

GEOESTATÍSTICA APLICADA EM MEDIDAS DE INCERTEZA E CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO NA ESTIMATIVA DE CHUVA.

BALBINO ANTONIO EVANGELISTA¹, SUZANA DRUCK², RENATO FONTES GUIMARÃES³

¹Geógrafo, MS, Doutorando em Engenharia Agrícola, Unicamp, Coordenador Técnico de Zoneamento Agrícola de Risco Climático do MAPA, Agroconsult Ltda, Campinas-SP, Fone: (0xx19) 3249 1331, balbino@agroconsult.agr.br; ²Estatística, PhD, Pesquisadora, Embrapa, Brasília- DF; ³Geólogo, Prof. Doutor, Departamento de Geografia, UnB, Brasília - DF.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 02 a 05 de julho de 2007 - Aracaju - SE

RESUMO: Há grande demanda pela caracterização temporal e espacial das chuvas, justificada por interferir diretamente na vida das pessoas por meio do consumo, da geração de energia elétrica e da produção agrícola, entre outros. Os estudos iniciais de regionalização das chuvas foram feitos com uso da estatística clássica, que apresentaram algumas limitações, como considerar os dados aleatórios e não correlacionados espacialmente, e não permitir atribuir incertezas em sua estimação. Surge então a geoestatística com possibilidades de melhoria dessas estimativas. O objetivo deste trabalho é aplicar as técnicas de krigeagem ordinária na espacialização das chuvas do Estado de Goiás e Distrito Federal. Para isso, foram utilizadas séries com no mínimo de 15 anos de dados diários coletados em 214 postos. As análises foram realizadas com uso do software geoestatístico do ArcMap, da ESRI. A partir de estimadores de quantis e de probabilidades, foram gerados mapas probabilísticos e de decis. A combinação dessas informações permitiu gerar os cenários de riscos, onde o 2º, 5º e 8º decil da função de distribuição acumulada representaram, respectivamente, as condições de baixo, médio e alto risco de ocorrência de chuvas. As técnicas se apresentam com grande potencial para melhor representar riscos e incertezas na estimação de chuva.

PALAVRAS-CHAVE: geoestatística, krigeagem, análise espacial, precipitação.

GEOSTATISTICS APPLIED IN MEASURES OF UNCERTAINTY AND SCENES OF RISK IN THE ESTIMATE OF PRECIPITATION

ABSTRACT: It has great demand for spatial and temporal characterization of rainfall, justified for intervening directly with the life of the people by means of the consumption, the generation of electric energy and the agricultural production, among others. The initial studies of regionalization of rainfall had been made with use of the classic statistics, that had presented some limitations, as to consider the data random and not correlated space, and not to allow to attribute uncertainties in its estimates. The geoestatistics with possibilities of improvement of these estimates appears then. The objective was to apply techniques of usual krigeagem in the spatialization of rainfall of the State of Goiás and Federal District. For this, series with at least had been used of 15 years of collected daily data in 214 ranks. The analyses had been carried through with use of the geoestatistics software of the ArcMap, of the ESRI. From estimators of quantis and probabilities, probabilist maps and of decis had been generated. The combination of these information allowed to generate the scenes of risks, where 2º, 5º and 8º decil of the function of accumulated distribution had represented, respectively, the conditions of low, average and high risk of rainfall occurrence. The

techniques if present with great potential better to represent risks and uncertainties in the rainfall estimates.

KEYWORDS: geostatistics, krigagem, spatial analysis, precipitation.

INTRODUÇÃO: A precipitação é, certamente, um dos mais importantes elementos que compõem o clima, por interferir diretamente na vida das populações e nos diversos setores da economia dos países como, por exemplo, na produção agrícola. Portanto, conhecer o seu comportamento no tempo e no espaço torna-se de fundamental importância. A estatística clássica ou determinística foi aplicada para regionalização das chuvas, porém apresentam limitações como não considerar os dados medidos como dependentes ou correlacionados espacialmente e não permitir atribuir uma incerteza sobre a estimação (GOOVAERST, 2001).

