

# SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## ESTABILIDADE TEMPORAL DO CONTEÚDO DE ÁGUA EM TRÊS CONDIÇÕES DE USO DO SOLO, EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DA REGIÃO DA SERRA DA MANTIQUEIRA, MG<sup>(1)</sup>

Léo Fernandes Ávila<sup>(2)</sup>, Carlos Rogério de Mello<sup>(3)</sup> & Antônio  
Marciano da Silva<sup>(3)</sup>

### RESUMO

A descrição de processos hidrológicos é relativamente complexa, principalmente da variação do conteúdo de água no solo, devido à influência de fatores edáficos, topográficos, climáticos e de vegetação. Em condições de campo, a estimativa do conteúdo de água no solo requer um plano de amostragem adequado, considerando as variações no tempo e no espaço. Visando representar adequadamente o conteúdo de água no solo com reduzido esforço amostral e custo, o conceito de estabilidade temporal tem sido muitas vezes empregado. Este estudo foi realizado com o objetivo de analisar a estabilidade temporal do conteúdo de água na camada superficial do solo (0-0,20 m de profundidade), sob diferentes usos do solo, em uma bacia hidrográfica experimental da região da Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, nos períodos de estiagem e chuvoso, estimando os pontos mais representativos para essa determinação. Houve maior estabilidade temporal do conteúdo de água no solo na área de vegetação de várzea, menor na área ocupada por Mata Atlântica e intermediária na área de pastagem. Ocorreram, também, variações significativas da diferença relativa média entre os períodos de medição, concluindo-se que as características de cada área devem ser consideradas particularmente para escolha dos pontos. Na área de pastagem, foi possível identificar apenas um ponto para monitoramento tanto para o período chuvoso como para o de estiagem. Por outro lado, nas áreas de Mata Atlântica e vegetação de várzea foram identificados dois pontos, sendo um especificamente para o período chuvoso e outro para o período de estiagem, sendo recomendada uma análise individual específica para cada estação.

**Termos de indexação:** variabilidade temporal, monitoramento de bacias hidrográficas, diferença relativa.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em maio de 2009 e aprovado em setembro de 2010.

<sup>(2)</sup> Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista de Doutorado do CNPQ. E-mail: ávila\_lf@posgrad.ufla.br

<sup>(3)</sup> Professores do Departamento de Engenharia, UFLA. Bolsistas do CNPQ. E-mails: crmello@deg.ufla.br; marciano@deg.ufla.br

**SUMMARY:** *TEMPORAL STABILITY OF SOIL MOISTURE UNDER THREE SOIL USES IN A CATCHMENT OF THE MANTIQUEIRA RANGE REGION, MINAS GERAIS STATE, BRAZIL*

*The description of soil hydrological processes is relatively complex, especially in the case of moisture, which is influenced by edaphic, topographic, climatic and vegetation factors. Under field conditions, an adequate sampling strategy is required to estimate soil moisture, considering variations in time and space. To represent the soil moisture adequately with less sampling effort and cost, the concept of temporal stability has often been applied. This study was carried out with the objective of analyzing the temporal stability of the surface soil moisture (0–0.20 m layer) under three land uses in an experimental area in a catchment of the Mantiqueira Range region, state of Minas Gerais, Brazil, in the dry and rainy seasons, identifying the most representative points for monitoring. Greatest temporal stability was observed in the wetland, less under Atlantic Forest and intermediate in a pasture area. Significant variation was also observed in the mean relative difference between the sampling periods, indicating that the characteristics of each site should be particularly considered to choose the points. In the pasture area, only one point could be identified to monitor both periods (rainy and dry). On the other hand, in the Atlantic Forest and wetland areas two points were identified, one specifically for the rainy and the other for the dry season; so an individual analysis for each season is recommended.*

*Index terms: temporal variability, watershed monitoring, relative difference.*

## INTRODUÇÃO

O uso de monitoramentos hidrológicos e sedimentológicos tem se intensificado em diversos países, buscando-se a caracterização de vários processos, destacando-se o estudo da dinâmica da água no solo. É relativamente complexo estimar o valor representativo de variáveis relacionadas a esses processos naturais devido à sua heterogeneidade, a qual é dependente da ação de diversos fatores extrínsecos e intrínsecos do solo, no caso da variação do conteúdo de água no solo, caracterizando sua variabilidade espacial e temporal.

A fim de representar adequadamente o conteúdo de água no solo com reduzido esforço amostral, Vachaud et al. (1985) introduziram o conceito de estabilidade temporal. Esse conceito pode ser definido como a associação constante entre a localização espacial e as medidas estatísticas que caracterizam uma determinada propriedade do solo ao longo do tempo (van Wesenbeeck & Kachanoski, 1988).

A estabilidade temporal possibilita a identificação de pontos no campo que refletem o comportamento médio de uma variável, ou seja, pontos que apresentam valores semelhantes ao valor médio. A identificação deles é fundamental no planejamento de programas de monitoramento de variáveis hidrológicas, pois permite a redução de custos relacionados à mensuração de dados de campo.

Schneider et al. (2008) mencionam que esse método foi aplicado em estudos relacionados ao conteúdo de água no solo em diversos países, em regiões com climas diferenciados e com amostras de diversos tamanhos. Como exemplo, têm-se os trabalhos de

Grayson & Western (1998), os quais determinaram a estabilidade temporal do conteúdo de água no solo em três bacias hidrográficas localizadas na Austrália e nos Estados Unidos, e de Gómez-Plaza et al. (2000), que estudaram os fatores que influenciam na estabilidade temporal do conteúdo de água no solo em uma região de clima semiárido da Espanha.

