebra, que se refere à junção das partes, ou seja, fractais são objetos cujos valores de suas dimensões são números reais não inteiros.

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).

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). Apresentando uma camada superficial bastante arenosa, 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.

Foram coletadas amostras de solo deformadas de uma área cultivada com Gergelim irrigado nas profundidades de 0-20, 20-40 e de 40-60 cm de profundidade, em um total de 36 pontos amostrais. A análise granulométrica foi realizada pelo Método do Hidrômetro.

Uma das metodologias capazes de determinar a dimensão fractal do solo é baseada na distribuição do tamanho médio das partículas sólidas do solo uma vez em que o tamanho médio das partículas do solo bem como dimensão fractal, estão ligadas com a estrutura do solo e pode ser estimada através da expressão:



$$W(R) = c R^{\frac{3D^2 - 13D + 14}{D^2 - 5D + 4} + 1} \quad (1)$$

Sendo que, $W(R)$ – massa acumulativa das partículas do solo, c – constante, R – raio médio das partículas do solo, D – dimensão fractal.

A equação (1) é a expressão através da qual se estima o percentual da massa acumulativa das partículas, em função dos raios das partículas do solo. No sentido de se estimar D , aplica-se o método dos mínimos quadrados para obtenção dos coeficientes da reta linearizada e, por via de consequência da própria dimensão fractal (D). A dimensão fractal D , obtida por este procedimento, resulta na dimensão fractal de superfície (baseada na distribuição do tamanho das partículas do solo) representada por D_{PSD} .

Com base na equação de proposta por BROOKS e COREY (1964), modificada por PIERRER et al (1996) citado por ANDRADE, 2002, aplica-se o processo de regressão não linear aos dados de tensão de água no 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:

$$-\frac{dV(\geq r)}{dr} = \beta(E - D)r^{E-D-1} \quad (2)$$

em que : E - representa a dimensão euclidiana, β - uma constante e r – raio do poro.

Para estimar o teor de água no solo, assume-se que o valor que o raio de poro é inversamente proporcional ao potencial hidráulico h , assim como $h=A/r$, em que A é uma constante. Tradicionalmente, usam-se valores absolutos das tensões de água no solo, em lugar de tensões negativas. A equação (2) é muito usada para se estimar a curva de retenção de água no solo, mesmo havendo outras formas de se correlacionar os poros do solo com as tensões da água (Tyler & Wheatcraft, 1990; BIRD et al., 1996).

O modelo para se estimar a curva de retenção de água proveniente da equação (2) apresenta uma rígida relação com uma lei física, o conteúdo de água do solo e a tensão com que esta água encontra-se retida entre as partículas sólidas do solo (PIERRER et al., 1996). Com base na equação de proposta por BROOKS e COREY (1964), modificada por PIERRER et al (1996) citado por ANDRADE, 2002, a dimensão fractal (D_{SWRC}) foi determinada aplicando-se o processo de regressão não linear aos dados de umidade do solo (θ) versus o potencial matricial de água no solo (ψ_m) por meio da seguinte expressão:

$$\theta_{(h)} = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{h_s}{h} \right)^{3-D} \quad (3)$$

sendo que: $\theta(h)$ - umidade do solo em base de volume, na tensão h , θ_s - umidade do solo em base de volume na saturação, θ_r a umidade residual do solo (correspondente ao ponto de

murcha permanente), h_0 - valor absoluto da tensão de água no ponto de entrada de ar e D representa dimensão fractal distribuição dos tamanhos de poros do solo (D_{SWRC}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo estatístico de D_{SWRC} encontra-se na Tabela 1 para as três profundidades estudadas e o resumo estatístico dos dados experimentais da curva de retenção de água no solo, determinada através das placas de Reichardt, está discriminado na Tabela 1.

Os valores de D_{SWRC} , apresentados na Tabela 1, são superiores aos valores de D_{PSD} . Andrade (2002), trabalhando com solos de textura franco argilosa no Estado de São Paulo também encontrou valores de D_{PSD} inferiores aos determinados pelo método D_{SWRC} .

