

VARIABILIDADE ESPACIAL E ESTABILIDADE TEMPORAL DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM SOLO ARENOSO CULTIVADO COM VIDEIRAS IRRIGADAS

LUIS CÉSAR DE AQUINO LEMOS FILHO¹; LUÍS HENRIQUE BASSOI² E
MANOEL ALVES DE FARIA³

¹ Professor Doutor, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas - Campus Mossoró, Av. Francisco Mota, nº 572, Costa e Silva, 59.625-900, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. E-mail: icalfilho@ufersa.edu.br

² Pesquisador Doutor, Embrapa Instrumentação - São Carlos, São Paulo. E-mail: luis.bassoi@embrapa.br

³ Professor Doutor, Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia - Lavras, Minas Gerais. E-mail: mafaria@deg.ufla.br

1 RESUMO

O comportamento espaço-temporal da água no solo é fundamental para um manejo preciso da irrigação. Assim, este trabalho analisa o comportamento espacial e a estabilidade temporal do armazenamento de água no solo, a fim de determinar pontos da área que possam representar o valor médio espacial da umidade. O trabalho foi realizado numa área com solo predominantemente arenoso (Neossolo Quartzarênico), cultivado com videira e irrigado por microaspersão, em Petrolina-PE. O monitoramento da água no solo foi realizado por tensiometria. As análises estatísticas e geoestatísticas foram realizadas pelos softwares Statistica Development Environment, GS+ e GeoR. As técnicas sugeridas por Vachaud et al. (1985) e Kachanoski e De Jong (1988) foram usadas para avaliar a estabilidade temporal da água no solo, ao longo do tempo. A geoestatística foi adequada para descrever a estrutura de dependência espacial do armazenamento de água no solo e, para algumas datas, estabilidade temporal foi boa, em todos os pontos (39) monitorados na área. Para a camada de 0-20 cm, os pontos 32 e 10 foram os mais indicados como representativos da média espacial do armazenamento de água no solo; já para a camada de 20-40 cm foi o ponto 37 que melhor representou a média espacial. Logo, esses pontos (10, 32 e 37) são os melhores representantes para realização de uma amostragem de água no solo; além disso, esses pontos, poderiam ser utilizados para o monitoramento, para fins de manejo de irrigação. A variabilidade espacial da água no solo mostra a importância do manejo diferenciado da irrigação, considerando-se as diferentes zonas do solo e não a área como sendo homogênea (como é feito na atualidade).

Palavras-chave: semivariogramas, krigagem, teste de Spearman, teste de Pearson.

LEMOS FILHO, L. C. de A.; BASSOI, L. H.; FARIA, M. A. de
SPATIAL VARIABILITY AND TIME STABILITY OF WATER STORED IN A
SANDY SOIL CULTIVATED WITH IRRIGATED VINES

2 ABSTRACT

The water spatiotemporal behavior in soil is crucial for precise irrigation management. This work analyzes the spatial behavior and the temporal stability of water storage in the soil, in

order to determine points of the area that can represent the spatial average value of moisture. The study was conducted in an area with predominantly sandy soil (Quartzarenic Neosol), cultivated with vine and micro sprinkler irrigation system in Petrolina. Monitoring soil water was carried out by tensiometry. Statistical analysis and geostatistical were performed by Statistica software development environment, GS + and GeoR. The techniques suggested by Vachaud et al. (1985) and Kachanoski and De Jong (1988) were used to evaluate the temporal stability of the water in the soil over time. Geostatistics was adequate to describe the spatial dependence structure of water storage in the soil and, for certain dates, temporal stability was good in all points (39) in the monitored area. For 0-20 cm, paragraphs 32 and 10 were the most indicated as representative of the spatial average water storage in the soil; already for the 20-40 cm layer was point 37 that best represented the spatial average. Therefore, these points (10, 32 and 37) are the best representatives for the realization of a water sampling in soil; In addition, these points could be used for monitoring for the irrigation purposes. The spatial variability of soil water shows the importance of different irrigation management, considering the different soil zones and not the area to be homogeneous (as is done today).

Keywords: variogram, kriging, Spearman test, Pearson test.

3 INTRODUÇÃO

A fruticultura irrigada no Vale do São Francisco é um importante componente do agronegócio brasileiro, sendo a videira uma das espécies frutícolas de maior destaque nesse contexto (Bustamante, 2009); seu sistema de produção é caracterizado pelo uso da irrigação ao longo de todo o ciclo de produção, porém o manejo da água no solo tem sido feito, basicamente, em função de dados climáticos, não se levando em consideração o solo e sua variabilidade espaço-temporal (Basso et al., 2010).

A análise da variabilidade do solo por meio de técnicas da geoestatística é considerada um princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas (Grego & Vieira, 2005) e pode indicar alternativas de manejo para reduzir os efeitos da variabilidade sobre a produção das culturas.

A água armazenada no solo é uma das propriedades de maior importância para fins de irrigação, motivo pelo qual, sua variabilidade espaço-temporal contribui para a variação na eficiência de aplicação de água na irrigação (Guimarães et al., 2010). Ou seja, o mapeamento da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo pode ser útil para a aplicação de água por zonas de manejo, de forma diferenciada, favorecendo a otimização da produtividade, aumentando a eficiência do insumo, maximizando os benefícios e reduzindo custos.

Muitos trabalhos têm sido publicados sobre a variabilidade espacial desses atributos do solo, porém menor atenção tem sido dada à variabilidade temporal dos mesmos. Apesar disto, nos últimos anos o interesse pela análise da dinâmica temporal, tem aumentado, principalmente da umidade (água) do solo, de forma especial após a publicação do artigo de Vachaud et al. (1985).

Para Kaschanoski e De Jong (1988), a estabilidade temporal é descrita como a persistência temporal de um padrão espacial e é avaliado usando-se as análises de correlação dos dados medidos de forma sucessiva. O conhecimento da interação entre os processos e as escalas espacial e temporal, é fundamental no entendimento do comportamento do sistema solo; portanto, a escala de dependência da estabilidade temporal foi utilizada para avaliar as alterações espaciais e temporais da armazenagem de água no solo.

Schneider et al. (2008) mencionam que o método da estabilidade temporal já foi aplicado em vários estudos relacionados ao conteúdo de água no solo em diversos países, ou seja, em condições edafoclimáticas diferenciadas e com amostras de diversas magnitudes. O mesmo autor afirma, ainda, que a persistência temporal do padrão do conteúdo de água no solo pode ser influenciada pela vegetação, pelas propriedades do solo, pelas condições climáticas e pela topografia.

Muitos estudos têm demonstrado que o conteúdo de água no solo varia com o tempo e com a localização espacial e que os padrões de variabilidade espacial não mudam com o tempo quando as observações são ranqueadas, ou seja, são estáveis no tempo (Martínez-Fernandez & Cebalhos, 2003; Rocha et al., 2005; Carvalho, 2006; Moreti et al., 2007).

Em diversos estudos de estabilidade temporal da variação espacial da água no solo (Martínez-Fernandez & Cebalhos, 2003; Rocha et al., 2005; Carvalho, 2006; Moreti et al., 2007; Medeiros et al., 2007; Ávila et al., 2010; Monte-Mor et al., 2012; Salvador et al., 2012) foram constatados a persistência no tempo das distribuições de umidade, sendo possível identificar pontos de amostragem cujos valores permitam estimar a média geral da umidade na área, a qualquer momento. Portanto, esses estudos alcançaram uma das metas elaboradas por Vachaud et al. (1985), que tem como propósito na análise da estabilidade temporal, o de oferecer um método que pudesse reduzir o número de locais de medidas necessários para analisar o comportamento de um solo.

Em função disto, este trabalho, que foi realizado em uma área cultivada com videira, no município de Petrolina-PE, teve como objetivo analisar a variação espacial e a estabilidade temporal da armazenagem de água no solo, para determinar pontos da área que possam representar um valor médio espacial de umidade do solo e contribuir para uma orientação melhor na tomada de decisão quanto ao manejo de irrigação localizada.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área, sob as coordenadas geográficas 09°21'07'' de latitude Sul e 40°27'05'' de longitude Oeste e altitude média de 380 metros, cultivada com videira (*Vitis vinifera* L.) cv. Festival (apirência) sobre porta-enxerto SO4, plantada em 2002 no espaçamento 4 x 3.5 m e irrigada por microaspersão, em Petrolina, PE, região semiárida do Nordeste brasileiro. O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico, conforme EMBRAPA (2006).

Em função dos mapas de krigagem da capacidade de água disponível no solo determinada para área experimental e mostrado em Bassoi et al. (2007), foram instaladas na área, de forma distribuída, 39 baterias de tensiômetros, em que cada bateria possuía dois tensiômetros monitorando o potencial matricial do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, pois as raízes das videiras em solos do Submédio do Vale do São Francisco apresentam a maior parte do sistema radicular até a profundidade de 60 cm (Bassoi et al., 2002; Bassoi et al., 2003).

