

Mapeamento de ocorrência de precipitações mediante krigagem indicadora

Guido Gustavo Humada González¹, José Rodolfo Humada Sosa^{2*}, Augusto Ramalho de Moraes¹, Cristina Henriques Nogueira¹, Gilberto Rodrigues Liska¹, Juliano Bortolini³

¹Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras. Lavras. Brasil.

²Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo. Paraguai

³Departamento de Estatística, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá. Brasil.

*Autor para correspondência: josehumada@bol.com.br

Introdução

A agricultura de precisão tem como princípio básico o estudo da variabilidade espacial das áreas produtivas e tem como objetivo a administração do uso de insumos agrícolas em local específico, procurando minimizar as perdas (Assumpção et al., 2007). O estudo dessa variabilidade espacial é realizado por meio da aplicação de técnicas sobre dados espacialmente referenciados. Dentre as técnicas utilizadas no estudo da variabilidade espacial, destaca-se a geoestatística (Matheron, 1963). Mediante a necessidade de se obter informações em lugares de difícil acesso, onde, em certas condições, torna-se praticamente impossível montar postos pluviométricos ou fazer qualquer outro tipo de coleta de dados sem a necessidade de visitar o local, surge a necessidade de se relacionar a obtenção de dados para regiões que não apresentam estações de medição, através de técnicas de interpolação. Dentre as várias possibilidades de interpoladores na geoestatística têm-se krigagem indicadora (KI), que é um tipo não paramétrico de krigagem baseada em uma transformação binária dos dados. Por convenção os dados são codificados em 0 ou 1, se estiverem acima ou abaixo de determinado valor de corte, respectivamente. O valor de corte depende do objetivo do estudo. O resultado da transformação é um novo conjunto de dados que é submetido às análises geoestatísticas. Objetivou-se analisar a estrutura da dependência espacial de dados de precipitação pluvial anual e a construção do mapa de probabilidade utilizando-se a técnica de krigagem indicadora com vista na localização de regiões de risco com altas e baixas probabilidades de precipitação anual inferior a 1200 mm.

Materiais e métodos

Os dados em estudo referem-se às informações de precipitação pluvial anual em milímetros (mm) coletadas no ano 2012 em 25 estações meteorológicas do Paraguai. A variável contínua foi transformada a variável indicadora e o valor de corte utilizado para formar um novo conjunto de dados composto de 0 e 1 foi 1200 mm.

A variável indicadora (I_c) é dada por:

$$\begin{aligned} \text{Se } Z \geq C &\Rightarrow I_c(Z) = 0 \\ \text{Se } Z < C &\Rightarrow I_c(Z) = 1 \end{aligned} \quad (1)$$

onde Z é o valor da precipitação e C é o valor de corte ou limiar.

Por meio do conjunto amostral $\{z(\mu_1), z(\mu_2), \dots, z(\mu_N)\}$, a semivariância indicadora é definido como:

$$\hat{\gamma}(h) = \left(\frac{1}{2N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

em que $\hat{\gamma}(h)$ é o estimador da semivariância indicadora, h é o vetor distância (módulo e direção) entre pares de observações, $N(h)$ é o número de pares $z(\mu_i)$ e $z(\mu_i + h)$ separados por h , $z(\mu_i)$ e $z(\mu_i + h)$ são valores observados nas localizações μ_i e $\mu_i + h$.

Foram utilizados vários modelos de semivariograma para modelar a estrutura de correlação espacial entre as observações. Escolheu-se aquele que apresentou melhor ajuste aos dados referenciados, nesse caso o modelo teórico Gaussiano dado por:

$$\gamma(\mathbf{h}) = \begin{cases} 0, & |\mathbf{h}| = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{|\mathbf{h}|}{a}\right)^2 \right], & 0 < |\mathbf{h}| \leq a \\ C_0 + C_1, & |\mathbf{h}| > a \end{cases} \quad (3)$$

