

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

Joana Darc F. Medeiros

Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN
joana-emparn@rn.gov.br

Joel A. Goldenfum, Robin T. Clarke

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS
joel@iph.ufrgs.br, clark@iph.ufrgs.br

Recebido: 19/10/04 – revisado: 09/06/05 – aceito: 24/01/07

RESUMO

A estabilidade temporal no padrão espacial do conteúdo de água no solo foi avaliada numa pequena bacia rural na região do derrame basáltico sul-riograndense com o objetivo de identificar pontos de amostragem que reproduzem o comportamento médio e extremo do conteúdo de água no solo. Para isto o conteúdo de água no solo foi monitorado durante um ano agrícola. As amostras eram coletadas numa malha regular em toda a bacia, nas profundidades de 0 cm (superfície), 30cm, e em dois perfis com comprimentos de 280m (Perfil P1) e 320m (Perfil P3). As medições do conteúdo de água no solo foram realizadas pelo método gravimétrico, na camada superficial, e com TDR, na camada inferior. Observou-se que a estabilidade completa do padrão espacial do conteúdo de água no solo não existe na camada superficial sendo identificada somente para a profundidade de 30 cm. Foi possível identificar pontos na bacia com estabilidade temporal, principalmente na profundidade de 30 cm e no perfil P1. O uso de pontos de estabilidade temporal permite estimar a média espacial do conteúdo de água no solo com erro inferior a 5% e 1% na superfície e 30 cm, respectivamente.

Palavras-chave: variabilidade espacial; conteúdo de água no solo; pequenas bacias; estabilidade temporal.

INTRODUÇÃO

O conteúdo de água no solo assume papel preponderante em diversos processos hidrológicos: afeta a partição da precipitação em infiltração e escoamento superficial; está diretamente relacionado com a disponibilidade de água para as plantas, influenciando a evapotranspiração; interfere nos processos de erosão e carreamento de solutos, uma vez que influencia o escoamento superficial e determina o padrão de vazões.

O conteúdo de água no solo apresenta grande variabilidade tanto no tempo quanto no espaço, afetando diversos processos hidrológicos. No entanto, a maioria dos modelos hidrológicos não considera a variabilidade espacial do conteúdo de água no solo (Seyfried e Wilcox, 1995).

A presença de estrutura organizacional na variabilidade espacial do conteúdo de água no solo

tem sido observada por vários pesquisadores (Hawley et al., 1983; Francis et al., 1986; Nyberg, 1996; Wendroth et al., 1999), bem como a idéia de variabilidade temporal no padrão espacial do conteúdo de água no solo em função das estações do ano (Famiglietti et al., 1998; Grayson et al., 1997; Western et al., 1999 e 1998; Gómez-Plaza et al., 2000).

Estudando a variabilidade temporal do padrão espacial do conteúdo de água no solo, Vachaud et al. (1985) verificaram que alguns pontos da bacia apresentavam comportamento semelhante ao comportamento médio, enquanto outros representavam os valores extremos. Com base nestas observações, os autores introduziram o conceito de estabilidade temporal que é definido como a persistência no tempo da correlação entre a posição no espaço e as medidas estatísticas da propriedade.

A existência de estabilidade temporal no padrão espacial do conteúdo de água no solo, observada por diversos pesquisadores (Reichardt et al., 1993; Grayson e Western, 1998; Gonçalves et al.,

1999 e Melo Filho, 2002), permite identificar, no campo, pontos que refletem o comportamento médio e extremo desta variável. Estes são, portanto, pontos potenciais de amostragem. Grayson e Western (1998) verificaram ainda que a localização destes pontos na bacia era função da textura e profundidade do solo assim como da posição topográfica, sugerindo ser possível identificar a posição destes locais a priori.

Deve-se notar que a existência e localização de pontos com estabilidade temporal no comportamento do conteúdo de água no solo, assim como a possibilidade de se determinar sua posição em função da textura e profundidade do solo e da posição topográfica, é fundamental no planejamento de qualquer programa de monitoramento. Por outro lado, este conceito precisa ser analisado num número maior de ambientes e escalas, para testar: (i) se a existência destes locais é geral; e (ii) se é possível identificar fatores do terreno e do solo que possam ser utilizados para definir a localização destes locais a priori (Gómez-Plaza et al., 2000).

Com base no exposto, o presente trabalho foi desenvolvido a partir do monitoramento de uma pequena bacia rural na região central do derrame basáltico sul-riograndense, com o objetivo de avaliar a estabilidade temporal no padrão espacial do conteúdo de água no solo e identificar pontos de amostragem que reproduzem o comportamento médio e extremo do conteúdo de água no solo. Este trabalho faz parte de uma seqüência de três trabalhos desenvolvidos com base nesta bacia, sendo que no primeiro deles se avaliou a influência dos fatores ambientais na variabilidade espacial do conteúdo de água no solo, no segundo se fez uma análise dos dados utilizando técnicas geoestatísticas e no presente trabalho se aborda a questão da estabilidade temporal.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado na bacia do arroio Donato, com área de 1,10 km², localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, na região do derrame basáltico. Esta região é um grande pólo de produção agrícola no Brasil, com produção de trigo e aveia no outono/inverno e soja e milho na primavera/verão.

