

CONTINUIDADE ESPACIAL DA TAXA DE INFILTRAÇÃO BÁSICA DE ÁGUA EM TRÊS SOLOS DO NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Jefferson Vieira José*

Roberto Rezende**

Patricia Angélica Alves Marques***

Davi Butturi-Gomes****

Antônio Carlos Andrade Gonçalves*****

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade e a estrutura de dependência espacial da taxa de infiltração básica do solo em áreas experimentais agrônômicas na região noroeste do estado do Paraná. Cada área de amostragem foi dividida em 36 subparcelas de 2 x 2 m, sendo que no ponto central de cada subparcela realizou-se um teste de infiltração de água no solo, por meio do infiltrômetro de anéis concêntricos de carga constante, ajustados pelo modelo de Kostiakov, para determinação da taxa de infiltração básica. A caracterização da variabilidade dos resultados foi realizada por meio de estatísticas descritivas. Para melhor atender aos pressupostos do modelo geoestatístico adotado, utilizou-se uma transformação da família Box-Cox da variável resposta. Por meio do método da máxima verossimilhança foram estimados os parâmetros efeito-pepita (τ^2), variabilidade espacial (σ^2) e alcance (Φ). As estimativas dos parâmetros do modelo sugerem distâncias de amostras em torno de 12 e 3 metros para área e amostragem estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Máxima Verossimilhança; Propriedades Físico-Hídricas do Solo; Dispersão Espacial.

SPATIAL CONTINUITY OF WATER INFILTRATION RATE IN THREE TYPES OF SOIL IN THE NORTHWESTERN REGION OF THE STATE OF PARANÁ

ABSTRACT: The variability and spatial dependence structure of basic infiltration

* Engenheiro Agrícola, Mestre em Agronomia e Doutorando de Engenharia de Sistemas Agrícolas pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP; E-mail de correspondência: jfvieira@usp.br

** Docente do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá - UEM.

*** Docente do Departamento de engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - INCTEI/ESALQ/USP.

**** Ecologista, Mestre em Biometria e Doutorando em Estatística e Experimentação Agronômica - LCE/ESALQ/USP

***** Docente do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá - UEM.

rate of soils in agronomic experimental areas in the northwestern region of the state of Paraná, Brazil are investigated. Each sampling area was divided into thirty-six 2 x 2 m sub-parcels. A water ground infiltration test was undertaken at the center of each sub-parcel by an infiltrometer with constant load of concentric rings, adjusted by Kostiakov model, to determine basic infiltration rate. Results' variability was performed by descriptive statistics. Varied response Box-Cox transformation was employed to better attend to the presuppositions of the adopted geo-statistical model. Parameters kriging (τ^2), spatial variability (σ^2) and reach (Φ) were estimated by the maximum verosimilarity method. Estimates of model parameters suggest sample distances or approximately 12 and 3 meters for area and samplings under analysis

KEY WORDS: Maximum Verosimilarity; Physical and Hydraulic Properties of the Soil; Spatial Dispersion.

INTRODUÇÃO

O estado do Paraná tem apresentado avanços importantes na prática da irrigação, sendo o estado da região Sul do Brasil que apresentou a maior expansão relativa de área irrigada (122%), quando comparados os dois últimos censos agropecuários, de 1996 a 2006. As regiões Noroeste e Norte concentram 70,5% da área irrigada do Estado (PAULINO et al., 2011; IBGE, 2009).

A variabilidade das características físico-hídricas do solo no espaço e no tempo é atualmente considerada o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas. Contudo, ao considerar áreas uniformes quanto às suas variáveis, mesmo em pequenas extensões, podem-se interpretar erroneamente as respostas obtidas às questões existentes, pois a hipótese de ocorrência de dependência espacial estará sendo ignorada (GREGO; VIEIRA, 2005).

