



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Análise Geoestatística da Precipitação Pluvial do Estado da Paraíba

Oseas Machado Gomes¹; Francisco de Assis Salviano de Souza¹; Carlos Antonio Costa dos Santos¹; Willian de Paiva²

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Avenida Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58109-970 Campina Grande, PB, Brazil. E-mail: oseasmachado@gmail.com; fassis@dca.ufcg.edu.br; carlos@dca.ufcg.edu.br

² Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Rua Juvencio Arruda, S/N; Campus Universitário; Bairro Bodocongó; CEP:58109-790; Campina Grande-PB. E-mail: wili123@ig.com.br

Artigo recebido em 12/09/2011 e aceito em 21/09/2011

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade espacial da precipitação pluvial média mensal do Estado da Paraíba, no período de 1962 a 2001, utilizando técnicas geoestatísticas. Os dados foram cedidos pela Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), coletados em estações meteorológicas e postos pluviométricos localizados em 102 municípios do Estado. Foi usado o semivariograma para determinar a dependência espacial da variável em estudo, em seguida foi feita uma análise descritiva dos dados a fim de resumir a série e descrevê-la em termos numéricos. De acordo com os resultados obtidos todos os variogramas apresentaram forte dependência espacial ($IDE \geq 75\%$), com exceção dos meses de junho a setembro que apresentaram tendências nas séries e dificuldade no ajuste dos modelos de comportamento espacial. De acordo com a análise descritiva dos dados os coeficientes de variação apresentaram alta dispersão ($C_v > 20\%$) entre os valores, indicando grande variabilidade da chuva. Também foram confeccionados mapas de krigagem ordinária para os meses de janeiro, fevereiro, outubro e novembro. Tomaram-se como critério os valores dos coeficientes de determinação ($R^2 > 93\%$) para se obter os mapas ajustados pelos modelos e os mapas dos resíduos.

Palavras – Chave: Geoestatística, precipitação e krigagem ordinária.

Geostatistical Analysis of Precipitation in Paraíba State

ABSTRACT

This work aims to study the spatial variability of monthly average rainfall of the State of Paraíba, in the period 1962 to 2001, using geostatistical techniques. The data were provided by the Academic Unit of Atmospheric Sciences (UACA), Federal University of Campina Grande (UFCG), collected from weather stations and climatic stations located in 102 municipalities in the State. Semivariogram was used to determine the spatial dependence of the variable under study was then carried out a descriptive analysis to summarize the series and describe it in numerical terms. According to the results of all variograms showed a strong spatial dependence ($IDE \geq 75\%$), with the exception of the months from June to September which showed trends in the series and difficulty in adjusting the models of spatial behavior. According to the data descriptive analysis coefficients of variation showed a high dispersion ($CV > 20\%$) between the values, indicating great variability in rainfall. Were also made maps of ordinary kriging for the months of January, February, October and November. Were taken as criteria, the coefficients of determination ($R^2 > 93\%$) to obtain the maps set by models and residual maps.

Keywords: Geostatistics, kriging and precipitation.

1. Introdução

Nas últimas décadas várias pesquisas científicas nas áreas de climatologia,

meteorologia, hidrologia e ciências do solo têm sido realizadas, envolvendo diversos temas e diversos métodos de análise. Uma das

* E-mail para correspondência: oseasmachado@gmail.com (Gomes, O. M.).

metodologias mais utilizadas é a geoestatística que regionaliza as variáveis (Andriotti, 2003). O semivariograma é uma das ferramentas mais importantes dessa metodologia, ele permite determinar a amplitude da dependência espacial e descreve o comportamento da variável.

Uma das variáveis que mais apresenta variabilidade espaço-temporal e a precipitação pluviométrica. O conhecimento do comportamento espaço-temporal das chuvas é de fundamental importância para todas as atividades humanas (agricultura, agropecuária, pesca, comércio, transporte, dentre outras).

Salgueiro & Montenegro (2008) abordaram com base em dados pluviométricos, o variograma da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco, onde o ajuste dos semivariogramas: esférico, exponencial e gaussiano foi testado, tendo como melhor ajuste o semivariograma exponencial. Carvalho & Assad (2005) também abordaram com base em dados pluviométricos a precipitação média anual de 1.027 postos pluviométricos abrangendo todo território do Estado de São Paulo no período de 1957 a 1997, em que o semivariograma esférico foi o que melhor se ajustou aos dados. Segundo Matos (2003) o semivariograma é uma função que serve para determinar os pesos que cada amostra coletada tem em relação aos pontos onde não há informações.

