



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Moreti, Dolorice; Libardi, Paulo Leonel; Crusoé Rocha, Genelício; Lovatti, Márcio José; Giassetti
Aguiar, Laura Ianello

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS ARMAZENAGENS GRAVIMÉTRICA E VOLUMÉTRICA DA
ÁGUA NUM LATOSOLO COM CITROS**

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 6, 2007, pp. 1281-1290
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214061007>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS ARMAZENAGENS GRAVIMÉTRICA E VOLUMÉTRICA DA ÁGUA NUM LATOSOLO COM CITROS⁽¹⁾

Dolorice Moreti⁽²⁾, Paulo Leonel Libardi⁽³⁾, Genélício Crusoé Rocha⁽⁴⁾, Márcio José Lovatti⁽⁵⁾ & Laura Ianello Giassetti Aguiar⁽⁶⁾

RESUMO

A estabilidade temporal é descrita como a persistência temporal de um padrão espacial e é avaliada pela análise de correlação de medidas em datas sucessivas. Neste trabalho, foi avaliada a armazenagem de água no solo em duas transecções de 76 m cada, contendo 20 pontos em cada uma, em um Latossolo Vermelho-Amarelo argissólico cultivado com citros com 11 anos em Piracicaba/SP. A umidade do solo para determinação da armazenagem, na camada de 0,00–1,10 m, ao longo do tempo, foi obtida com uma sonda de nêutrons, calibrada para o solo em estudo, realizando leituras semanais às profundidades de 0,20, 0,40, 0,60, 0,80, 1,0 e 1,10 m. A armazenagem de água no solo foi determinada utilizando-se o método de Simpson. Os dados da armazenagem média de água no solo nos três anos de estudo mostraram que sua distribuição, ao longo do tempo, apresentou comportamento semelhante e que os coeficientes de correlação linear e de posição de Spearman foram altos entre o ano 1 e o ano 2, o ano 2 e o ano 3 e o ano 1 e o ano 3, indicando existência de estabilidade temporal e persistência temporal significativa do padrão espacial observado. Foi verificada dependência espacial moderada de 17,10 m pelo semivariograma exponencial. Pela técnica da diferença relativa, os pontos que apresentaram comportamento estável no tempo foram o ponto 29, para os anos 1 e 2, e os pontos 16, 29 e 39, para o ano 3, que podem ser usados para estimar com

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do Primeiro autor. Recebido para publicação em julho de 2006 e aprovado em julho de 2008.

⁽²⁾ Pós-Graduando do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 9, CEP 13428-900 Piracicaba (SP). E-mail: dmoreti@esalq.usp.br

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. E-mail: pllibardi@esalq.usp.br

⁽⁴⁾ Professor Titular do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Av Carlos Cavalcanti 8000, Bairro

CEP 84900-000 Ponta Grossa (PR). E-mail: genelicio@cescage.com.br

segurança a armazenagem média de água no solo. O ponto 29 foi o que se apresentou estável para os três anos de estudo, sendo, portanto, o mais recomendável tanto para a armazenagem gravimétrica como para a volumétrica.

Termos de indexação: variabilidade, transeção, sonda de nêutrons.

SUMMARY: SPATIAL AND TEMPORAL EVALUATION OF GRAVIMETRIC AND VOLUMETRIC WATER STORAGE IN AN OXISOL UNDER CITRUS

Temporal stability is described as the temporal persistence of a spatial pattern and is evaluated through correlation analysis of successive measurement data. In this study, the soil water storage was evaluated along two 76 m transects, each of them sampled at 20 points. The soil is an Oxisol (Yellow Red Latosol) under an 11-year-old citrus orchard, in Piracicaba-SP, Brazil. Soil water content, for the calculation of soil water storage in the layer 0.0–1.10 m, was obtained from weekly neutron probe readings at depths of 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.0 and 1.10 m. Soil water storage was calculated by Simpson's method. The mean soil water storage for the three study years showed similar distribution over time. The linear correlation coefficient and Spearman rank correlation were high between year 1 and 2, year 2 and 3, and year 1 and 3, indicating temporal stability and a significant temporal persistence of the spatial pattern observed. A moderate space dependence of 17.10 m was verified for the exponential semivariogram. For the relative difference technique the following points presented stable behavior over time: point 29 for years 1 and 2, and points 16, 29 and 39 for year 3. These points can be used to estimate the mean soil water storage. Point 29 is the most recommendable for both gravimetric and volumetric soil water storage because of the stability in the three studied years.

Index terms: variability, transect, neutron probe.

INTRODUÇÃO

A quantidade de água consumida por uma cultura agrícola, durante o seu desenvolvimento, varia com a distribuição espacial e temporal do clima, da variedade da cultura e do manejo do sistema agrícola, que altera as propriedades físicas do solo diretamente relacionadas à armazenagem de água. É importante o conhecimento de como as plantas utilizam a água retida no solo e de como respondem à armazenagem, principalmente em estudos da agricultura de precisão, com base em princípios de gerenciamento agrícola de informação sobre as variabilidades espacial e temporal dos fatores de produção e da produtividade (Mercante et al., 2003).

