

## ESTRUTURA ESPACIAL DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO NA PRESENÇA DE COBERTURA VEGETAL

Anderson Takashi Hara<sup>1</sup>, Antônio Carlos Andrade Gonçalves<sup>2</sup>, João Vitor da Silva Domingues<sup>3</sup>,  
Heraldo Takao Hashiguti<sup>4</sup>, Roberto Rezende<sup>2</sup>, Daniela D´orazio Bortoluzzi<sup>5</sup>

### RESUMO

O cultivo de uma gramínea (*Brachiaria* spp.) tem sido considerado um recurso com grande potencial de alterar positivamente os efeitos deletérios das ações antrópicas sobre o solo cultivado, inclusive no que se refere ao armazenamento de água no solo. O efeito do seu sistema radicular sobre o solo pode ser melhor avaliado empregando-se, além de técnicas estatísticas usuais, a geoestatística, buscando descrever a distribuição espacial dos valores das variáveis e suas inter-relações. No presente estudo avaliou-se o efeito da *Brachiaria* spp. sobre a lâmina de água armazenada no solo (H), bem como o efeito sobre a parte aérea das plantas, expressa pelo índice de área foliar (IAF), em uma área irrigada por aspersão convencional. Verificou-se que H, na ausência de cobertura vegetal, apresenta continuidade espacial persistente no tempo a qual é modificada pela presença da cobertura vegetal, com maior componente estrutural e com menor alcance. A produção de massa verde, expressa pelo IAF, apresenta continuidade espacial nas duas formas de estabelecimento da cultura, com correlação espacial inversa entre IAF e H, no estabelecimento de vegetação espontâneo.

**Palavras-chave:** continuidade espacial, geoestatística, semivariograma, umidade do solo.

## SPATIAL DEPENDENCE OF SOIL WATER STORAGE UNDER SOIL SURFACE CROP COVER

### ABSTRACT

Cultivation of a grass (*Brachiaria* spp.) has been considered an option with great potential to positively alter the deleterious effects of the anthropic actions on the cultivated soil, including with regard to the storage of water in the soil. the effect of its root system on the soil can be better evaluated by using statistical techniques, geostatistics, to describe the spatial distribution of the values of the variables and their interrelationships. In the present study the effect of *Brachiaria* spp. on the soil water storage

---

<sup>1</sup> Doutor em agronomia, Engenheiro Agrônomo, UEM, Maringá, PR. E-mail. haratakashi1987@gmail.com <sup>2</sup> Doutor, Professor, Engenheiro Agrícola, UEM, Maringá, PR. E-mail. goncalves.aca@gmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, UEM, Maringá, PR. E-mail. jv\_dominques@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Doutor, Professor, Engenheiro Agrônomo, FATECIE, Paranavaí, PR, E-mail. htakaoh@hotmail.com

<sup>5</sup> Doutoranda, Engenheiro Agrícola, Pós-graduação em agronomia, Maringá, UEM, PR. E-mail. dani\_dorazio@hotmail.com

(H), as well as the effect on the aerial part of the plants, expressed by the leaf area index (IAF), in an area irrigated by conventional sprinkling. It was verified that H, under soil surface without crop cover, presents a spatial continuity that is temporally persistent, which is modified by the presence of the vegetal cover, with greater structural component and with smaller range. The green mass production, expressed by the IAF, presents spatial continuity in the two forms of establishment of the crop, with inverse spatial correlation between IAF and H, in the spontaneous vegetation establishment.

**Keywords:** soil moisture, geostatistics, semivariogram, spatial continuity

## INTRODUÇÃO

A produção agrícola em geral é uma atividade associada tanto a uma grande relevância econômica como à segurança alimentar da população, tanto em escala mundial quanto nacional, o que confere a esta atividade singular relevância. Desta forma, o avanço do conhecimento em relação aos processos de produção é fundamental, particularmente no que se refere às interações entre solo, plantas e água.

O solo é um sistema complexo, responsável por assegurar as condições adequadas à produção. Em especial, a sua capacidade de armazenar água, de forma a que esta esteja disponível para as plantas (JUNIOR et al., 2012), além de permitir as trocas de gases no ambiente explorado pelas raízes (RABOT et al., 2018). Isto exige um equilíbrio na distribuição do tamanho de poros, ou seja, impõe a necessidade da qualidade física do solo, relacionada à preservação da sua estrutura (MOREIRA et al., 2016).

Sistemas de manejo do solo, como o preparo convencional ou de plantio direto (LAL, 2015), impactam esta estrutura de diferentes maneiras, mas a ação antrópica sobre o solo está associada a um risco de degradação desta. Uma opção estudada no sentido de se preservar a qualidade estrutural do solo tem sido a inserção da cultura da *Brachiaria* spp. (ZOLIN et al., 2016) em sistemas de cultivo envolvendo a rotação de culturas e o consórcio desta com algumas culturas.

