

PLUVIOSIDADE DO ESTADO DA PARAÍBA MODELADA POR KRIGAGEM

JOSÉ HUGO SIMPLICIO DE SOUSA¹, PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO²,
GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO³, RAIMUNDO CALIXTO MARTINS RODRIGUES⁴

¹Mestrando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hugosimplicio123@gmail.com

²Eng. Agrícola Dr., UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

³Eng. Agron. Dr. Prof., CDSA, UFCG, Campina Grande-PB, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

⁴Eng. Agron. Dr. Prof., CCA/DEA, UEMA, calixto@cca.uema.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
7 a 10 de outubro de 2024

RESUMO: Este trabalho objetivou através do uso de programas de geoprocessamento e de procedimento geoestatístico e de krigagem, inferir a variabilidade espacial dos dados entre 2000 e 2022 de pluviosidade e realizar seu mapeamento para o Estado da Paraíba. Foram utilizados dados pluviométricos dos 223 municípios entre os anos de 2000 a 2022 e procedida de uma análise no tocante à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas. Foi realizado a modelagem por interpolação utilizando a krigagem ordinária com uso do software SAGA[®] 7.8.2 e elaborados os mapas anuais e da média anual de pluviosidade utilizando o QGIS[®] 3.34. Os resultados demonstraram que a aplicação da krigagem proporcionou resultados eficazes no mapeamento dos dados coletados, alcançando rapidamente resultados precisos. A análise geoestatística forneceu informações significativas sobre as estimativas relacionadas ao método de interpolação de krigagem, alinhando-se com as características climatológicas da região, tanto em termos de distribuição espacial quanto sazonal. Na avaliação pluviométrica, observou-se uma variabilidade espacial concentrada no sentido leste/oeste devido à orografia da área. A distribuição irregular e altamente variável da precipitação pluviométrica ao longo dos anos foi evidenciada. A média anual demonstrou uma considerável variabilidade espacial na precipitação, variando de 335,80 a 1.903,10mm, com uma média de 808,69mm.

PALAVRAS-CHAVE: precipitação, distribuição espacial, variabilidade, geoestatística, geoprocessamento.

RAINFALL IN THE STATE OF PARAÍBA MODELED BY KRIGAGEM

ABSTRACT: This work aimed, through the use of geoprocessing programs and geostatistical and kriging procedures, to infer the spatial variability of rainfall data between 2000 and 2022 and carry out its mapping for the State of Paraíba. Rainfall data from 223 municipalities were used between the years 2000 and 2022 and an analysis was carried out regarding their consistency, homogenization and filling in gaps. Interpolation modeling was carried out using ordinary kriging using the SAGA[®] 7.8.2 software and annual and average annual rainfall maps were prepared using QGIS[®] 3.34. The results demonstrated the application of kriging provided effective results in mapping the collected data, quickly achieving accurate results. The geostatistical analysis provided significant information about the estimates related to the kriging interpolation method, aligning with the climatological characteristics of the region, both in terms of spatial and seasonal distribution. In the rainfall assessment, spatial variability concentrated in the east/west direction was observed due to the orography of the area. The irregular and highly variable distribution of rainfall over the years was evident. The annual average demonstrated considerable spatial variability in precipitation, ranging from 335.80 to 1,903.10mm, with an average of 808.69mm.

INTRODUÇÃO

O clima é formado por vários elementos como a precipitação pluviométrica, entre outros, onde é importante analisar a ação desses no ambiente. A variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por essa variabilidade, mesmo dentro do esperado pode

ter reflexos significativos nas atividades humanas (Oliveira et al., 2014). As informações das condições climáticas de uma determinada região são necessárias para que se possam instituir estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, planejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável (Costa Neto et al., 2015).