A variação da armazenagem de água na planta é consequência da defasagem temporal entre a absorção de água e a perda na fase de vapor pela planta, que conduz ao desenvolvimento de déficits hídricos a curto e a longo prazo, os quais dependem de um conjunto de fatores que afetam a absorção e transpiração (Angelocci, 2002). Portanto, é importante o conhecimento do solo no que diz respeito às propriedades que

que variam no espaço – profundidade, capacidade de infiltração de água no solo, fertilidade, ocorrência de pragas e doenças e r

(Gonçalves et al., 2001). A condutividade hidráulica apresenta variabilidade espacial e está diretamente relacionada com a drenagem interna no solo. Ruiz & Utter (1982) verificaram coeficiente de variação de 100% (Warrick & Nielsen (1980), de 420 %. Mallarino (1996), estudando a variabilidade espacial das propriedades hidráulicas do solo, obtiveram um valor de 100% para a condutividade hidráulica, 50% para o máximo de variação para a condutividade hidráulica, 599, 322 e 879 % para as profundidades de 0,1, 0,5 e 0,9 m, respectivamente; para o conteúdo residual de água e porosidade no solo a variação foi de 53 e 156 %, respectivamente, necessitando de grande número de amostras para bem representar a área do local de estudo, o que se reflete em sua variação temporal.

Em face de as análises da variabilidade hidráulica do solo no campo necessitarem de grande número de observações, pesquisas para o desenvolvimento de técnicas, a fim de minimizar o número de obser-

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS ARMAZENAGENS GRAVIMÉTRICA E VOLUMÉTRICA...

observações, de forma a caracterizar o comportamento do solo no campo, definindo o conceito de estabilidade temporal como a associação invariável no tempo entre local no espaço e valores de parâmetros da estatística clássica. Seus dados mostraram que a variabilidade espacial do conteúdo de água no solo no campo pode ser explicada pela variabilidade da textura do solo: os locais com maior teor de argila permaneceram sempre mais úmidos ao longo do tempo.

Kachanoski & De Jong (1988), trabalhando na mesma linha, aprofundaram o estudo da dependência de escala da estabilidade temporal para avaliar as alterações espacial e temporal da armazenagem de água no solo. A estabilidade temporal foi avaliada pela análise de correlação de medidas em datas sucessivas, e a análise de coerência foi sugerida como um método para examinar a persistência temporal. Os resultados mostraram que o padrão espacial da armazenagem de água no solo em pequenas escalas foi alterado pela recarga, mas na secagem esse padrão não foi alterado.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espaço-temporal da armazenagem de água em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com citros.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo experimental foi realizado em uma área de citros do campus Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP ($22^{\circ}42'43''S$, $47^{\circ}37'10''W$ e 546 m de altitude). O solo é um Latossolo Vermelho-Amarelo argissólico (Embrapa, 1999), relevo suave, com declividade máxima de 3 %. A parcela experimental constituiu-se de duas transeções (duas linhas) com 20 pontos de observação espaçados de 4,0 m, cada um deles localizado no centro da distância entre duas plantas ao longo da linha. A cultura de citros foi implantada em março de 1991, num espaçamento de 4,0 m entre plantas e 7,0 m entre linhas, com o sentido do plantio em nível. Rocha et al. (2004) avaliaram a textura desse solo, nos quarenta pontos de observação, até a profundidade de 1,10 m, com incrementos de 0,10 m; os resultados entre pontos não apresentaram diferenças significativas, demonstrando uniformidade. A cultivar é a Valéncia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), sobre o porta-enxerto Cleópatra. Em cada ponto de observação foi instalado um tubo de Al de 1,50 m de comprimento (1,20 m abaixo da superfície do solo), com 45 mm de diâmetro interno e 1,5 mm de espessura de parede, para acesso de uma sonda de nêutrons, modelo Hydroprobe 503 – CNP Corporation. Com a sonda de nêutrons foram realizadas leituras semanais às profundidades de 0,20, 0,40, 0,60, 0,80, 1,0 e 1,10 m, para cálculo da armazenagem de água no solo no perfil de 0,00-1,10 m.

($h_{1,10}$), foi determinada utilizando-se os conteúdos de água, obtidos a partir das realizadas com a sonda de nêutrons, pelo módulo Simpson (Libardi, 2005), segundo a equação:

$$h_{1,10} = (0,2 \cdot \theta_{0,20}) + 0,20/3 [\theta_{0,20} + (4 \cdot \theta_{0,40}) + (2 \cdot \theta_{0,60}) + (4 \cdot \theta_{0,80}) + \theta_{1,0}] + (0,1 \cdot \theta_{1,10})$$

em que $h_{1,10}$ é expresso em m de água e θ é a armazenagem volumétrica, com seu subíndice sendo a profundidade (m) de medida.