A Paraíba é um dos estados brasileiros

que apresenta acentuada escassez hídrica, pois, apresenta clima semiárido na maior parte de seu território (Pedroza, 2009). No Estado, o clima torna-se mais seco à medida que se adentra ao continente. Essa variação climática em direção ao interior reflete-se, também, nos diferentes tipos de solo e vegetação (Rodríguez, 2002). A distribuição irregular das chuvas no Estado está relacionada aos fenômenos naturais de escala planetária, ou seja, varia muito de um lugar para outro e de um ano para outro. Desse modo, para identificar a variabilidade espaço-temporal da precipitação é necessário uma modelagem eficiente e precisa a fim de que se possa aperfeiçoar a tomada de decisões por parte dos gestores públicos. Este trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba utilizando técnicas geoestatísticas.

2. Material e Métodos

Neste trabalho foram utilizados totais mensais precipitados distribuídos por todo território Paraibano. Os dados foram coletados em estações meteorológicas e postos pluviométricos localizados em 102 municípios no período de 1962 a 2001, cedidos pela Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A Figura 1 mostra a distribuição espacial dos postos pluviométricos distribuídos nos municípios paraibanos.

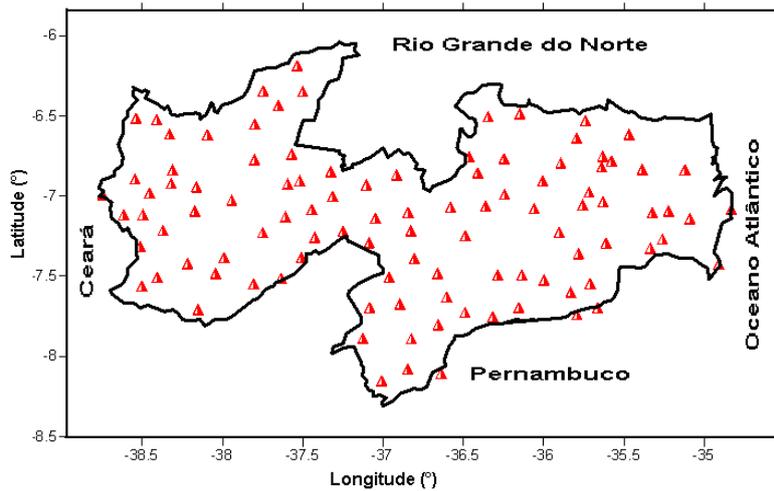


Figura 1. Distribuição espacial dos postos pluviométricos do Estado da Paraíba.

A priori foi feita uma análise descritiva dos totais mensais precipitados com o intuito de resumir a grande massa de dados e descrevê-la em termos numéricos. Dessa forma foram obtidas medidas de tendência

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \tag{1}$$

em que $C_v < 10\%$ baixa dispersão; $10\% < C_v < 20\%$ média dispersão; $C_v > 20\%$ alta dispersão. Os critérios de escolha do

central e medidas de dispersão. Os critérios de escolha do coeficiente de variação foram analisados de acordo com (Oliveira, 1999) como mostrados na equação (1).

$$C_k = \frac{n \times (n+1)}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3)} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \right)^4 - \frac{3 \times (n-1)^2}{(n-2) \times (n-3)} \tag{2}$$

em que n - é o tamanho da amostra; x_i - são os valores observados; \bar{x} - é a média aritmética dos valores observados; s_x - é o desvio padrão da amostra; $C_k = 0$, a distribuição é mesocúrtica; $C_k < 0$, a distribuição é leptocúrtica; $C_k > 0$, a distribuição é platicúrtica.

coeficiente de Curtose podem ser analisados de acordo com (Júnior, 2004), como mostra a equação (2).

Foi feita a análise variográfica da

precipitação pluviométrica a fim de verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial entre as observações. Aqui foi pressuposto a estacionariedade, (Sartori et al., 2010), na comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada direção. A análise foi baseada na equação (3).