O sistema radicular vigoroso da *Brachiaria* spp. (ZAREBANADKOUKI et al., 2015) pode interferir positivamente no solo, alterando as características do espaço poroso (SCHOLL et al., 2014), mitigando os efeitos danosos da compactação (GHEZZEHEI;

ALBALASMEH, 2015). Particularmente em áreas com cultivo irrigado, é fundamental que a estrutura do solo possibilite adequada infiltração, capacidade de armazenamento e disponibilidade de água para as plantas.

Este estudo tem como hipótese que a capacidade de armazenamento de água no solo apresenta estrutura espacial, intrínseca ao solo e que pode ser alterada pela presença das raízes da cultura da *Brachiaria* spp., sendo este um sistema dinâmico e resiliente ao longo do tempo, entre ciclos da cultura.

Os objetivos do estudo foram avaliar o efeito da presença da cultura sobre o padrão de distribuição espacial de lâmina de água armazenada em um solo argiloso, submetido a precipitações naturais e artificiais, em uma escala reduzida, compatível com as dimensões da magnitude das interações de planta e solo.

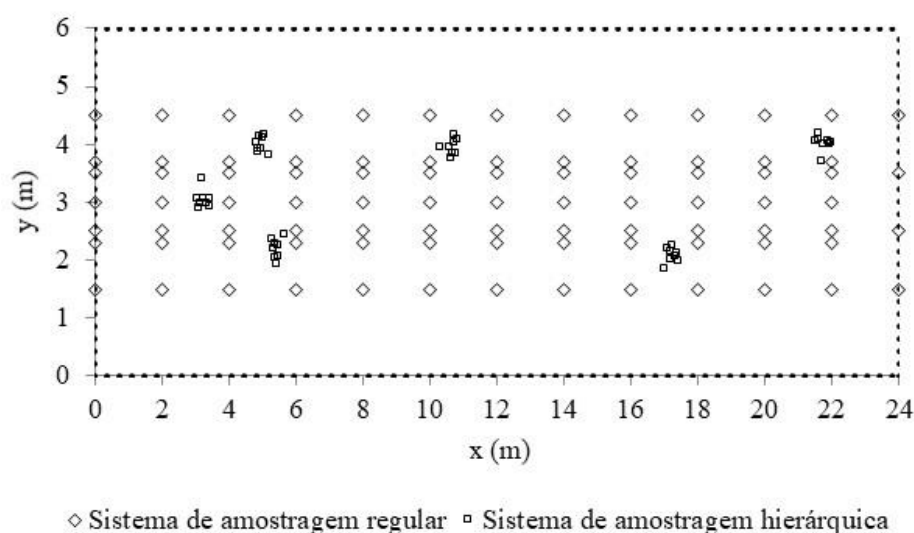
## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em área experimental no campus da Universidade Estadual de Maringá, região noroeste do Estado do Paraná, a qual apresenta solo caracterizado como Nitossolo Vermelho distroférico, comumente encontrado nesta região e que tem sido largamente explorado comercialmente empregando-se sistema de plantio direto ou, pelo menos, sistemas de manejo que implicam em mínimo revolvimento do solo. As características granulométricas deste solo foram obtidas e são textura argilosa, com 122,6; 120,6 e 756,8 g kg<sup>-1</sup> das frações areia, silte e argila respectivamente. Os valores de umidade do solo na capacidade de campo (-60 hPa) e no ponto de murcha permanente (-15000 hPa) são de 0,47 e 0,33 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> respectivamente (BLAINSK, 2007)

## ESTRUTURA ESPACIAL DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO NA PRESENÇA DE COBERTURA VEGETAL

Após dois anos de pousio, durante os quais apenas se cuidou de roçar a vegetação espontânea, constatou-se um processo de povoamento natural de *Brachiaria decumbens* por meio da dispersão de sementes provenientes de plantas que se encontravam próximas à área experimental. No ano de 2014 a área apresentava a cultura cobrindo completamente a superfície do solo, embora com distribuição irregular das plantas, compondo a condição superficial de cobertura espontânea (CE). Em 20 de setembro de 2014 foi delimitada uma área de 3,0 x 24,0 m, sendo instaladas 136 sondas de TDR, abrangendo uma profundidade de 0 a 0,20 m. Destas, 88 sondas compuseram uma malha regular e 48 foram instaladas seguindo um sistema de

amostragem hierárquica. A amostragem hierárquica consiste em amostragem intensificada em determinadas partes do domínio (OLIVER; WEBSTER, 1993). O sistema de irrigação por aspersão convencional empregado na área foi montado com espaçamento de 6x6 m, com tubo de elevação de 1 m de altura, aspersor modelo ECO 232 da empresa Fabrimar, bocal 3,2 x 3,6 mm e operado em uma pressão de serviço de 250 kPa. A lâmina média de irrigação aplicada foi de 7,0 mm e o intervalo médio de irrigação de 2 dias. Este procedimento possibilitou repor ao solo, em média, a lâmina de água de evapotranspiração da cultura, de forma a assegurar uma condição de umidade do solo que não restringisse ETc.