Apesar de vários autores utilizarem a técnica de estabilidade temporal, sua comparação não é adequada devido à diversidade das condições das regiões analisadas, como a extensão da área, o plano de amostragem, a profundidade monitorada e o período de monitoramento (Fernandez & Ceballos, 2003; Tallon & Si, 2003; Thierdefelder et al., 2003; Cosh et al., 2004; Fernandez & Ceballos, 2005; Pachepsky et al., 2005; Bosch et al., 2006; Starks et al., 2006; Teuling et al., 2006). Além disso, 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 (Schneider et al., 2008).

Comparando a estabilidade temporal do conteúdo de água no solo numa área vegetada e em outra sem cobertura vegetal, Gómez-Plaza et al. (2000) constataram menor estabilidade temporal na área vegetada. Segundo esses autores, esse comportamento está associado à distribuição da cobertura vegetal e das raízes, que, ocasionalmente, causaram maior variabilidade da demanda de água pela planta durante o cultivo. Fernandez & Ceballos (2003) observaram maior estabilidade temporal no período de estiagem em comparação ao período de reumedecimento do solo por ocasião do início da estação chuvosa, concluindo que este último foi o período mais crítico para a estabilidade temporal.

Dessa forma, observa-se que o estudo da estabilidade temporal pode ser utilizado para equacionar uma diversidade de questões relacionadas ao monitoramento da dinâmica da água no solo, especialmente na redução de custos associados à medição do conteúdo de água no solo em escala de bacias hidrográficas, gerando informações científicas que poderão ser aplicadas com maior grau de confiabilidade a um custo reduzido.

Diante disso, objetivou-se neste trabalho analisar a estabilidade temporal do conteúdo de água no solo em uma bacia hidrográfica experimental da Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, sob diferentes usos do solo, avaliando-se o padrão de estabilidade para os períodos de estiagem e chuvoso, visando à identificação de pontos representativos para implementação do monitoramento contínuo do conteúdo de água no solo, com reduzido esforço amostral e, conseqüentemente, a um custo reduzido.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Características básicas e localização da bacia hidrográfica

A área monitorada, denominada bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, localiza-se na Serra da Mantiqueira, município de Bocaina de Minas (MG), e deságua diretamente no Rio Grande, considerado principal formador do reservatório de Furnas. A bacia situa-se entre as coordenadas 22° 07' S e 22° 09' S de latitude e 44° 26' W e 44° 29' W de longitude, com altitude entre 1.144 e 1.739 m, com área de drenagem de aproximadamente 6,90 km<sup>2</sup> e declividade média de 35 %, localizando-se na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos GD01 da Bacia Hidrográfica do Rio Grande. A precipitação pluvial anual média é de 2.150 mm, com concentração das chuvas no período de outubro a abril. A evapotranspiração potencial é de 1.060 mm, com temperaturas médias variando de 11 e 19 °C entre o mês mais frio e o mais quente, típicas do clima Cwb (Mello et al., 2008; Beskow et al., 2009).

As unidades pedológicas dessa bacia hidrográfica, conforme Menezes et al. (2009), são: Neossolo Flúvico e Gleissolo Háptico, ambos localizados na porção inferior da bacia e ocupando, respectivamente, 7,1 e 0,9 % da área; e Cambissolo Háptico, localizado principalmente nas regiões de maior altitude e declive mais acentuado, ocorrendo em 92 % da área (Figura 1). Na figura 2 é apresentado o mapa de uso atual do solo na bacia hidrográfica do ribeirão Lavrinha, o qual é constituído por aproximadamente 41 % de Mata Atlântica, 14 % de regeneração natural em fase de desenvolvimento médio e avançado, 40 % de pastagem e 5 % de vegetação de várzea.

### Estabilidade temporal da umidade do solo

Os pontos para monitoramento da umidade do solo foram locados por meio de um aparelho GPS, marca

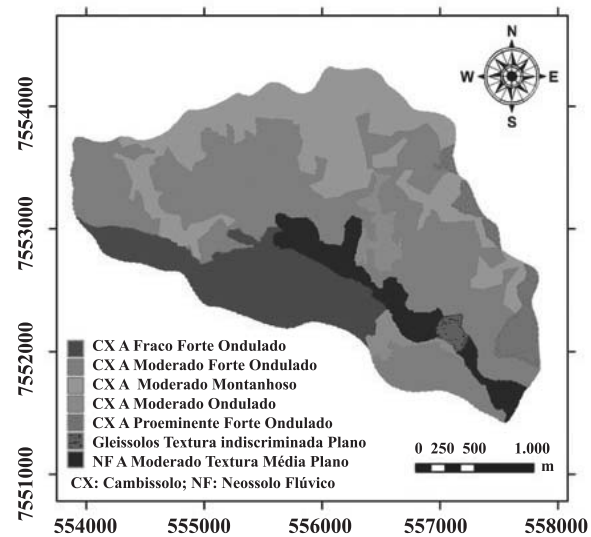


Figura 1. Distribuição espacial dos solos na bacia hidrográfica experimental do ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, Minas Gerais (Adaptado de Menezes et al., 2009).