A utilização das ferramentas de geoestatística é necessária, pois a estatística básica é demasiadamente simplista e não leva em consideração a dependência espacial, que é geralmente a causa de correlações mais altas entre observações que estejam mais próximas (SILVA NETO et al., 2011). Uma dessas ferramentas é a krigagem, que, podendo ser aplicada em mapeamentos, orientação de futuras amostragens e modelagens, permite estimar o valor do atributo de interesse em locais não amostra-

dos, facilitando a gestão dos recursos naturais (GOMES et al., 2005).

A taxa de infiltração básica (Tib) é uma variável de importância para o entendimento dos processos de retenção, dinâmica da água no solo e a sua absorção pelas plantas. A quantificação desta variável em projetos de irrigação por aspersão é estabelecer a taxa máxima de aplicação de água dos aspersores que serão utilizados, para que não ocorram perdas por escoamento superficial (CALHEIROS et al., 2009).

Em projetos de drenagem do solo, o conhecimento da Tib é essencial para a determinação do tamanho e da distância entre os drenos. A Tib pode também ser um atributo relevante para a localização de represas e canais de condução de água (POTT et al., 2005). O conhecimento da variabilidade espacial da Tib pode contribuir na definição de melhores estratégias para o manejo do solo.

As contribuições e incrementos significativos nas informações de variáveis físico-hídricas a partir da abordagem geoestatística em condições de solos na região noroeste do estado do Paraná são pouco estudados. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar em uma parcela experimental a variabilidade espacial da taxa de infiltração básica de água em três solos de diferentes classes texturais e manejo do solo, onde se pratica agricultura irrigada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Os dados foram coletados em três diferentes áreas experimentais no noroeste do Estado do Paraná: Centro Técnico de Irrigação (CTI), localizado na latitude 23°23' S e na longitude 51°57' W, com altitude de 504 m; Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), no distrito de Iguatemi, localizado na latitude 23°21' S e na longitude 52°04' W, com altitude de 561 m; ambas pertencentes à Universidade Estadual de Maringá, município de Maringá, e uma terceira área na Estação Experimental de Paranavaí do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), situada no município de Paranavaí, localizado na latitude 23°05' S e na longitude 52°26' W, com altitude de

465 m (Figura 1a). Na Tabela 1 é apresentada a classificação textural das três áreas amostrais.

Tabela 1. Classificação textural do solo das três áreas amostrais.

Áreas amostrais	Areia	Silte	Argila	Classificação do solo
	(g kg ⁻¹)			
CTI	122	121	757	Nitossolo Vermelho distroférico
FEI	710	80	210	Latossolo Vermelho distrófico
IAPAR	892	10	98	Latossolo Vermelho distrófico

CTI - Centro Técnico de Irrigação; FEI - Fazenda Experimental de Iguatemi; IAPAR - Estação Experimental de Paranavai do Instituto Agronômico do Paraná.

A área de amostragem do CTI permaneceu por mais de dois anos em pousio. Na área de amostragem da FEI, as culturas desenvolvidas nos últimos anos foram: no verão, milho e, no inverno, aveia. A área de amostragem do IAPAR está submetida a pastejo de bovinos em gramínea coastcross (*Cynodon dactylon* Pers.) por aproximadamente 14 anos.

2.1.1 Estratégia de Amostragem no Campo

As três áreas amostradas foram divididas em 36 subparcelas de 2 x 2 m, sendo que no ponto central de cada subparcela realizou-se o teste de infiltração de água no solo utilizando o método de infiltrômetro de anéis concêntricos de carga constante de acordo com a metodologia de Coelho, Miranda e Duarte (2000) (Figura 1c). Com os resultados da lâmina de água acumulada no solo (I) em função do tempo de ensaio (t) obtiveram-se, por regressão linear, os parâmetros (k e α) do modelo de Kostiakov ($I = k t^{\alpha}$). A taxa de infiltração da água no solo foi obtida derivando-se a equação da lâmina acumulada em relação ao tempo ($TI = dI dt^{-1}$). Para se obter o valor da taxa de infiltração básica de água no solo (Tib), atribui o valor de $-0,01 \text{ cm h}^{-1} \text{ min}^{-1}$ correspondente a tangente de β igual a 1° :

$$Tib = k \cdot \alpha \left[\frac{-0,01}{k \cdot \alpha (\alpha - 1)} \right]^{\frac{\alpha - 1}{\alpha - 2}} \quad (1)$$