Modelos matemáticos, aritméticos e lógicos, buscando representar propriedades e processos do meio físico natural, têm sido implementados nos SIGs, com o objetivo de facilitar o seu estudo e compreensão, para que se possa atuar sobre o meio ambiente de forma mais responsável e cooperativa (Felgueiras, 1999). Modelos inferenciais para este objetivo vêm sendo propostos. De acordo com Berveglieri et al. (2011), a geoestatística, de modo geral, desenvolve e aplica modelos em representações de fenômenos naturais cujas propriedades variam conforme a posição espacial dos pontos observados. A krigagem compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajustes usadas para aproximar dados pelo princípio que fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Isto pressupõe a existência de dependência entre os dados, exigindo saber até onde espacialmente esta correlação importa (Isaaks & Srivastava, 1989).

Portanto, este trabalho objetiva através do uso de programas de geoprocessamento e de procedimento geoestatístico e de krigagem, inferir a variabilidade espacial dos dados entre 2000 e 2022 de pluviosidade e realizar seu mapeamento para o Estado da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km² (IBGE, 2021). Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Ao Norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; ao Leste, com o Oceano Atlântico; a Oeste, com o Estado do Ceará; e ao Sul, com o Estado de Pernambuco (Francisco, 2010).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) e uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (<700m). A precipitação varia de 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar aos 1.600mm (Varejão-Silva et al., 1984). De acordo com a classificação climática de Köppen, o Estado apresenta o clima Aw, caracterizado na região do Litoral norte, o clima tipo Am no Litoral norte e Sul, o tipo climático As nas regiões parcial Litorânea, Brejo, Agreste e do Sertão e em toda área do Alto Sertão. O tipo climático Bsh predomina na região do Cariri/Curimataú e do Sertão (Francisco et al., 2015).

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados pluviométricos dos 223 municípios entre os anos de 2000 a 2022 obtidos na Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA, 2023). A utilização dos dados foi procedida de uma análise no tocante à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série (Francisco et al., 2015).

Para a elaboração dos mapas anuais e da média anual de pluviosidade, foi realizado a modelagem por interpolação utilizando a krigagem ordinária com uso do software SAGA[®] 7.8.2 em que, no variograma foi utilizado o método do Logaritmo ($a+b \cdot \ln(1+x)$) por apresentar o maior coeficiente de determinação entre os demais, gerando imagens no formato *raster* com células de 0,25 km². Em seguida foram elaborados os histogramas das imagens e obtida a estatística.

A krigagem ordinária é um estimador de krigagem linear, ou seja, estima um valor em posição espacial não observada segundo uma combinação linear dos valores de um subconjunto amostral local. A krigagem ordinária possibilita a inferência do atributo, numa posição u , sem a necessidade de se conhecer a média estacionária μ . Sob a condição de que a somatória dos ponderadores da krigagem ordinária $\lambda_{0\alpha}(u)$ é igual a 1 (Equação 1).

$$\sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u) = 1 \text{ (Eq.1)}$$

Assim, têm-se a fórmula para o estimador de krigagem ordinária (Journel, 1988) (Equação 2).

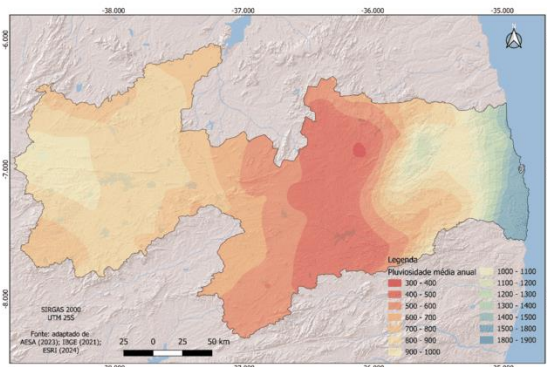
$$Z_0^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u) \cdot z(u_{\alpha}) \text{ (Eq.2)}$$

Após, utilizando o QGIS[®] 3.34 as imagens foram importadas, classificadas e recortadas em seus limites utilizando um arquivo digital no formato shape do limite estadual fornecido pelo IBGE (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados pode-se observar na Figura 1 que a distribuição temporal da pluviosidade média anual demonstra alta variabilidade espacial de precipitação entre 2000 a 2022, em que, na região Litorânea apresenta os maiores valores de 1.903,10 mm ano⁻¹, e diminuindo a pluviosidade até a região do Brejo. Adentrando à Oeste nos contrafortes do Planalto da Borborema, a pluviosidade diminui seus valores até 335,80 mm ano⁻¹, voltando a aumentar na região do Sertão entre 1.000 mm ano⁻¹.