As baterias de tensiômetros foram ranqueadas de 1 a 39, conforme a localização na área. As leituras dos potenciais matriciais nos tensiômetros foram realizadas semanalmente, dentro do ciclo de produção de uva (julho a novembro de 2007), com tensímetro digital de punção, cujo funcionamento foi descrito por Marthaler et al. (1983). A facilidade de operação do aparelho e a rapidez na tomada das leituras agilizaram o processo, evitando intervalos de tempo longos entre a primeira e a última leitura. As leituras foram iniciadas sempre no mesmo horário e seu ordenamento sempre foi o mesmo. Através dos potenciais matriciais, os valores

de umidade do solo para cada ponto e profundidade foram determinados utilizando-se as curvas características de retenção de água do solo, determinadas pela metodologia de Arya & Paris (1981), para cada ponto e sua respectiva profundidade. Para determinação do valor de armazenamento de água, em determinado instante, utilizaram-se os valores de umidade do solo, para as diferentes camadas, expressos com base em volume, conforme metodologia descrita por Reichardt e Timm (2004).

As análises de estatística e geoestatística foram realizadas pelos programas Statistica Development Environment, GS+ (Gamma Design Software, 2004) e GeoR (Ribeiro Júnior & Diggle, 2001). Foram construídos os semivariogramas experimental e teórico, com seus parâmetros de ajustes (efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C ; e alcance, A) para os modelos exponencial, esférico e gaussiano, pelo método de ajuste da máxima verossimilhança (MV). A estrutura de dependência espacial foi avaliada pelo grau dessa dependência (Cambardella et al., 1994), que considera o grau de dependência espacial forte, quando a relação $C_0/(C_0+C)$ for menor que 25%, moderado quando a relação estiver entre 25 e 75% e fraco quando a relação for maior que 75%.

Uma vez detectada a estrutura de dependência espacial, os mapas de contorno foram construídos por meio do interpolador geoestatístico de Krigagem (Vieira, 2000) para, a partir daí, fazer a análise da correlação espacial existente entre elas visando fornecer subsídios para identificar as diferentes zonas homogêneas na área. Em seguida utilizou-se das técnicas sugeridas por Vachaud et al. (1985) e Kachanoski e De Jong (1988) para avaliar a estabilidade temporal da armazenagem de água no solo, ao longo do tempo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 podem-se visualizar os valores das medidas de tendência central: média (μ), mediana (η), valor máximo ($V_{m\acute{a}x}$) e valor mínimo ($V_{m\acute{i}n}$); e medidas de dispersão: desvio padrão (σ), coeficientes de variação (CV), assimetria (CS) e curtose (CK) para as camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm de profundidade.

Tabela 1. Estatística descritiva para os dados de armazenamento médio (mm) no período monitorado.

Perfil (cm)	μ (mm)	η (mm)	$V_{m\acute{a}x}$ (mm)	$V_{m\acute{i}n}$ (mm)	σ	CV (%)	CS	CK
0-20	27,2	27,4	35,4	20,3	4,6	16,9	0,1	-1,0
20-40	25,6	25,9	36,0	17,8	4,1	16,2	0,0	-0,2

Os armazenamentos médios foram de 27,2 mm (variando de 20,3 a 35,4 mm) e de 25,6 mm (variando de 17,8 a 36 mm), para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente. Ocorreu simetria nas distribuições dos dados, em virtude da semelhança entre as medidas de posição (média e mediana), constando que as distribuições se aproximam da distribuição normal, uma vez que na distribuição normal à média e a mediana são iguais. Um fundamento comum da modelagem aleatória é que os dados tenham distribuição normal, a partir da qual toda inferência geoestatística pode ser realizada. A geoestatística não exige normalidade dos dados para ser aplicada; contudo, se existir, as inferências realizadas receberão propriedades estatísticas ótimas, tal como a máxima verossimilhança.

Os coeficientes de variação foram de 16,9% para 0-20 cm e de 16,2% para 20-40 cm, classificados, conforme Warrick & Nielsen (1980), como variável de média magnitude de

variação. Os dados de desvio padrão e coeficiente de variação dão ideia da magnitude de variabilidade das propriedades analisadas; porém nada informa quanto à estrutura de dependência espacial, o que só é possível através de técnicas de geoestatística.

Na Tabela 2 se apresentam os valores do efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$), alcance (A) e grau de dependência espacial (GD) dos dados de armazenamento médio (mm) para os modelos testados (exponencial, esférico e gaussiano) pela máxima verossimilhança (MV). Empregando-se a escala de dependência espacial determinada por Cambardella et al. (1994), verificou-se que para os semivariogramas obtidos nas camadas de 0-20 cm, somente o modelo exponencial apresentou forte dependência espacial, visto que os valores do efeito pepita (C_0), foram inferiores a 25% do valor do patamar ($GD < 25\%$). Os outros modelos testados (esférico e gaussiano) apresentaram dependência espacial moderada (valor do efeito pepita superior a 25% e inferior a 75% do valor do patamar), mas com bons valores de grau de dependência espacial (GD); já para a camada de 20-40 cm, todos os modelos apresentaram alta dependência espacial, constatada pelos valores do efeito pepita (C_0), inferiores a 25% do valor do patamar.

Tabela 2. Efeito pepita (C_0), Patamar ($C_0 + C$), Alcance (A) e grau de dependência espacial (GD) para os modelos de semivariogramas testados (exponencial, esférico e gaussiano) pelo método da máxima verossimilhança (MV).

Camada (cm)	Modelo	C_0	C_0+C	A (m)	$GD=(C_0/C_0+C)$ (%)
0-20	Exponencial	5,86	26,13	2,29	22,43
	Esférico	12,69	32,94	10,08	38,54
	Gaussiano	14,77	35,04	5,24	42,16
20-40	Exponencial	0	16,35	2,37	0,00
	Esférico	0	16,10	6,12	0,00
	Gaussiano	0	16,22	3,00	0,00

O efeito pepita (C_0) reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para o outro. O valor de 0% indica que o erro experimental é praticamente nulo e não existe variação significativa a distâncias menores que a amostrada (Trangmar et al., 1985) e, quanto menor a proporção do efeito pepita para o patamar, maior será a semelhança entre os valores vizinhos e a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa; portanto, maior é a confiança que se pode ter nas estimativas (Vieira, 1997). Pode-se observar, na Tabela 2, que vários modelos testados apresentaram C_0 baixo, indicando que em pequenas distâncias de separação entre os pontos, a variabilidade é pequena, significando que para este parâmetro a distância de estudo foi adequada.

O alcance é de fundamental importância para a interpretação de semivariogramas pois indica a distância máxima em que os pontos amostrais são relacionados (Vieira et al., 1983), sendo uma das principais utilizações dos semivariogramas a determinação do número ideal de amostras. Amostras separadas por distâncias menores que o alcance são espacialmente dependentes; e aquelas separadas por distâncias maiores não são, ou seja, um semivariograma igual à variância dos dados implica em variação aleatória. O alcance também é utilizado para definir o raio de ação máximo de interpolação por krigagem.