O presente trabalho foi desenvolvido por unidade de três anos. Durante os dois primeiros, Ribeiro (2005) desenvolveu estudos na mesma área, calculando a armazenagem de água e as densidades de umidade à base de massa. Nesse período, em cada um dos 40 pontos da transeção, foram retiradas amostras com estrutura intacta ao longo do perfil de solo, para determinar a densidade do solo, com o que se pôde refazer os cálculos (para os dois primeiros anos) e apresentar novos para o terceiro ano, calculando a armazenagem a partir de valores de umidade à base de volume.

O período de avaliação foi de três anos: 2002/2003 e 2003/2004, denominados ano 1 e ano 3, respectivamente. Das respectivas profundações foram coletadas amostras indeformadas para determinação da densidade do solo (Embrapa, 1999) utilizada no cálculo da umidade e armazenagem volumétricas.

Para análise, os dados foram primeiramente apresentados com base na análise descritiva (Libardi, 1996), utilizando-se o software Statistica (Statsoft, 2005). Observado o comportamento geral das variáveis, por esta análise, procedeu-se, então, à sua análise multivariada, com interpretação, conforme a metodologia geostatística (Matheron, 1971), obtendo-se o semivariograma experimental; foi utilizado o programa GeoR (Ribeiro & Diggle, 2001) para verificação da dependência espacial da armazenagem de água no solo.

Na avaliação da estabilidade temporal da armazenagem de água no solo foram utilizados os seguintes índices: o coeficiente de posição de Spearman (r_s), a diferença relativa (Vachaud et al., 1985). Utilizou-se também o coeficiente de correlação (r), a inclinação e o intercepto das regressões lineares entre os conteúdos de água nos tempos sucessivos (Kachanoski & De Jong, 1988).

O coeficiente de Spearman, r_s , é dado por:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_{ij} - \bar{R}_{ij})^2}{n(n^2 - 1)}$$

em que n é o número de amostragens (leiaute).

corresponde a uma perfeita estabilidade entre os tempos j e j' , quanto mais próximo for o r_s de 1, maior a estabilidade do processo.

A diferença relativa (δ_{ij}) corresponde à diferença Δ_{ij} entre a determinação individual da armazenagem de água (S_{ij}) no local i e no tempo j e a média da armazenagem de água (\bar{S}_j) no mesmo tempo, dividida por \bar{S}_j , isto é:

$$\delta_{ij} = \frac{\Delta_{ij}}{\bar{S}_j} \quad (3)$$

sendo:

$$\Delta_{ij} = S_{ij} - \bar{S}_j \quad (4)$$

e

$$\bar{S}_j = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^{i=n} S_{ij} \quad (5)$$

em que n é o número de pontos (locais) de amostragem.

Quando essa diferença relativa apresentar pequena variação temporal entre as posições, é indicação de estabilidade temporal. A média no tempo dessa diferença relativa para cada local i , ou diferença relativa média, associada ao respectivo desvio-padrão, permite identificar uma ou mais posições que representam a média geral do campo, assim como os valores sub e superestimados: quando o desvio-padrão for menor, maior é a confiabilidade de utilizar o referido ponto para estimar a média geral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

À semelhança do que se encontrou para a armazenagem gravimétrica nos dois primeiros anos (Rocha et al., 2005), verifica-se, para a volumétrica, nos três anos, que os valores das medidas de tendência central (média e mediana) foram semelhantes, indicando simetria na distribuição dos dados em todos os pontos analisados (Quadro 1). Os valores de assimetria e curtose também ficaram próximos a zero, indicando que os dados se aproximam da normal, sendo aceitos os valores que ficam entre -2 e +2. Os coeficientes de curtose – quase todos negativos e com valor máximo absoluto próximo de 1 – levam a classificar as distribuições apresentadas no quadro 1 como leptocúrticas; em Rocha et al. (2005) elas foram caracterizadas como platicúrticas. Os coeficientes de variação para os três anos de observação ficaram entre 10,64 e 15,66 %; segundo Andriotti (2004), valores de coeficientes de variação abaixo de 40 % refletem homogeneidade da amostra.

concentração de valores ou de variação em determinada direção não podem ser identificadas, embora a variação no espaço (Gonçalves et al., 1999). com base nessas observações, admite-se a estacionariedade descrita pela hipótese intrínseca aceitável. Assim, foi verificada a dependência para a armazenagem de água durante os três anos de observação, utilizando o programa GeoR versão 1.7 (Ribeiro Júnior & Diggle, 2001). O uso de semivariogramas permitiu verificar qual o alcance do parâmetro em estudo, ou seja, que distância pode ser utilizada para realização das amostras sem prejudicar os resultados, sendo essa distância a dependência amostral. O semivariograma foi obtido pela verossimilhança dos dados, usando-se a função de correlação exponencial, e suavizado, condicionado ao atendimento da condição de estacionariedade, caracterizada como hipótese intrínseca.

A dependência espacial foi de 16,92; 16,76 e 17,10 m para o ano 1, ano 2, ano 3 e a média dos três anos, respectivamente. Na análise de dependência espacial das variáveis foi utilizada a classificação de Cambardella et al. (1994), em que os considerados de forte dependência espacial são os semivariogramas que têm efeito pepita ou patamar; moderada, quando entre 25 e 75 %; e fraca, quando > 75 %. Para os referidos dados, a dependência espacial foi classificada como moderada, visto que a relação efeito pepita e patamar é de 48, 43 e 44 % para o ano 1, ano 2 e ano 3, respectivamente (Quadro 2).