**Figura 1.** Croqui da área experimental.

Foi instalada ao lado de cada sonda de TDR uma haste metálica para a instalação de um coletor de água para medir a lâmina de chuva ou irrigação que se estabeleceu em cada evento de precipitação. As leituras de constante dielétrica ( $K_a$ ) realizadas foram convertidas em respectivas umidades do solo com base em volume ( $\Theta$ ), por meio de uma curva de calibração ( $\Theta = 0,0137K_a + 0,1341$ ), para este solo (TRINTINALHA, 2005). Para esta condição de cobertura espontânea (CE), foram realizadas, na primavera de 2014, 40 leituras das sondas de TDR, em um período no qual houve quatro eventos de chuva e 12 eventos de

irrigação. Em todas as condições de cobertura foram realizadas séries de leituras antes do evento de precipitação e algumas séries após, nos dias em que se seguiu o processo de secamento do solo.

No dia 2 de janeiro de 2015 foi realizada a dessecação da *Brachiaria* spp. com a aplicação de herbicida na área experimental, caracterizando o início da condição superficial de cobertura morta (CM).

Após este processo, foram realizadas 13 leituras, nas sondas de TDR, nos meses de janeiro e fevereiro de 2015. Neste período ocorreram quatro eventos de chuva e um evento

de irrigação. A lâmina de irrigação aplicada foi de 10 mm.

No mês de fevereiro de 2015 foi realizada a semeadura a lanço da cultura de *Brachiaria decumbens* em toda área experimental. A cultura, no mês de junho, cobria toda a área, compondo a condição superficial de cobertura uniforme (CU). Entre os meses de junho e julho de 2015 foram realizadas 27 leituras nas sondas de TDR. Neste período ocorreram três eventos de chuva e quatro eventos de irrigação. A lâmina média de irrigação aplicada foi de 11 mm e intervalo médio de irrigação de 3 dias.

Foram realizadas as coletas de folhas de *Brachiaria* spp. para determinação do índice de área foliar (IAF), nas condições superficiais CE e CU, em ambos com cobertura total da superfície do solo. Ao lado de cada sonda TDR na malha regular, foi realizada a amostragem das folhas utilizando amostrador cilíndrico de 0,113 m de diâmetro. A área foliar foi determinada de acordo com a metodologia da imagem digital (MALLER et al., 2013), utilizando o software QUANT.

Assumindo a estacionaridade intrínseca das distribuições das variáveis estudadas, foram elaborados semivariogramas para

descrever a estrutura de dependência espacial. Os valores de semivariância foram estimados pelo método dos momentos de Matheron, e o escalonamento do variograma foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Gonçalves et al. (1999). Para se avaliar uma possível correlação espacial entre as variáveis, foram construídos semivariogramas cruzados, escalonados pela covariância das variáveis (HARA; GONÇALVES, 2018).

Ajustou-se o modelo esférico, por meio do software “R”, empregando-se o método de minimizar a soma de quadrados dos desvios (MLS) aos semivariogramas experimentais, e os coeficientes foram validados pelo teste “t”, considerando-se o nível de significância de 5%.

Como o número de séries de leituras é muito grande, a apresentação de todos os semivariogramas experimentais carrega muito o gráfico em termos de pontos. Com o propósito de se estabelecer valores médios de semivariância experimental, em classes de distância, de forma a se ter uma tendência geral melhor definida e visualizável, empregou-se um procedimento de média móvel de acordo com Hara (2016). O semivariograma escalonado média móvel foi obtido pelas equações 1 e 2:

$$\bar{\gamma}(\bar{h}) = \sum_{i=1}^{(\Delta h)} \gamma(h)^* N(\Delta h)^{-1} \quad (1)$$

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^{(\Delta h)} h N(\Delta h)^{-1} \quad (2)$$

Em que:

$\bar{\gamma}(\bar{h})$  - semivariância estimada escalonada média móvel;

$\gamma(h)^*$  - semivariância estimada escalonada;

$\Delta h$  - intervalo de distância fixado no agrupamento;  $N(\Delta h)$  - número de valores da variável em análise (H ou IAF no presente estudo), existentes no intervalo de  $\Delta h$ ;

$\bar{h}$  - distância  $h$  média, sendo este a distância de separação entre os pares de pontos no semivariograma experimental ou “lag distance”.

Em todos os semivariogramas escalonados médias móveis utilizou-se, no processo de agrupamento, o valor de  $\Delta h$  igual a 0,05 m, começando pelo menor valor do domínio. O semivariograma experimental foi obtido, em todos os casos, empregando-se o software VARIOWIN. Para o ajuste de um modelo teórico aos semivariogramas experimentais, utilizou-se o modelo esférico, em todos os casos presentes neste estudo, uma vez que este sempre se revelou o mais adequado. O ajuste dos coeficientes do modelo foi realizado empregando-se o programa estatístico R, sendo estes validados pelo teste

ESTRUTURA ESPACIAL DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO NA PRESENÇA DE COBERTURA VEGETAL

“t”, considerando-se o nível de significância de 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de lâmina de água armazenada no perfil do solo (H), na profundidade de 0 a 0,20 m de profundidade,

obtidos com o emprego da TDR, nos pontos experimentais, em cada uma das três coberturas avaliadas, tiveram suas distribuições descritas por meio da estatística descritiva, conforme apresentado na Tabela 1.