A krigagem possibilita inferência das medidas de incerteza, que decorre de informações incompletas. Ou seja, é aplicada a partir de um conjunto de amostra de dados (GOOVAERTS, 1997). Essa incerteza é apresentada na função de distribuição acumulada. Medidas de incertezas em mapas derivados de krigagem vêm crescendo devido a sua importância principalmente quando são utilizados no campo da pesquisa; nas áreas de planejamento, gestão e regulamentação do uso dos recursos hídricos; e dos setores produtivos, principalmente da agricultura (SOARES, 2000 e GOOVAERTS, 1997). Informações sobre incerteza não só na forma qualitativa, mas e principalmente quantificadas, facilitam ao usuário no processo de tomada de decisão (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989) (KRIVORUCHKO, 2001).

Assim, visando maior precisão e confiabilidade nessas estimativas, este trabalho tem como objetivo aplicar técnicas de krigagem ordinária na análise espaço-temporal da chuva no Estado de Goiás e Distrito Federal para construção de cenários de incertezas e regionalização de cenários de riscos na forma de mapas.

MATERIAL E MÉTODOS: O Estado de Goiás e o Distrito Federal estão localizados na região Centro-Oeste do Brasil entre os paralelos 13 e 19° sul e os meridianos 46 a 53° oeste. Possuem juntos uma área de aproximada de 348.679,9 km². Apresenta padrão climático do tipo Tropical Chuvoso de Savana (AW) e, em determinadas localidades, o tipo Temperado Chuvoso e Quente (CW) com dois períodos sazonais característicos e distintos, um período quente e chuvoso, que se estende desde outubro até março, quando as temperaturas são elevadas e concentra mais de 80% da precipitação acumulada do ano, e outro, seco e úmido, que vai de abril a setembro, quando as temperaturas são amenas, com reduzida pluviosidade (inferior a 50 mm/mês) e ocorrência de níveis críticos de umidade do ar, causando grande desconforto para a população, limitando a agricultura e a geração de energia elétrica. A região apresenta variações altimétricas médias aproximadas de 200 a 1400 metros. Sua morfologia se divide em Compartimento Morfológico Noroeste (200 e 500 metros); Depressão interplanáltica do Rio Paraná, no centro-norte/noroeste (200 a 500 metros); Compartimento Morfológico sudeste, no Planalto Central Brasileiro ao norte (média de 1000 metros); Depressão Interplanáltica do Rio Paraíba ao sul (médias de 500 metros); e Compartimento Morfológico Sudoeste (500 a 1000 metros).

Para condução deste estudo, foi criado um banco de dados de pluviometria diária, com séries históricas mínimas de 15 anos, coletadas em 214 postos. Os dados foram cedidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), EMBRAPA, INMET e Companhia de Águas e Esgotos de Brasília – CAESB. Foram então calculadas as médias de chuva para os meses de setembro a abril para cada estação pluviométrica. Para aplicação dos procedimentos de análises

geoestatísticas em ambiente computacional, os dados foram organizados em arquivos digitais no formato x, y e z; onde x e y correspondem à localização geográfica da estação, representada pela latitude e longitude; e z ($z_1, z_2 \dots z_n$), representa o valor de chuva para os meses de setembro a abril e também a média anual. Foi utilizado o software ArcMap, da ESRI, versão 8.3 que incorpora funções e aplicativos baseados nos conceitos geoestatísticos.

Inicialmente, a análise exploratória mostrou que as distribuições das chuvas nos meses em estudo apresentaram-se em geral simétricas ou normais. Foram testados os principais modelos de semivariogramas experimentais (gaussiano, exponencial e esférico) através de um processo interativo de tentativa e erro, até que, verificadas as estatísticas apresentadas pela validação cruzada, fossem satisfeitas as condições impostas pelo interpolador, quais sejam, apresentar média do erro zero e variância padronizada próxima à unidade.

Foram aplicados os procedimentos de krigeagem ordinária aos dados de chuva média mensal e anual, para os meses de setembro a abril e o período anual para estimativa de valores nos locais não amostrados. Os mapas de chuva resultados do processo de interpolação apresentam-se na forma raster (imagem), sendo que, para efeito de padronização e para facilitar a comparação entre os diversos meses, os valores de chuva foram reclassificados e ordenados em classes com intervalos de 25 mm.