Ainda na Tabela 1, pode-se observar que nos valores de D_{SWRC} , ocorreram uma menor variabilidade dos dados, uma vez que os parâmetros estatísticos de D_{SWRC} foram inferiores aos de D_{PSD} , com exceção do valor da variância na profundidade de 0-20 cm que foi superior pelo método D_{SWRC} (0,00016). Com relação aos demais parâmetros estatísticos analisados, o método D_{SWRC} foi o que se mostrou mais coerente, devido à menor variação dos valores dos parâmetros analisados, que foi de 2,880 a 2,845 (00-20 cm), 2,875 a 2,854 (20-40 cm) e 2,873 a 2,807 (40-60 cm), respectivamente, com uma amplitude total media de 0,035, 0,021 e 0,066. Os desvios padrões indicaram uma menor variação dos dados (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo estatístico da dimensão fractal do solo determinada pelo método baseado na curva de retenção de água do solo (D_{SWRC}) e baseado na distribuição do tamanho de partículas (D_{PSD})

Parâmetro estatístico	Dimensão fractal (D_{SWRC})		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Média	2,863	2,864	2,837
Variância	0,00016	0,00008	0,00045
CV (%)	0,005	0,003	0,007
Desvio padrão	0,013	0,009	0,021
Valor máximo	2,880	2,875	2,873
Valor mínimo	2,845	2,854	2,807
Amplitude total	0,035	0,021	0,066
Dimensão fractal do solo (D_{PSD})			
Média	2,811	2,829	2,834
Variância	0,0013	0,00093	0,00083
CV (%)	0,013	0,011	0,010
Desvio padrão	0,035	0,030	0,029
Valor máximo	2,841	2,857	2,863
Valor mínimo	2,751	2,772	2,782
Amplitude total	0,098	0,085	0,081



De forma geral, os menores valores dos parâmetros estatísticos da D_{SWRC} indicam que quando comparados com os de D_{PSD} , para as três profundidades estudadas, pode ter sido possivelmente em decorrência das pequenas variabilidades das características físicas nos horizontes texturais do solo. A grande importância de se obter uma dimensão fractal o mais confiável possível deve-se ao fato de que essa propriedade é usada como parâmetro para determinação de propriedades físico-hídricas de extrema importância para irrigação e drenagem, cuja determinação das mesmas é difícil e/ou dispendiosa com os métodos tradicionais, como condutividade hidráulica saturada e não saturada.

Estatisticamente constata-se que os valores de D_{PSD} apresentaram pequena variabilidade nas profundidades estudadas, fato este mostrado pelos baixos valores dos parâmetros estatísticos (Tabela 1). Os resultados variam de 2,841 a 2,751 (00-20 cm), 2,857 a 2,782 (20-40 cm) e 2,863 a 2,782 (40-60 cm), respectivamente, com valores médios de 2,811, 2,829 e 2,834 e amplitude total de 0,098, 0,085 e 0,081.

ANDRADE (2002) e CARVALHO et al. (2002) estudando solos de textura média, também encontraram valores com baixas variabilidades da dimensão fractal e coeficiente de correlação (R^2), através do método D_{PSD} .

Os menores valores de D_{PSD} foram encontrados na profundidade de 0-20 cm e os maiores na de 40-60 cm que corresponde aos solos que indicando um acréscimo nos valores de areia muito fina e silte (Tabela 1), estando coerentes com os valores mencionados por Kravchenko (1997) e Kravchenko (2000). Rawls & Brakesek (1995) obtiveram valores de D_{PSD} de 2,42 em solos arenosos e de 2,87 para solos argilosos e ANDRADE (2002) trabalhando com solos de textura média encontrou valores de D_{PSD} que variaram de 2,700 a 2,970, também com baixos valores dos parâmetros estatísticos.

CONCLUSÕES

A teoria fractal por meio da determinação da dimensão fractal (D) baseada na curva de retenção de água no solo e na curva de distribuição de partículas, estimou com excelente precisão os valores da dimensão fractal 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 Agrônômicas Campus de Botucatu, Botucatu, SP, 2002. (Tese de Doutorado)
- CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.24, n.4, p.701-709, 2000.
- BIRD, N.R.A., BARTOLI, F. DEXTER, A.R. Water retention models for fractal soil structures. J. Soil Sci., v.47, p.1-6, 1996.
- BROOKS, R.H. & COREY, A.T. Hydraulic properties of porous media Hidrol. Pap. 3, Colorado State Univ. Fort Collins, 1964. 180p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- GUERRA, H.C. Física dos solos, 1 ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173 p.
- PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. 1º. ed. Curitiba: C.L, 1996. 446p.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da Água no Solo. Piracicaba – ESALQ, 2000, 497 p.