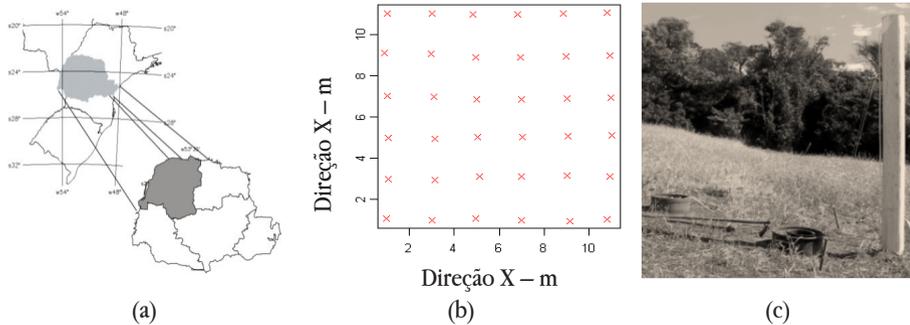


Figura 1. Localização da área de estudo (a), croqui do grid de amostragem (b) e infiltrômetros de anéis concêntricos de carga constante (c).

2.2 ANÁLISES DOS DADOS

Para as análises de dados, foi utilizada a linguagem e ambiente R, versão 2.2.1. (R. DEVELOPMENT..., 2010). Os métodos geoestatísticos foram implementados utilizando funções disponíveis nas bibliotecas geoR (RIBEIRO; DIGGLE, 2001) e MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002).

2.2.1 Análise Exploratória dos Dados

O conjunto de dados da taxa de infiltração básica obtidos nas áreas de amostragem foi submetido à análise estatística descritiva, determinando os valores mínimos e máximos, média, mediana, desvio-padrão e coeficiente de variação.

Utilizou-se a família de transformações Box-Cox para encontrar a transformação mais adequada para alcançar o comportamento aproximadamente Gaussiano. Essa família depende diretamente de um parâmetro, que é o coeficiente de transformação dos dados. Na prática para um conjunto de dados, obtém-se um intervalo de confiança para que, caso inclua o valor 1, indica que a transformação dos dados não é necessária (BOX; COX, 1964).

2.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Os dados foram analisados sob a abordagem de modelos geoestatísticos (DIGGLE; RIBEIRO JR., 2007) sob o paradigma frequentista da estatística. Buscou-

se, desta forma, ajustar os parâmetros do modelo equação (2):

$$Y(\mathbf{X}) = \beta + S(\mathbf{X}) + \varepsilon_i \quad (2)$$

Em que:

$Y(\mathbf{X}_i)$ é a Tib na linha i da matriz de coordenadas \mathbf{X} ;

β é a média geral de uma área específica;

$S(\mathbf{X}_i)$ é um processo gaussiano com função do modelo esférico com parâmetro de variância σ^2 , parâmetro de alcance ϕ ;

ε_i é o ruído aleatório normalmente distribuído com média zero e variância τ^2 .

Na Figura 2, o ponto em que os dados deixam de apresentar dependência espacial é chamado de patamar (sill) ($\sigma^2 + \tau^2$), e a distância a partir da origem até o patamar é chamada de alcance (range), que é função do parâmetro Φ . Pela definição, $\hat{\lambda}(u)$ para $u = 0$ deverá ser zero, denominado efeito-pepita (nugget), que nos modelos considerados correspondem à variância τ^2 .