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=0}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \tag{3}$$

em que $2\hat{\gamma}(h)$ - é o variograma estimado; $N(h)$ - é o número de pares medidos e separados pelo vetor (h); $z(x_i)$ e $z(x_i + h)$ - são os valores da i -ésima observação da variável regionalizada coletada nos dois pontos. Pelo ajuste do modelo do

$$IDE = \frac{C_1}{C_1 + C_0} \times 100 \quad (4)$$

em que, valores $IDE \leq 25\%$ implicam em dependência fraca; valores $25\% \leq IDE < 75\%$ em dependência moderada e valores maiores $IDE \geq 75\%$ em dependência forte. A maior parte dos modelos de semivariogramas foi ajustada pelo programa GS⁺ 5.0 com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), com exceção dos semivariogramas das médias mensais da precipitação pluviométrica dos

semivariograma são encontrados os valores do efeito pepita (C_0), do patamar (C_0+C_1) e do alcance (A_0). O grau de dependência espacial foi calculado através da equação (4), (Zimback, 2001).

meses de junho a setembro, ajustados pelo programa variowin 2.21. A partir daí, com o uso do programa Surfer 8.0, foram obtidos os mapas de interpolação por krigagem ordinária para estimar valores de precipitação pluviométrica em locais não amostrados e o mapa dos resíduos obtidos pelo método de mínima curvatura. O método da krigagem ordinária é mostrado de acordo com a equação (5).

$$\hat{Z}_{x_0} = \sum [\lambda_i Z_{(x_i)}] \quad (5)$$

em que \hat{Z}_{x_0} - é o valor estimado para o local x_0 não amostrado; $Z_{(x_i)}$ - é o valor obtido por amostragem no campo; λ_i são os pesos aplicados em cada $Z_{(x_i)}$, dado que a soma dos pesos $\sum \lambda_i$ seja igual a 1.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 exibe os resultados da análise descritiva das médias mensais da precipitação. De acordo com os resultados todos os meses apresentaram coeficiente de assimetria positivo ($C_S > 0$) mostrando

assimetria positiva dos dados. Os coeficientes de variação ($C_V > 20\%$) implicam que há alta dispersão entre os valores, indicando grande variabilidade da chuva. Todos os valores médios são maiores do que as medianas, isso confirma a assimetria positiva dos dados. Com relação à curtose, apenas os valores médios mensais de janeiro e fevereiro apresentaram coeficientes de curtose ($C_K < 0$), indicando que nesses meses a distribuição dos dados é do tipo leptocúrtica.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros e os modelos dos

semivariogramas ajustados às médias mensais da precipitação pluviométrica. Todos os semivariogramas foram analisados na direção 0° (EW) e apresentaram índice de dependência espacial forte (IDE >75%). Como mostrado na Tabela 2 todos os

semivariogramas apresentaram valores de ($R^2 > 90\%$), com exceção do mês de abril ($R^2 = 75,2\%$) o que indica que as variações das médias mensais da precipitação pluviométrica foram bem explicadas pelos modelos.

Tabela 1. Estatística descritiva das médias mensais da precipitação pluviométrica no período de 1962 a 2001 no Estado da Paraíba.

Meses	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	S	C _S	C _k	C _v %
Janeiro	102	66,24	58,26	16,37	159,96	36,18	0,64	-0,58	54,62%
Fevereiro	102	100,20	99,27	28,73	197,82	44,05	0,39	-0,91	43,97%
Março	102	160,65	159,09	67,30	396,22	57,73	0,67	1,28	35,94%
Abril	102	153,70	155,05	76,92	321,31	48,29	0,64	0,57	31,42%
Maio	102	83,51	75,11	29,78	287,84	45,55	2,10	6,56	54,55%
Junho	102	63,40	36,33	10,80	322,79	60,95	2,31	5,86	96,14%
Julho	102	57,78	29,34	3,23	303,27	62,12	1,93	3,56	107,52%
Agosto	102	27,25	10,92	0,00	171,56	36,74	2,19	4,71	134,81%
Setembro	102	16,94	6,80	0,00	103,19	22,04	2,00	3,43	130,09%
Outubro	102	9,83	7,25	0,35	54,23	9,67	2,50	7,47	98,46%
Novembro	102	13,38	11,18	1,26	54,89	9,92	1,61	3,49	74,11%
Dezembro	102	30,27	28,60	7,65	76,18	13,75	0,75	0,19	45,42%

n: número de observações; S: desvio-padrão; C_v: coeficiente de variação; C_S: coeficiente de assimetria; C_k: coeficiente de curtose.