Para determinação de medidas de incerteza no campo da agricultura, estabeleceu-se um valor mínimo de chuva z_c para delimitação de áreas de risco de ocorrência de deficiência hídrica. O critério proposto objetiva definir as áreas A , em que a ocorrência de chuva é superior a determinado nível z_c , e assim, sendo favorável para a utilização na agricultura, ou seja, $A = Z \geq m$. Foi considerado a média esperada, $z_c = m$ para todo o Estado como limite mínimo para definir as localidades recomendadas para plantio com baixo risco. Com essa finalidade, estimadores de decis foram utilizados. Assim, geraram-se distribuições gaussianas nos locais inferidos considerando os valores estimados e de desvio padrão como parâmetros dessas distribuições. A utilização da distribuição gaussiana nesse trabalho se justifica uma vez que estamos utilizando valores médios que apresentam comportamento gaussiano, conforme teorema do limite central.

Nos mapas dos meses de setembro a abril e o período anual adotaram-se as frequências acumuladas de ocorrência de 20% (decil 0.2), de 50% (decil 0.5) e 80% (decil 0.8) para construção dos cenários de risco, assim definidos: Cenário de baixo risco: representado pelo segundo decil (0.2); Cenário de médio risco: representado pela mediana (decil 0.5); e Cenário de alto risco: representado pelo oitavo decil (0.8).

Os mapas resultados da espacialização por decil, designados inicialmente de mapas de aptidão, foram reclassificados em duas classes, sendo uma para valores menores ou iguais à média, considerada inapta; e outra, para os valores maiores que esta, consideradas aptas.

O critério de risco adotado considerou os erros inferenciais como principal fator negativo em decisões de planejamento e expressou medidas de risco que quantificassem a probabilidade de nas áreas adequadas se informar equivocadamente. A krigeagem considera dois tipos de erros de inferências nesse caso: O primeiro é dizer que um local é apto, quando ele não é ($Z > z_c$); O segundo, dizer que o local não é apto, quando ele é ($Z \leq z_c$). Enfatizou-se o erro do primeiro tipo, pois está associado a área A e pode acarretar sérios problemas à produção agrícola e, conseqüentemente, de ordem econômica. Assim, estimou-se como risco a probabilidade de se informar ao planejador erroneamente, ou seja, se afirma que a chuva excede um dado valor z_c , quando isso pode não ocorrer. Assim: $Pr ob[Z(x) \leq z_c | \hat{z} > z_c]$. O valor z_c foi representado pela média geral do conjunto de dados para cada mês utilizado neste estudo, referente às estatísticas descritivas da análise exploratória dos dados. Os mapas probabilidades resultantes da interpolação por krigeagem foram reclassificados e apresentados

em 10 (dez) classes de probabilidades, com intervalos de 10% (dez por cento), no formato de isolinhas, designadas de isolinhas de erro, neste trabalho. Os mapas de risco para os diferentes cenários, resultaram da composição dos mapas de decis e das isolinhas de medidas de risco inferido. Nos mapas, os valores inferidos para as frequências de 20%, 50% e 80%, apresentam como áreas aptas as localidades que onde valores de chuva Z são superiores à média, ou seja, $Z > m$, sendo $Z = qQ$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os cenários de risco ou incerteza obtidos para o período anual estão representados na Figura 1. Foram delimitadas como aptas as áreas que apresentam valores de chuva iguais ou superiores a 1500 mm, como média para todo o Estado. No cenário de baixo risco (C1), ocorrem duas áreas que atendem ao critério, uma faixa que se estende de norte até o centro da região e outra localizada no sudoeste do Estado, com valores de risco inferiores a 20%. No segundo cenário, de médio risco (C2), as áreas que chovem acima da média estão localizadas no centro-oeste do Estado, com faixas de risco de até 60%. No cenário de alto risco (C3), somente a região nordeste, próxima a depressão do Rio Paranã, apresenta pequenas áreas inaptas, e o restante do Estado apresenta áreas aptas com classes de risco de não chover o volume esperado chegando próximo a 90%.