Nesta tabela também é apresentada a estatística descritiva para os valores de índice de área foliar (IAF), avaliado nas coberturas CE e CU.

**Tabela 1.** Estatística descritiva para índice de área foliar (IAF) obtido para as coberturas vegetais e para lâmina de água armazenada no solo (H – mm), nas condições de cobertura espontânea (CE), cobertura morta (CM) e cobertura uniforme (CU).

Variável	IAF		H		
	CE	CU	CE	CM	CU
Média	1,60	1,71	89,60	99,01	85,18
Mediana	1,52	1,55	89,71	100,59	84,47
Mínimo	0,06	0,07	51,78	29,56	60,19
Máximo	4,05	4,97	121,20	119,03	106,67
CV	60,2	61,0	15,5	11,5	10,7
Desvio padrão	0,96	1,04	13,90	11,34	9,09
Assimetria	0,69	0,88	-0,21	-1,98	0,04
Curtose	-0,08	0,37	-0,05	10,53	-0,33
D	0,12	0,11	0,04	0,07	0,05
D tabelado	0,15	0,14	0,12	0,12	0,13

D tabelado do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Pode-se verificar na Tabela 1 que os valores de H para a condição de cobertura morta (CM) são maiores que os verificados para as duas outras condições, nas quais a cultura se faz presente. A extração de água relacionada à transpiração da cultura promove estes menores valores. Tendência semelhante é verificada para os valores de mediana, os quais são semelhantes aos valores médios, sinalizando para a simetria das distribuições dos valores, o que é comprovado pelos baixos coeficientes de assimetria destas distribuições.

A aderência dos valores à distribuição normal é confirmada ao se comparar o valor D para o teste não paramétrico empregado, com o D tabelado deste. Todas as distribuições são normais. Destaca-se, no entanto, que a distribuição para CM apresenta valor mínimo muito abaixo dos identificados para as outras coberturas, caracterizando-se como um valor discrepante ou atípico na distribuição, o que promoveu os valores absolutos elevados para

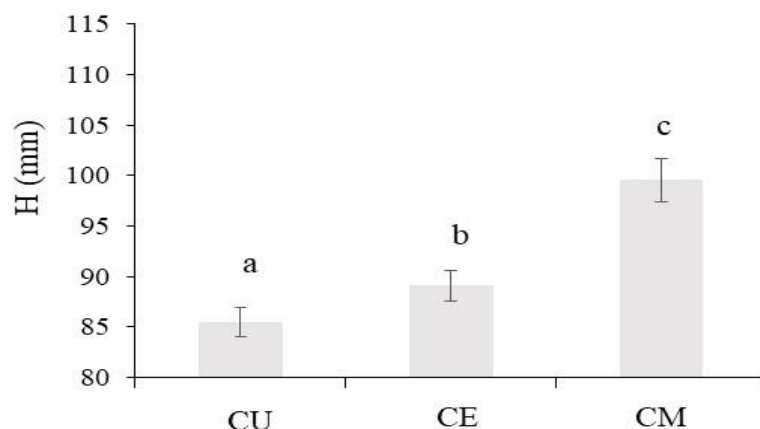
assimetria e curtose em CM. Mesmo assim, a distribuição é normal. O maior valor de coeficiente de variação de H foi obtido para a condição CE, o que está relacionado ao fato de que a extração de água pela transpiração foi mais irregular, decorrente da maior irregularidade da distribuição de plantas sobre a superfície do solo. Esta irregularidade, no entanto, pouco impactou as distribuições de valores de IAF, uma vez que ambas apresentaram estatísticas muito semelhantes, com alta variabilidade (CV da ordem de 60%), porém com distribuição normal. Destaca-se que os valores de H, sob as três coberturas apresentaram variabilidade muito inferior, com valores de CV entre 10 e 16%, o que pode ser caracterizado como baixa variabilidade.

Na Figura 2 são apresentados os valores médios de H e respectivos intervalos de confiança. Pode-se verificar que as três médias diferem estatisticamente uma vez que seus intervalos de confiança (no nível de 5% de

significância), de magnitude semelhante, não se superpõem (MOREIRA et al., 2012).

Desta forma, conclui-se que durante a condução do trabalho o armazenamento de água no solo manteve-se mais elevado, em média, para a condição CM, superando ligeiramente o armazenamento médio de água

na capacidade de campo para este solo que é da ordem de 94 mm (BLAINSK et al., 2007). As condições CE e CU apresentam valores médios inferiores, destacando-se que a remoção de água pela cobertura uniforme (CU), a qual apresentou IAF ligeiramente superior, foi maior.