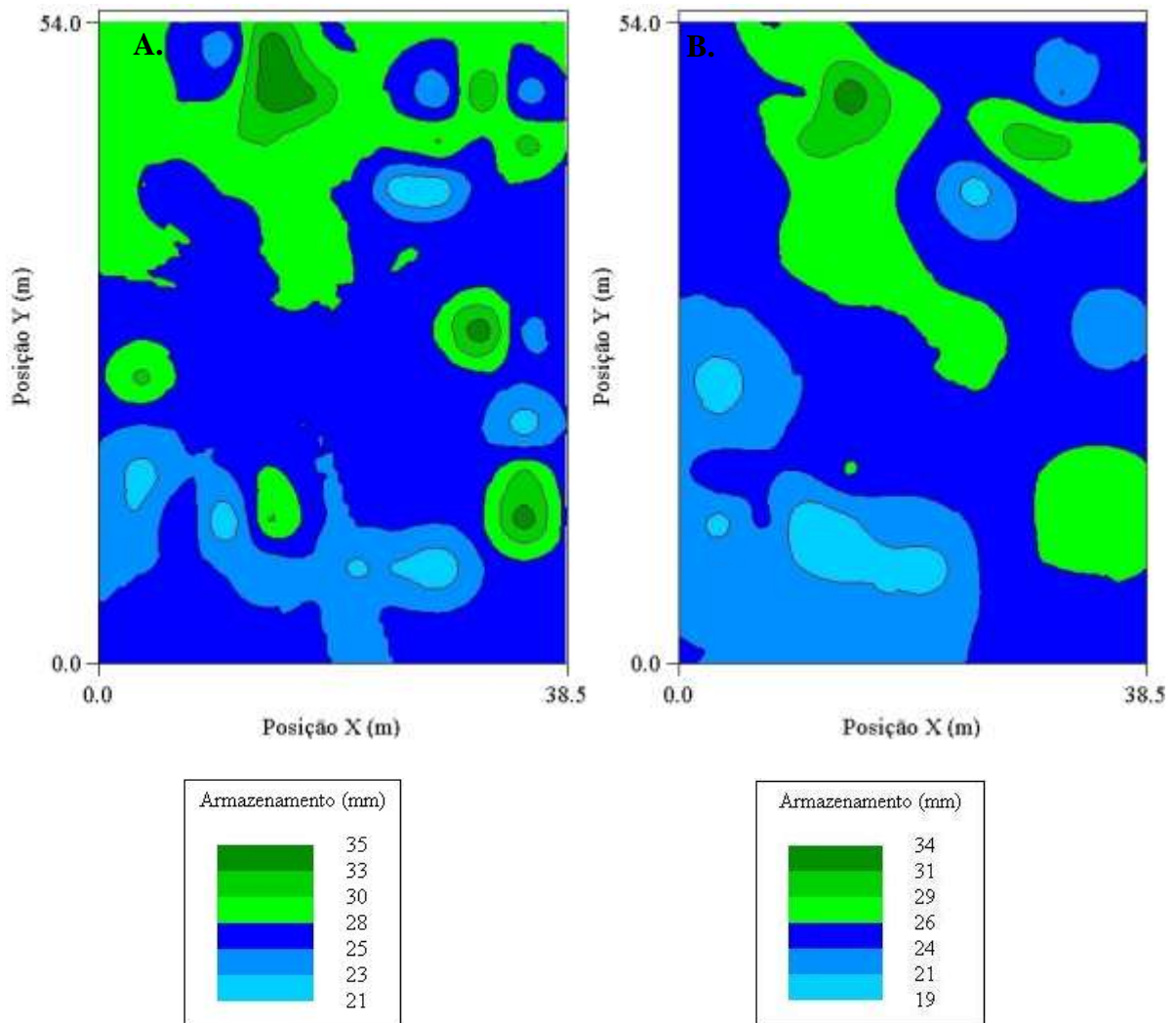
Os resultados dos semivariogramas (Tabela 2) mostraram que os alcances foram bem variados, apresentando valores da ordem de 2,29 a 10,08 metros; e efeito pepita correspondendo a uma variação de 0% a 42,16% do patamar. Não foi avaliada a anisotropia dos dados, realizando-se todas as análises geoestatísticas utilizando-se semivariogramas

omnidirecionais, nos quais apenas a distância de separação entre as amostras é importante no cálculo da função semivariância e não o vetor entre as mesmas.

Os resultados deste trabalho em relação à dependência espacial do armazenamento de água no solo, corroboram com os de Rocha et al. (2005), Faulin (2005) e Moreti et al. (2007), pois em todos esses trabalhos foram encontrados valores de forte dependência espacial para os estudos da água no solo.

Para realização do mapeamento por krigagem (Figura 1) foi considerado o modelo de melhor ajuste para cada camada analisada (0-20 e 20-40 cm). Comparando-se os mapas, observa-se que o armazenamento de água no solo apresentou comportamentos diferentes na variabilidade espacial de cada profundidade, porém apresentaram zonas homogêneas espaciais semelhantes, havendo tendência do armazenamento médio de água no solo (mm) se apresentar maior na parte superior da área experimental e menor na parte inferior. Este mesmo comportamento também foi observado nos mapas de capacidade de água disponível no solo para essa mesma área, no trabalho de Bassoi et al. (2007); daí, pode-se afirmar que onde possui uma capacidade maior de água disponível no solo, na prática também haverá um armazenamento médio maior.

Figura 1. Krigagem para o armazenamento médio nas camadas de 0-20 (A) e 20-40 (B) cm de profundidade.



No manejo prático da irrigação, a determinação da lâmina de água a ser aplicada numa área leva em consideração, geralmente, o valor médio como sendo representativo de toda área. Procedimento que fatalmente ocasionará um erro nessa prática, visto que a água no solo se apresenta bem variável no espaço (Figura 1). O conhecimento dessa variabilidade espacial é fundamental para um manejo preciso, racional e sustentável das áreas irrigadas.

A Figura 2 apresentam os valores de armazenamento médio (mm) para cada ponto amostral e a Figura 3 mostra como a umidade do solo variou em função do tempo ao longo do trabalho.

Figura 2. Armazenamento médio da água no solo (mm) para as camadas de 0-20 e 20-40 cm para o período de monitoramento.

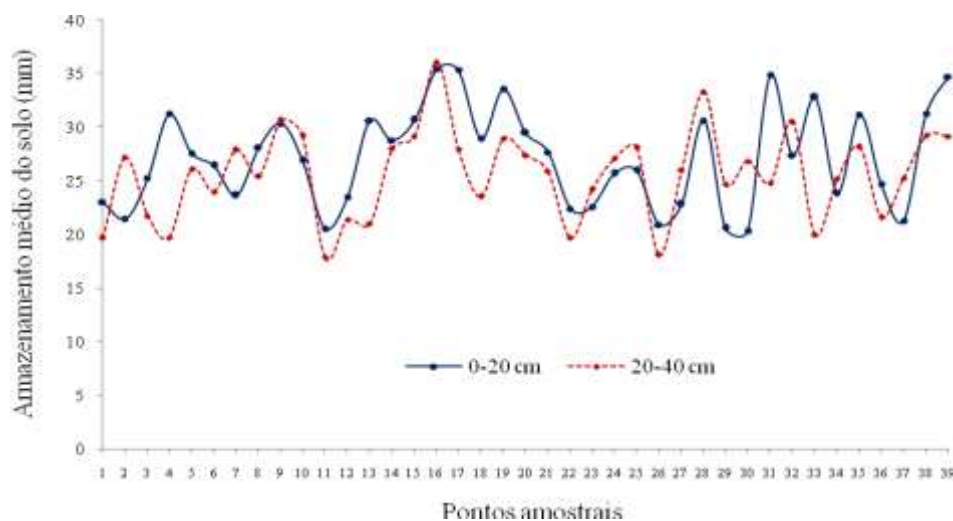
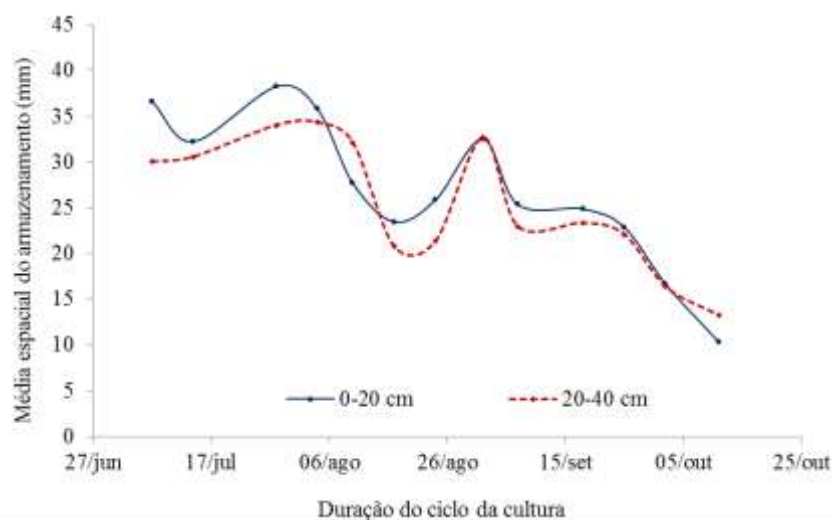


Figura 3. Variação da média espacial do armazenamento da água no solo (mm) ao longo do período monitorado nas camadas de 0-20 e 20-40 cm.



Observa-se que, para alguns pontos amostrais, o armazenamento médio (mm) foi maior na camada de 0-20 cm de profundidade, em relação a 20-40 cm. Porém, para outros pontos amostrais este comportamento foi inverso, conforme é visualizado na Figura 2. A variação da umidade ao longo do tempo (Figura 3) ocorreu principalmente em função do manejo da irrigação na área. Inicialmente, o armazenamento foi alto (solo úmido) e foi decaindo com o passar do tempo, até que no final do ciclo o armazenamento foi bem menor (solo seco). Além disso, o comportamento do armazenamento foi semelhante nas camadas estudadas (0-20 e 20-40 cm).

Para uma melhor avaliação da variação temporal do armazenamento de água no solo, o período estudado foi dividido em duas situações, em que a situação 1 se refere à época em que o solo estava com maior armazenamento de água (solo úmido), e a situação 2, à época em que o solo estava com um armazenamento menor de água (solo seco). As datas de monitoramento em que o solo estava mais úmido foram 07/07, 14/07, 28/07, 04/08, 10/08 e 01/09/2007, e as

datas em que o solo estava mais seco foram 17/10, 24/10, 07/09, 18/09, 25/09, 02/10 e 11/10/2007; logo, as Figuras 4 e 5 representam o armazenamento de água no solo para esses dois períodos (seco e úmido).