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas ajustados às médias mensais da precipitação pluviométrica no período de 1962 a 2001 no Estado da Paraíba

Meses	Modelos	C ₀	C ₀ +C ₁	A ₀	IDE	R ²
Janeiro	Linear	1.00	949.00	104,10	99,9%	95,7%*
Fevereiro	Linear	1.00	1404.00	104,10	99,9%	94,4%*
Março	Esférico	10.00	5539.00	309,60	99,8%	91,8%
Abril	Esférico	328.00	2951.00	216,30	88,9%	75,2%
Maio	Exponencial	223.00	3258.00	164,60	93,1%	92,0%
Outubro	Esférico	22.80	234.20	710,90	90,0%	95,7%*
Novembro	Esférico	32.10	120.10	236,40	73,3%	96,5%*
Dezembro	Esférico	38.50	283.80	307,00	86,4%	90,5%

IDE: índice de dependência espacial; C₀: efeito pepita; C₀+C₁: patamar; A₀: alcance; R²: coeficiente de determinação.

A Figura 2 e 3 mostra os modelos de semivariogramas ajustados às médias mensais

da precipitação pluviométrica do Estado da Paraíba.

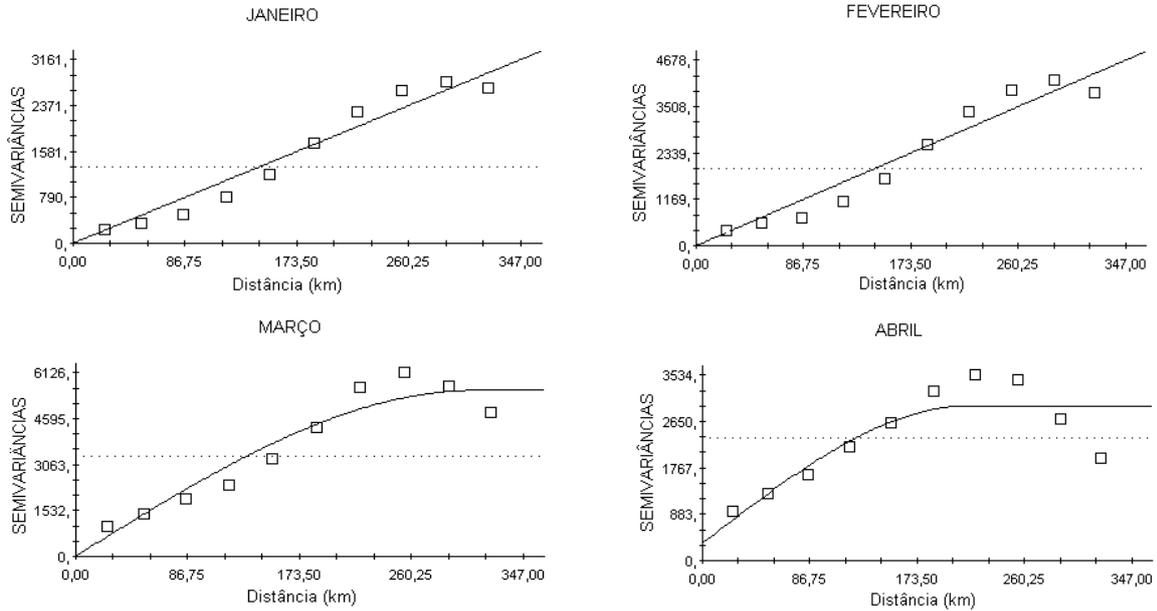


Figura 2. Semivariogramas ajustados às médias mensais de precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba no período de 1962 a 2001.