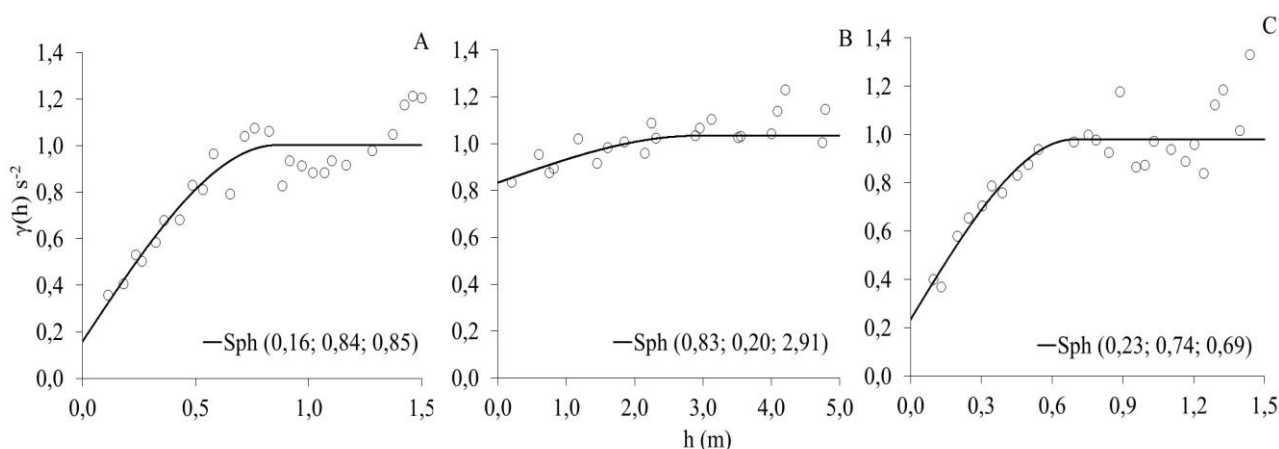


**Figura 2.** Valores médios de lâmina de água armazenada no solo (H – mm), para as coberturas espontânea (CE), morta (CM) e uniforme (CU) em um Nitossolo Vermelho. As barras referem-se ao intervalo de confiança com 95% de probabilidade. Letras diferentes expressam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

A avaliação da existência de uma estrutura de variabilidade espacial para os valores de H, sob as três coberturas, foi realizada construindo-se os semivariogramas experimentais para todas as séries de dados, as quais refletiram diferentes condições de umidade do solo, durante os ciclos de umedecimento e secagem do solo, entre as precipitações verificadas no trabalho. Na Figura 3 são mostrados os semivariogramas

experimentais obtidos para estas condições avaliadas.

Nesta Figura são apresentados os semivariogramas experimentais escalonados pela variância do conjunto de dados experimentais os quais foram, em seguida, agrupados pelo procedimento de média móvel apresentado nas equações 1 e 2, de forma a permitir melhor visualização e ajuste do modelo teórico.



**Figura 3.** Semivariogramas experimentais médios escalonados e modelos esférico (sph) ajustados para o armazenamento de água no solo (H – mm), nas coberturas espontânea - CE (A), morta - CM (B) e uniforme - CU (C) em um Nitossolo Vermelho. Sph - modelo esférico ajustado.

## ESTRUTURA ESPACIAL DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO NA PRESENÇA DE COBERTURA VEGETAL

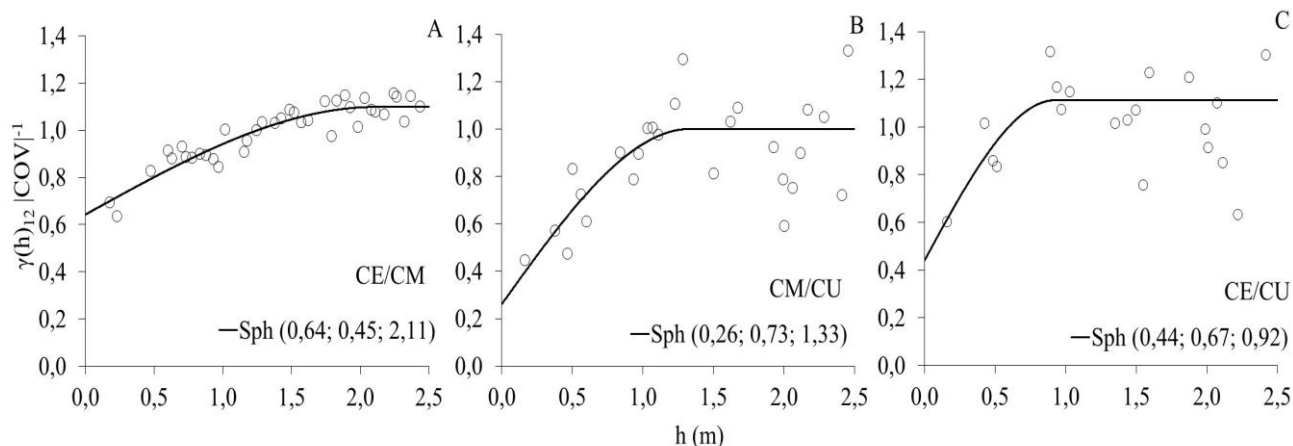
Pode-se verificar na Figura 3 que é grande a semelhança entre os semivariogramas para CE e CU, os quais diferem expressivamente do verificado para CM. Na ausência de cobertura vegetal, a continuidade espacial se manifesta com baixa intensidade, uma vez que o componente estrutural (c) do semivariograma experimental corresponde a apenas cerca de 18% do patamar. Em outras palavras, o componente não estruturado, expresso pelo efeito pepita, é da ordem de 80% da variação total. Nesta condição, o alcance atinge valores da ordem de 2,91 m, superior aos valores identificados na condição de cobertura vegetal, entre 0,69 m (CU) e 0,85 m (CE). Tanto para CE como para CU, a continuidade espacial pode ser caracterizada como forte (CAMBARDELLA et al., 1994) uma vez que o efeito pepita responde por apenas 20% da variação total (Figura 3). Destaca-se que nas três condições avaliadas a região de crescimento dos valores experimentais é descrita por um número de pontos (médias) acima de uma dezena, traduzindo credibilidade ao ajuste realizado (GONÇALVES et al., 2014). A persistência temporal do padrão espacial de H tornou possível a identificação desta condição média para os semivariogramas experimentais uma vez que, se ela não ocorresse, os valores médios de semivariância experimental poderiam apresentar-se em uma distribuição errática, caracterizando efeito pepita puro para os semivariogramas mostrados na Figura 3. Esta persistência espacial é corroborada por diversos pesquisadores, nas condições de ausência (GONÇALVES et al., 1999; HARA; GONÇALVES, 2018) e na presença de cobertura vegetal (GONÇALVES et al., 2010; GUIMARÃES et al., 2010).