Figura 4. Armazenamento médio de água no solo (mm) para tempos distintos (solo úmido e solo seco) na camada de 0-20 cm.

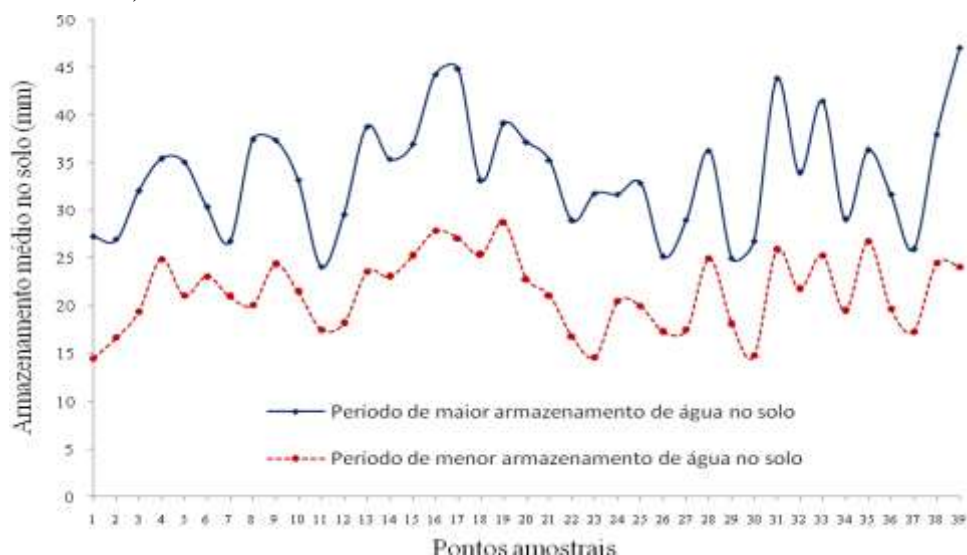
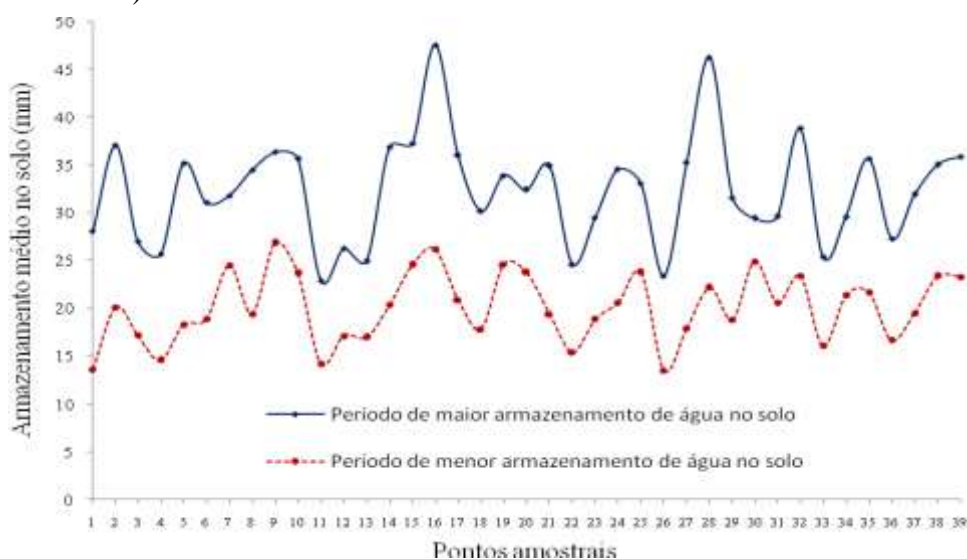


Figura 5. Armazenamento médio de água no solo (mm) para tempos distintos (solo úmido e solo seco) na camada de 20-40 cm.



Além da simples análise dos dados ao longo do tempo, como proposto por Gonçalves et al. (1999), foi verificado e quantificado a estabilidade temporal, utilizando as técnicas propostas por Vachaud et al. (1985) e por Kachanoski & De Jong (1988). Também foi analisado o comportamento espacial ao longo do tempo pela técnica da diferença relativa média, proposta por Vachaud et al. (1985).

O método tradicional é o coeficiente de correlação paramétrico de Pearson, que tem como pressuposto que os valores das duas variáveis apresentem distribuição normal e levem em conta parâmetros como média e variância dos dados. Como o número de unidades de

amostras e/ou a natureza dos dados frequentemente não permite o cumprimento dessa premissa, uma alternativa é a utilização do método não-paramétrico correspondente, o coeficiente de correlação de Spearman. Para a aplicação do coeficiente de correlação de Spearman, atribuem-se posições. Para estudos de variabilidade temporal, a própria sequência de datas já é o posicionamento necessário para a aplicação do método.

Os coeficientes de correlação de Spearman (Vachaud et al., 1985) e os coeficientes de correlação de Pearson (Kachanoski & De Jong, 1988), foram diferentes para os períodos estudados (Tabelas 3, 4, 5 e 6). Quando o coeficiente de correlação de Spearman r_s for igual a 1 ($r_s=1$) corresponderá à identidade de posição para qualquer área, ou estabilidade perfeita entre duas datas; portanto, quanto mais próximo o r_s for de um, mais estável será o processo (Vachaud et al., 1985). Para os coeficientes de correlação de Pearson, se as variáveis apresentam uma relação linear perfeita e com declividade positiva da reta, então o coeficiente de correlação (Pearson) é igual a 1, positivo; e se apresentam uma relação linear perfeita e com declividade é negativa da reta, então o valor do coeficiente também será 1, porém negativo. Se não há qualquer relação entre as variáveis, o coeficiente de Pearson é nulo (Folegatti, 1996). É importante considerar que correlação linear não implica causa-efeito, mas apenas expressa o grau de semelhança entre as distribuições dos conjuntos de dados de duas variáveis.

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação de Pearson para a armazenagem da água no solo durante o período estudado para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson para os armazenamentos de água no solo nas diversas datas de monitoramento do período estudado, para a camada do solo de 0-20 cm de profundidade.

	07/07	14/07	28/07	04/08	10/08	17/08	24/08	01/09	07/09	18/09	25/09	02/10	11/10
07/07	1,000	0,357	0,047	0,183	0,152	0,166	0,578	-0,06	0,017	0,018	-0,04	0,135	0,035
14/07		1,000	0,569	0,335	0,166	0,464	0,402	0,373	0,439	0,507	0,349	0,430	0,506
28/07			1,000	0,435	0,132	0,429	0,093	0,505	0,329	0,355	0,186	0,410	0,293
04/08				1,000	0,350	0,681	0,197	0,496	0,259	0,330	0,067	0,491	0,257
10/08					1,000	0,585	0,192	0,281	0,452	0,398	0,527	0,488	0,315
17/08						1,000	0,376	0,518	0,518	0,476	0,178	0,567	0,518
24/08							1,000	0,257	0,183	0,394	0,220	0,285	0,268
01/09								1,000	0,379	0,696	0,263	0,549	0,392
07/09									1,000	0,613	0,432	0,182	0,331
18/09										1,000	0,359	0,470	0,300
25/09											1,000	0,211	0,398
02/10												1,000	0,278
11/10													1,000

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson para os armazenamentos de água no solo nas diversas datas de monitoramento do período estudado, para a camada do solo de 20-40 cm de profundidade.

	07/07	14/07	28/07	04/08	10/08	17/08	24/08	01/09	07/09	18/09	25/09	02/10	11/10
07/07	1,000	0,309	-0,10	0,232	0,327	0,249	0,307	0,248	0,326	0,305	0,278	0,275	0,086
14/07		1,000	0,413	0,391	0,219	0,198	0,193	0,032	0,103	0,154	0,180	0,340	0,401
28/07			1,000	0,332	-0,08	0,220	0,185	-0,02	0,004	0,295	0,206	0,254	0,265
04/08				1,000	0,229	0,604	0,711	0,245	0,525	0,324	0,284	0,652	0,608
10/08					1,000	0,401	0,438	0,286	0,407	0,364	0,286	0,424	0,298
17/08						1,000	0,640	0,444	0,652	0,484	0,443	0,600	0,346
24/08							1,000	0,440	0,691	0,388	0,353	0,553	0,595
01/09								1,000	0,542	0,279	0,124	0,236	0,168
07/09									1,000	0,521	0,511	0,385	0,485
18/09										1,000	0,761	0,482	0,475
25/09											1,000	0,485	0,439
02/10												1,000	0,591
11/10													1,000

As correlações com r igual ou maior que 0,30, são consideradas significativas em nível de 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$) e com r igual ou maior que 0,40, são consideradas significativas em nível de 1% de probabilidade ($P \leq 0,01$). O armazenamento de água no solo possui desde uma correlação positiva muito forte (0,711) até uma correlação negativa baixa (-0,101). E, embora baixa, ocorre certa estabilidade temporal para a maior parte dos períodos analisados; esses baixos coeficientes de correlação de Pearson podem ser explicados pela alta variabilidade dos valores de armazenagem de água no solo.