Magellan, modelo Promark3, trabalhando-se com precisão submétrica (< 1 m), partindo-se de um esquema georreferenciado prévio, os quais foram estratificados considerando as classes de uso atual do solo. Os pontos de monitoramento ficaram assim distribuídos: 13 na área de Mata Atlântica, 10 na área de pastagem e 8 na área de vegetação de várzea (Figura 2). O monitoramento foi conduzido na camada superficial do solo (0–0,20 m), entre maio de 2007 e maio de 2008, com periodicidade de leitura quinzenal, utilizando-se um equipamento portátil do tipo Time Domain Reflectometry (TDR), fabricado pela IMKO, modelo TRIME – FM, com hastes de 0,20 m de comprimento, o qual fornece leitura do conteúdo de água no solo com base em volume (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). A calibração do TDR foi conduzida de forma semelhante à adotada por van den Elsen et al. (2003), os quais trabalharam com equipamento semelhante. Para isso, foram ajustados e analisados seis modelos matemáticos (linear, logarítmico, polinomial de segundo grau, potencial, exponencial e média móvel) aos dados mensurados do conteúdo de água no solo pelo equipamento TDR, associados aos valores observados do conteúdo de água no solo, consistindo, portanto, numa calibração específica para as condições pedológicas e de uso do solo do presente estudo. Os valores observados de umidade do solo foram obtidos, primeiramente, pelo método gravimétrico, após coleta de amostras indeformadas com amostrador de Uhland, as quais foram acondicionadas em filmes plásticos, com o objetivo de preservar sua umidade, e conduzidas ao laboratório. Os valores de umidade foram então corrigidos para umidade volumétrica com base na densidade do solo, a qual foi avaliada para cada ponto amostral de umidade, em cada condição de uso do solo, conforme Ferreira et al. (2003). Após análise dos

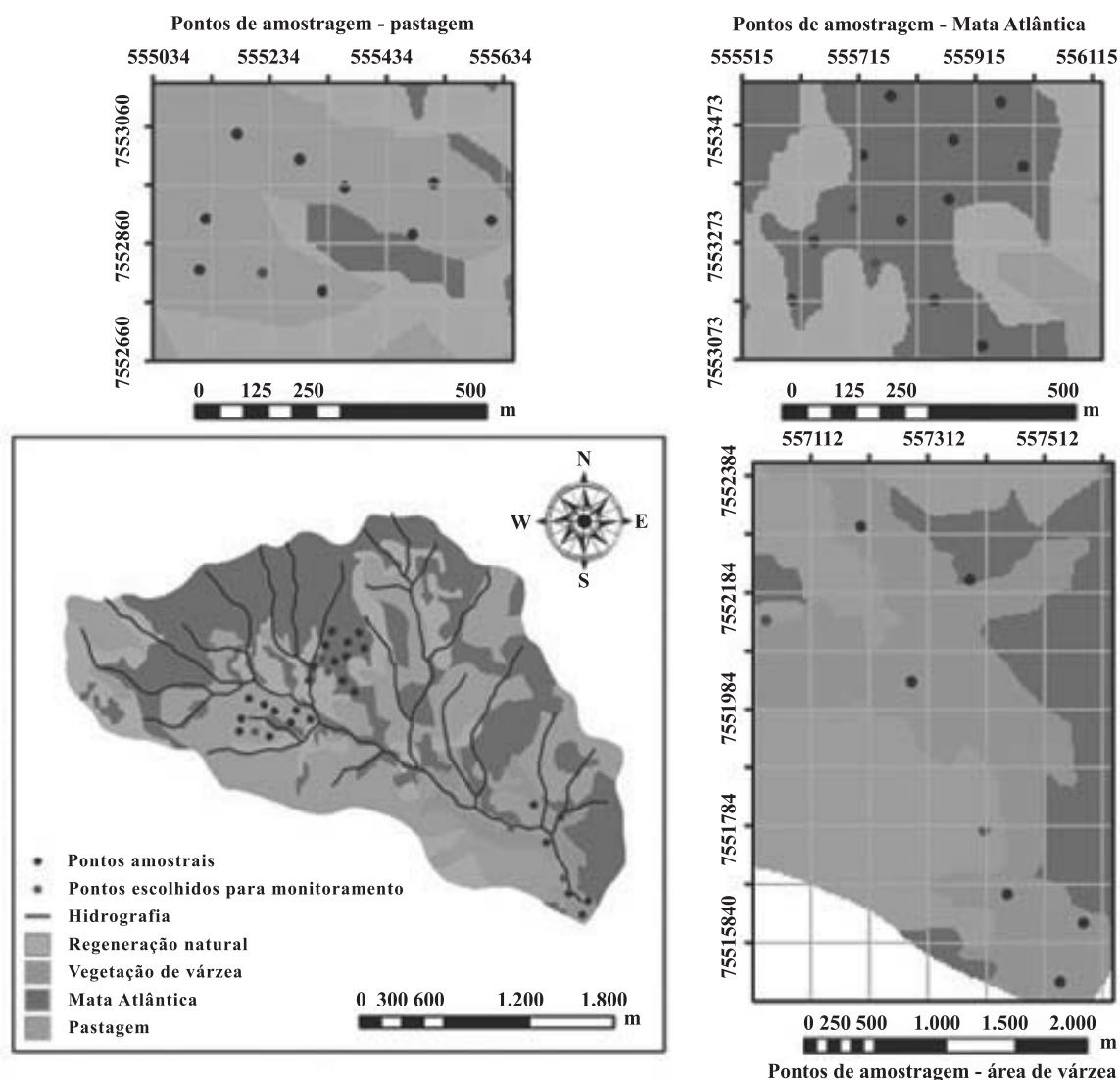


Figura 2. Distribuição espacial do uso atual do solo e localização dos pontos amostrais e de monitoramento da umidade do solo na bacia hidrográfica experimental do ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, Minas Gerais.

ajustes matemáticos dos modelos adotados, verificou-se que o modelo polinomial de segundo grau apresentou os melhores ajustes, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,91 para Mata Atlântica e pastagem e 0,86 para vegetação de várzea.