A expressiva mudança causada nos semivariogramas em função da presença de uma cultura foi também identificada por Vieira et al. (2010). Estes autores atribuíram esta modificação ao fato de que a presença da cultura altera a distribuição espacial da condutividade hidráulica, interferindo na

dinâmica da drenagem da água e na infiltração de água no solo. De fato, autores argumentam que o sistema radicular de uma cultura pode promover mudanças nos valores da condutividade hidráulica saturada do solo (ALLETTO et al., 2015), provavelmente devido à formação de poros no solo por meio da morte de raízes (BEVEN; GERMANN, 1982), e pelo aumento da continuidade de poros (SCHOLL et al., 2014). Além disso, as raízes de uma cultura podem promover modificações do diâmetro dos poros que estão adjacentes às raízes, uma vez que o diâmetro das raízes apresenta relação com a umidade do solo (HENRY et al., 2012). Essas modificações impostas pelo sistema radicular, ao interferir na porosidade do solo, modificam a condutividade hidráulica saturada (GEBHARDT et al., 2009).

Na ausência da cultura (CM) a água se distribui no solo de acordo com um padrão intrínseco à sua matriz, com uma estrutura de variabilidade espacial que lhe é intrínseca (GONÇALVES et al., 2010). Sob cobertura vegetal, a extração de água decorrente da transpiração, faz com que a continuidade espacial seja mais expressiva, porém com menor alcance, o qual deve estar associado ao alcance do sistema radicular das plantas. Isto pode fazer com que pontos mais próximos entre si, ou seja, na região de atuação das raízes, apresentem H muito semelhante, promovendo um baixo valor de efeito pepita do semivariograma. Na medida em que as distâncias tomadas no domínio crescem, para uma magnitude compatível com as dimensões horizontais do sistema radicular, as diferenças se estabelecem, em função das diferentes características do solo e, conseqüentemente de extração de água, acarretando em valores de alcance inferiores a 1,0 m.

Para avaliar as possíveis correlações espaciais entre as distribuições espaciais de H sob as três coberturas, foram elaborados os semivariogramas cruzados escalonados para as combinações possíveis das coberturas, os quais são apresentados na Figura 4.



**Figura 4.** Semivariograma cruzado média móvel de H para as combinações entre coberturas espontânea (CE), morta (CM) e uniforme (CU), com CE/CM (A), CM/CU (B) e CE/CU (C) em um Nitossolo Vermelho. Sph - modelo esférico ajustado.