Nas Tabelas 5 e 6, tem-se coeficientes de correlação de Spearman para a armazenagem da água no solo durante o período estudado, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente.

Tabela 5. Coeficientes de correlação de Spearman para os armazenamentos de água no solo nas diversas datas de monitoramento do período estudado, para a camada do solo de 0-20 cm de profundidade.

	07/07	14/07	28/07	04/08	10/08	17/08	24/08	01/09	07/09	18/09	25/09	02/10	11/10
07/07	1,00												
14/07	0,73	1,00											
28/07	0,55	0,66	1,00										
04/08	0,64	0,67	0,67	1,00									
10/08	0,35	0,60	0,10	0,42	1,00								
17/08	-0,03	0,49	-0,24	0,16	0,77	1,00							
24/08	0,34	0,62	-0,13	0,17	0,67	0,78	1,00						
01/09	-0,43	0,08	0,03	0,10	-0,10	-0,22	-0,27	1,00					
07/09	0,15	0,63	-0,07	0,20	0,78	0,86	0,78	0,06	1,00				
18/09	0,12	0,62	-0,07	0,19	0,75	0,85	0,82	0,00	0,93	1,00			
25/09	-0,06	0,46	-0,35	-0,06	0,76	0,78	0,74	-0,50	0,86	0,83	1,00		
02/10	-1,03	-0,20	-1,36	-0,86	0,32	0,65	0,37	-0,94	0,41	0,54	0,63	1,00	
11/10	-2,55	-1,50	-2,91	-2,34	-0,63	0,07	-0,33	-2,59	-0,37	-0,16	0,11	0,59	1,00

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Spearman para os armazenamentos de água no solo nas diversas datas de monitoramento do período estudado, para a camada do solo de 20-40 cm de profundidade.

	07/07	14/07	28/07	04/08	10/08	17/08	24/08	01/09	07/09	18/09	25/09	02/10	11/10
07/07	1,00												
14/07	0,52	1,00											
28/07	0,57	0,55	1,00										
04/08	0,50	0,46	0,69	1,00									
10/08	0,44	0,07	0,17	0,23	1,00								
17/08	0,35	0,10	0,07	-0,02	0,00	1,00							
24/08	0,43	0,06	0,09	0,03	0,10	0,92	1,00						
01/09	-0,50	-0,83	-0,37	-0,11	-0,28	-0,47	-0,45	1,00					
07/09	0,59	0,28	0,30	0,20	0,17	0,91	0,93	-0,28	1,00				
18/09	0,57	0,29	0,36	0,20	0,19	0,86	0,87	-0,40	0,93	1,00			
25/09	0,48	0,19	0,21	0,06	0,04	0,87	0,86	-0,59	0,92	0,95	1,00		
02/10	-0,12	-0,33	-0,55	-0,59	-0,59	0,83	0,82	-1,35	0,76	0,72	0,79	1,00	
11/10	-1,13	-1,21	-1,33	-1,46	-1,46	0,59	0,57	-2,41	0,46	0,40	0,50	0,87	1,00

Vachaud et al. (1985) consideraram, em seu trabalho, os valores de correlação de Spearman de $r_s = 0,66$ e $r_s = 0,78$ como sendo relativamente altos. Segundo os autores, os menores valores de r_s obtidos no experimento podem ser o resultado de um artefato na amostragem. De outra forma, aplicando-se limites unilaterais de r_s para o teste de correlação de Spearman (Campos, 1983), a interpretação seria mais seletiva, tendo em vista o limite crítico de 0,61 para a significância de 0,01, porém o número de valores significativos aumenta substancialmente se os valores a serem considerados críticos forem de 0,412 e 0,49 para os níveis de probabilidades de 0,5% e 0,1%, respectivamente, conforme descrito por Conover (1980), podendo, portanto, assumir uma estabilidade temporal dos locais de observação para vários períodos analisados. Correlação entre dias muito distantes pode apresentar menor valor e não ser significativa.

Quando comparado o período úmido (07/07, 14/07, 28/07, 04/08, 10/08 e 01/09/2007) com o seco (17/10, 24/10, 07/09, 18/09, 25/09, 02/10 e 11/10/2007), verifica-se que os valores de correlação para o solo úmido são maiores, ou seja, estão mais próximos de 1 que o período seco. Resultados semelhantes foram obtidos por Rocha et al. (2005), Carvalho (2006) e Moretti (2006).

Os coeficientes de correlação de Pearson e de Spearman possibilitam verificar a existência da estabilidade temporal, mas não permite identificar os locais em que as medidas possam ser feitas para representar a média da variável em estudo para qualquer tempo e valor; para tanto, Vachaud et al. (1985) sugerem o cálculo das diferenças relativas (S_{ij}) e seus respectivos desvios padrão. As diferenças relativas, quando ordenadas e plotadas em um gráfico, possibilitam identificar os pontos cujos valores estejam próximos da média real e possam ser utilizados como referência amostral.

As Tabelas 7 e 8 apresentam esses valores das diferenças relativas média (DRM) e seus respectivos desvios padrão (δ) para os 39 pontos de observação, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente, durante o período estudado.

Tabela 7. Valores da diferença relativa média (DRM) em ordem crescente e desvio padrão (δ) do armazenamento de água no solo durante o período de observação para a camada de 0-20 cm de profundidade do solo.

Ordem "Rank"	Período úmido			Período seco			Período total		
	Ponto	DRM	δ	Ponto	DRM	δ	Ponto	DRM	δ
1	11	-9,61	7,44	1	-6,92	6,66	30	-6,88	7,96
2	29	-8,75	6,04	23	-6,79	6,44	11	-6,67	8,73
3	26	-8,57	6,27	30	-6,66	5,96	29	-6,65	6,82
4	37	-7,78	5,95	2	-4,75	6,90	26	-6,33	7,19
5	7	-6,98	3,93	22	-4,67	5,63	37	-5,93	7,57
6	30	-6,89	3,98	26	-4,19	6,09	2	-5,78	9,14
7	2	-6,74	8,65	37	-4,13	6,73	22	-4,84	8,23
8	1	-6,46	8,69	27	-3,96	6,09	23	-4,67	12,50
9	22	-4,79	5,42	11	-3,93	9,10	27	-4,43	10,90
10	27	-4,72	12,46	29	-3,38	6,25	1	-4,21	9,94
11	34	-4,68	6,96	12	-3,27	7,18	12	-3,77	9,21
12	12	-4,11	7,58	3	-2,06	6,00	7	-3,60	5,95
13	6	-3,39	4,79	34	-1,98	4,74	34	-3,34	7,49
14	36	-2,10	9,93	36	-1,76	5,93	36	-2,56	9,63
15	24	-2,04	6,70	25	-1,47	5,99	3	-2,00	8,66
16	23	-1,94	11,65	8	-1,37	5,43	24	-1,56	8,43
17	3	-1,69	5,79	24	-0,94	6,13	25	-1,28	9,30
18	25	-0,81	7,51	7	-0,49	6,31	6	-0,83	5,49
19	18	-0,58	4,15	5	-0,36	10,11	10	-0,37	8,89
20	10	-0,57	5,43	21	-0,31	5,94	32	0,15	8,93
21	32	0,21	5,29	10	0,02	7,76	5	0,33	10,76
22	5	1,37	5,34	32	0,31	7,51	21	0,44	9,53
23	21	1,55	6,84	20	1,38	8,21	8	0,85	11,43
24	14	1,67	7,82	14	1,61	7,11	14	1,52	9,57
25	4	1,71	4,23	6	1,66	3,67	18	1,71	8,50
26	28	2,56	6,60	13	2,14	6,51	20	2,23	10,14
27	35	2,59	7,27	39	2,66	8,67	9	3,13	13,91
28	15	3,22	7,03	9	2,90	12,33	13	3,38	9,43
29	20	3,45	5,76	38	3,03	6,14	28	3,40	7,45
30	9	3,65	13,12	4	3,46	1,09	15	3,41	9,18
31	8	3,69	9,18	28	3,53	1,38	35	3,95	8,00
32	38	4,25	10,33	15	3,80	7,32	4	3,99	6,32
33	13	5,07	3,61	33	3,87	6,25	38	4,00	10,73
34	19	5,40	3,66	18	3,89	9,87	33	5,54	11,08
35	33	7,73	8,93	31	4,39	11,60	19	6,32	8,12
36	31	10,12	19,84	35	5,32	5,91	39	7,46	18,19
37	16	10,52	16,79	17	5,68	7,77	31	7,61	18,12
38	17	11,12	7,31	16	6,41	4,84	17	8,08	11,70
39	39	13,31	19,08	19	7,32	7,94	16	8,19	14,19

Tabela 8. Valores da diferença relativa média (DRM) em ordem crescente e desvio padrão (δ) do armazenamento de água no solo durante o período de observação para a camada de 20-40 cm de profundidade do solo.