O alcance variou de 16 a 18 m e o efeito pepita correspondeu de 43 a 57 % do patamar total. Portanto, a estrutura de dependência é a responsável por cerca de 57 a 43 % da variação espacial.

Quanto ao comportamento da armazenagem de água no solo para os três anos, verifica-se que apesar de os valores em cada ponto não serem iguais, a sua distribuição ao longo do tempo, tanto para o período de recarga quanto para secagem, é de um comportamento semelhante, indicando a existência de estabilidade temporal (Figura 2). Gonçalves et al. (1999) encontraram valores de umidade e de armazenagem espacial estável no tempo, durante o período de secagem, na faixa que usualmente ocorre em solos irrigados. Nesse sentido, Rocha et al. (2005) encontraram valores de armazenagem de água no solo com padrão espacial estável ao longo do tempo, durante o período de recarga quanto no de secagem.

Os coeficientes de correlação linear e de Spearman foram altos entre o ano 1 e o ano 2, ano 1 e o ano 3, e entre o ano 2 e o ano 3 (Quadro 3), indicando a existência de estabilidade temporal e uma persistência significativa do padrão espacial observado. Os coeficientes de correlação de Spearman foram baixos para os três anos, correspondendo a uma dependência espacial moderada.

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS ARMAZENAGENS GRAVIMÉTRICA E VOLUMÉTRICA...

Quadro 1. Resumo estatístico dos valores de armazenagem da água no solo (m) em cada ponto, para de amostragem

| Ponto | Média | Mediana | L. máx. | L. mín. | Amp. total | Desvio-padrão | Curtose | Assimetria |
|-------|-------|---------|---------|---------|------------|---------------|---------|------------|
| 1 | 0,18 | 0,18 | 0,27 | 0,13 | 0,14 | 0,028 | 0,08 | -0,54 |
| 2 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,023 | -1,01 | -0,45 |
| 3 | 0,18 | 0,18 | 0,23 | 0,14 | 0,09 | 0,024 | -0,82 | -0,44 |
| 4 | 0,18 | 0,19 | 0,23 | 0,14 | 0,09 | 0,023 | -0,90 | -0,38 |
| 5 | 0,19 | 0,19 | 0,24 | 0,14 | 0,10 | 0,024 | -0,43 | -0,41 |
| 6 | 0,17 | 0,18 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,022 | -0,86 | -0,43 |
| 7 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,020 | -0,68 | -0,24 |
| 8 | 0,16 | 0,16 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,021 | -0,98 | -0,18 |
| 9 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,021 | -0,46 | -0,29 |
| 10 | 0,18 | 0,18 | 0,22 | 0,14 | 0,08 | 0,019 | -0,43 | -0,25 |
| 11 | 0,16 | 0,16 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,020 | -0,95 | -0,09 |
| 12 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,021 | -0,77 | -0,38 |
| 13 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,022 | -0,76 | -0,33 |
| 14 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,14 | 0,09 | 0,022 | -0,91 | -0,30 |
| 15 | 0,15 | 0,15 | 0,20 | 0,12 | 0,07 | 0,018 | -0,74 | -0,01 |
| 16 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,14 | 0,08 | 0,020 | -0,63 | -0,14 |
| 17 | 0,16 | 0,16 | 0,20 | 0,13 | 0,08 | 0,019 | -0,81 | -0,02 |
| 18 | 0,16 | 0,16 | 0,20 | 0,13 | 0,08 | 0,020 | -0,97 | 0,11 |
| 19 | 0,17 | 0,18 | 0,22 | 0,13 | 0,08 | 0,021 | -0,73 | -0,16 |
| 20 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,020 | -0,64 | -0,12 |
| 21 | 0,18 | 0,18 | 0,22 | 0,14 | 0,09 | 0,024 | -1,09 | -0,39 |
| 22 | 0,17 | 0,17 | 0,26 | 0,13 | 0,13 | 0,025 | 0,35 | -0,09 |
| 23 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,024 | -1,10 | -0,09 |
| 24 | 0,18 | 0,18 | 0,22 | 0,13 | 0,08 | 0,022 | -0,89 | -0,55 |
| 25 | 0,18 | 0,18 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,024 | -0,89 | -0,53 |
| 26 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,021 | -1,01 | -0,38 |
| 27 | 0,16 | 0,16 | 0,21 | 0,13 | 0,09 | 0,022 | -0,98 | -0,06 |
| 28 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,022 | -0,82 | -0,48 |
| 29 | 0,17 | 0,18 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,021 | -0,63 | -0,78 |
| 30 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,021 | -0,76 | -0,54 |
| 31 | 0,17 | 0,18 | 0,21 | 0,14 | 0,08 | 0,022 | -1,08 | -0,61 |
| 32 | 0,18 | 0,18 | 0,22 | 0,14 | 0,08 | 0,021 | -0,70 | -0,51 |
| 33 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,11 | 0,10 | 0,021 | -0,34 | -0,33 |
| 34 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,019 | -0,85 | -0,01 |
| 35 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,020 | -0,82 | -0,51 |
| 36 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,021 | -0,87 | -0,59 |
| 37 | 0,16 | 0,17 | 0,21 | 0,12 | 0,09 | 0,023 | -0,95 | -0,37 |
| 38 | 0,17 | 0,18 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,021 | -0,79 | -0,73 |
| 39 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,13 | 0,09 | 0,021 | -0,72 | -0,42 |
| 40 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,13 | 0,07 | 0,018 | -0,64 | -0,37 |