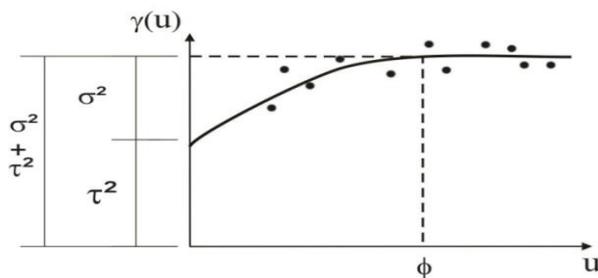


Figura 2. Semivariograma teórico

Os variogramas empíricos foram necessários para obter variogramas baseados em modelos e seus parâmetros obtidos por máxima verossimilhança. Os valores iniciais dos parâmetros do modelo exponencial encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos valores iniciais para os parâmetros do modelo exponencial nas três áreas amostrais.

Parâmetros	Áreas amostrais		
	CTI	IAPAR	FEI
τ^2	0,07	0,06	0,15
σ^2	0,58	0,48	0,31
Φ	3,45	8,45	3,95

A classificação do grau da dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar $\{[C0/((C0+C1))]-1\}$, sendo considerada forte se a razão for $\geq 0,75$; moderada quando está entre 0,74 e 0,26; e fraca se $\geq 0,25$ (CAMBARDELLA et al., 1994).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Pela estatística descritiva dos dados apresentados na Tabela 3, observa-se que os valores das medidas de tendência central média e mediana para Tib das áreas estudadas, não são semelhantes, o que identifica uma distribuição assimétrica, conforme constatado por Calheiros et al. (2009).

Com base no critério de Warrick e Nielsen (1980) para classificar o coeficiente de variação – CV (baixo – $CV < 12\%$, médio – $12\% < CV < 60\%$, alto – $CV \geq 60\%$), verificou-se que eles são altos para as três áreas amostrais. Os resultados obtidos são concordantes com aqueles obtidos por Eguchi et al., (2003) e Amaro Filho et al., (2007). Farias (1999) destaca que a Tib possui alta variabilidade ($153,55\% < CV < 228,92\%$) e não apresenta estrutura de dependência espacial definida.

Tabela 3. Análise exploratória da taxa de infiltração da água no solo (mm h^{-1}). (continua)

Estatística	CTI	FEI	IAPAR
Nº elementos amostrais	36	36	36
Média	45,71	22,61	31,70

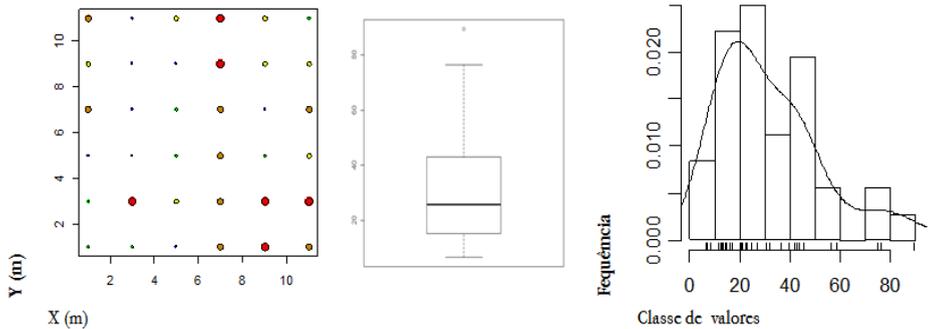


Figura 3. Dispersão da taxa de infiltração básica de água no solo nas três áreas.

Ainda pode ser observada, na Figura 3, a distribuição dos histogramas de frequências das diferenças entre os pontos amostrados. A existência de normalidade dessas diferenças é de fundamental importância em estudos que utilizam os algoritmos de máxima verossimilhança, a qual consiste da aplicação de um modelo multivariado normal (RIBEIRO JUNIOR; DIGGLE, 2001). Pode-se verificar a assimetria à direita da distribuição mostrada na Figura 3, uma possível distribuição log normal, comum para esta variável do solo.

Na Figura 4, observa-se o gráfico do perfil de verossimilhança do parâmetro da transformação Box-Cox. Os resultados das estimativas do parâmetro da família de transformações Box-Cox com os respectivos intervalos de confiança dos conjuntos de dados CTI, FEI e IAPAR, verificando-se que os modelos não tiveram distribuição aproximadamente normal, o que identifica uma distribuição assimétrica, conforme constatado por Eguichi et al., (2003), Montenegro e Montenegro (2006). Como os intervalos de confiança incluem o valor 0, adotou-se em todos os casos a transformação em Log.