Ordem "Rank"	Período úmido			Período seco			Período total		
	Ponto	DRM	δ	Ponto	DRM	δ	Ponto	DRM	δ
1	11	-9,46	8,07	26	-6,58	3,23	11	-7,79	5,50
2	26	-8,98	3,93	1	-6,48	3,64	26	-7,55	3,23
3	22	-7,76	6,16	11	-5,91	5,50	22	-5,96	4,84
4	13	-7,42	3,66	4	-5,57	5,06	1	-5,96	3,64
5	33	-7,00	9,96	22	-4,69	4,84	4	-5,94	5,06
6	4	-6,69	4,91	33	-4,04	2,51	33	-5,68	2,51
7	12	-6,11	4,05	36	-3,45	3,50	13	-4,68	2,79
8	3	-5,37	7,36	13	-3,17	2,79	12	-4,28	6,23
9	36	-5,09	7,14	12	-2,98	6,23	36	-4,06	3,50
10	1	-4,27	8,56	3	-2,95	2,66	3	-3,92	2,66
11	30	-2,93	4,55	18	-2,31	6,24	18	-2,11	6,24
12	23	-2,88	6,91	27	-2,21	3,29	6	-1,68	5,10
13	34	-2,77	7,24	5	-1,81	5,15	23	-1,46	2,60
14	31	-2,75	7,27	29	-1,32	3,50	29	-0,93	3,50
15	18	-2,18	3,54	23	-1,26	2,60	31	-0,87	3,92
16	6	-1,31	19,21	6	-1,26	5,10	34	-0,47	2,56
17	29	-0,79	8,27	21	-0,73	2,70	37	-0,40	5,35
18	7	-0,59	6,26	8	-0,71	7,66	8	-0,20	7,66
19	37	-0,45	9,90	37	-0,63	5,35	21	0,23	2,70
20	20	0,04	4,22	2	0,00	8,31	27	0,31	3,29
21	25	0,68	4,76	14	0,23	5,74	5	0,47	5,15
22	19	1,53	3,69	31	0,47	3,92	30	1,17	11,86
23	8	2,09	11,22	24	0,50	5,69	24	1,43	5,69
24	24	2,20	8,96	17	0,77	2,81	2	1,55	8,31
25	21	2,55	8,17	34	1,24	2,56	20	1,73	3,87
26	38	2,65	6,81	35	1,56	4,54	7	2,24	5,38
27	5	2,81	5,94	28	2,02	2,03	17	2,25	2,81
28	27	2,93	10,16	39	3,18	4,43	14	2,35	5,74
29	10	3,26	6,34	38	3,21	5,52	25	2,41	4,56
30	35	3,31	7,08	32	3,29	3,37	35	2,51	4,54
31	39	3,52	8,96	10	3,51	4,72	19	3,27	4,35
32	17	3,65	11,75	20	3,62	3,87	39	3,48	4,43
33	9	3,98	7,85	25	3,62	4,56	15	3,52	5,50
34	14	4,50	11,23	7	4,40	5,38	10	3,54	4,72
35	2	4,69	22,10	15	4,40	5,50	38	3,54	5,52
36	15	4,86	4,73	19	4,50	4,35	32	4,90	3,37
37	32	6,46	8,89	30	4,80	11,86	9	5,00	5,85
38	28	13,90	15,77	16	6,04	3,49	28	7,65	2,03
39	16	15,20	21,50	9	6,70	5,85	16	10,41	3,49

Para vários pontos, camadas e períodos analisados, o desvio padrão pode ser considerado pequeno. Por outro lado, em outros pontos, o valor de desvio padrão pode ser

considerado muito alto (21,50), como é o caso do ponto 16 na camada de 20-40 cm. Vachaud et al. (1985) encontraram valores máximos de desvio padrão de 4,4.

Ao conferir os dados para o período total analisado, tem-se que a diferença relativa média para o ponto 16 representou a maior diferença positiva em relação à média em ambas as camadas (0-20 e 20-40 cm), ou seja, representa a maior diferença relativa acima da média e os pontos 30 e 11 apresentaram a maior diferença relativa negativa para as camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, isto é, maior diferença abaixo da média.

Para alguns pontos, o comportamento foi repetido de um período para o outro (úmido, seco e total) e de uma camada para outra (0-20 e 20-40 cm). Para a camada de 0-20 cm, dentro do período úmido, o ponto 32 foi o que apresentou valor mais próximo da média, com diferença relativa de 0,21 e desvio de 5,29, e o ponto 10 também apresentou bons resultados para esta condição (úmido); já para o período seco na mesma camada (0-20 cm), o ponto 10 foi o que ficou mais próximo da média com diferença relativa de 0,02 e desvio de 7,76, porém ainda para o período seco de 0-20 cm, o ponto 32 apresentou uma diferença relativa média de 0,31 com desvio de 7,51, podendo (este ponto 32), também ser representativo para o local. Quando se leva em consideração o período total analisado, novamente o ponto 32 apresenta a menor diferença relativa média (0,15) com desvio padrão de 8,93, e o ponto 10 apresentou bons resultados também para o período total; logo, os pontos 32 e 10 são os melhores representantes reais para a realização de uma amostragem na camada de 0-20 cm de profundidade.

Para a camada de 20-40 cm, dentro do período úmido, o ponto 20 foi o que apresentou valor mais próximo da média, com diferença relativa de 0,04 e desvio de 4,22, enquanto para o período seco, na mesma camada (20-40 cm), o ponto 2 ficou mais próximo da média com diferença relativa de 0 e desvio de 8,31. Quando se leva em consideração o período total analisado, o ponto 8 apresenta menor diferença relativa média (-0,20) com desvio padrão de 7,66; no entanto, para todos os períodos analisados (úmido, seco e total) na camada de 20-40 cm, o ponto 37 apresentou-se com valores de diferença relativa média próximos aos pontos já citados e desvio padrão menor para as condições de período seco e total; enfim, o ponto 37 é um bom representante real para a realização de uma amostragem na camada de 20-40 cm de profundidade.

Portanto, os pontos citados poderiam ser utilizados para o monitoramento da umidade no solo visto que, de acordo com Vachaud et al. (1985), uma pequena variação temporal de DRM é uma indicação de estabilidade temporal dos dados no tempo, independente da umidade no solo.

Nas Figuras 6 a 11 estão as representações gráficas das diferenças relativas médias 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). Esta representação possibilita visualizar melhor 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. Esta metodologia de escolha do ponto amostral tem uma aplicação bastante prática, visto que, com ela, pode-se realizar a amostragem com segurança da representatividade da área, reduzindo o número de amostragem, mesmo para parâmetros de grande variabilidade, diminuindo o custo e o tempo despendido. Os pontos escolhidos (10 e 32 para 0-20 cm e 37 para 20-40 cm) mostraram estabilidade temporal e poderiam ser escolhidos para representar a área; portanto, poderiam ser pontos de amostragem representativos da área no monitoramento de água no solo, para fins de manejo de irrigação.

Figura 6. Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para o período de maior umidade na camada de 0-20 cm.

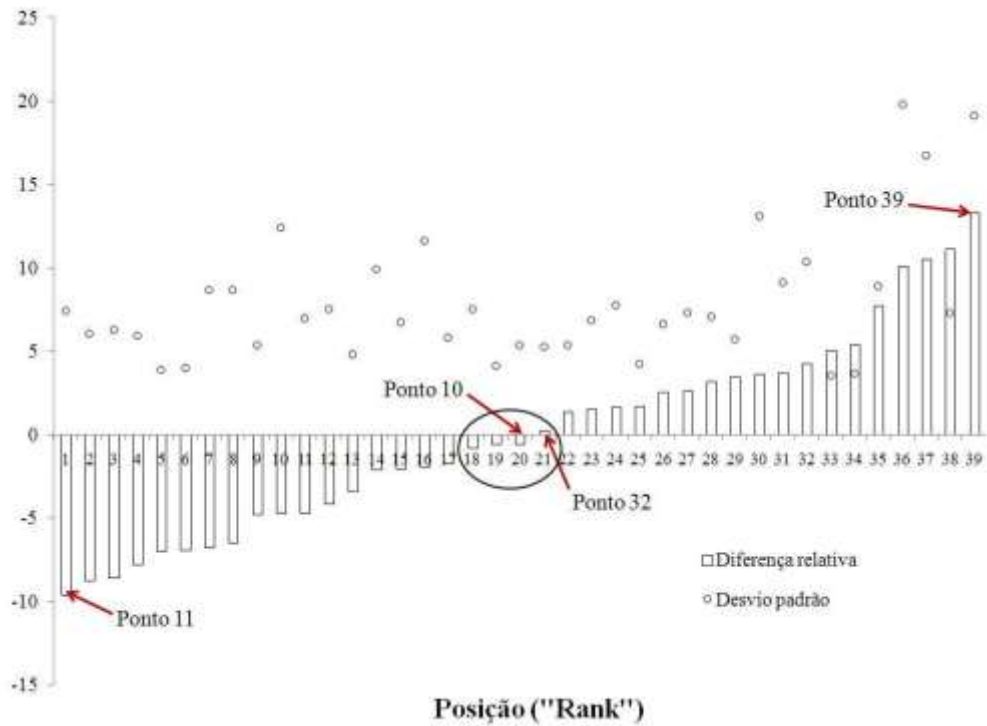


Figura 7. Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para o período de menor umidade na camada de 0-20 cm.

