



ABORDAGEM MULTIFRACTAL PARA A AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO SOLO

A. Watanabe¹, J. Bramorski², A. Posadas³, S. Crestana⁴

(1) University of Pécs, Faculty of Sciences, Ifjúság str., 6, H-7624, Pécs, Hungria, alex.amw@hotmail.com

(2) Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, 13566-590, São Carlos, SP, bramorski@gmail.com

(3) World Agroforestry Centre, ICRAF, P.O. Box 30677-00100, Nairobi, Kenya, a.posadas@cgiar.org

(4) Embrapa Instrumentação, Rua 15 de Novembro, 1452, 13560-970, São Carlos, SP, silvio.crestana@embrapa.br

Resumo: A rugosidade da superfície do solo é uma importante propriedade dinâmica que influencia a retenção e infiltração de água, pode reduzir o volume e velocidade de escoamento superficial e pode alterar as perdas de solo por erosão hídrica. Vários modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para descrever a microtopografia do solo com base em um índice de rugosidade (RI) conforme descrito por vários autores. Só recentemente empregou-se a abordagem multifractal. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi comparar o índice comumente utilizado da rugosidade do solo (RR), obtido em condições de campo, com os resultados da aplicação da análise multifractal a um conjunto de dados previamente coletados. Vale ressaltar que o experimento gerador dos dados não foi projetado especificamente visando à análise multifractal. Tal análise foi realizada como uma ferramenta complementar e os resultados mostraram que os parâmetros multifractais foram capazes de descrever a complexidade da rugosidade da superfície do solo, o comportamento não-linear do sistema, bem como no futuro, se definir um índice de melhor descrição da rugosidade.

MULTIFRACTAL APPROACH FOR ASSESSING THE SOIL SURFACE ROUGHNESS

Abstract: Soil surface roughness is an important dynamic property that increases the retention and infiltration of water, reduces the volume and speed of runoff and influences soil losses by water erosion. Several mathematical models have been developed to describe the soil microtopography based on a roughness index (RI) as described by several authors. Only recently the multifractal approach was employed. In this context, the objective of this study was to compare the commonly used soil roughness index (RR), obtained under field conditions, with the results of applying multifractal analysis to a set of data previously collected. It is worthwhile to highlight that the experiment generator of the data was not designed specifically aiming a multifractal analysis. Such analysis was performed as a complementary tool and the results showed that the multifractal parameters were able to describe the complexity of the surface roughness of the soil, the nonlinear behavior of the system, as well as, the future proposal to found out a best descriptor of roughness.

Keywords: fractal, multifractal, soil roughness, and complexity.

1. Introdução

A rugosidade do solo descreve as microvariações da superfície resultantes principalmente dos métodos de preparo e da textura do solo (Vásquez et al., 2005). Ela pode retardar a enxurrada pelo armazenamento temporário de água nas microdepressões do solo, diminuir a velocidade e o volume da mesma e ainda aumentar a retenção de sedimentos e, conseqüentemente, as perdas de solo por erosão (Allmaraset al., 1966; Cogo et al., 1983, 1984; Onstad, 1984; Bertol et al., 2006).

A maioria dos estudos sobre o efeito da rugosidade induzida pelos métodos de preparo do solo tem se focado nos estágios iniciais da chuva e conduzidos em escala laboratorial ou em pequenas parcelas, onde uma rede de drenagem dificilmente pode se formar. No entanto, estudos de campo em escalas maiores, suficientes para o fluxo d'água assumir uma velocidade real, tem demonstrado pouco efeito da rugosidade sobre o escoamento superficial e maior perda de solo em superfícies com maior rugosidade em terrenos mais íngremes (Gomes; Nearing, 2005).

O microrrelevo do solo é o produto de inúmeras respostas e interações multi-escalas envolvendo variabilidade tanto espacial como temporal (Vidal Vásquez et al., 2008). Diversos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para descrever a microtopografia do solo.

Análises multifractais têm sido usadas intensivamente em geomorfometria ou modelos de elevação de terrenos (DEM), mas apenas recentemente no estudo de solos agrícolas. Roisin (2007) mostrou que a análise multifractal pode efetivamente descrever a variabilidade da heterogeneidade própria de solos agrícolas. Neste contexto,

o objetivo deste estudo é comparar os índices de rugosidade do solo (RR) obtidos classicamente em condições de campo, com os resultados das análises multifractais dos mesmos dados.

Ressalta-se que o estudo experimental realizado por Bramorski (2007) e que gerou os dados aqui analisados não foi delineado especificamente visando-se a realização de análise multifractal. Esta análise foi realizada como uma ferramenta complementar e potencialmente mais sensível para se compreender os resultados obtidos em função da variabilidade encontrada.

2. Materiais e Métodos

2.1. Delineamento Experimental

O trabalho foi desenvolvido em campo, na área experimental da EMBRAPA Pecuária Sudeste (Fazenda Canchim), coordenadas UTM 206219,7569671, no município de São Carlos/SP. O solo no local do experimento é constituído de um Latossolo Vermelho Amarelo Álico, A moderado, textura média e declividade de 3%, cuja utilização ao longo dos anos consistiu basicamente em experimentos de plantio de aveia com semeadura direta.