As características climáticas e pedológicas da bacia e a descrição detalhada do experimento de campo são descritas no artigo "Variabilidade Espaci-

al do Conteúdo de Água no Solo Numa Pequena Bacia Rural: 1. Análise dos fatores ambientais".

A estabilidade temporal do padrão espacial do conteúdo de água no solo foi investigada utilizando-se a metodologia proposta por Vachaud et al. (1985). Do ponto de vista matemático, existe indicativo de estabilidade temporal num determinado local j quando o desvio relativo do valor esperado ou médio do armazenamento de água no solo sofre pequena variação temporal. Ou seja:

$$\delta_{t_1}(j) \cong \delta_{t_2}(j) \quad (1)$$

em que:

$$\delta_t(j) = \frac{S_t(j) - S_{med}}{S_{med}} \quad (2)$$

sendo: $\delta_t(j)$ o desvio relativo no tempo t e na posição j ; j o vetor de localização espacial; $S_t(j)$ o conteúdo de água no solo na localização j e no tempo t , e S_{med} o valor esperado ou médio do conteúdo de água no solo no tempo t .

A hipótese que rege as considerações de Vachaud et al. (1985) é que a relação entre o conteúdo de água no solo em sucessivas medidas no tempo e no espaço é linear.

Foram calculadas as diferenças relativas ($\delta_t(j)$) (2), para cada posição no espaço (j) e cada campanha de medição (t). A média das diferenças relativas em cada posição no espaço, associada com o respectivo desvio padrão e ordenadas da menor à maior, permite identificar posições cujos valores se aproximam da média espacial em qualquer momento, assim como aqueles pontos na bacia que são persistentemente mais úmidos ou mais secos que a média. O desvio padrão fornece informações sobre a confiabilidade da estimativa feita com dados nestas posições.

A estimativa da média espacial do conteúdo de água no solo (S_{med}) pode ser obtida por três métodos diferentes, segundo Grayson e Western (1998): o primeiro é simplesmente assumir que a média espacial é igual ao valor medido num determinado ponto j , ou seja, $S_{med} = S_j$; no segundo método se utiliza a diferença relativa ($\delta_t(j)$) como constante de ajuste, então $S_{med} = S_j(1 + \delta_t)$; e no terceiro e último método usa-se uma relação empírica entre S_{med} e S_j .

Para testar a qualidade da estimativa da média espacial do conteúdo de água no solo na bacia do arroio Donato ao se utilizar os pontos de estabilidade temporal (PET), foram calculados o erro

médio adimensional para os métodos 1 e 2 e o coeficiente de determinação para o método 3. O erro médio adimensional é calculado como:

$$\bar{E}(j) = \frac{\sum \left| \frac{S_{med-est} - S_{med-obs}}{S_{med-obs}} \right|}{n} \quad (3)$$

sendo: $S_{med-est}$ é a média espacial estimada pelo método 1 ou 2; $S_{med-obs}$ a média espacial calculada a partir dos dados observados; e n o número de datas de amostragem.

A segunda técnica utilizada por Vachaud et al. (1988) é o teste não paramétrico de Spearman. Com este teste é possível avaliar a persistência no tempo do padrão espacial do conteúdo de água no solo, pois expressa o quanto da variabilidade observada no instante t pode ser explicada pela variância presente no instante t' .

O coeficiente de correlação de Spearman (r_s) pode ser calculado por:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^n (R_{jt} - R_{jt'})^2}{n(n-1)} \quad (4)$$

em que: R_{jt} é a posição ordenada da variável $S_i(j)$ observada no tempo t no ponto j ; $R_{jt'}$ a posição ordenada da variável $S_i(j)$ observada no tempo t' no ponto j ; e n é o número de pontos de medição.

O valor de $r_s = 1$ corresponde a posições idênticas em todos os pontos de medição, ou seja, perfeita estabilidade temporal entre as datas t e t' . Quanto mais próximo de 1 for o r_s , mais estável é o processo.

A metodologia descrita foi aplicada a cada conjunto de dados: malha regular na superfície, malha regular a 30 cm de profundidade, perfil P1 e perfil P3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estabilidade temporal no padrão espacial

Os coeficientes de correlação de Spearman para o conteúdo de água no solo obtidos com os quatro conjuntos de dados são mostrados na Tabela 1 e na Tabela 2. Observa-se que os valores de r_s na superfície são inferiores aos calculados com dados de conteúdo de água no solo a 30 cm de profundi-

dade, indicando que na superfície do solo existe menor estabilidade temporal no padrão espacial.

Verifica-se ainda que, na fase inicial do experimento, quando as amostras eram coletadas numa camada de 0-5 cm, a perda de informação entre duas campanhas de medição consecutivas, inclusive entre campanhas diárias, como é o caso do período 09/07 - 10/07, se dá principalmente quando o solo sofre variação positiva no conteúdo de água, ou seja, quando ocorre um evento chuvoso entre dois períodos de medição. Na segunda fase do experimento, quando as amostras passaram a ser coletadas numa camada de 0-15 cm, a influência das condições de conteúdo de água não fica aparente.