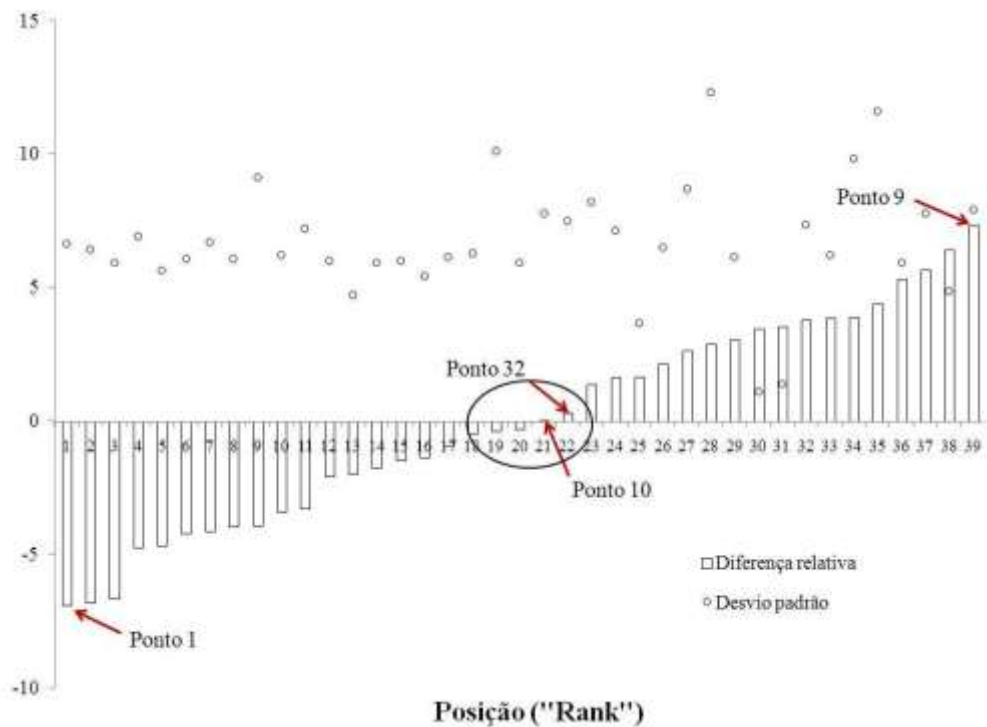


Figura 8. Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para o período total analisado na camada de 0-20 cm.

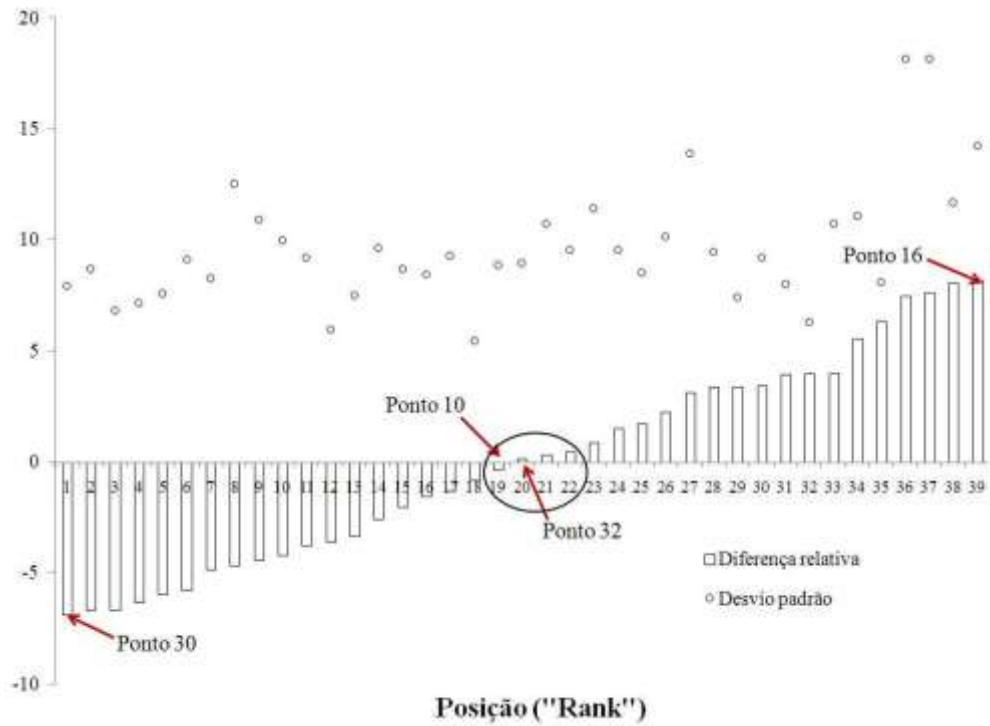


Figura 9. Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para o período de maior umidade na camada de 20-40 cm.

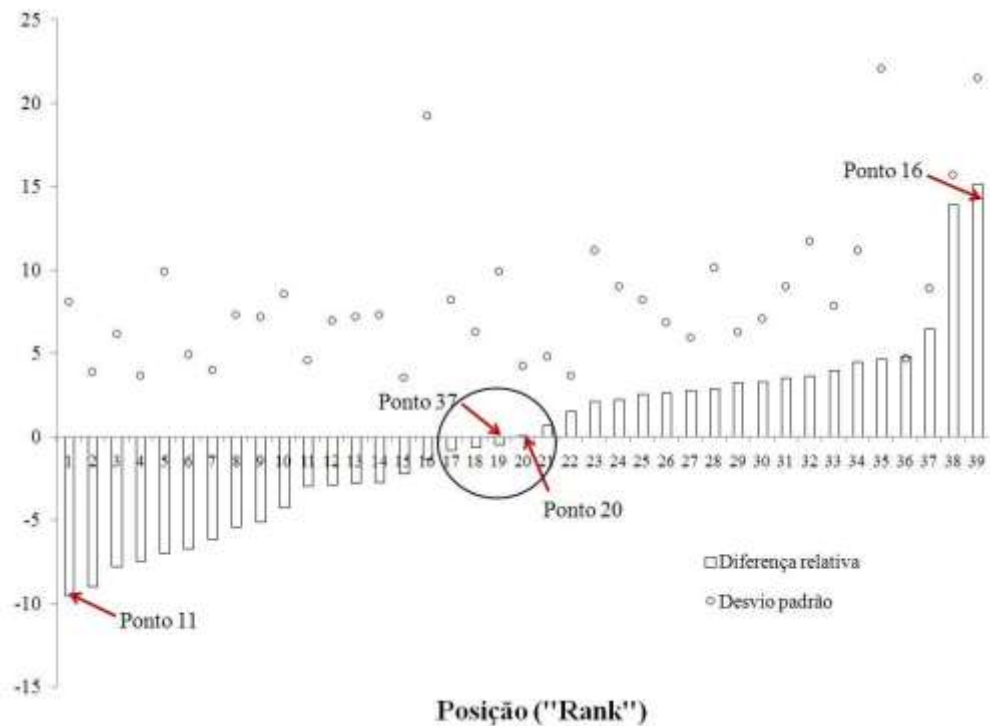


Figura 10. Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para o período de menor umidade na camada de 20-40 cm.