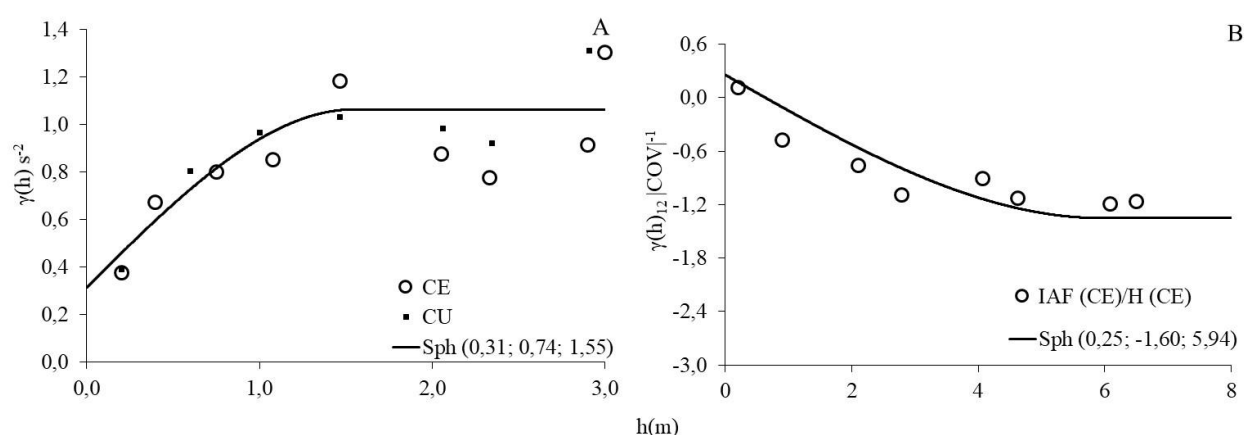
Estes valores experimentais correspondem a valores de média móvel calculada de acordo com as equações 1 e 2, uma vez que o número de pontos originalmente é elevado, em função do grande número de leituras realizadas. Pode-se verificar que CE com CU deram origem a um semivariograma cruzado com modelo semelhante ao identificado para cada uma, individualmente (Figura 4C e Figuras 3A e 3C), com alcance inferior a 1,0m e forte continuidade espacial. Assim, a correlação espacial é confirmada, evidenciando que o efeito das duas formas de estabelecimento da cobertura impacta, de forma semelhante, o padrão espacial de armazenamento de água no solo. Por outro lado, a análise das correlações espaciais entre CM e CE (Figura 4A) e entre CM e CU (Figura 4B) permite constatar que o padrão espacial intrínseco ao solo, expresso sob CM é bem mais semelhante ao padrão identificado sob CE que sob CU, o que está associado à dispersão dos

pontos em torno do modelo teórico. Esta constatação provavelmente está relacionada ao fato de que, ao se distribuir de forma espontânea no domínio, a ocorrência das plantas em parte se deve às características intrínsecas ao solo, particularmente no que se refere à retenção de água.

Na Figura 5 são mostrados os semivariogramas escalonados para IAF obtido para CE e CU. Pode-se verificar que ambos apresentam forte estrutura de continuidade espacial (Figura 5A), semelhantes o bastante para poderem ser descritas por um único modelo teórico ajustado. Este modelo mostra que o alcance para esta variável é superior ao obtido para H (Figura 3) sob a mesma cobertura, o que era esperado, uma vez que a planta é um agente integrador de diversas variáveis do sistema, o que tende a suavizar a sua resposta em relação à variabilidade da distribuição de variáveis do solo, em espacial do armazenamento de água.



## ESTRUTURA ESPACIAL DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO NA PRESENÇA DE COBERTURA VEGETAL



**Figura 5.** Semivariograma do índice de área foliar - IAF das coberturas vegetais espontânea CE e uniforme CU (A); e semivariograma cruzado entre IAF com lâmina de água armazenada - H (B). Sph - modelo esférico ajustado.

Na Figura 5B é apresentado o semivariograma cruzado escalonado para IAF e H, sob CE. Para esta forma de estabelecimento da cultura, a correlação inversa revela que onde H foi maior, a cultura apresentou menor desenvolvimento. Neste solo muito argiloso, isto pode ser explicado pelo fato de que as ações antrópicas que promoveram compactação do solo promovem degradação da macroporosidade, restringindo a aeração (BLAINSK et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2010).

Maiores valores de H estão relacionados à predominância de microporos, com restrição a troca gasosas, restringindo desenvolvimento vegetal, para CE. Para CU, na qual a distribuição das sementes foi uniforme, esta correlação espacial não foi detectada.

### CONCLUSÕES

Armazenamento de água no solo, sem cobertura vegetal, apresenta continuidade espacial, a qual se mantém ao longo do tempo.

Cobertura vegetal estabelece outro padrão de continuidade espacial, a qual se apresenta mais forte e com menor alcance. A correlação espacial do armazenamento entre as três coberturas estudadas revela que a continuidade espacial inerente ao solo é parcialmente preservada

quando o solo é vegetado, principalmente de forma espontânea.

O desenvolvimento da parte aérea, expresso pelo IAF, apresenta continuidade espacial semelhante para as duas formas de estabelecimento da cultura.

Para o estabelecimento espontâneo, verifica-se correlação espacial inversa entre IAF e H, revelando que, nestas condições, os locais com maiores valores de H estão associados a menor desenvolvimento da parte aérea.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLETTO, L.; POT, V.; GIULIANO, S.; COSTES, M.; PERDRIEUX, F.; JUSTES, E. Temporal variation in soil physical properties improves the water dynamics modeling in a conventionally-tilled soil. **Geoderma**, v. 243, p. 18–28, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.006>.
- BEVEN, K.; GERMANN, P. Macropores and water flow in soils. **Water Resources Research**, v.18, n. 5, p 1311-1325, 1982. <https://doi.org/10.1029/WR018i005p01311>.
- BLAINSKI, E. **Utilização do intervalo hídrico ótimo do solo para manejo de área irrigada**, 2007, 41 f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVACK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO R.F.; KNOPKA, A.E. **Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils**. Soil Science Society America Journal, v.58, p.1240-1248, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>.