Figura 1. Pluviosidade média anual (mm ano⁻¹) do Estado da Paraíba entre 2020 a 2022.



Fonte: adaptado de AESA (2023); IBGE (2021); ESRI (2024).

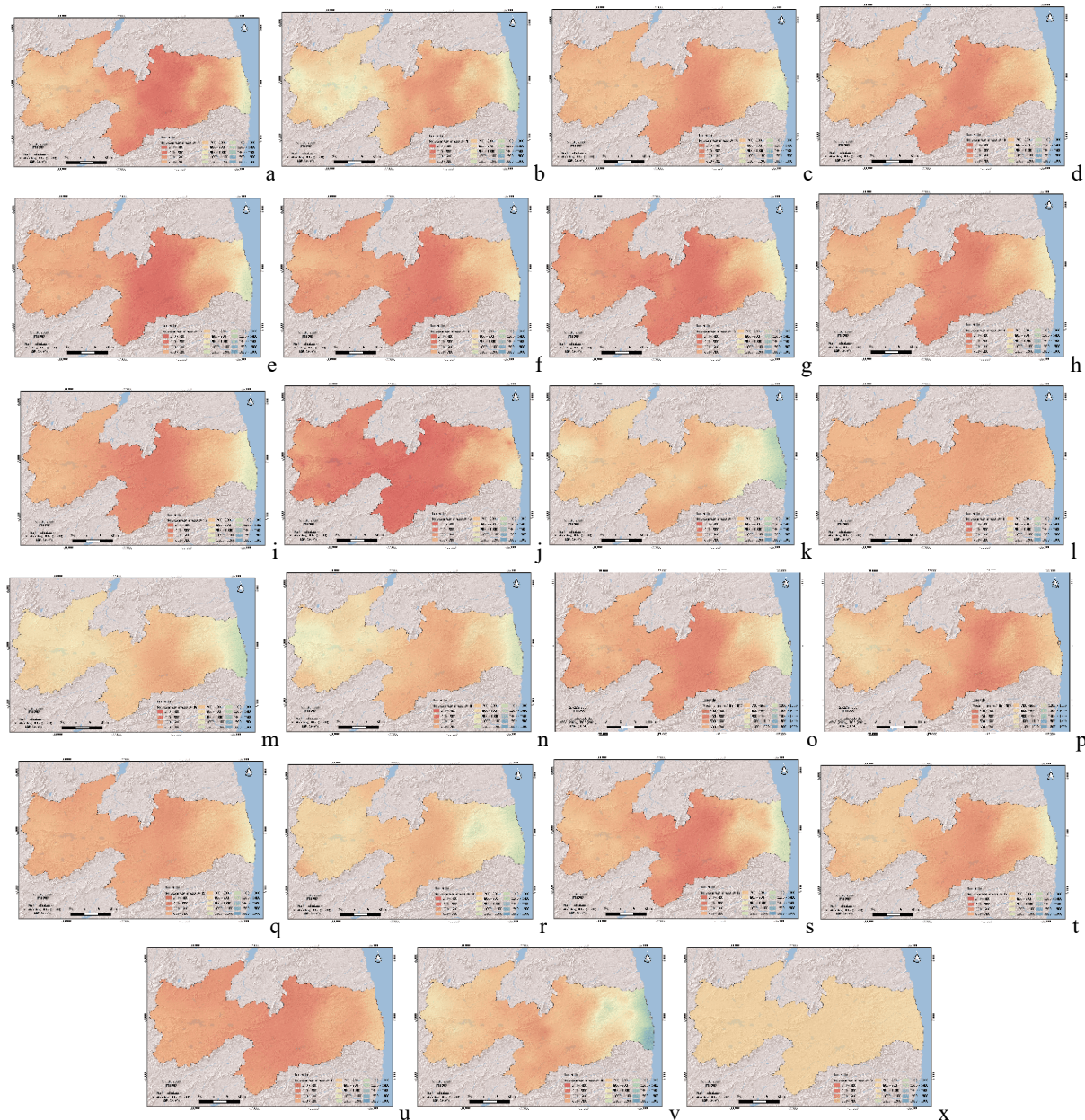
Pela Tabela 1 pode-se observar a variabilidades estatísticas dos parâmetros das imagens interpoladas pelo método da krigagem ordinária em que, o valor mínimo apresenta valores de 10,3mm em 2016, e máximo de 2847,9mm em 2000. A maior média ocorre em 2009 com valores de 1.138,45mm, e a menor média de 457,03mm em 2012. Em 2000 ocorre o maior desvio padrão (518,32mm) e em 2010 o menor desvio (214,16mm). Quanto ao coeficiente de variação, o menor valor ocorre em 2010 (0,31) e maior em 2012 (0,68). A curtose apresenta o menor valor de 0,20 em 2020 e maior de 3,59 em 2005. Já o coeficiente de determinação apresenta o maior valor em 2008 (97,91) e menor em 2022 (4,30).