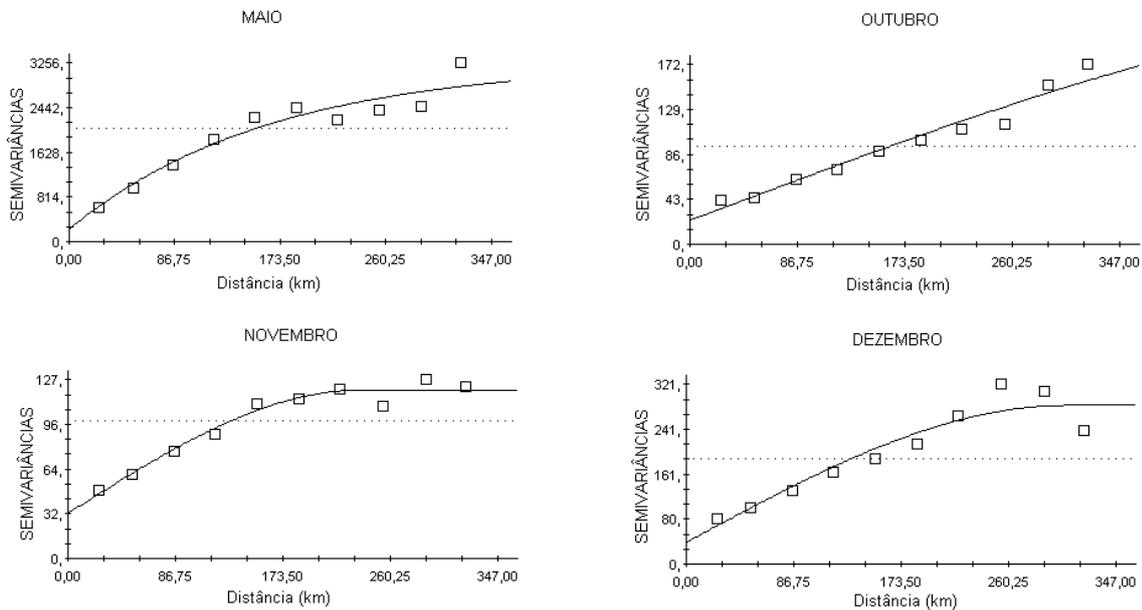


Figura 3. Semivariogramas ajustados às médias mensais de precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba no período de 1962 a 2001.

Na Figura 4 são mostrados os semivariogramas ajustados às médias mensais dos meses de junho a setembro pelo programa variowin 2.21. Esse tipo de semivariograma

indica a presença de tendência nos dados, que pode ser resolvido aplicando outra técnica da geoestatística chamada de krigagem com tendência.

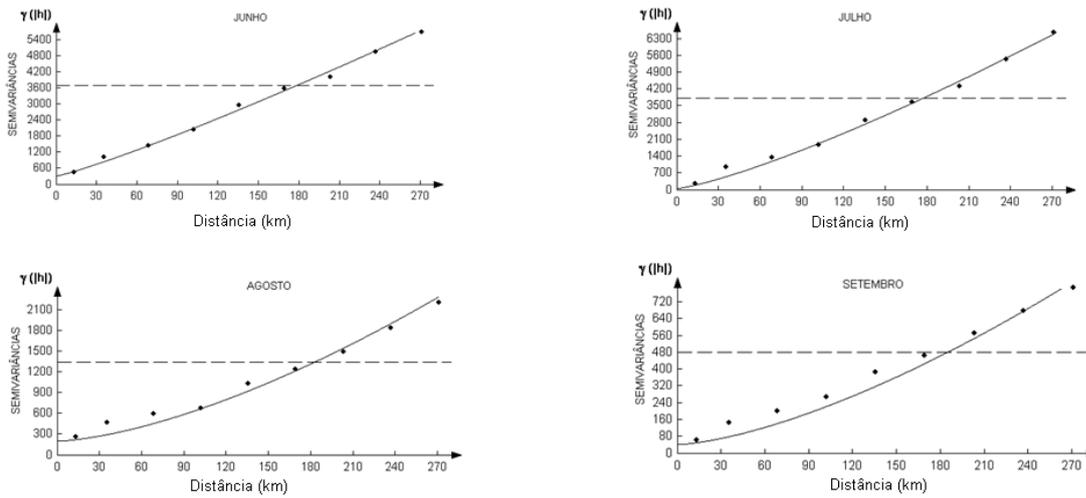


Figura 4. Semivariogramas ajustados às médias mensais de precipitação pluviométrica dos meses de junho a setembro no Estado da Paraíba no período de 1962 a 2001.