Para análise da estabilidade temporal, foram aplicadas duas técnicas da estatística não paramétrica (Vachaud et al., 1985): diferença relativa, que faz uma análise dos desvios entre os valores observados individualmente e a média destes; e o teste não paramétrico de Spearman, o qual é utilizado como ferramenta estatística para indicar o grau de concordância da variabilidade espacial obtida em diferentes tempos. A técnica das diferenças relativas, que permite verificar a estabilidade relacionada ao tempo da variabilidade espacial dos processos, foi aplicada na identificação de pontos para o monitoramento com reduzido esforço amostral. As

diferenças relativas médias, expressas em termos percentuais, associadas ao respectivo desvio-padrão no tempo e ordenadas em ordem crescente, permitiram detectar as posições que representam a média geral do conteúdo de água no solo com determinado nível de confiabilidade. A diferença relativa média pode ser calculada pela expressão:

$$\bar{\delta}_{ij} = \frac{\theta_{ij} - \theta_j}{\theta_j} \quad (1)$$

em que  $\bar{\delta}_{ij}$  é a diferença relativa média na posição  $i$  no tempo  $j$ ;  $\theta_{ij}$  é o valor do conteúdo de água no solo na posição  $i$  e no tempo  $j$ ; e  $\theta_j$  é a média do conteúdo de água no solo, em todas as posições, no tempo  $j$ . Conforme Vachaud et al. (1985), um valor constante ou uma pequena variação de  $\bar{\delta}_{ij}$  ao longo do tempo, para cada posição  $i$ , é indicação de estabilidade temporal.

Posteriormente, as diferenças relativas médias foram plotadas com seus respectivos desvios-padrão para cada uso do solo (Mata Atlântica, pastagem natural e vegetação de várzea), a fim de identificar os pontos de maior precisão para estimativa da média geral do conteúdo de água no solo no período de estiagem (abril a setembro) e período chuvoso (outubro a março). Valores próximos de zero da diferença relativa média indicam maior estabilidade temporal do processo, enquanto menor desvio-padrão representa menor variabilidade ou dispersão do conteúdo de água no solo em torno da média e, conseqüentemente, maior confiabilidade da medição do ponto escolhido para estimativa da média geral do conteúdo de água no solo. Nesse sentido, o ponto a ser escolhido como representativo foi aquele que apresentou, simultaneamente, valores próximos de zero da diferença relativa média e menor desvio-padrão (Vachaud et al., 1985; Gonçalves et al., 1999).

Posteriormente, aplicou-se o teste de Spearman, com o intuito de analisar a existência de tendências temporais na série histórica dos dados do conteúdo de água no solo. As tendências temporais podem ocorrer devido a possíveis mudanças graduais do uso do solo, bem como à própria alteração de seu comportamento, ocasionadas eventualmente pelo manejo do solo, podendo produzir alterações de estacionaridade da série histórica. A estatística do teste de Spearman (T) pode ser obtida por:

$$T = \frac{cs}{\sqrt{\text{var}(cs)}} \quad (2)$$

em que  $cs$  é o coeficiente de correlação de Spearman e  $\text{var}(cs)$  é a variância do coeficiente de correlação de Spearman. Considerando um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ), pela tabela de Z obtém-se  $Z_{0,975} = 1,96$ .

Assim, se  $|T| > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ , rejeita-se a hipótese  $H_0$  de que as observações não apresentam tendência temporal. O coeficiente de correlação de Spearman ( $cs$ ) e a variância do coeficiente de correlação são obtidos, respectivamente, por:

$$cs = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^N (F_i - f_i)^2}{N^3 - N} \quad (3)$$

em que  $f_i$  corresponde à posição temporal da série histórica e  $F_i$  à posição em que as observações associadas a  $f_i$  ocupam com a série histórica ordenada em ordem crescente e  $N$  corresponde ao número de dados da série.

$$\text{var}(cs) = \frac{1}{N-1} \quad (4)$$

O coeficiente de correlação de Spearman ( $cs$ ) foi empregado para avaliar o grau de correlação da variável espacial conteúdo de água no solo nos diferentes tempos de amostragem. Um valor de  $cs$

igual à unidade corresponderá a posições idênticas em todos os pontos de medição, ou seja, estabilidade perfeita entre dois tempos. Assim, quanto mais próximo de 1 for  $cs$ , mais estável será o processo (Campos, 1983; Vachaud et al., 1985).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o nível de significância de 5%, observa-se que as séries de dados do conteúdo de água no solo para pastagem não apresentaram significância pelo teste de Spearman ( $|T| < Z_{0,975}$ ), ou seja, deve-se aceitar a hipótese  $H_0$  de que os dados não apresentam tendência temporal (Quadro 1). A área de várzea apresentou apenas dois eventos com significância estatística do teste (em 20/12/2007 e 1º/05/2008), ou seja, a nesse nível de probabilidade, deve-se rejeitar a hipótese  $H_0$ , uma vez que os dados, nessas datas, apresentam tendência temporal. Na área de Mata Atlântica foi constatada maior quantidade de eventos nos quais a hipótese de nulidade pôde ser rejeitada (em cinco dos 20 grupos avaliados), ou seja, com os dados apresentando alguma tendência temporal.