Quadro 2. Coeficientes do modelo ajustado aos semivariogramas para os anos de observação

| Ano | Alcance | Efeito pepita | Estrutura | Patamar | Efeito pepita/Patamar | Modo |
|-----|---------|---------------|-----------|---------|-----------------------|------|
| m | | | | | | |
| 1 | 17 | 0,24 | 0,26 | 0,50 | 0,021 | % |

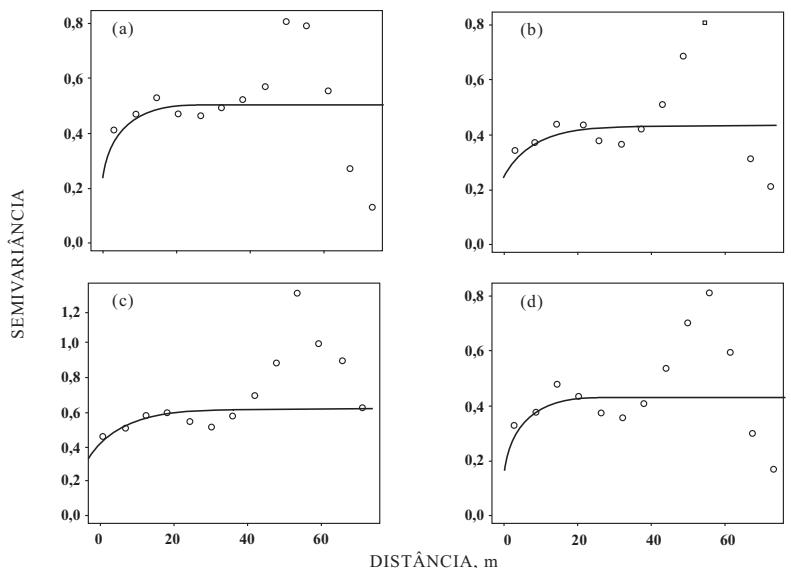


Figura 1. Semivariogramas para armazenagem média no tempo do ano 1 (a), ano 2 (b) ano 3 (c) e três anos (d), para o armazenamento de água no solo.

O coeficiente de determinação (R^2) indica o quanto da variância espacial observada no tempo t_2 pode ser

explicada pela variância no tempo t_1 , persistência do padrão espacial. Assim, visto que 83 % da variação no ano 2 é explicada pela variância do ano 1 e 77 % da variabilidade em ano 3 é explicada pela variabilidade em ano 2. Conclusões semelhantes podem ser obtidas a partir da relação às posições das observações de armazenamento de água no solo, a partir dos coeficientes de posição. Apesar da persistência temporal significativa do padrão espacial e das posições terem permanecido quase a mesma, a diferença relativa $\delta(\beta)$ não permaneceu constante. A inclinação e o intercepto da regressão (α) foram diferentes ($p < 0,05$) dos valores esperados se a diferença relativa $\delta(\beta)$ fosse constante (Kazuyuki & De Jong, 1988).

A inclinação e o intercepto deveriam ser 0,73 e 1,125 e 0 entre os anos 1 e 2 e 2 e 3, em vez de 0,73, 0,016 e 1,22, respectivamente. Os coefi-

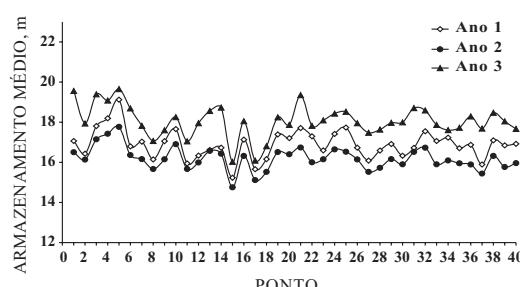


Figura 2. Armazenagem média de água no solo durante os três anos de observação.

Quadro 3. Parâmetros estatísticos para armazenagem de água no solo (0-1,10 m)

| Período | Média | Desvio-padrão | CV | Coeficiente de correlação ⁽¹⁾ | | |
|---------|-------|---------------|------|--|--------------|-------------|
| | | | | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 |
| | m | | % | | | |
| Ano 1 | 0,17 | 0,007 | 4,26 | 1 | 0,91 (0,81)* | 0,78 (0,73) |

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS ARMAZENAGENS GRAVIMÉTRICA E VOLUMÉTRICA...

correlação linear e de posição para as medidas de ano 1 e 2 e ano 2 e 3 são significativos para $p < 0,05$, mas 73 % do padrão espacial persistiu durante o período analisado.