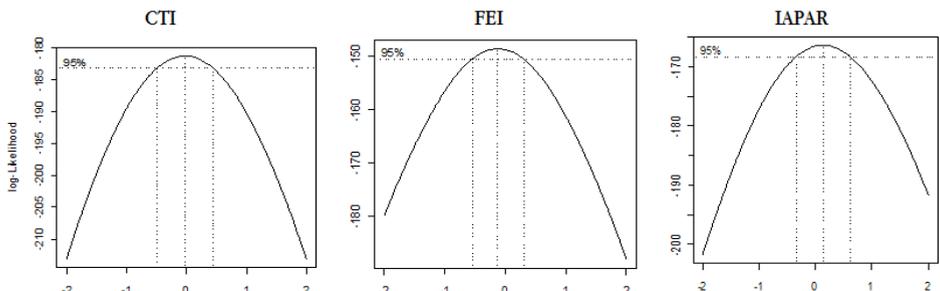


Figura 4. Transformação Box-Cox.

3.2 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Pressupõe-se a tendência de estacionaridade, cujos dados têm média e variância considerados como constantes. Portanto os modelos foram ajustados para os semivariogramas, apresentados os resultados das estimativas dos parâmetros (τ^2 , σ^2 e Φ) da função de verossimilhança (Tabela 4). Para as três áreas estudadas ajustadas ao modelo exponencial sugerido por Gomes et al., (2007).

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros utilizando-se os estimadores de máxima verossimilhança para modelo exponencial de correlação.

Parâmetros	CTI	FEI*	IAPAR
Efeito pepita (τ^2)	0,3963	0,2885	0,0020
Patamar ($\sigma^2 + \tau^2$)	0,5319	-	0,4318
Alcance (Φ)	3,9923	-	1,1064
Média da área (β)	3,5583	2,9640	3,2648
GDE	0,25	-	0,99

GDE: grau de dependência espacial; *efeito de pepita puro.

De acordo com o critério de Cambardella et al., (1994), a área amostral do CTI apresentou fraca dependência espacial, enquanto a área amostral do IAPAR apresentou forte dependência espacial (Tabela 4). Segundo Silva et al., (2003) e Machado et al., (2007), isso demonstra que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados amostrais. Os dados de Tib para a área do CTI permitiram ajuste ao modelo exponencial, com alcance de dependência espacial de 11,97 m. Na área do IAPAR o alcance de dependência espacial foi de 3,31 m.

Miguel, Vieira e Grego (2009) avaliaram a variabilidade de infiltração de água no solo em duas profundidades e encontraram dependência espacial de moderada a forte, caracterizando assim necessidade da utilização de ferramenta da krigagem ordinária, a fim de se delimitarem possíveis zonas de manejo diferenciado.

Outra observação importante referente aos semivariogramas foi a Tib da área amostral da FEI que apresentou um efeito pepita puro, sendo o único ajuste dessa natureza. Segundo Gomes et al., (2007), esse fato reflete a alta variabilidade apresentada por essa variável, sendo que a ocorrência do efeito pepita puro permite inferir que as amostras para estudo de Tib, nesta parcela experimental, devem ser

feitas a distâncias menores que as utilizadas na amostragem deste trabalho assegurando maior precisão das pesquisas como sugerido também por Oliveira et al., (2006).

3.3 PREDIÇÃO ESPACIAL

Para estimativa de valores em locais não amostrados, foram gerados mapas de distribuição espacial (Figura 5), sendo estes obtidos por interpolação por meio da krigagem, a partir dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas.