Os coeficientes de correlação de Spearman ( $cs$ ) calculados para os diferentes usos do solo, com as lâminas de precipitação pluvial acumulada (mm) entre uma leitura consecutiva e uma imediatamente anterior do conteúdo de água no solo, obtidas pela estação meteorológica local, para o período monitorado estão

**Quadro 1. Estatística do teste de Spearman em diferentes datas de amostragem e usos do solo na bacia hidrográfica experimental do ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, Minas Gerais**

Data	Uso do solo		
	Pastagem	Mata Atlântica	Vegetação de várzea
23/06/07	0,24 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>
24/07/07	0,82 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>
11/08/07	0,26 <sup>ns</sup>	-0,89 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>
25/08/07	1,76 <sup>ns</sup>	-0,80 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>
16/09/07	0,78 <sup>ns</sup>	-1,03 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
28/09/07	1,84 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>
12/10/07	0,71 <sup>ns</sup>	-1,71 <sup>ns</sup>	1,83 <sup>ns</sup>
26/10/07	0,27 <sup>ns</sup>	-2,74*	0,88 <sup>ns</sup>
10/11/07	1,62 <sup>ns</sup>	-2,15*	1,70 <sup>ns</sup>
23/11/07	0,38 <sup>ns</sup>	-2,06*	1,84 <sup>ns</sup>
08/12/07	1,29 <sup>ns</sup>	-1,53 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>
20/12/07	0,53 <sup>ns</sup>	-2,61*	2,02*
25/01/08	0,25 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
08/02/08	0,09 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>
22/02/08	1,25 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
08/03/08	0,82 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>
20/03/08	0,47 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>
05/04/08	-0,75 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
18/04/08	-0,75 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>
01/05/08	-1,09 <sup>ns</sup>	2,05*	2,55*

ns: não significativo; \* significativo a 5%.

apresentados no quadro 2. Observa-se variação significativa dos valores de *cs* em relação ao tempo, com maiores valores para a área representada por vegetação de várzea, indicando maior estabilidade do processo nessa posição da paisagem (Fernandez & Ceballos, 2003). Esse comportamento pode ser atribuído às propriedades do solo (menor condutividade hidráulica saturada), do relevo (plano) e da cobertura vegetal mais homogênea que ocorre na área de várzea, o que, associado à presença do lençol freático próximo à superfície, torna o ambiente mais estável e conserva o conteúdo de água no solo com menores oscilações ao longo do ano. Além disso, o processo de redução do conteúdo de água no solo na várzea é retardado no tempo em razão do recebimento dos fluxos provenientes de cotas superiores e da ocorrência da ascensão capilar de água do lençol freático, resultando num solo mais provido de água.

Por outro lado, na área de Mata Atlântica, que apresenta relevo de forte ondulado a escarpado, encosta íngreme, posicionada nas áreas mais acidentadas da bacia hidrográfica, o padrão do conteúdo de água é alterado por fluxos laterais de água. Não obstante as características edáficas e topográficas do solo, a biodiversidade da Mata Atlântica e a complexidade do sistema, como a presença de deficiência estacional de água de aproximadamente seis meses, podem influenciar também no padrão do conteúdo de água

**Quadro 2. Coeficiente de correlação de Spearman (*cs*) em diferentes datas de amostragem e usos do solo e lâmina de precipitação acumulada (*P*) durante o respectivo período de monitoramento da umidade do solo na bacia hidrográfica experimental do ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, Minas Gerais**

Data	P	Uso do solo		
		Pastagem	Mata Atlântica	Vegetação de várzea
	mm			
23/06/07	9	0,08	0,07	0,50
24/07/07	26	0,27	0,05	0,38
11/08/07	11	0,32	-0,30	0,29
25/08/07	0	0,59	-0,28	0,36
16/09/07	0	0,26	-0,30	0,12
28/09/07	30	0,61	-0,03	0,57
12/10/07	1	0,24	-0,49	0,69
26/10/07	126	0,09	-0,79	0,33
10/11/07	208	0,54	-0,62	0,64
23/11/07	83	0,13	-0,62	0,75
08/12/07	49	0,43	-0,46	0,68
20/12/07	178	0,18	-0,75	0,76
25/01/08	206	0,10	-0,10	0,20
08/02/08	386	0,03	0,12	0,30
22/02/08	116	0,42	-0,02	0,00
08/03/08	164	0,27	0,31	0,43
20/03/08	173	0,17	0,29	0,57
05/04/08	105	-0,25	0,03	0,11
18/04/08	176	-0,25	0,04	0,71
01/05/08	59	-0,49	0,68	0,96

no solo, devido à maior taxa de evapotranspiração. Os diversos fatores mencionados influem na biodiversidade da mata, resultando em um ambiente mais heterogêneo em termos de variabilidade temporal (Western et al., 2003).