Com relação ao desvio relativo médio, conforme Vachaud et al. (1985), verifica-se que os desvios-padrões foram muito baixos, variando de 0,010 a 0,029 para os três anos, mostrando a confiabilidade dos valores da diferença relativa. É importante lembrar que as diferenças relativas médias, associadas ao desvio-padrão no tempo, permitem identificar a posição cujos valores se aproximam da média em qualquer momento e que, quanto menor o desvio-padrão correspondente, maior a confiabilidade da medida naquele ponto para estimar a média geral.

O gráfico resultante da diferença relativa para as medidas ranqueadas (Figura 3) permite visualizar os valores da $\bar{\delta}_i$ (diferença relativa média) para a armazenagem de água no solo dos três anos; os valores de $\bar{\delta}_i$ estão listados do menor para o maior. Note que há valores que ou subestimam ($\bar{\delta}_i < 0$) ou superestimam ($\bar{\delta}_i > 0$) a armazenagem média de água no campo, independentemente da época da observação.

Verifica-se que o valor da armazenagem de água no local 15 é 9,90; 8,85; e 11,26 % menor que a média do primeiro, segundo e terceiro anos, respectivamente, enquanto no local 5 é 13,15; 9,74; e 8,83 % maior que a média para o primeiro, segundo e terceiro anos, respectivamente. Portanto, os pontos que mais se

distanciam da média, apresentando menor armazenagem, foram os mesmos para os três anos. Os valores que estão mais próximos da média, sentaram variação de um ano para outro, mas os pontos tiveram o mesmo comportamento. Para o ano 1, o ponto 29 foi o que apresentou valor próximo da média, com diferença relativa de 0,02 % e desvio-padrão de 0,021 e 0,025, respectivamente. Para o ano 3, foram os pontos 16, com diferença relativa de 0,02 % e desvio-padrão de 0,017; 39, com diferença relativa de 0,06 % e desvio-padrão de 0,014; e também o 29, com diferença relativa de 0,48 % e desvio-padrão de 0,014, os maiores da média. Portanto, o ponto 29 poderia ser usado para monitoramento da umidade no solo. O trabalho de Rocha et al. (2005) foi identificado os mesmos para os anos 1 e 2.

Esses dados referentes à diferença relativa mostram que, no geral, o fato de utilizar os mesmos pontos para monitorar a umidade à base de massa ou de volume para a armazenagem, ou seja, considerar ou não a profundidade do solo, não altera os pontos identificados como os mais representativos da área para o solo. Esse fato é importante, pois indica que é possível selecionar o(s) ponto(s) pelas medidas gravimétricas.

Percebe-se, pelo quadro 5, que os valores da densidade do solo variam (diminuem) em profundidade, com exceção da profundidade de 0,50 m, que é a mais baixa, de 3,02 a 4,11 %, mostrando que a armazenagem volumétrica não difere da gravimétrica.

Quadro 4. Parâmetros de regressão para armazenagem de água no solo (S_g)

| Período | Inclinação da regressão | | | Intercepto da regressão | | |
|---------|-------------------------|--------|--------|-------------------------|-------|-------|
| | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 |
| Ano 1 | 1 | 0,0387 | 0,0345 | 1 | 0,73 | 0,86 |
| Ano 2 | | 1 | -0,016 | | 1 | 1,22 |
| Ano 3 | | | 1 | | | 1 |

Quadro 5. Resumo estatístico dos valores de densidade do solo (kg m^{-3}), para cada profundidade amostragem

| Profundidade | Média | Mediana | L. Mín. | L. Máx. | Amp. Total | Desvio-padrão | Curtose | Assimetria |
|--------------|-------|---------|---------|---------|------------|---------------|---------|------------|
| 0,30 | 1709 | 1704 | 1553 | 1842 | 288 | 70,26 | -0,32 | 0,25 |
| 0,50 | 1659 | 1653 | 1532 | 1801 | 269 | 50,14 | 0,96 | 0,40 |
| 0,70 | 1617 | 1601 | 1486 | 1756 | 270 | 50,30 | 0,30 | 0,15 |