Os mapas de interpolação pelo método da krigagem ordinária foram feitos para os meses de janeiro, fevereiro, outubro e novembro. O critério para escolha desses meses foi o dos maiores valores de (R^2). Foram confeccionados os mapas de interpolação dos valores ajustados pelos modelos e o dos resíduos. Os resultados estão expostos nas Figuras (5), (6), (7) e (8). A Figura 5A mostra o mapa dos valores ajustados pelo modelo das médias mensais da precipitação pluviométrica para o mês de janeiro, esse mapa indica as regiões onde ocorrem os maiores e os menores valores estimados pelo método da krigagem ordinária das médias mensais de precipitação pluviométrica, como pode ser observado no mapa, as regiões do Cariri e Curimataú apresentaram as menores médias mensais de precipitação pluviométrica seguido da região do Litoral, já no sertão foram verificados as maiores médias mensais da precipitação pluviométrica, que pode estar diretamente associada ao período chuvoso da região. A

Figura 5B mostra o mapa dos resíduos das médias mensais da precipitação do mês de janeiro. Os valores positivos podem ser interpretados como sendo àqueles locais onde os valores observados foram maiores do que os estimados e os negativos como sendo àqueles locais onde os estimados foram maiores do que os observados das médias mensais da precipitação pluviométrica. Os resultados mostrados nas Figuras 6A, 6B são semelhantes aos da Figura 5A, 5B. Por se tratar da época chuvosa na região do Sertão, apenas os valores das médias mensais da precipitação são mais intensos. A Figura 7A mostra o mapa dos valores ajustados das médias mensais da precipitação do mês de outubro. Como pode ser visto, a região do Litoral apresenta maiores valores de precipitação pluviométrica do que as regiões do Cariri e do Sertão, pois se trata do final do período chuvoso na região do Litoral. O mapa dos resíduos deixa clara a superioridade das chuvas do Litoral em relação às do sertão haja vista que o processo se inverte, finda o

período chuvoso no Litoral e inicia o período chuvoso do Sertão. No mapa da Figura 8A os valores estimados da precipitação na região do Sertão aumentam e os do Litoral

diminuem. No mapa dos resíduos o número de pontos positivos começa a aumentar, indicando o surgimento de valores mais altos de precipitação na região.

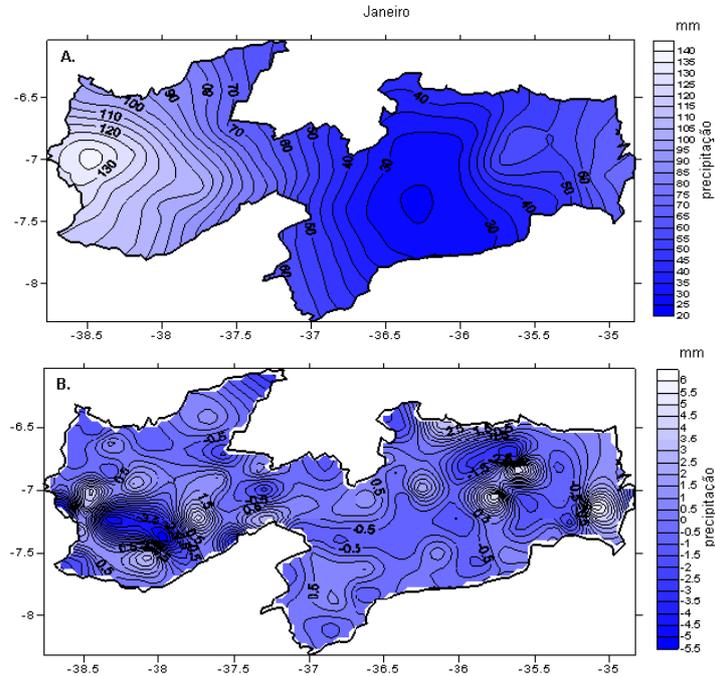


Figura 5. Interpolação por krigagem ordinária dos valores, ajustados pelo modelo (A.) e dos resíduos (B.) das médias mensais da precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba no período de 1962 a 2001