A análise de cenários para a chuva anual, quando feita visando aplicação na agricultura, por exemplo, pode ser considerada subjetiva, uma vez que somente o total pluviométrico anual pode não ser um bom indicador para delimitar regiões para uso agrícola, devendo ser também analisada e considerada a sua distribuição temporal. Por outro lado, quando interpretado visando o abastecimento dos reservatórios de água para uso da população urbana e para geração de energia, são bastante objetivas e aplicáveis, por delimitar as regiões com maior potencial de oferta hídrica neste período. Apesar dos valores médios de chuva serem considerados subjetivos para construção dos cenários apresentados neste exemplo de aplicação, estas condições podem ser perfeitamente adotadas, uma vez que os grupos de espécies vegetais citados respondem diferentemente a demanda hídrica durante o processo reprodutivo. Por outro lado, utilizando-se as técnicas geoestatísticas e a metodologia apresentada neste estudo, definindo-se índices mais realísticos de demanda de água para determinada cultura, os resultados são perfeitamente aplicáveis e o seu uso correto poderá reduzir drasticamente as perdas de lavoura em decorrência de deficiência hídrica. Quanto à construção de cenários, a condição de baixo risco, representa a principal informação para o agricultor, por exemplo. Por outro lado, o cenário de médio risco pode ser um bom indicador para o profissional que trabalha na área de planejamento do uso do recurso hídrico (ASSAD & EVANGELISTA, 2001).

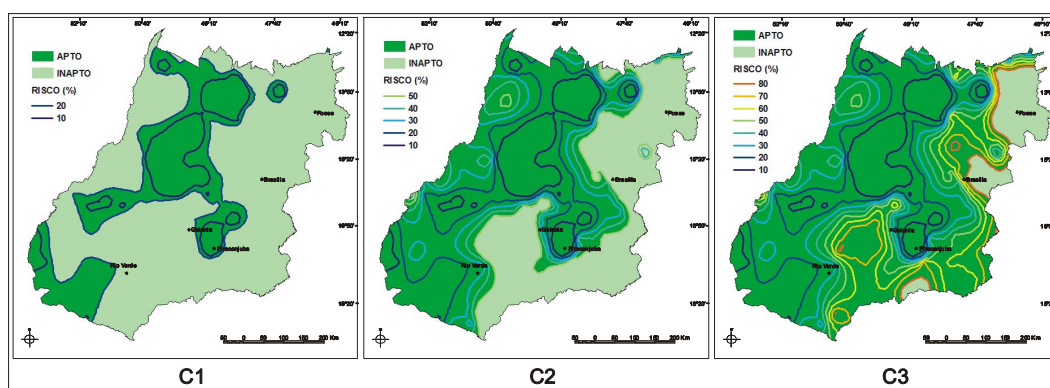


Figura 1. Mapas de cenários de risco no período anual, onde C1 representa baixo risco, C2 representa médio risco e C3 representa alto risco.

CONCLUSÕES: A disponibilidade de modelos probabilísticos, incorporados aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), constitui-se num instrumento de grande potencial de aplicação quando o objetivo é reproduzir no espaço e no tempo o comportamento dos fenômenos naturais com menor subjetividade e maior precisão e confiabilidade, através de funções de interpolação. Lembrando que a confiabilidade dos resultados a serem obtidos estará intimamente relacionada à qualidade dos dados utilizados para a geração desses modelos, bem como à escolha do procedimento metodológico adequado e do conhecimento que o pesquisador tem sobre o fenômeno estudado.

Definir critérios de precisão para classificar os valores de chuva estimados e, a partir deles, construir cenários de risco, como apresentado neste trabalho, permitiu disponibilizar para o planejador e demais usuários, diferentes possibilidades de uso desta informação, facilitando e auxiliando-os nos processos de tomada de decisão.

Os mapas de risco ou incerteza, mostrados na forma de três cenários para baixo, médio e alto risco, embora construídos a partir da adoção de critérios hipotéticos, não comprometem a sua aplicabilidade. Podem e devem ser utilizados pelos diversos usuários nos procedimentos de tomada de decisão quando da implementação de suas atividades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ASSAD E. D.; EVANGELISTA, B. E. *Análise Freqüencial da Precipitação pluviométrica*. In: Chuva no Cerrado: análise e espacialização / Eduardo Delgado Assad, Coordenador. -2.ed. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 1 CD-ROM.

GOOVAERST, P. *Geostatistical modeling of uncertainty in soil science*. Geoderma, Amsterdam, v. 103, p. 3-26, 2001.

GOOVAERST, P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York: Oxford University Press, p. 481. 1997.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

KRIVORUCHKO, K. *Using linear and-nom kriging interpolators to produce probability maps*. In: Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, 2001. Cancun. Proceedings Cancun: International Association for Mathematical Geology, 2001. p. 1-18.

SOARES, A. *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. Lisboa: IST Press - Instituto Superior Técnico, 2000. 206 p.