A área experimental foi delineada com a implantação de parcelas com dimensões de 3,5 m de largura por 11 m de comprimento, paralelas ao declive. Foram utilizados dois tratamentos, com três repetições: três parcelas com solo submetido ao preparo convencional (solo com superfície rugosa) e três parcelas mantidas com solo sem preparo (solo com superfície lisa). Foram aplicadas chuvas simuladas com a utilização de um simulador de chuvas de braços rotativos (Lombardi Neto et al., 1979), o qual cobria duas parcelas simultaneamente. Foram realizadas três aplicações sucessivas de chuvas simuladas, com intervalos de 24 horas entre elas, com as seguintes intensidades: 1ª chuva com 30 mm/h, 2ª chuva com 30 mm/h e 3ª chuva com 70 mm/h.

A rugosidade do solo foi avaliada imediatamente após o preparo do solo, inclusive nas parcelas sem preparo e, após cada evento de chuva simulada. Todas as parcelas foram mantidas sem cobertura por plantas, palha ou resíduos.

Para efetuar a leitura da superfície do solo foi utilizado um rugosímetro a laser acoplado a um computador portátil para registro automático das leituras (De Maria et al., 2003). Este equipamento cobre uma área de 1m² e determina a variação de alturas de dados pontuais espaçados a cada 1 cm, resultando em 10.000 pontos de leitura. Foram retiradas do cálculo as últimas 10 linhas, para a eliminação de possíveis interferências, resultando em 9000 pontos de leitura. O rugosímetro a laser, diferentemente do rugosímetro de agulhas, consiste em uma técnica não-destrutiva, possibilitando que diversas leituras sejam tomadas em um mesmo local. Além disso, apresenta a vantagem de aquisição de um alto número de medidas, possibilitando melhorar a estatística dos resultados.

O índice de rugosidade (RR) superficial do solo foi calculado pelo método proposto por Allmaras et al., (1966), modificado por Currence & Lovely (1970), ou seja, através da multiplicação do desvio padrão dos logaritmos das elevações pela média das elevações.

Foram analisadas as modificações na rugosidade (RR) do solo após o preparo do mesmo e após as chuvas aplicadas (Bramorski, 2007) e Bramorski et al, 2012.

2.2. Análise Multifractal

Uma análise do comportamento multifractal foi aplicada para cada matriz de dados obtidos. O espectro de singularidade multifractal $f(\alpha)$ foi correlacionado com os parâmetros de rugosidade do solo (RR) para cada parcela ao final de cada chuva simulada.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos em cada parcela foram submetidos à análise multifractal, visto a possibilidade de se determinar parâmetros que possam melhor caracterizar a microtopografia do solo em termos de diferenças espaciais e homogeneidade, possibilitando uma nova perspectiva de análise dos padrões verificados neste estudo.

O espectro multifractal representando a distribuição espacial da rugosidade é apresentado na Figura 1. A forma de $f(\alpha)$ indica claramente a presença de multifractalidade do sistema.

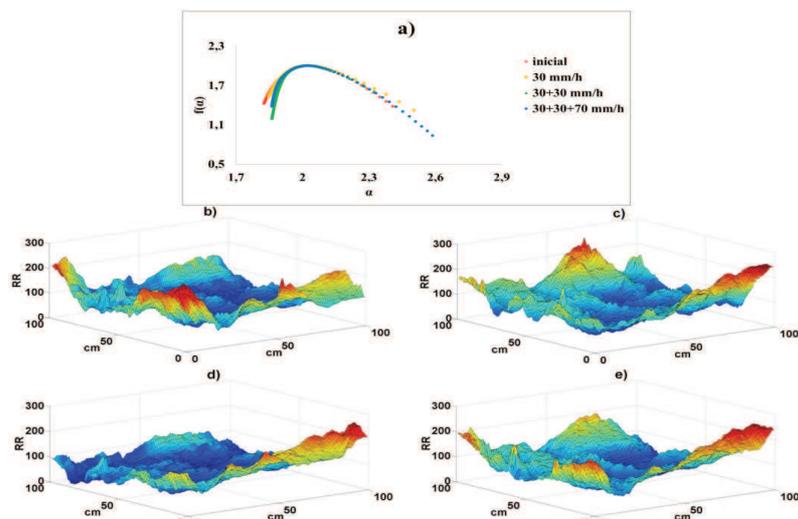


Figura 1. a) Espectro multifractal $f(\alpha)$ de uma parcela de solo com superfície lisa descrevendo o comportamento do sistema segundo a intensidade da chuva aplicada (b, c, d, e); e b) Microtopografias da mesma parcela em função das chuvas aplicadas.

Na Figura 2 pode-se verificar, em uma das parcelas com superfície rugosa, a ruptura na linearidade após as primeiras chuvas caracterizada pelo aumento no valor de Alpha em relação à condição inicial (antes da aplicação de chuva).