Relação entre a estabilidade temporal do padrão espacial do conteúdo de água no solo e o processo de redistribuição foi também observada por Gonçalves et al. (1999). Estes autores verificaram que, quando ocorre aporte de água pela chuva e a variabilidade espacial do conteúdo de água no solo é regida pelo processo de redistribuição, a estabilidade temporal é baixa. Gómez-Plaza et al. (2000) observaram uma tendência de relação entre a estabilidade temporal e períodos de secagem e recarga. Na profundidade de 30 cm, o padrão espacial do conteúdo de água no solo apresenta maior estabilidade temporal, com r_s significativos ao nível de 0,01 em todas os períodos sucessivos. Salienta-se, no entanto, que o conteúdo de água no solo praticamente não sofreu alterações nesta profundidade. Estabilidade temporal nos dados de conteúdo de água no solo foi observada por Kachanoski e Jong (1988) e Gómez-Plaza et al. (2000).

Nos perfis P1 e P3 (Tabela 2), os coeficientes de correlação de Spearman voltam a ser baixos, sinal que o padrão espacial do conteúdo de água no solo nestes dois conjuntos de dados não é estável no tempo, ocorrendo perdas de informações entre períodos sucessivos. Nestes conjuntos de dados, a relação entre as condições médias de conteúdo de água e a estabilidade temporal, observada com os dados da malha regular na superfície do solo, não fica clara.

A alta instabilidade temporal observada nos dados superficiais pode estar associada à presença de vegetação. Variações no desenvolvimento vegetativo das culturas e, conseqüentemente na retirada de água do solo, alteram o padrão espacial do conteúdo de água no solo, fazendo com que não apresente estabilidade temporal. Comegna e Basile (1994) e Gómez-Plaza et al. (2000) observaram baixa estabilidade temporal no padrão espacial do conteúdo de água no solo no período de desenvolvimento das culturas.

Tabela 1 - Coeficiente de Spearman para o conteúdo de água no solo entre datas consecutivas.

Período	Superfície			30 cm			Precipitação antecedente ^a (mm)
	Evolução	Δ umidade	r_s	Evolução	Δ umidade	r_s	
21/06 - 09/07	Umedecendo	0,2819	0,205 ns	Umedecendo	0,2004	0,876 **	32,3
09/07 - 10/07	Umedecendo	2,3715	0,185 ns	Secando	-0,0998	0,976 **	45,8
10/07 - 11/07	Umedecendo	2,9109	0,320 ns	Secando	-0,0161	0,992 **	24,8
11/07 - 13/08	Secando	-3,6708	0,557 **	Umedecendo	0,2185	0,910 **	24,8
13/08 - 14/08	Secando	-2,5436	0,725 **	Secando	-0,0567	0,937 **	32,3
14/08 - 15/08	Secando	-1,4462	0,523 **	Secando	-0,1360	0,714 **	32,0
15/08 - 20/09	Secando	-1,9024	0,254 ns	Umedecendo	1,3992	0,762 **	49,4
20/09 - 29/10	Umedecendo	6,8240	0,097 ns	Secando	-0,7560	0,938 **	186,4
29/10 - 12/11	Umedecendo	4,4537	0,036 ns	Umedecendo	0,0721	0,983 **	92,1
12/11 - 14/12	Umedecendo	3,0555	0,203 ns	Secando	-0,0634	0,976 **	68,3
14/12 - 15/12	Umedecendo	2,5112	0,419 *	Secando	-0,2679	0,993 **	76,4
15/12 - 16/12	Umedecendo	0,5880	0,289 ns	Secando	-0,0620	0,984 **	36,3
16/12 - 03/02	Secando	-1,0578	0,477 **	Secando	-1,4180	0,920 **	30,3
03/02 - 05/02	Secando	-1,6554	0,452 *		-0,3073	0,876 **	2,3
05/02 - 22/02	Secando	-5,2357	0,373 *	Umedecendo	1,9226	0,819 **	8,4
22/02 - 01/04	Umedecendo	5,0417	0,437 *	Secando	-1,8786	0,869 **	83,0
01/04 - 04/04	Secando	-6,1732	0,394 *	Umedecendo	1,0123	0,936 **	2,4
04/04 - 07/04	Umedecendo	2,3782	0,373 *	Secando	-0,1367	0,950 **	24,3
07/04 - 13/05	Umedecendo	1,9867	0,715 **	Umedecendo	0,2599	0,925 **	23,0
13/05 - 09/06	Secando	-2,9937	0,613 **	Umedecendo	0,2526	0,959 **	0,0

** significativo para $\alpha=0,01$, * significativo para $\alpha=0,05$, ns não significativo

^a precipitação nos dez dias antecedentes a medição do conteúdo de água no solo

Tabela 2 - Coeficiente de Spearman entre o conteúdo de água no solo em datas consecutivas.