Com base nos dados do quadro 2, é possível inferir o efeito desses fatores na área constituída por Mata Atlântica, onde podem ser verificados valores de *cs* baixos e, na maioria dos casos, negativos, indicando baixa correlação do conteúdo de água no solo na escala temporal. Esse comportamento está em consonância com o relatado por Mohanty & Skaggs (2001), ou seja, a variação do coeficiente de correlação depende das características fisiográficas de cada área, sendo, portanto, consideravelmente influenciada pelas condições topográficas da Serra da Mantiqueira, bem como pelo uso do solo sob floresta nativa.

Na área coberta por pastagem, os valores de *cs* mostraram-se intermediários entre a várzea e a Mata Atlântica. Esse resultado está relacionado à homogeneidade da cobertura vegetal da área em função do pastejo, associado à menor declividade se comparado à Mata Atlântica e, portanto, com menor influência de fluxos laterais. No entanto, observa-se que os valores de *cs* diminuem ao longo do período chuvoso, o que está associado às alterações fisiográficas devido ao crescimento vegetativo da pastagem durante esse período, determinando assim maior taxa de evapotranspiração. Gómez-Plaza et al. (2000), estudando os fatores que controlam a estabilidade temporal do conteúdo de água no solo, relataram que alterações da cobertura vegetal durante o período vegetativo influenciam no padrão de estabilidade temporal, sendo essa característica típica das pastagens de cada região.

Verificam-se percentuais menores que 12 % nos valores da diferença relativa média para a área de pastagem no período chuvoso, com redução para valores próximos a 5 % no período de estiagem. Na área de Mata Atlântica, esse percentual foi superior ao de pastagem em ambos os períodos, enquanto a área de vegetação de várzea foi a que apresentou maior percentual, atingindo valores superiores a 30 % durante o período de estiagem (Figuras 3 e 4). Quanto às áreas de pastagem e Mata Atlântica, os valores foram semelhantes aos encontrados por Comegna & Basile (1997) e Gonçalves et al. (1999), com percentuais menores que 15 %. No caso da área de vegetação de várzea e Mata Atlântica, apesar de os valores serem relativamente maiores em ambos os períodos, estes foram inferiores aos encontrados por Gómez-Plaza et al. (2000), que obtiveram diferenças relativas superiores a 60 % em ambiente semiárido com alta participação da evapotranspiração no comportamento do conteúdo de água no solo.

Analisando os valores do desvio-padrão, observa-se diminuição significativa da variabilidade na diferença relativa média no período de estiagem nas áreas de pastagem e de Mata Atlântica. No entanto,

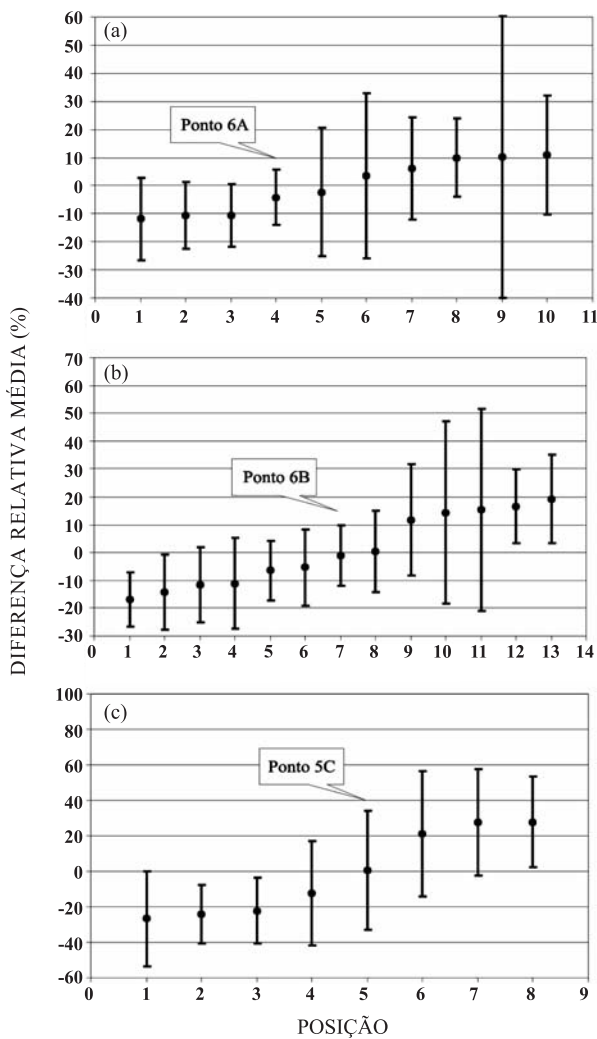


Figura 3. Diferença relativa média e respectivo desvio-padrão da umidade do solo durante o período chuvoso nas áreas de pastagem (A), Mata Atlântica (B) e vegetação de várzea (C), na bacia hidrográfica experimental do ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, Minas Gerais.