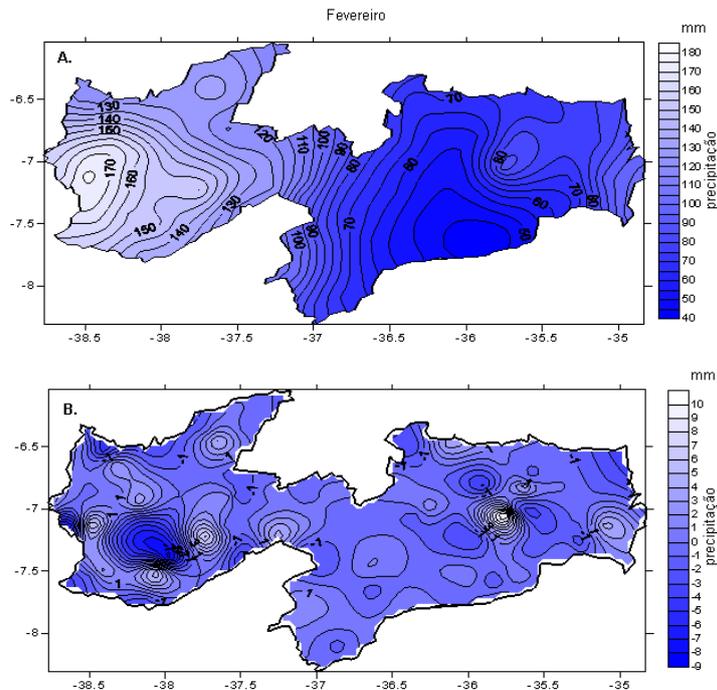


Figura 6. Interpolação por krigagem ordinária dos valores, ajustados pelo modelo (A.) e dos resíduos (B.) das médias mensais da precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba no período de 1962 a 2001.

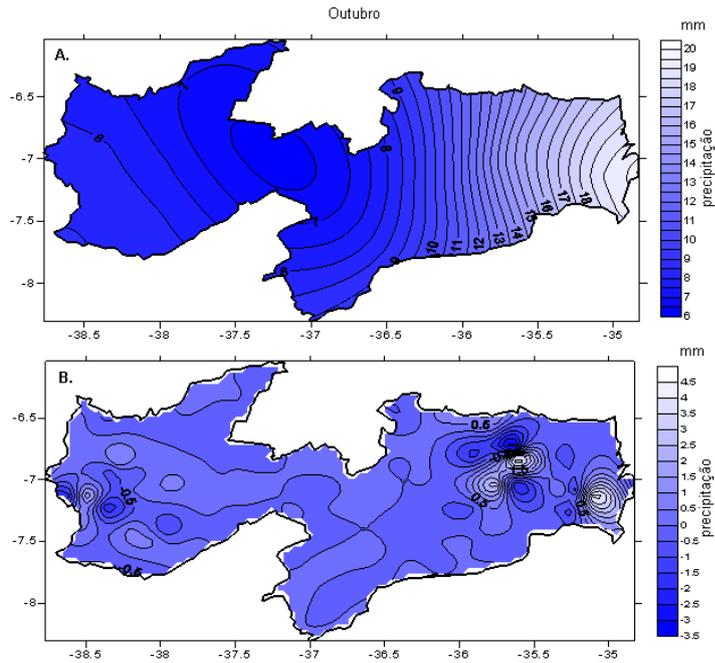


Figura 7. Interpolação por krigagem ordinária dos valores, ajustados pelo modelo (A.) e dos resíduos (B.) das médias mensais da precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba no período de 1962 a 2001.