Período	Perfil P1			Perfil P3			Precipitação Antecedente ^a
	Evolução	Δ Umidade	r _s	Evolução	Δ Umidade	r _s	
03/02 - 05/02				Umedecendo	1,2224	0,543 **	2,3
05/02 - 19/02				Umedecendo	3,2058	0,565 **	8,4
19/02 - 22/02	Umedecendo	2,4145	0,148 ns	Umedecendo	2,9079	0,443 *	66,3
22/02 - 01/04	Secando	-3,6940	0,119 ns	Secando	-4,7877	0,428 *	83,0
01/04 - 04/04	Umedecendo	5,2142	0,561 **	Umedecendo	5,2181	0,134 ns	2,4
04/04 - 07/04	Secando	-1,7967	0,734 **	Secando	-2,3291	0,341 ns	24,3
07/04 - 13/05	Secando	-1,3371	0,744 **	Secando	-1,0460	0,509 *	23,0
13/05 - 09/06	Umedecendo	2,4038	0,735 **	Umedecendo	2,4725	0,625 **	0,0

** significativo para $\alpha=0,01$, * significativo para $\alpha=0,05$, ns não significativo.

^a precipitação nos dez dias antecedentes a medição do conteúdo de água no solo

Estabilidade temporal nos pontos de medição

A Figura 1 mostra as diferenças relativas médias do conteúdo de água no solo nos pontos monitorados na bacia. Nesta figura os números acima dos intervalos indicam a localização do ponto em campo. Observa-se que os pontos da malha regular na superfície (Figura 1a) mostram que existem seis pontos na bacia (14, 06, 26, 13, 08 e 02) que emulam o comportamento médio do conteúdo de água no solo, com diferenças médias relativas inferiores a $\pm 0,5\%$. O ponto 20 apresenta sistematicamente valores de conteúdo de água no solo inferiores à média da bacia, enquanto que os pontos 03 e 30 apresentam valores superiores. Levando em consideração o desvio padrão das diferenças relativas verifica-se uma grande dispersão nos dados, fazendo com que a posição relativa dos diferentes pontos de monitoramento fique menos definida. Esta elevada dispersão compromete o uso de pontos de estabilidade temporal (PET) na estimativa do conteúdo médio de água no solo com este conjunto de dados.

Para os dados da malha regular a 30 cm de profundidade (Figura 1b), as diferenças médias relativas mostram maior estabilidade temporal, com desvios-padrão inferiores a 5% em todos os pontos de monitoramento. Vários pontos na bacia apresentam comportamento semelhante à média (04, 19,

17, 28, 11 e 01), sendo que destes o ponto 11 é o que mostra maior semelhança, com diferença relativa média de $-0,05 \pm 0,8\%$. É interessante observar que todos estes pontos, com exceção do 28, estão localizados numa posição intermediária na vertente.

Os dados de campo na profundidade de 30 cm mostram ainda a presença de zonas úmidas e secas na bacia, identificadas pelos pontos 02 e 25, respectivamente. Nestes pontos o conteúdo de água no solo em qualquer data de medição foi em média $15 \pm 4\%$ superior (ponto 02) ou $-12 \pm 3\%$ inferior (ponto 25) que o conteúdo médio de água no solo.

A identificação de pontos com estabilidade temporal na bacia, uns com valores próximos à média e outros com valores extremos (úmidos e secos), permite supor que o monitoramento de apenas poucos pontos (PET) poderá fornecer informações sobre a média areal do conteúdo de água na bacia do arroio Donato na profundidade de 30 cm, bem como da sua variabilidade.

Nos perfis P1 e P3 (Figura 1c e d), os desvios são superiores aos obtidos na profundidade de 30 cm mas inferiores aos obtidos com dados da malha regular na superfície. No entanto, é possível identificar pontos com relativa estabilidade temporal, como os pontos 03 e 02-3, no perfil P1 e os pontos 28-10 e 28-3 no perfil P3.