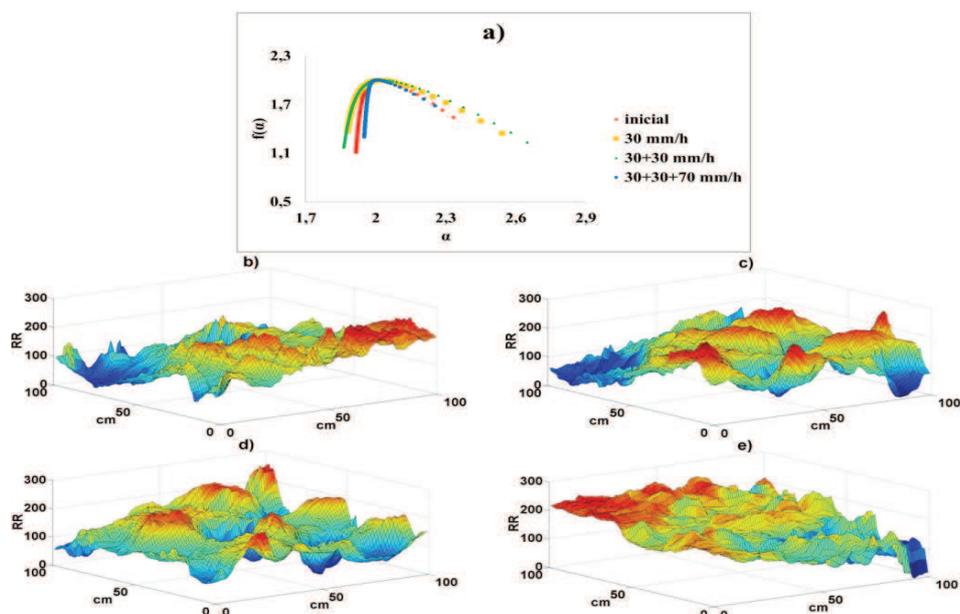


Figura 2. a) Espectro multifractal de uma das parcelas de solo com superfície rugosa descrevendo o comportamento do sistema segundo a intensidade das chuvas aplicadas (b, c, d, e); e b) Microtopografias da mesma parcela em função das chuvas aplicadas.

4. Conclusões

Os parâmetros multifractais analisados foram eficientes para descrever a complexidade da superfície do solo e o comportamento não-linear do sistema. O método de análise utilizado neste trabalho também demonstra potencial futuro para se definir um índice que melhor representa a rugosidade do solo, comparativamente ao índice clássico.

Referências

- ALLMARAS, R.R., R.E. BURWELL, W.E. LARSON, AND R.F. HOLT. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. USDA Conserv. Res. Rep. 7:1-14, 1966.
- BERTOL, I.; AMARAL, A.J.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; PAZ GONZÁLES, A.; BARBOSA, F.T. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. R. Bras. Ci. Solo, v.30, p.543-553, 2006.
- BRAMORSKI, J. Avaliação da perda de solo e fertilizantes nitrogenados por erosão em áreas agrícolas: uma abordagem integrada e experimental dos fatores intervenientes no processo. (Tese de Doutorado). EESC USP. São Carlos, 2007. 219 p.
- BRAMORSKI, J.; DE MARIA, I. C.; LEMOS E SILVA, R.; CRESTANA, S. Relations between soil surface roughness, tortuosity, tillage treatments, rainfall intensity and soil and water losses from a red yellow latosol. R. Bras. Ci. Solo, 36:1291-1297, 2012.
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Effect of residue cover, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:1005-1008, 1983.
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 48:368-373, 1984.
- CURRENCE, H.D., AND W.G. LOVELY. The analysis of soil surface roughness. Trans. ASAE 13:710-714, 1970.
- DE MARIA, I.C.; STORINO, M. ; CASTRO, Orlando Melo de. Equipamento com sensor a laser para medida da rugosidade da superfície do solo. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2003, Ribeirão Preto. Solo: Alicerce dos Sistemas de Produção. Botucatu : UNESP. v. 1. 2003, p. 1-4.
- GOMES, J. A.; NEARING, M. A. Runoff and sediment losses from rough and smooth soil surfaces in a laboratory experiment, Catena 59, 253-266, 2005.
- LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M.; SILBA, I. R.; BERTONI, J. Simulador de chuva e sua aplicação em pesquisas de erosão do solo. O Agrônomo, Campinas, SP, 31:81-98, 1979.
- ONSTAD, C.A. Depressional storage on tilled soil surfaces. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, v.27, p.729-732, 1984.
- ROISIN, C. J. A multifractal approach for assessing the structural state of tilled soils, Soil Sci Soc. Am. J., 71, 15-25, 2007.
- VIDAL VÁSQUEZ, E., VIVAS MIRANDA, J.G. PAZ GONZÁLES, A. Characterizing anisotropy and heterogeneity of soil surface microtopography using fractal models. Ecolog. Model. 182, 337-353, 2005.
- VIDAL VÁSQUEZ, E.; GARCIA MORENO, R.; MIRANDA, J. G .V.; DÍAZ, M. C.; SAA REQUEJO, A; PAZ FERREIRO, and TARQUIS, A.M. Assessing soil surface roughness decay during simulated rainfall by multifractal analysis. Nonlin. Processes Geophys., 15, 457-468, 2008.