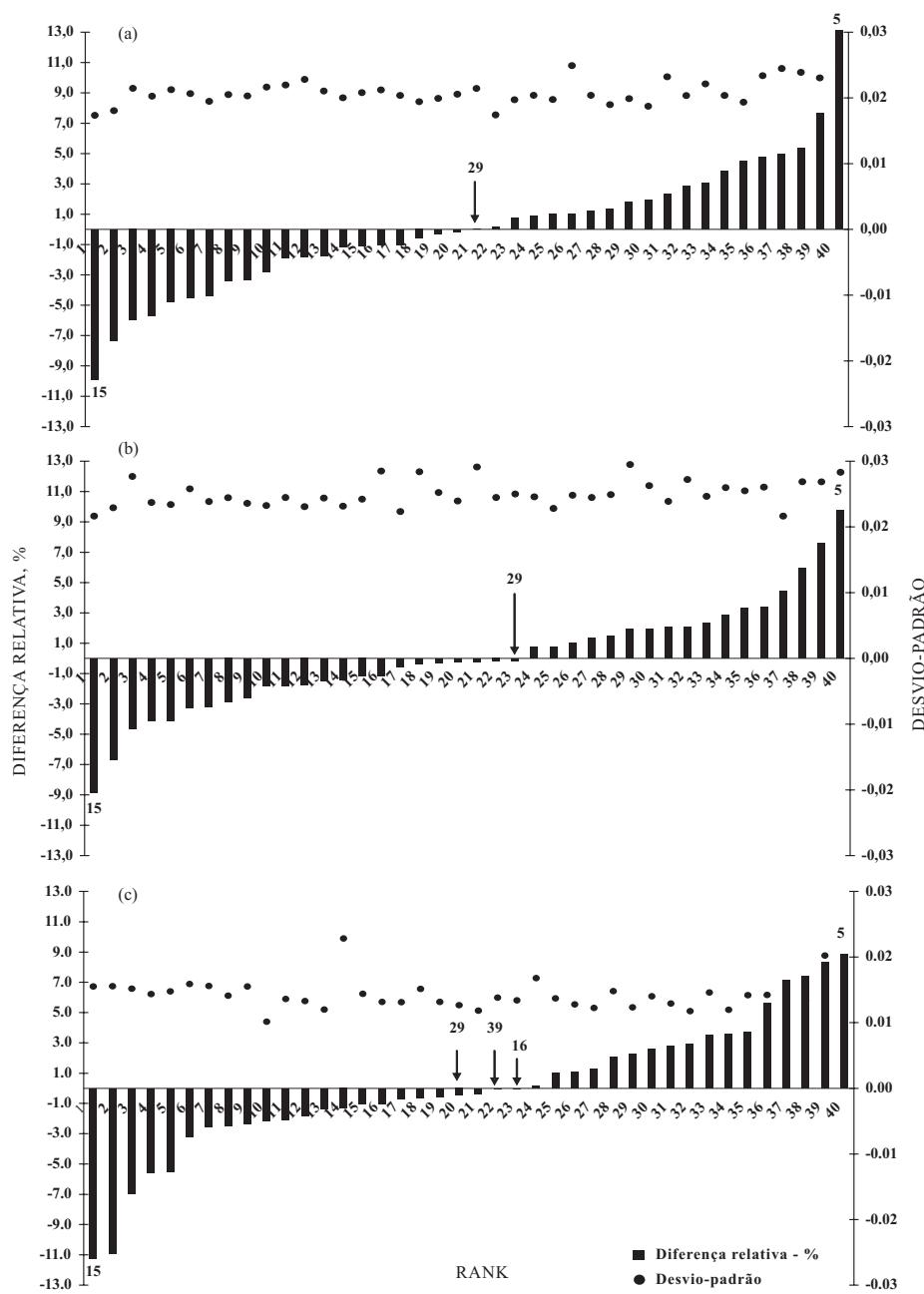


Figura 3. Diferença relativa média e respectivo desvio-padrão para o ano 1 (a), ano 2 (b) e ano 3 (c) na armazenagem de água no solo, listada do menor para o maior valor. Os números referem-se de medidas.

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS ARMAZENAGENS GRAVIMÉTRICA E VOLUMÉTRICA...

exatidão, os locais mais adequados para as amostragens, possibilitando a redução do número de amostras necessárias e do custo de execução do esforço amostral para o planejamento de sistema de uso e manejo de água na agricultura.

Na figura 4 encontram-se a representação gráfica da média geral da armazenagem de água no solo e os pontos que mais se aproximaram da média, ou seja, os pontos que apresentaram estabilidade temporal pela técnica da estabilidade de Vachaud et al. (1985). Essa representação possibilita melhor visualizar o comportamento dos pontos em relação à média, confirmando a escolha deles, cuja diferença relativa foi mais próxima de zero e com menor desvio-padrão.

Esse método de escolha do ponto amostral tem aplicação bastante prática, visto que dá a indicação de como se pode realizar a amostragem com segurança da representatividade da área e reduzir o número delas, mesmo para propriedades de grande variabilidade, diminuindo o custo e o tempo despendido, podendo ser utilizada em áreas comerciais com finalidades diversas. Por exemplo, em áreas irrigadas poder-se-

iam determinar pontos de amostragem que tam a média de toda a área e, neles, monitorar a disponibilidade de água por meio de tensiómetro. Da forma, há melhor controle do sistema, reduzindo custos e impactos ambientais gerados pelo uso excessivo de água e eventual perda de solo devido à saturação excessiva.

Neste trabalho, qualquer um dos pontos mostrou estabilidade temporal e poderia ser usado para representar a área. O ponto 29 foi o que se aproximou da média nos três anos de avaliação da armazenagem volumétrica; portanto, pode ser ponto de amostragem representativo da área para monitoramento da armazenagem de água no solo, com fins de estudo de balanço hídrico da cultura e suas aplicações. Para armazenagem gravimétrica, o ponto mais representativo foi o 28 (Rocha et al., 2004), distante apenas 4 m do ponto 29.