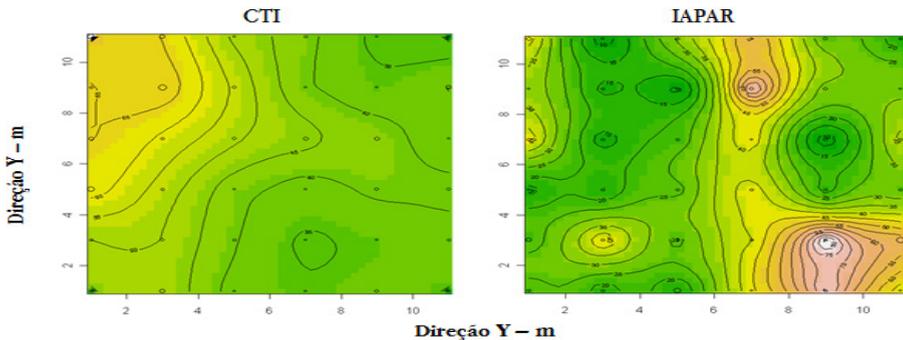


Figura 5. Distribuição espacial da Tib estudada nas áreas de amostragem.

A validação dos mapas de predição foi realizada por simulações condicionais por meio da construção de intervalos de confiança para cada ponto estimado. A simulação condicional são resultados das estimativas baseadas em 1000 cenários diferentes e não apenas um, como é o caso da krigagem. Desta forma, tem-se maior segurança sobre as áreas prováveis com deficiência ou excesso da variável em estudo, do que se analisado apenas uma situação.

A construção do mapa de probabilidade de escoamento superficial teve como critério uma intensidade de aplicação dos aspersores utilizada em experimentos de cada área de amostragem estudada (Figura 6). Estes critérios foram respectivamente 12 e 6 mm h⁻¹, para a área de amostragem do CTI (FRIZZONE et al., 2007) e para a área de amostragem do IAPAR (ALMEIDA, 2011).

Na Figura 6, observa-se o mapa de probabilidade para predição da ocorrência para que a intensidade de aplicação de água dos aspersores exceda a Tib,

ocorrendo perda por escoamento superficial. Verificam-se baixas probabilidades de ocorrência de escoamento superficial para as duas áreas de amostragem nas regiões mais claras dos mapas, apresentando um adequado dimensionamento dos sistemas de irrigação por aspersão.

Portanto a utilização da simulação, além de ajudar bastante na calibragem de modelos e estimativas, aumenta o nível de confiança nas análises, uma vez que é possível inferir sobre determinado parâmetro baseado em sua ocorrência média de muitos cenários diferentes.