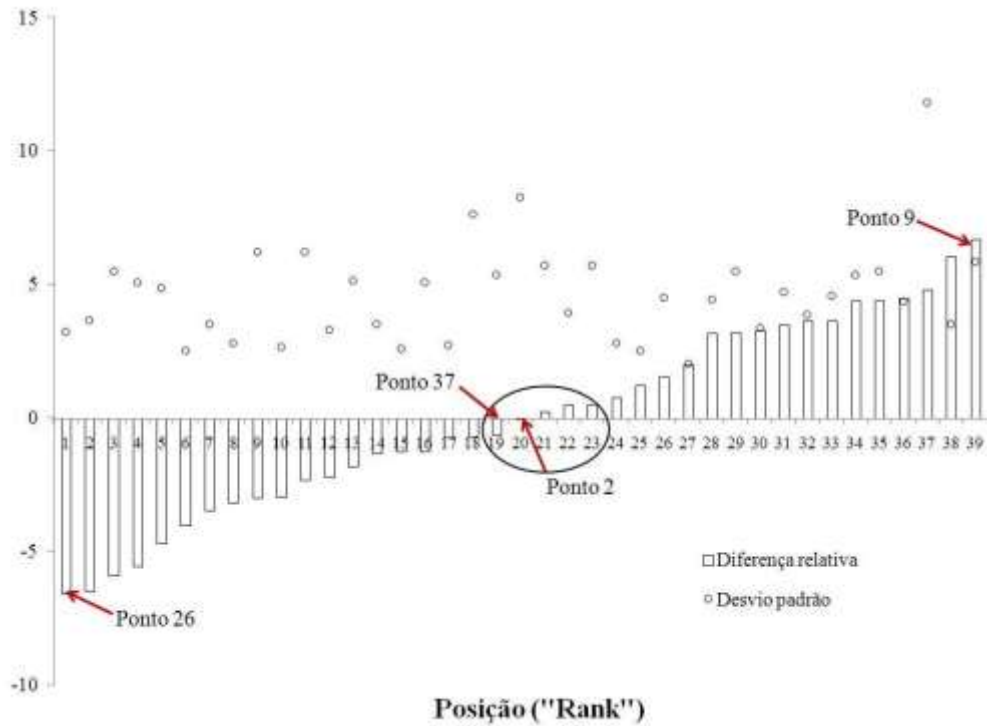
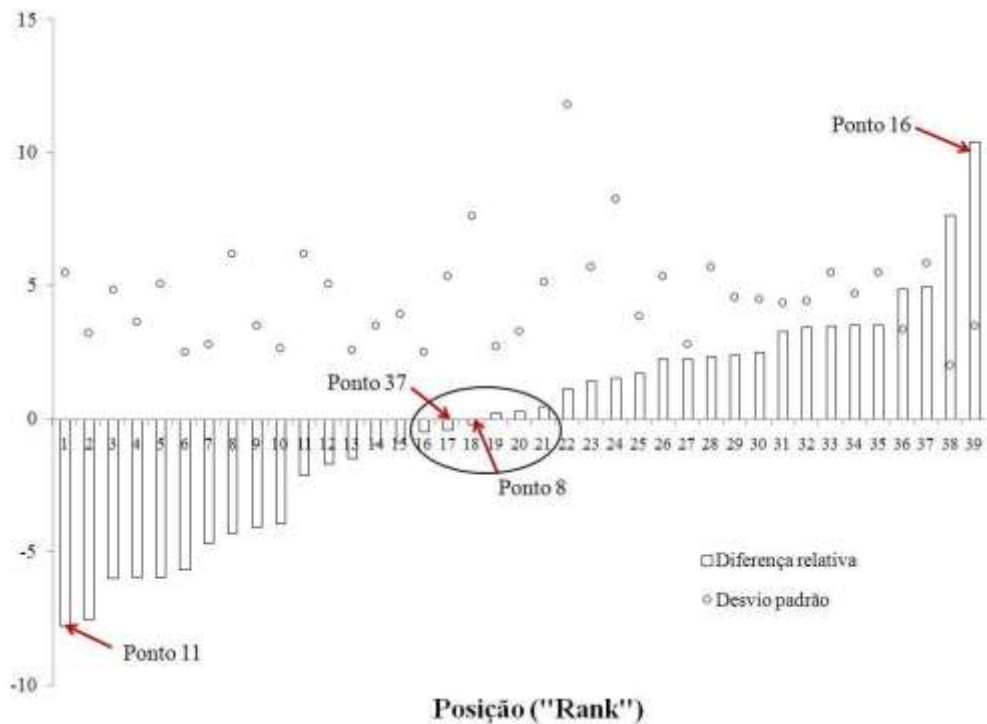


Figura 11. Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para o período total analisado na camada de 20-40 cm.



6 CONCLUSÃO

O armazenamento de água no solo apresentou dependência espacial, que foi semelhante para os perfis estudados (0-20 e 20-40 cm), facilitando a realização do manejo diferenciado da área. Já a estabilidade temporal do armazenamento de água no solo apresentou-se com comportamento distinto entre as diferentes profundidades do solo, porém foi possível identificar, no campo, pontos que melhor representaram a média espacial para a área.

Os resultados mostraram que o número de amostras necessárias para estimar uma média representativa com elevada precisão pode ser reduzido. Além disso, determina pontos da área representativos que podem ser utilizados para o monitoramento da água no solo para fins de manejo de irrigação. E, ainda, ressalta a necessidade de se manejar a irrigação de forma diferenciada e não considerando a área como homogênea, como é feito atualmente.

7 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo auxílio à Pesquisa, concedido para a realização deste trabalho (Processo nº 478761/06-6); à CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado e à fazenda Alpha Vale, em Petrolina, PE, pela cessão da área visando à realização do experimento.

8 REFERÊNCIAS

ARYA, L. M.; PARIS, J. F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, p.1023-1030, 1981.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Estabilidade temporal do conteúdo de água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da Serra da Mantiqueira, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.6, p.2001-2009, 2010.

BASSOI, L. H.; HOPMANS, J. W.; JORGE, L. A. C.; ALENCAR, C. M.; SILVA, J. A. M. Grapevine root distribution for drip and microsprinkler irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.2, p.377-387, 2003.

BASSOI, L. H.; GRANGEIRO, L. C.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G. DA. Root distribution of irrigated grapevine rootstocks in a coarse texture soil of the São Francisco Valley, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.35-38, 2002.

BASSOI, L. H.; AQUINO, L. S.; RECKZIEGEL, L. N.; TIMM, L. C.; VAZ, C. M. P.; MANIERI, J.; TAVARES, V. E. Q. Mapas de contorno da capacidade de água disponível em solo cultivado com videiras irrigadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado. **Anais...** Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p.1-4.

BASSOI, L. H.; BRAGA, M. B.; CALGARO, M.; SIMÕES, W. L.; PINTO, J. M. Irrigação e Fertirrigação. In: **Cultivo da Videira**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Sistema de Produção, 1 - 2ª edição) Disponível em:

https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/irrigacao.html

Acesso em 30 junho 2016.

BUSTAMANTE, P. M. A. C. A fruticultura no Brasil e no Vale do São Francisco: vantagens e desafios. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.40, n.1, p.153-171, 2009.

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 Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. 4º ed. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Matemática e Estatística, 1983. 349 p.

CARVALHO, L. A. **Distribuição espacial dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em função da umidade do solo**. 2006. 180p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 2ª ed. 306p.

FAULIN, G. C. **Variabilidade espacial do teor de água e sua influência na condutividade elétrica do solo**. 2005. 53p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FOLEGATTI, M. V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**. 1996. 84p. Tese (Livre-Docência em Irrigação) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences**. Plainwell: Gamma Design Software, 2004.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; VIEIRA, S. R. Padrões de amostragem e intensidade de krigagem na caracterização do armazenamento de água no solo, em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.485-95, 1999.

GUIMARÃES, R. M. L.; GONÇALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V.; BLAINSKI, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Nitossolo sob a cultura do feijoeiro irrigado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.657-669, 2010.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

KACHANOSKI, R. G.; DE JONG, E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. **Water Resources Research**, Washington, v.24, n.1, p.85-91, 1988.

MARTHALER, H. P.; VOGELSANGER, W.; RICHARD, F.; WIERENGA, P. J. A pressure transducer for field tensiometers. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.47, p.624-627, 1983.

MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; CEBALHOS, A. Temporal stability of soil in a large-field experiment in Sapin. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.67, p.1647-1656, 2003.

MEDEIROS, J. D. F.; GOLDENFUM, J. A.; CLARKE, R. T. Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo numa pequena bacia rural: 3. Análise da estabilidade temporal do padrão espacial do conteúdo de água no solo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.12, n.1, p.53-63, 2007.

MONTE-MOR, R. C. de A.; PALMIER, L. R.; PINTO, E. J. A.; LIMA, J. E. S. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em uma bacia intermitente no semiárido de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.17, n.3, p.101-113, 2012.

MORETI, D.; LIBARDI, P. L.; ROCHA, G. C.; LOVATTI, M. J.; AGUIAR, L. I. G. Avaliação espaço-temporal das armazenagens gravimétrica e volumétrica da água num Latossolo com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1281-1290, 2007.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. geoR: A package for geostatistical analysis. **R-NEWS**, Vienna, v.1, n.2, p.15-18, 2001.

ROCHA, G. C.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; CRUZ, A. C. R. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.42-50, 2005.

SALVADOR, M. M. S.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. dos S.; MOREIRA, N. B. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da distribuição da armazenagem de água no solo numa sucessão feijão/aveia-preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1434-1447, 2012.

SCHNEIDER, K.; HUISMAN, J. A.; BREUER, L.; ZHAO, Y.; FREDE, H. G. Temporal stability of soil moisture in various semi-arid steppe ecosystems and its application in remote sensing. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.359, p.16-29, 2008.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARAA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, p.45-94, 1985.

VACHAUD, G.; PASSERAT, A. S.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, p.822-827, 1985.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.181-190, 1997.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p. 1-54.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and applications to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.