Tabela 1. Variabilidade estatística dos parâmetros de pluviosidade (mm ano⁻¹)

| Ano | Mínimo | Máximo | Média | Desv. Pad. | Coef. Var. | Curtose | Coef. Determ. |
|--------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|-------------|---------------|
| 2000 | 160,50 | 2.847,90 | 1.104,11 | 518,32 | 0,47 | 1,98 | 93,57 |
| 2001 | 124,60 | 1.307,00 | 573,90 | 223,87 | 0,39 | 0,97 | 84,40 |
| 2002 | 150,50 | 2.033,50 | 834,97 | 325,35 | 0,39 | 1,07 | 90,43 |
| 2003 | 140,40 | 2.333,50 | 761,60 | 410,45 | 0,54 | 2,30 | 86,83 |
| 2004 | 102,20 | 2.428,70 | 1.126,22 | 391,92 | 0,35 | 1,06 | 87,52 |
| 2005 | 138,00 | 1.931,80 | 729,93 | 277,11 | 0,38 | 3,59 | 86,46 |
| 2006 | 57,60 | 1.543,40 | 761,62 | 273,32 | 0,36 | 0,35 | 93,85 |
| 2007 | 153,00 | 2.010,30 | 740,47 | 376,02 | 0,51 | 2,05 | 87,69 |
| 2008 | 117,90 | 2.229,40 | 1.066,80 | 360,87 | 0,34 | 0,28 | 97,91 |
| 2009 | 252,20 | 2.567,90 | 1.138,45 | 399,26 | 0,35 | 1,58 | 77,01 |
| 2010 | 21,10 | 1.426,70 | 686,82 | 214,16 | 0,31 | 1,84 | 65,11 |
| 2011 | 496,70 | 2.664,40 | 1.136,80 | 427,30 | 0,38 | 1,48 | 94,19 |
| 2012 | 64,40 | 1.651,00 | 457,03 | 309,79 | 0,68 | 1,93 | 92,45 |
| 2013 | 141,80 | 2.183,60 | 692,57 | 381,81 | 0,55 | 3,00 | 90,99 |
| 2014 | 134,10 | 1.789,50 | 696,84 | 303,05 | 0,44 | 1,08 | 85,35 |
| 2015 | 128,50 | 1.733,00 | 579,23 | 329,89 | 0,57 | 2,00 | 94,06 |
| 2016 | 10,30 | 1.767,00 | 608,87 | 315,35 | 0,52 | 1,24 | 87,32 |
| 2017 | 17,80 | 1.988,30 | 645,61 | 377,19 | 0,59 | 2,35 | 86,05 |
| 2018 | 209,70 | 1.643,50 | 739,63 | 274,36 | 0,37 | 0,63 | 95,50 |
| 2019 | 19,00 | 2.042,60 | 812,66 | 343,37 | 0,42 | 1,69 | 77,64 |
| 2020 | 354,60 | 2.148,50 | 994,24 | 369,26 | 0,37 | 0,20 | 97,32 |
| 2021 | 79,30 | 1.884,40 | 655,91 | 325,48 | 0,50 | 1,82 | 94,73 |
| 2022 | 285,50 | 2.341,80 | 1.095,42 | 419,56 | 0,38 | 0,71 | 4,30 |
| Média Anual | 335,80 | 1.903,10 | 808,69 | 288,55 | 0,36 | 2,90 | 88,09 |