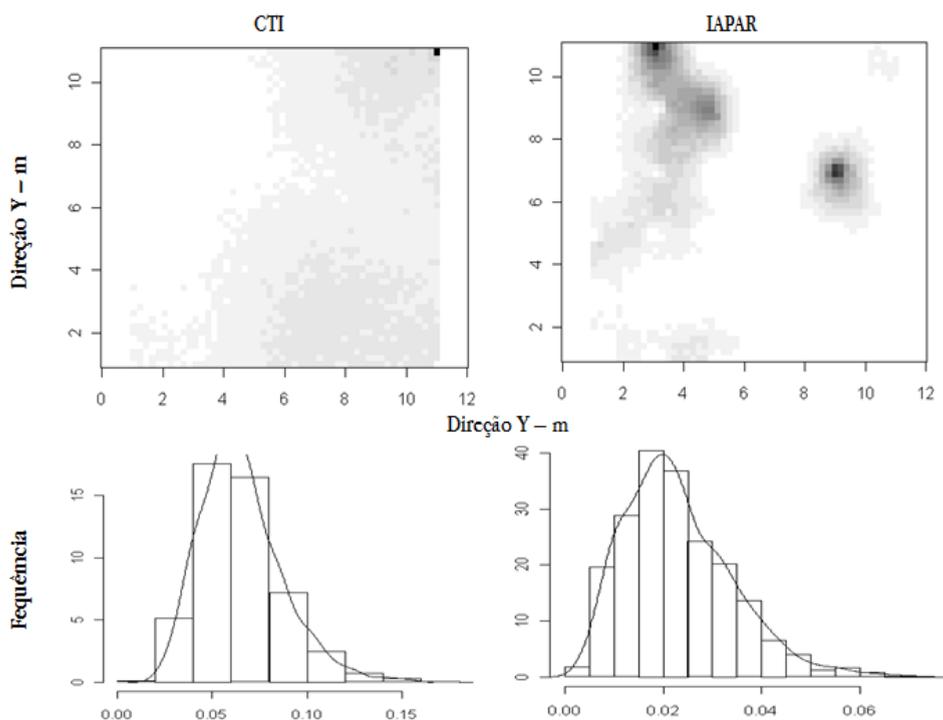


Figura 6. Mapa de probabilidade da intensidade de aplicação dos aspersores de 6,9 e 12 mm h⁻¹ dos aspersores exceda a permeabilidade do solo, ocorrendo perdas por escoamento superficial. Altas probabilidades de extrapolação dos critérios estão associadas a cores mais escuras nos mapas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se estrutura de dependência espacial para área experimental do

CTI e FEI, sendo somente forte a variável Tib da área amostragem da FEI.

Pelos parâmetros de variabilidade espacial, sugerem-se as distâncias entre amostras de 3 e 12 metros para Tib nas áreas CTI e FEI, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. L. D. de. **Irrigação de plantas forrageiras tropicais e sorgo granífero na região do arenito Caiuá - Paraná**. 2011. 65f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 415-422, 2007.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, v.26, n.2, p.211-252, 1964.

CALHEIROS, C. B. M. et al. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 665-670, 2009.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H. de; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo. Parte I - infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 137-141, 2000

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JR, P. J. **Model based geostatistics**. New York: Springer, 2007. 230p.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinadas “in situ”. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, Edição especial p.1607-1613, 2003.

FARIAS, M. S. S. **Diagnóstico da necessidade de drenagem no perímetro irrigado de São Gonçalo**. 1999. 75f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Paraíba, Campina Grande, 1999.

FRIZZONE, JOSÉ A.; REZENDE, ROBERTO; GONCALVES, ANTONIO C. A.; HELBEL JUNIOR, Celso. Produtividade do feijoeiro sob diferentes uniformidades de distribuição de água na superfície e na subsuperfície do solo. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, pp. 414-425 2007.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A. de; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol.11, n.4, p. 427-435. 2007.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário – 2006**. Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, M. C. N.; BARBIN, D.; SILVA, E. F. da; MACEDO, J. R. de; CAPECHE, C. L.; HISSA, H. R.; Estimção dos parâmetros de uma função de covariância no estudo da variabilidade espacial do teor de cálcio no solo. **Rev. Mat. Estat.**, São Paulo, v. 24,

n. 4, p. 117-132, 2006.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 591-599, 2007.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 44, n. 11, p.1513-1519, nov. 2009.

MONTENEGRO, ABELARDO A. A.; MONTENEGRO, SUZANA M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 10, n. 1, mar. 2006

PAULINO, J.; FOLEGATTI M. V.; ZOLIN, C. A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; JOSÉ, J. V.; Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176, abril-junho, 2011.

POTT, C. A.; ROSIM, D. A.; MARIA, I. C. Velocidade de infiltração de água VIB - para que serve e como avaliar essa importante propriedade dos solos. **O Agrônomo**, Campinas, v. 57, p. 27-28, 2005.

R DEVELOPMENT CORE TEAM R. A language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2005. URL <http://www.R-project.org>

RIBEIRO JR., P. J.; DIGGLE, P. J. The geoR package functions for geostatistical data analysis: **R.News**, v.1, n.2, p.15-18, 2001.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJO, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SILVA NETO, S. P. da; SANTOS, A. C. dos; LEITE, R. L. de L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S. da; PEDRICO, A.; NETO, D. N. das N.; Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 541-552, abr/jun. 2011.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. *Modern Applied Statistics with S*, 4th edn. Springer, Berlin. 2002.

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

Recebido em: 16 de janeiro de 2012

Aceito em: 26 de setembro de 2012