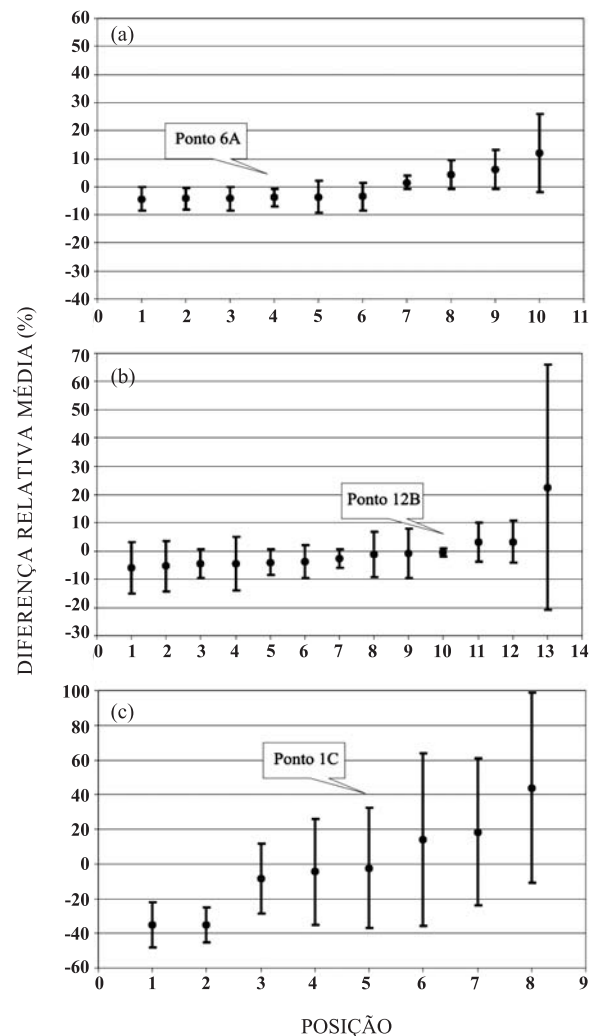


Figura 4. Diferença relativa média e respectivo desvio-padrão da umidade do solo durante o período de estiagem para as áreas de pastagem (A), Mata Atlântica (B) e vegetação de várzea (C), na bacia hidrográfica experimental do ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, Minas Gerais.

na área de vegetação de várzea, nota-se aumento da variabilidade nesse período. Esse fato mostra que, apesar de o período de estiagem apresentar tendência de menor variabilidade da diferença relativa, ele pode apresentar comportamento distinto, dependendo das características do ambiente da área estudada, especialmente das condições de uso e cobertura do solo e de aspectos ligados à topografia local.

Com isso, é possível avaliar que as características do ambiente de cada área também devem ser consideradas para escolha dos pontos, de forma que estes sejam significativos tanto na escala espacial quanto na temporal. Observa-se, também, que os maiores valores do desvio-padrão ocorreram na área de vegetação de várzea, o que indica maior

variabilidade da diferença relativa nela observada. Esse comportamento está associado às características desse ambiente, o qual apresenta valores relativamente elevados do conteúdo de água no solo ao longo do ano. Nesse aspecto, constata-se alta sensibilidade da variação da diferença relativa em ambientes com elevado conteúdo de água no solo devido à influência pronunciada da condutividade hidráulica, que por sua vez é sensivelmente reduzida com pequenas diminuições do conteúdo de água no solo. Outro aspecto importante está associado às características pedológicas dos solos de várzea, onde predominam Neossolos Flúvicos com alta variabilidade natural tanto em superfície quanto em profundidade, devido a aspectos de seu processo de formação, o qual

ocorre em função da deposição de sedimentos durante os períodos de inundação (alúvio). Assim, para uma estimativa mais precisa, é recomendada uma amostragem mais detalhada nesses ambientes.

Para a área de pastagem, foi escolhido o ponto 6A (Figura 2) como o mais representativo, o qual está situado em área de Cambissolo e apresentou a menor diferença relativa média associada ao menor desvio-padrão para os períodos analisados, com valores da diferença relativa em torno de 4 e do desvio-padrão em torno de 10 % para os períodos correspondentes. Na área de Mata Atlântica, o ponto 6B apresentou maior precisão para o período chuvoso, com valores da diferença relativa próximos de 1 e do desvio-padrão próximos de 10 %, o qual está associado ao Cambissolo, porém em condição de relevo forte ondulado. Para o período de estiagem, o ponto 12B foi o mais preciso, com diferença relativa igual a 0 e desvio-padrão próximo de 1 %, localizado em Cambissolo em relevo menos movimentado que aquele do ponto 6B. Finalmente, na área de vegetação de várzea, o ponto 5C sobressaiu no período chuvoso, com valor da diferença relativa próximo de 0 e desvio-padrão em torno de 30 %, ocorrendo sob condições de Neossolo Flúvico. No período de estiagem, escolheu-se o ponto 1C, com diferença relativa e desvio-padrão iguais a 2 e 34 %, respectivamente, sendo um ponto também em condição de Neossolo Flúvico.

De acordo com os resultados, verifica-se que os pontos escolhidos para monitoramento no período de estiagem para as áreas de Mata Atlântica e vegetação de várzea diferiram daqueles dos demais períodos, sendo assim recomendado o monitoramento em pontos diferentes durante o período chuvoso e de estiagem para essas áreas na bacia hidrográfica. Adotando-se esse procedimento, é possível reduzir os níveis de incerteza da predição, especialmente na área de várzea, cujos pontos escolhidos apresentaram elevados desvios-padrão em relação aos outros usos do solo. Em termos práticos, essas observações têm expressivas implicações na estratégia de amostragem do conteúdo de água no solo, sendo subsídio importante na mensuração de dados em campo para tornar o processo mais eficaz a um custo reduzido.

## CONCLUSÕES

1. A estabilidade temporal do conteúdo de água no solo é maior na área de vegetação de várzea, menor na área ocupada por Mata Atlântica e intermediária na área de pastagem.