em que o parâmetro efeito pepita (C_0), representa o valor do semivariograma para distância zero entre amostras; o patamar ($C_1 + C_0$), representa o valor na qual a variância é estabilizada, o alcance (a) corresponde ao intervalo no qual as observações são espacialmente dependentes e \mathbf{h} o vetor de distâncias do qual é calculado o semivariograma. Os parâmetros dos modelos propostos foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ponderados (Vieira et al., 2000). Foram testadas a presença de dependência espacial e a adequação do modelo utilizado. Para à análise do índice de dependência espacial (IDE) foi utilizada a relação $C_0/(C_0 + C_1)$ conforme Cambardella et al. (1994). Realizou-se a KI para obtenção das probabilidades.

Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra o semivariograma empírico (pontos) e o modelo de semivariograma Gaussiano ajustado aos dados. A figura 2 apresenta o gráfico de envelope simulado; verifica-se que os pontos do semivariograma do modelo ajustado estão contidos nas bandas de confiança simuladas, portanto, o modelo Gaussiano pode ser utilizado para explicar a estrutura de dependência espacial e o mapeamento da variável estudada. Esse resultado concorda com Mello et al. (2012), que estudando a variabilidade espacial de chuvas no estado do Espírito Santo concluíram que esse evento pode ser caracterizado pelo modelo Gaussiano.

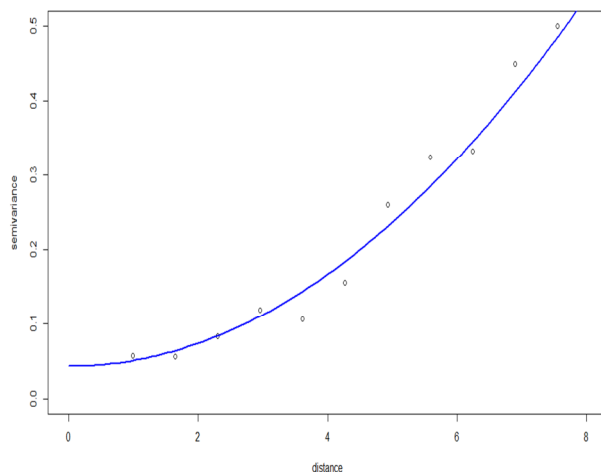


Figura 1. Semivariograma empírico (pontos) e modelo de semivariograma Gaussiano.

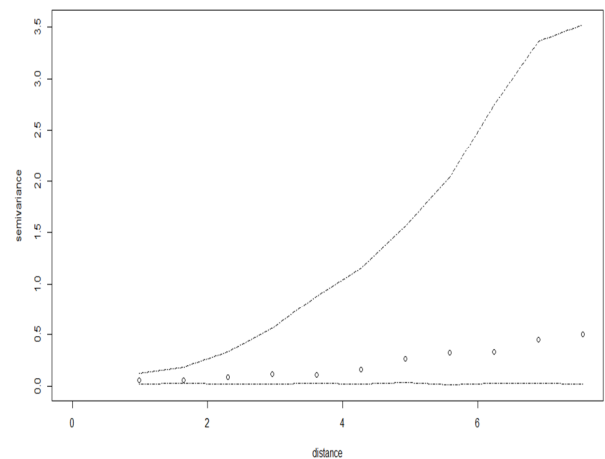


Figura 2. Envelope simulado para testar a hipótese nula de adequabilidade do modelo.

Esse modelo aponta que o efeito pepita (componente da variabilidade espacial que não pode ser relacionado com uma causa específica) é 0,04; a contribuição é 88,58 e o alcance é 106,74 quilômetros (distância até a qual existe dependência espacial da precipitação pluvial).

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros do modelo Gaussiano e o critério de dependência espacial de Cambardella (IDE) para os dados de precipitação pluvial.