GEBHARDT, S.; FLEIGE, H.; HORN, R. Effect of compaction on pore functions of soils in a saalean moraine landscape in North Germany. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 5, p. 688–695, 2009. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800073>.

GHEZZEHEI, T.A.; ALBALASMEH, A.A. Spatial distribution of rhizodeposits provides built-in water potential gradient in the rhizosphere. **Ecological Modelling**, v. 298, p. 53-63, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.10.028>.

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 (1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 485–495, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000300001>.

GONÇALVES, A. C. A.; TRINTINALHA, M. A.; FOLEGATTI, M. V.; REZENDE, R.; TORMENA, C. A. Spatial variability and temporal stability of water storage in a cultivated tropical soil. **Bragantia**, v. 69, p. 153–162, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000500016>.

GONÇALVES, A. C. A.; HARA, A. T.; HASHIGUTI, H. T. Qualidade de ajuste do modelo para descrever a continuidade espacial em estudos geoestatísticos. Congresso

Brasileiro de Agricultura de Precisão-CONBAP. **Anais eletrônicos**. São Pedro, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://conbap.sbea.org.br/2014/trabalhos/R0089-1.PDF>>. Acesso em: 04 de abr. de 2019.

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**, v. 30, n. 4, p. 657–669, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000400010>.

HARA, A. T. **Estabilidade temporal do padrão espacial de armazenamento de água no solo em diferentes escalas espaciais**, 2016, 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

HARA, A. T.; GONÇALVES, A. C. A. Estabilidade temporal da variabilidade espacial da umidade do solo obtida no campo e no laboratório. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.6, p.3069-3077, 2018. <http://dx.doi.org/10.7127/RBAI.V12N6001028>.

HENRY, A.; CAL, A. J.; BATOTO, T. C.; TORRES, R. O.; SERRAJ, R. Root attributes affecting water uptake of rice (*Oryza sativa*) under drought. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n.13, p. 4751-4763, 2012. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers150>.

JUNIOR, J. A. L.; PEREIRA, G. M.; GEISENHOF, L. O.; SILVA, W. G.; BOAS, R. C. V.; SOUZA, R. J. Desempenho de cultivares de cenoura em função da água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.5, p.514-520, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500007>.

LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of soil and water conservation**, v. 70,

ESTRUTURA ESPACIAL DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO NA PRESENÇA DE COBERTURA VEGETAL

- n. 3, p. 55-62. 2015. <http://dx.doi.org/10.2489/jswc.70.3.55A>.
- MALLER, A.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; HARA, A. T.; OLIVEIRA, J. M. Ajuste, validação e comparação entre modelos preditores de área foliar da abobrinha italiana. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 71–81, 2013.
- MOREIRA, W. H.; JUNIOR, E. B.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um latossolo vermelho distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 389-400, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200008>.
- MOREIRA, W.H.; TORMENA, C.A.; KARLEN, D.L.; SILVA, A.P.D.; KELLER, T.; BETIOLI JUNIOR, E. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 53-64. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.007>.
- OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. **Combining nested and linear sampling for determining the scale and form of the spatial variation of soil radon in the midlands area of England**. Nuclear Tracks and Radiation Measurements, v. 22, n. 1-4, p. 267–272, 1993.
- RABOT, E., WIESMEIER, M., SCHLÜTER, S., VOGEL, H.J., 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma** v.314, p.122–137, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>.
- SCHOLL, P.; LEITNER, D.; KAMMERER, G.; LOISKANDL, W.; KAUL, H.-P.; BODNER, G. Root induced changes of effective 1D hydraulic properties in a soil column. **Plant and Soil**, v. 381, n. 1–2, p. 193–213, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-014-2121-x>.
- TRINTINALHA, M.A. **Utilização da TDR para avaliação da distribuição espacial e estabilidade temporal do armazenamento de água em um nitossolo vermelho distroférrico**. 2005. 98 f. Tese de doutorado - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- VIEIRA, S. R.; GARCIA, M. A. G.; GONZÁLEZ, A. P.; SIQUEIRA, G. M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 181–190, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100023>.
- ZAREBANADKOUKI, M.; AHMED, M. A.; CARMINATI, A. Hydraulic conductivity of the root-soil interface of lupin in sandy soil after drying and rewetting. **Plant and soil**, v. 398, n.1, p. 267-280, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2668-1>.
- ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; MATOS, E. DA S.; MAGALHÃES, C. A. DE S.; DE ALMEIDA, F. T.; DE SOUZA, A. P.; MINGOTI, R. Perda de solo e água sob integração lavoura-floresta e em sucessão soja-milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1223–1230, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900022>.