Na distribuição temporal da pluviosidade média anual de 2000 a 2020 (Figura 2) pode-se observar que, a distribuição anual, ocorre alta variabilidade espacial da precipitação, em que nas regiões do Cariri/Curimataú, os valores estão entre 300 a 500mm, no Sertão e Alto Sertão entre de 700 a 900mm, no Brejo e Agreste entre 700 a 1.200mm, e o Litoral entre 1.200 a 1.600mm (Francisco et al., 2016).

Figura 2. Pluviosidade média anual (mm ano⁻¹) de 2000 a 2020 (A a X), respectivamente.



Fonte: adaptado de AESA (2023); IBGE (2021); ESRI (2024).

CONCLUSÃO

A aplicação da krigagem proporcionou resultados eficazes no mapeamento dos dados coletados, alcançando rapidamente resultados precisos. A análise geoestatística forneceu informações significativas sobre as estimativas relacionadas ao método de interpolação de krigagem, alinhando-se com as características climatológicas da região, tanto em termos de distribuição espacial quanto sazonal. Na avaliação pluviométrica, observou-se uma variabilidade espacial concentrada no sentido leste/oeste devido à orografia da área. A distribuição irregular e altamente variável da precipitação

pluviométrica ao longo dos anos foi evidenciada. A média anual demonstrou uma considerável variabilidade espacial na precipitação, variando de 335,80 a 1.903,10mm, com uma média de 808,69mm.

REFERÊNCIAS

- AESA. Agência de Águas do Estado da Paraíba. Chuvas. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2023-12-21&produto=municipio&periodo=anual>. Acesso em: 11 de março de 2023.
- Berveglieri, A.; Meneguet Junior, M.; Piteri, M. A. Aplicação do interpolador krigagem em modelos digitais de terrenos comparando-se os casos de isotropia e anisotropia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. Anais...Curitiba, 2011.
- Costa Neto, F. de A.; Medeiros, R. M. de; Menezes, H. E. A.; Costa, R. O. da. Balanço hídrico para cidade de Oivedos-PB, Brasil. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2, 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2015.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: janeiro de 2024.
- Felgueiras, C. A. Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação. 203f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1999.
- Francisco, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- Francisco, P. R. M.; Medeiros, R. M. de; Bandeira, M. M.; Silva, L. L. da; Santos, D. Oscilação pluviométrica anual e mensal no Estado da Paraíba-Brasil. Revista de Geografia (Recife), v. 33, n.3, p.141-154, 2016.
- Francisco, P. R. M.; Medeiros, R. M. de; Santos, D.; Matos, R. M. de. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física, v.8, n.4, p.1006-1016, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.
- Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- Journel, A. G. Fundamentals of geostatistics in five lessons. California, Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Earth Sciences Department, 1988. 85p.
- Oliveira, R. C. S.; Medeiros, R. M. de; Costa Neto, F. de A.; Gomes Filho, M. F. Estudo das oscilações da temperatura máxima do ar e precipitação em Lagoa Seca-PB visando mudanças climáticas. In: Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e Workshop Internacional sobre Mudanças Climáticas e Biodiversidade, 6, 2014, Recife. Anais...Recife, 2014.
- Varejão-Silva, M. A.; Braga, C. C.; Aguiar, M. J. N.; Nietzsche, M. H.; Silva, B. B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande, 1984.