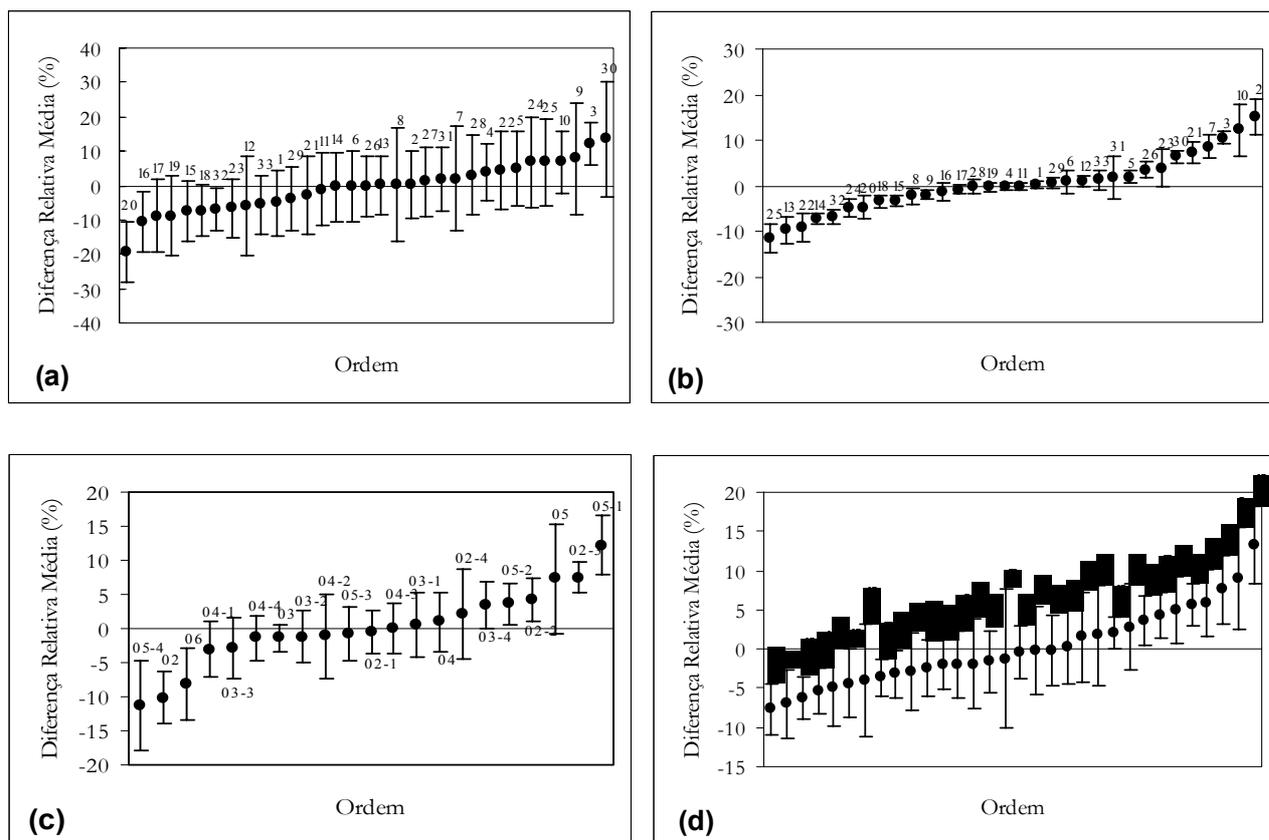


Figura 1 - Diferenças relativas médias para o conteúdo de água no solo na malha regular na superfície(a), a 30 cm de profundidade (b), no perfil P1 (c) e no perfil P3 (d).

No perfil P1, o ponto 02-1 tem comportamento muito próximo à média da bacia, com diferença média relativa de $-0,45 \pm 3,1\%$. Os pontos 04-3, 04-4 e 03 também podem ser aceitáveis. Pode-se identificar também locais de comportamento extremos, sempre secos ou úmidos com relação à média. Estes pontos são o 02-3 para valores máximos ($\delta_{med} = 7,5 \pm 2,1\%$) e o 05-4 para valores mínimos ($\delta_{med} = -11,2 \pm 6,6\%$). No perfil P3, os pontos que têm comportamento próximo à média na bacia, pode-se citar o 28-1 e D028-7, com os pontos 29-2 e 29-3 também aceitáveis.

Analisando os resultados dos quatro conjuntos de dados estudados, verifica-se que as diferenças médias relativas (δ_{med}) não foram superiores a 15%, com exceção do ponto 20 na superfície que apresenta uma diferença relativa média de 19,34%. Isto indica que a bacia do arroio Donato não apresenta uma variabilidade espacial do conteúdo de água no solo muito acentuada. Diferenças relativas nesta ordem de grandeza foram observadas por Comegna

e Basile (1994), Grayson e Western (1998) e Gonçalves et al. (1999). Gómez-Plaza et al. (2000) se reporta a valores de diferença relativa superiores a 60% em áreas semi-áridas.

Estimativa da média utilizando PETs – comparação entre métodos

Uma importante questão é saber qual o ganho da estimativa da média ou de valores extremos quando se utiliza pontos de estabilidade temporal (PETs) em comparação com outro ponto na bacia. Neste trabalho foram testados três métodos para estimativa da média espacial do conteúdo de água no solo. A Tabela 3 mostra os erros médios para os métodos 1 e 2 e os coeficientes de determinação para o método 3 nos quatro conjuntos de dados estudados. Nesta tabela os pontos em negrito correspondem aos PETs identificados no item anterior.

Observa-se que os PETs apresentam melhor desempenho quando se utiliza o método 1 para

Tabela 3 - Erro médio adimensional (%) entre os métodos de estimativa do conteúdo médio de água na bacia, nos dados da malha regular na superfície e a 30 cm de profundidade.

PONTO	SUPERFÍCIE			30 cm		
	Método 1	Método 2	Método 3	Método 1	Método 2	Método 3
D001	7,97	8,16	0,76	0,78	0,83	0,90
D002	7,45	8,17	0,70	15,37	2,98	0,64
D004	8,17	6,13	0,72	0,84	0,65	0,62
D005	9,63	8,68	0,82	2,18	1,09	0,62
D006	7,85	8,48	0,82	1,01	1,10	0,06
D007	8,48	10,04	0,52	8,80	2,05	0,92
D008	11,36	12,11	0,59	2,33	1,38	0,85
D009	11,23	12,58	0,41	1,95	0,90	0,78
D010	8,77	7,06	0,79	11,78	4,86	0,05
D011	8,24	9,11	0,78	0,72	0,81	0,80
D012	11,59	9,10	0,60	1,39	1,02	0,58
D013	6,75	7,44	0,86	10,08	1,77	0,00
D014	8,15	8,50	0,66	7,43	0,98	0,51
D015	8,72	8,50	0,77	3,26	1,16	0,58
D016	10,66	9,42	0,73	2,06	1,42	0,20
D017	15,50	8,65	0,72	0,91	0,72	0,79
D018	8,96	6,77	0,86	3,34	3,42	0,33
D019	12,89	11,37	0,62	0,87	0,78	0,74
D020	19,75	9,14	0,68	4,83	2,03	0,08
D021	8,79	9,62	0,77	7,54	7,92	0,67
D022	8,98	8,58	0,69	9,06	2,72	0,73
D023	9,28	7,99	0,86	4,83	3,33	0,50
D024	10,32	9,38	0,68	4,98	1,51	0,38
D025	11,99	8,34	0,81	11,61	2,02	0,46
D026	5,84	6,40	0,80	3,72	3,57	0,52
D027	6,63	7,19	0,77			
D028	9,11	9,40	0,69	0,94	1,06	0,36
D029	7,07	7,72	0,80	1,17	1,01	0,65
D030	14,38	12,09	0,50	6,29	0,82	0,83
D032	8,07	5,57	0,85	6,77	1,28	0,44
D033	7,94	7,64	0,88	1,82	1,43	0,24