2. Há diminuição significativa da variabilidade da diferença relativa média no período de estiagem para as áreas de pastagem e de Mata Atlântica, enquanto na área de vegetação de várzea ocorre ligeiro aumento.

3. Os pontos escolhidos para monitoramento no período de estiagem para as áreas de Mata Atlântica

e vegetação de várzea diferiram em relação aos do período chuvoso, sendo recomendado que o monitoramento seja conduzido em pontos específicos, considerando essa variação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, pelo apoio financeiro concedido ao Projeto CAG 1617/06, e ao CNPq, pela concessão de bolsas ao primeiro e segundo autores.

## LITERATURA CITADA

- BESKOW, S.; MELLO, C.R.; COELHO, G.; SILVA, A.M. & VIOLA, M.R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:169-178, 2009.
- BOSCH, D.D.; LAKSHMI, V.; JACKSON, T.J.; CHOI, M. & JACOBS, J.M. Large scale measurements of soil moisture for validation of remotely sensed data: Georgia soil moisture experiment of 2003. *J. Hydrol.*, 323:120-137, 2006.
- CAMPOS, H. Estatística experimental não-paramétrica. 4.ed. Piracicaba, ESALQ/FEALQ, 1983. 349p.
- COMEGNA, V. & BASILE, A. Temporal stability of spatial patterns of soil water storage in a cultivated Vesuvian soil. *Geoderma*, 62:299-310, 1997.
- COSH, M.H.; JACKSON, T.J.; BINDLISH, R. & PRUEGER, J.H. Watershed scale temporal and spatial stability of soil moisture and its role in validating satellite estimates. *Rem. Sens. Environ.*, 92:427-435, 2004.
- FERNANDEZ, J.M. & CEBALLOS, A. Temporal stability of soil moisture in a large- field experiment in Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:1647-1656, 2003.
- FERNANDEZ, J.M. & CEBALLOS, A. Mean soil moisture estimation using temporal stability analysis. *J. Hydrol.*, 312:28-38, 2005.
- FERREIRA, M.M.; DIAS JÚNIOR, M.S.; MESQUITA, M.G.B.F. & ALVES, E.A.B.F. Física do solo. Lavras, Universidade Federal Lavras, 2003. 79p.
- GÓMEZ-PLAZA, A.; ALVAREZ-ROGEL, J. & ALBALADEJO, J. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi-arid environment. *Hydrol. Process*, 14:1261-1277, 2000.
- 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*, 23:1555-164, 1999.
- GRAYSON, R.B. & WESTERN, A.W. Towards areal estimation of soil water content from point measurements: Time and space persistence of mean response. *J. Hydrol.*, 207:68-82, 1998.



- MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; NORTON, L.D.; SILVA, A.M. & WEIMAR, F.A. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin. *Catena*, 75:235-247, 2008.
- MENEZES, M.D.; CURI, N.; MARQUES, J.J.; MELLO, C.R. & ARAÚJO, A.R. Levantamento pedológico e sistema de informações geográficas na avaliação do uso das terras em sub-bacia hidrográfica de Minas Gerais. *Ci. Agrotec.*, 33:1544-1553, 2009.
- MOHANTY, B.P. & SKAGGS, T.H. Spatio-temporal evolution and time-stable characteristics of soil moisture within remote sensing footprints with varying soil, slope, and vegetation. *Adv. Water Res.*, 24:1054-1057, 2001.
- PACHEPSKY, Y.; GUBER, A. & JACQUES, D. Temporal persistence in vertical distributions of soil moisture contents. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69:347-352, 2005.
- 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. *J. Hydrol.*, 359:16-29, 2008.
- STARKS, P.; HEATHMAN, G.; JACKSON, T.J. & COSH, M.H. Temporal stability of soil moisture profile. *J. Hydrol.*, 324:400-411, 2006.
- TALLON, L.K. & SI, B.C. Representative soil water benchmarking for environmental monitoring. *Environ. Infor. Archive*, 1:581-590, 2003.
- TEULING, A.J.; UIJLENHOET, R.; HUPET, F.; van LOON, E.E. & TROCH, P.A. Estimating spatial mean root-zone soil moisture from point-scale observations. *J. Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10:755-767, 2006.
- THIERDEFELDER, T.K.; GRAYSON, R.B.; van ROSEN, D. & WESTERN, A.W. Inferring the location of catchment characteristics soil moisture monitoring sites, covariance structure in the temporal domain. *J. Hydrol.*, 280:13-32, 2003.
- VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P. & VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:822-827, 1985.
- van den ELSEN, E.; XIE, Y.; LIU, B.; STOLT, J.; WU, Y.; TROUWBORST, K. & RITZEMA, C.J. Intensive water content and discharge measurement system in a hillslope gully in China. *Catena*, 54: 93-115, 2003.
- van WESENBEECK, I.J. & KACHANOSKI, R.G. Spatial and temporal distribution of soil water in the tiled layer under a corn crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:363-368, 1988.
- WESTERN, A.W.; GRAYSON, R.B.; BLÖSCHL, G. & WILSON, D.J. Spatial variability of soil moisture and its implications for scaling. In: PACHEPSKY, Y.A.; RADCLIFFE, D.E. & SELIM, H.M., eds. *Scaling methods in soil physics*. Boca Raton, CRC Press, 2003. p.119-142.