Estimador	Modelo	Pepita (C_0)	Contribuição (C_1)	Alcance(a)	IDE(%)
Cressie	Gaussiano	0,04	88,58	106,74	0,05

A figura 3 apresenta o mapa de probabilidades construído sob o modelo apresentado na tabela 1. Áreas claras indicam altas probabilidades de ocorrências de precipitação anual em quantidades inferiores a 1200 mm. Esse fenômeno se visualiza principalmente nos estados de Alto Paraguay e Boquerón. Áreas vermelhas mostram baixas probabilidades de ocorrência de chuvas inferiores a 1200 mm, principalmente na região oriental do Paraguai. A figura 4 mostra o mapa da variância de krigagem ordinária para o modelo ajustado proposto. Superfícies vermelhas representam as áreas cujas estimativas de probabilidades de chuvas são mais precisas, observa-se que as mesmas apresentam boa precisão.

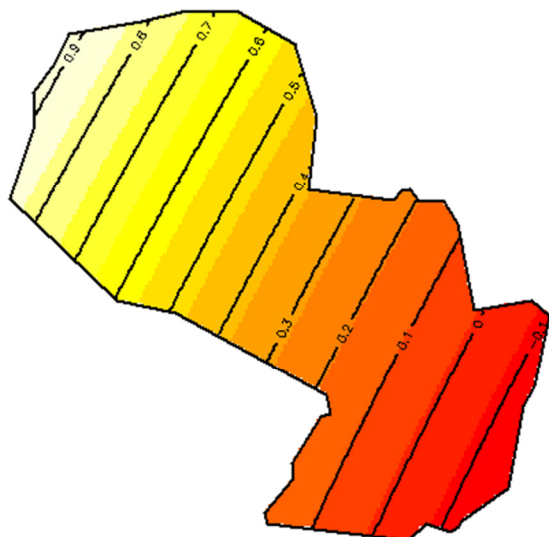


Figura 3. Mapa de probabilidades para a variável precipitação pluvial anual.

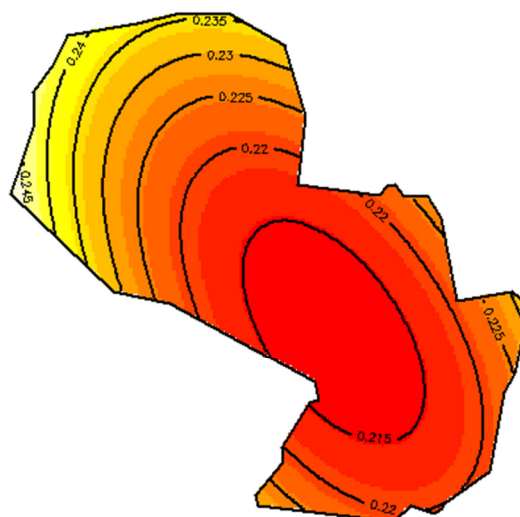


Figura 4. Mapa da variância de krigagem dos valores preditos de probabilidades.

Conclusão

O comportamento espacial da precipitação pluvial anual no Paraguai apresentou estrutura de dependência espacial forte, podendo ser caracterizada pelo modelo de semivariograma Gaussiano. A técnica de krigagem indicadora mostrou-se eficiente no mapeamento da probabilidade de precipitação no Paraguai em relação ao valor de corte estabelecido.

Referências Bibliográficas

- Assumpção, RAB; Uribe-Opazo, MA; Souza, EG; Johann, JA. 2007. Uso da krigagem indicatriz na avaliação da probabilidade de produtividade de grãos de soja (*Glicínia max*) segundo os padrões regional, estadual e nacional. *Acta Scientiarum*, (29), 165-171.
- Cambardella, CA; Moorman, TB; Novak, JM; Parkin, TB; Karlen, DL; Turco, RF; Konopka, AE. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*. Madison, (58), 1501-1511.
- Matheron, G. 1963. Principles of geostatistics. *Economics geology*. (58), 1246-1266.
- Mello, CR; Viola, MR; Curi, N; Silva, AM. 2012. Distribuição espacial da precipitação e da Erosividade da chuva mensal e anual no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. (36), 1878-1891.
- Vieira, SR. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo: Tópicos em ciência do solo. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (1), 1-54.