estimar o conteúdo médio de água no solo no conjunto de dados da malha regular na superfície. Os erros médios nos pontos 03 e 26 foram de 6,75 e 5,84%, respectivamente. O método 2 mostra que o ponto 04 com melhor desempenho, com erro médio inferior aos obtidos nos PETs. Isto ocorre porque o conteúdo de água no solo no ponto 04, mesmo sendo sistematicamente superior à média da bacia, tem baixa variância, fazendo com que no método 2, que compensa o desvio sistemático, seja o

que apresenta o melhor resultado. O ponto 04 localiza-se no trecho intermediário da vertente na cabeceira da bacia. O que daria a idéia de valores de conteúdo de água no solo próximos da média ou inferiores, no entanto, este ponto apresenta percentagens de argila na superfície em torno dos 64%, sendo superior a grande maioria dos outros pontos monitorados na bacia, o que explica a a tendência do mesmo apresentar valores de conteúdo de água no solo sistematicamente superior a média na bacia.

Tabela 4 - Erro médio adimensional (%) entre os métodos de estimativa do conteúdo médio de água na bacia, no perfil P1 e P3.

PERFIL P1				PERFIL P3			
PONTO	Método 1	Método 2	Método 3	PONTO	Método 1	Método 2	Método 3
D006	8,10	7,07	0,63	D028	4,66	3,79	0,93
D005-4	11,77	4,93	0,26	D028-1	3,38	3,41	0,78
D005-3	3,35	2,83	0,62	D028-2	4,93	3,06	0,90
D005-2	3,99	3,65	0,80	D028-3	2,30	1,69	0,96
D005-1	12,21	5,20	0,73	D028-4	5,89	3,37	0,86
D005	8,28	7,72	0,86	D028-5	5,69	1,90	0,95
D004-4	2,67	5,41	0,80	D028-6	7,59	3,47	0,85
D004-3	2,89	4,61	0,71	D028-7	4,04	3,98	0,82
D004-2	4,91	4,73	0,51	D028-9	4,80	3,64	0,86
D004-1	4,20	4,07	0,64	D028-10	4,02	1,52	0,95
D004	3,17	5,81	0,87	D028-11	3,35	2,49	0,92
D003-4	3,52	4,74	0,75	D028-12	7,70	2,77	0,88
D003-3	3,62	6,06	0,77	D028-13	6,98	4,82	0,53
D003-2	3,22	2,83	0,85	D028-14	5,36	2,42	0,88
D003-1	4,14	4,95	0,69	D028-15	4,65	4,29	0,87
D003	2,02	3,52	0,91	D028-16	3,45	3,05	0,83
D002-4	5,90	6,00	0,39	D028-17	3,16	2,55	0,93
D002-3	7,47	4,51	0,91	D028-18	6,19	2,51	0,96
D002-2	4,49	5,44	0,88	D028-19	3,42	2,44	0,91
D002-1	2,69	4,78	0,77	D028-20	3,27	2,87	0,91
D002	10,22	7,06	0,86	D029	7,26	3,57	0,89
				D029-1	5,15	4,31	0,94
				D029-2	2,63	2,78	0,96
				D029-3	3,53	3,62	0,79
				D029-4	3,80	2,50	0,92
				D029-5	4,69	4,09	0,73
				D029-6	5,30	4,24	0,68
				D029-7	9,19	4,06	0,65
				D029-8	13,28	3,20	0,81
				D029-9	5,36	5,08	0,65
				D029-10	4,59	1,99	0,92
				D030	6,72	6,66	0,34

Com relação ao método 3, os PETs apresentam coeficientes de determinação razoáveis (0,80 e 0,86), mas existem diversos outros pontos na bacia que também apresentam coeficientes de determinação semelhantes.

Na profundidade de 30 cm fica mais evidente o ganho de precisão quando se utilizam os PETs na estimativa do conteúdo médio de água no solo. Nesta profundidade os erros médios nos PETs são inferiores a 1% enquanto que em outros pontos da

bacia este erro pode alcançar valores de até 15% (02). O método 2 não representou nenhum ganho na estimativa e o método 3 resultou em coeficientes de determinação muito baixos, chegando a se anular no ponto 13.