CONCLUSÕES

1. Os valores de armazenagem da água no solo apresentaram-se estáveis ao longo do tempo, avaliados pelo coeficiente de correlação de Sóderbergh e pela técnica da diferença relativa entre os pontos. Isso permitiu também identificar pontos que representam a média da área, independentemente do ponto de amostragem. Por meio de semivariograma, é possível verificar a variabilidade espacial e a dependência de 17,10 m.

2. Como os valores se repetiram ao longo dos três anos com considerável margem de acerto, deve-se realizar estudos semelhantes com coletas de dados de solo.

3. Os valores de armazenagem da água no solo apresentaram dependência espacial de 17,10 m e estabilidade temporal. No caso dessa área, a armazenagem volumétrica não difere da armazenagem gravimétrica. Na avaliação da estabilidade temporal da armazenagem de água no solo, os métodos do coeficiente de posição de Sóderbergh e da diferença relativa demonstraram a estabilidade dos valores ao longo dos três anos e permitiram identificar pontos que representam o valor médio da área. Como os valores se repetiram ao longo dos três anos com considerável margem de acerto, deve-se realizar estudos semelhantes com coletas de dados de solo, mas apenas um ano.

LITERATURA CITADA

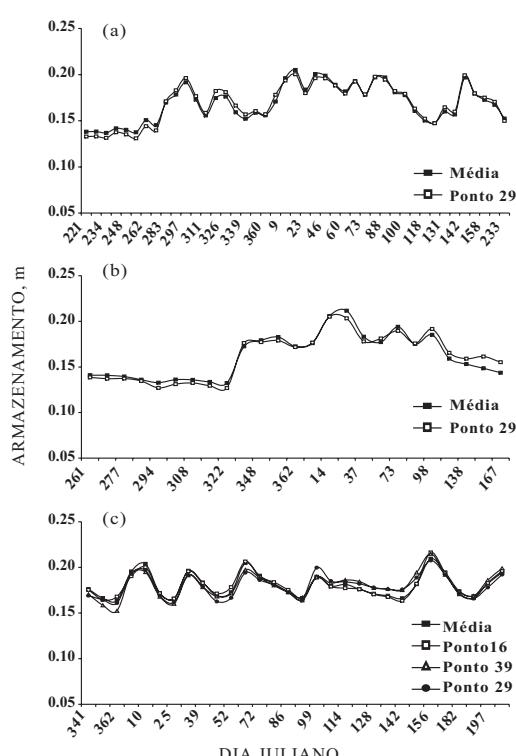


Figura 4. Comparação entre o armazenamento...

- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.58, p.1501-1511, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V. & SILVA, A.P. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:155-164, 1999.
- GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V. & VIANA, J.D. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Sci., 23:1149-1157*, 2001.
- KACHANOSKI, R.G. & De JONG, E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. *Water Res. Res.*, 24:85-91, 1988.
- LIBARDI, L.P.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. & TUON, R.L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:1-12, 1996.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo, EDUSP, 2005. 335p.
- MALLANTS, D.; MOHANTY, B.P.; JACQUES, D. & FEYEN, J. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. *Soil Sci.*, 161:167-181, 1996.
- MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its application. *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique*, Fas. 5, C. G. Fontainebleau. 1971.
- MELO FILHO, J.F. & LIBARDI, P.L. Estabilidade das medidas do teor e do potencial mátrico da água em uma transeção. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:497-504, 2005.
- MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M.A. & SOARES, J. Variabilidade espacial e temporal da resistência do solo à penetração em áreas com e sem manancial localizado. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1149-1159, 2003.
- RIBEIRO JUNIOR, P.J. & DIGGLE, P.J. GeoR: A geostatistical analysis. *R.News*, 1:15-18, 2001.
- ROCHA, G.C. Estabilidade temporal da distribuição da armazenagem, do gradiente de potencial mátrico da água, em um solo cultivado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Pereiro Queiroz", 2004. (Tese de Doutorado)
- ROCHA, G.C.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A. & C.R. Estabilidade temporal da distribuição da armazenagem de água em um solo cultivado. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:42-50, 2005.
- RUIZ, P.M.E. & UTSET, S.A. Uso del modelo swi para estimación de las necesidades hídricas de la papa (*Solanum tuberosum* L.), determinación de las propiedades hidráulicas del suelo. *Revista Ciências Agronômicas e Agropecuárias*, v.18, 1999. Disponível em: www.redepapa.org/propiedadsuelo.pdf. Acesso em: 10 set. 2005.
- STATSOFT. Statistica Release 7.1. Tulsa, 2005.
- VACHAUD, G.; PASSERAT, A.S.; BALABA, J. & VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially variable soil water probability density function. *Soil Sci. J.*, 49:822-827, 1985.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variation of physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Principles and applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. p.344.