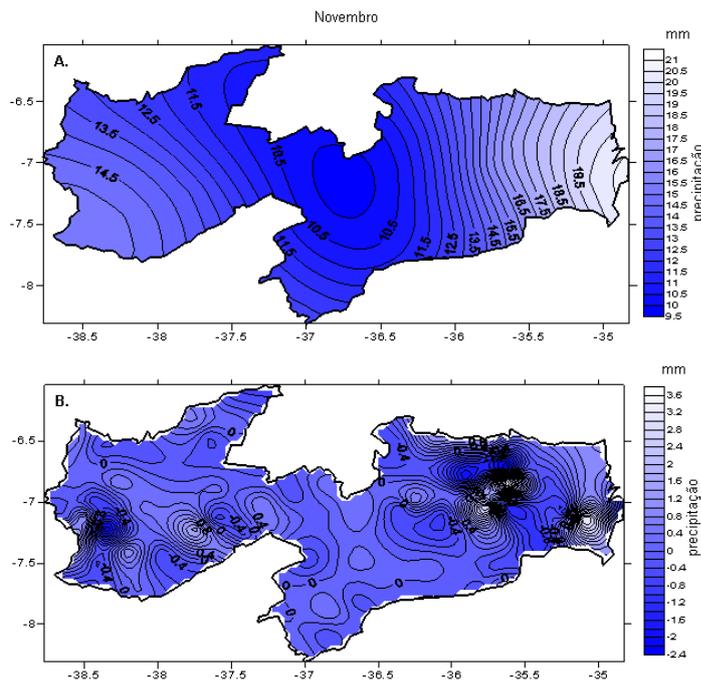


Figura 8. Interpolação por krigagem ordinária dos valores, ajustados pelo modelo (A.) e dos resíduos (B.) das médias mensais da precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba no período de 1962 a 2001.

4. Conclusão

A análise geostatística foi fundamental para quantificar a distribuição espacial da precipitação pluviométrica no Estado da

Paraíba com boa precisão. Os ajustes dos semivariogramas mostraram tanto o comportamento da variável no espaço, quanto o alto grau de dependência espacial da

variável (IDE) e o alcance correspondente a cada mês analisado. A análise descritiva dos dados facilitou o entendimento do comportamento espacial da variável de forma numérica. O método de interpolação por krigagem ordinária foi importante para a confecção dos mapas, ajustados pelo modelo e o dos resíduos, além de facilitar a visualização da distribuição espacial da variável no espaço.

Todos os modelos apresentaram alto índice de dependência espacial, isto é, $IDE > 73\%$, o que representa forte dependência espacial. Também foi verificada forte correlação nos ajustes dos modelos quando comparados com os dados medidos, isto é, todos os modelos apresentaram coeficientes de determinação superiores a 75%. De acordo com a análise descritiva dos dados, foi verificada assimetria positiva, com exceção dos meses de janeiro e fevereiro que apresentaram coeficiente de curtose (C_k) negativo. Assim, foi evidenciado que a técnica da krigagem ordinária se apresenta como uma ferramenta promissora no estudo da distribuição espacial da precipitação pluvial. Haja vista, que a técnica representou fielmente o comportamento espacial da precipitação na Paraíba.

A presença de tendências nos dados merece futura abordagem geoestatística para se verificar melhor esse comportamento. Portanto, pode-se usar a geoestatística para auxiliar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, além de ser útil para o

acompanhamento e desenvolvimento das redes pluviométricas no Estado.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor.

6. Referências

- Andriotti, J. L. S. (2003). Fundamentos de Estatística e Geoestatística. Porto Alegre: Unisinos. ISBN 85-7431-171-5, 165p.
- Carvalho, J, R, P; Assad, E, D. (2005). Análise Espacial da Precipitação Pluviométrica no Estado de São Paulo: Comparação de Métodos de Interpolação¹, Jaboticabal-SP, v.25, n.2, p.377-384.
- Júnior, J. I. R. (2004). Análises Estatísticas no EXCEL. Viçosa-MG. ISBN 85-7269-175-8, 251p.
- Matos, J, D. (2003). Utilização de Semivariogramas Como Redutor de Dimensionalidade no Reconhecimento de Padrões em Imagens Hiperespectrais. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 116f.
- Oliveira, F. E. M. (1999). Estatística e Probabilidade. 2ª. ed. São Paulo: Atlas. ISBN 85-224-2103-X, 221p.
- Pedroza, I, C, B. (2009). Estimativa da Climatologia Diária da Precipitação e

Investigação de Possíveis Influências das Fases da Lua nas Chuvas no Estado da Paraíba. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 86f.

Rodriguez, J, L. (2002). Atlas Escolar da Paraíba, 3ª Edição. João Pessoa-PB: Grafset. ISBN 85-85893-05-2, 112p.

Salgueiro, J, H, P, B; Montenegro, S, M, G, L. (2008). Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico,

Recife-PE, v.29, n.2, p. 174-185.

Sartori, A, A, C, et al. (2010). Variabilidade Temporal e Mapeamento dos dados Climáticos de Botucatu-SP, Botucatu-SP, v.15, n.2, p.131-139.

Zimback, C. R. L. (2001). Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 114f.