No perfil P1 (Tabela 4) os pontos de estabilidade temporal identificados no item anterior (pontos em negritos) são os que resultam em melhores estimativas do conteúdo médio de água na vertente. O erro médio nestes pontos para o meto-

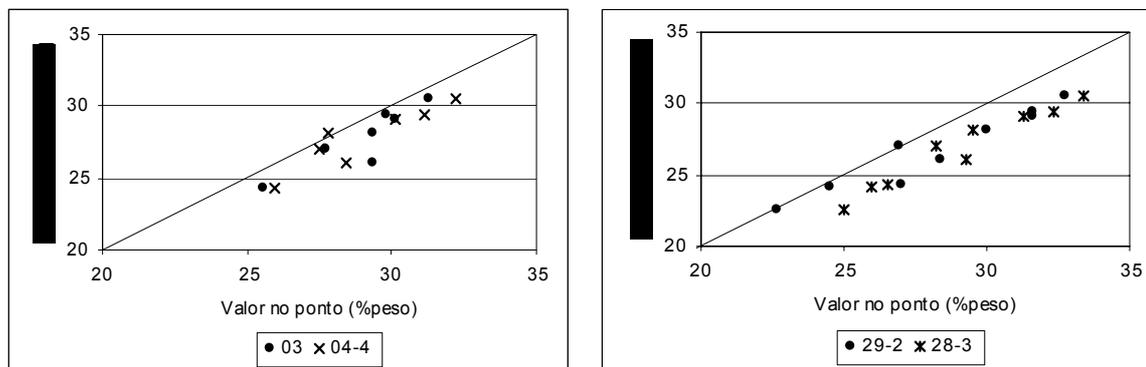


Figura 2 - Conteúdo de água no solo na bacia e o obtido com o PET nos perfis P1 e P3.

do 1 é inferior a 3%, o que pode ser considerado satisfatório. Nos demais pontos da vertente chega-se a observar erros médios superiores a 10%.

No perfil P3 (Tabela 4) os pontos com menor diferença relativa média (PETs) não representaram necessariamente as melhores opções quando se analisam os erros médios. Os pontos 28-3 e 28-17 mesmo apresentando diferenças relativas de 2,1 e – 2,0%, respectivamente, foram os que resultaram em menor erro médio devido ao baixo desvio padrão. Este fato ressalta ainda mais a necessidade de se considerar o desvio padrão na seleção do PET, sendo preferível admitir um erro sistemático na estimativa da média desde que a variabilidade seja baixa. Ao se trabalhar com o segundo método de estimativa do conteúdo médio de água na bacia, que elimina o problema do erro sistemático, se observa que o erro médio do ponto 28-3 cai para menos de 2%.

Comparando o valor médio espacial do conteúdo de água no solo em toda a bacia com as estimativas obtidas nos perfis P1 e P3 (Figura 2), verifica-se que nos dois perfis ocorre um superestimativa da média espacial. Eliminando o erro sistemático pelo método 2 de estimativa, se obtém valores médios estimados com erro inferior a 5% em todas as situações.

CONCLUSÃO

Foi efetuado o monitoramento da bacia do arroio Donato, na região central do derrame basáltico sul-riograndense, com o objetivo de avaliar a

estabilidade temporal no padrão espacial do conteúdo de água no solo e identificar pontos de amostragem que reproduzem o comportamento médio e extremo do conteúdo de água no solo.

Os resultados obtidos indicam que na bacia do arroio Donato a estabilidade completa do padrão espacial do conteúdo de água no solo não existe na camada superficial (principalmente em função da influência de eventos chuvosos) existindo somente para a profundidade de 30 cm.

A estabilidade temporal observada na profundidade de 30 cm pode estar associada à pequena variabilidade temporal do conteúdo de água no solo durante o período do experimento e a menor influência da vegetação na configuração espacial do conteúdo de água no solo nesta profundidade.

Todavia, foi possível identificar pontos na bacia do arroio Donato com estabilidade temporal, principalmente na profundidade de 30 cm e no perfil P1. A estabilidade temporal em determinados pontos, mesmo que não ocorra no padrão como um todo, é suficiente para o propósito de monitoramento. Se os pontos de estabilidade também mostram pequenas diferenças relativas com relação à média, eles podem ser utilizados diretamente para estimativa da média espacial.

Para os quatro conjuntos de dados analisados nesta tese, foi possível identificar pontos com diferenças relativas com relação a média espacial muito pequenas, passíveis de serem utilizados no monitoramento, que foram denominados PETs. Se verificou ainda que outros pontos na bacia, não necessariamente com baixas diferenças relativas, podem ser utilizados no monitoramento, sendo, no

entanto, exigido que o valor de $\bar{\delta}(j)$ seja conhecido.

Não foi possível comprovar a hipótese de Grayson e Western (1998) de que seria possível relacionar a posição dos PETs com as características do terreno e/ou do solo, de forma a identificar a posição dos mesmos a priori. Somente os PETs da profundidade de 30 cm mostram um certo padrão de localização, encontram-se na maioria situados no trecho intermediário da vertente, mas os PETs identificados com os dados da malha regular na superfície e os dos perfis P1 e P3 não mostram qualquer padrão específico podendo se situar em qualquer ponto.

Alternativamente, é possível desenvolver um rápido protocolo de amostragem que possa ser usado na identificação de PETs ou para determinar a relação entre pontos de estabilidade temporal e a média espacial do conteúdo de água no solo. Inclusive, como foi visto com os dados dos perfis P1 e P3, é possível realizar esta amostragem preliminar somente numa vertente, diminuindo desta forma os custos envolvidos.

Em resumo pode-se dizer que, na bacia do arroio Donato, o uso de pontos de estabilidade temporal permite estimar a média espacial do conteúdo de água no solo com erro inferior a 5% na superfície e a 1% na profundidade de 30 cm e que entre os métodos para estimativa da média espacial do conteúdo de água no solo testados neste trabalho o método 2 se apresenta como uma boa opção uma vez que elimina o erro sistemático, possibilitando o uso de PETs identificados somente numa vertente, o que diminui significativamente o esforço amostral necessário na identificação de PETs em toda a bacia hidrográfica.

AGRADECIMENTOS

As atividades experimentais e o trabalho de doutoramento que permitiram a confecção do presente artigo contaram com o suporte e financiamento do CNPq e do Convênio FAURGS/FINEP 23.01.0529.00/CTHIDRO. Joel Avruch Goldenfum está atualmente efetuando pesquisa pós-doutoral no INSA-LYON, França, com bolsa CNPq.

REFERÊNCIAS

Comegna, V.; e Basile, A. 1994 Temporal stability of spatial patterns of soil water storage in a cultivated Vesuvian Soil. **Geoderma**, v.62, p. 299-310.

- Famiglietti, J.S.; Rudnicki, J.W. e Rodell, M. 1998. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. **Journal of Hydrology**, v.210, p.259-281.
- Francis, C.F., et all. 1986 Topographic control of soil moisture, vegetation and land degradation in a moisture stressed mediterranean environment. **Catena**, v. 13, p. 211-225.
- Gómez-Plaza, A., et all. 2000 Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi-arid environment. **Hydrological Processes**, v.14, p. 1261-1277.
- Gonçalves, A.C.A.; Folegatti, M.V. e Silva, A.P. 1999 Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p. 155-164.
- Grayson, R.B., et all. 1997 Preferred states in spatial soil moisture patterns: Local and nonlocal controls. **Water Resources Research**, v.33, n.12, p. 2897-2908.
- Grayson, R.B. e Western, A. 1998 Towards areal estimation of soil water content from point measurements: time and space stability of mean response. **Journal of Hydrology**, v.207, p. 68-82.
- Hawley, M.E.; Jackson, T.J. e McCuen, R.H. 1983 Surface soil moisture variation on small agricultural watersheds. **Journal of Hydrology**, v.62, p. 179-200.
- Kachanoski, R.G. e De Jong, E. 1988 Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. **Water Resources Research**, v.24, p.85-91.
- Melo Filho, J.F. de 2002 **Variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em função da umidade de um latossolo sob condições de campo**, Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Tese de Doutorado, 145p.
- Nyberg, L. 1996 Spatial variability of soil water content in the covered catchment at Gardsjön, Sweden. **Hydrological Processes**, v.10, p.89-103.
- Reichardt, K., et all. 1993 Hydraulic variability in space and time in a dark red latosol of tropics. **Geoderma**, v.60, p.159-168.
- Seyfried, M.S. e Wilcox, B.P. 1995 Scale and the nature of spatial variability: Field examples having implications for hydrologic modeling. **Water Resources Research**, v.31, n.1, p.173-184.
- Vauchaud, G., et all. 1985 Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of American Journal**, v.49, p. 822-828.
- Wendroth, O., et all. 1999 Spatio-temporal patterns and covariance of soil water status in two Northeast-German field sites. **Journal of Hydrology**, v.215, p.38-58.

Western, A. W. e Blöchl, G. 1999 On the spatial of soil moisture. **Journal of Hydrology**, v.217, p.203-224.

Western, A.W.; Blöschl, G.; Grayson, R.B. 1998 How well do indicator variograms capture the spatial connectivity of soil moisture? **Hydrological processes**, v. 12, p. 1851-1868.

Spatial Variability of Soil Water Content in a Small Rural Basin: 3. Analysis of Temporal Stability of Spatial Patterns of Soil Water Contents

ABSTRACT

The temporal stability of spatial patterns of soil water contents was evaluated in a small rural catchment on the Sul-riograndense basaltic plateau, to identify sampling points that can reproduce the mean and extreme soil water content behaviours. The soil water content was monitored during one agricultural year. Samples were collected from a regular grid throughout the catchment, at 0 cm (soil surface) and 30 cm depth, and from two profiles, 280 m (Profile P1) and 320 m (Profile P3) long. The soil water content measurements were performed by gravimetric procedure at the surface and with TDR technique at deeper levels. Complete stability of soil water content spatial patterns at soil surface level was not observed, but it could be identified at 30 cm depth. Points with temporal stability in the catchment, especially at 30 cm depth and in profile P1 could be identified. The use of points of temporal stability allowed estimates of mean area of soil water contents with errors of less than 5% e 1% at the soil surface and 30 cm depth, respectively.

Key-words: spatial variability; soil water content; small basins; temporal stability.