

Modeling by Ordinary Krigage in Determining Rainfall in Paraíba State Between 2000 and 2022

Paulo R. M. Francisco*, José H. S. de Sousa**, George do N. Ribeiro***,
José N. Silva****, Raimundo C. M. Rodrigues*****

*Dr. em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

**Mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, hugosimplicio123@gmail.com

***Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

****Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, nilton@eq.ufcg.edu.br

*****Dr. Prof. Associado, Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, calixto@cca.uema.br

Received 18 February; accepted 10 March.

ABSTRACT

Variability is one of the best-known elements of climate dynamics. Mathematical, arithmetic and logical models, seeking to represent properties and processes of the natural physical environment, have been implemented in Geographic Information Systems, with the aim of facilitating their study and understanding. Therefore, this work aims, through the use of geoprocessing programs and geostatistical 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 maps and average annual rainfall 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.

Keywords: Precipitation, spatial distribution, variability, geostatistics, geoprocessing.

Modelagem por Krigagem Ordinária na Determinação da Pluviosidade do Estado da Paraíba entre 2000 e 2022

RESUMO

A variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática. Modelos matemáticos, aritméticos e lógicos, buscando representar propriedades e processos do meio físico natural, têm sido implementados nos Sistemas de Informação Geográfica, com o objetivo de facilitar o seu estudo e compreensão. Portanto, este trabalho objetiva através do uso de programas de geoprocessamento e de procedimento geoestatístico, 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, sendo realizada uma análise quanto à sua consistência, homogeneização e preenchimento de falhas. Foi realizada a modelagem por interpolação utilizando a krigagem ordinária com uso do software SAGA[®] 7.8.2 e elaborados os mapas anuais e a 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 ordinária 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.

1 Introdução

O clima é composto por diversos elementos, como a precipitação pluviométrica, entre outros. É importante analisar a influência desses elementos no ambiente. A variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por essa variabilidade, mesmo quando 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).

A Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1989) estabelece que, para estudos comparativos de clima, sejam calculadas médias climatológicas para períodos mais longos possíveis, garantindo consistência e homogeneidade nos valores observados. Além disso, é necessário utilizar um período específico entre as mesmas séries. No entanto, períodos mais curtos de observações, desde que realizados para anos sucessivos, são úteis para avaliar o comportamento do clima, conforme mencionado por Costa (1994) e Conti (2000).

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, baseando-se no princípio de que, ao fixar 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). Conforme Jakob (2002), a krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza

funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados. De acordo com Landim (2006) e conforme constatado por Jung et al. (2006) e Zhou et al. (2007), a krigagem ordinária, é uma das técnicas mais utilizadas dentre os métodos geoestatísticos conhecidos, principalmente quando se tratam de estudos envolvendo as variáveis ambientais.

Já a estatística descritiva compreende técnicas que se usam para resumir e descrever dados. A estatística descritiva, conforme Silvestre (2007), é constituída pelo conjunto de métodos destinados à organização e descrição dos dados através de indicadores sintéticos ou sumários. Várias pesquisas em diversas áreas e com variadas ferramentas a utilizaram, como Medeiros et al. (2015) na análise da variabilidade da temperatura média do ar; Francisco et al. (2016) na classificação climática de Köppen e Thornthwaite; Francisco et al. (2016a) na discriminação de cenários pluviométricos; Francisco et al. (2016b) no mapeamento da insolação; Francisco e Santos (2017) para elaboração da Climatologia do Estado da Paraíba; Sabino e Macedo (2019) em dados pluviométricos primários e modelos geoestatísticos interpolados em escala global; e Francisco et al. (2021) no estudo da dinâmica temporal da cobertura e uso da terra.

Com o avanço da informática e a disponibilização de programas computacionais para estudos de análise ambiental, facilitou a realização de trabalhos visando à gestão dos recursos naturais (Duarte & Barbosa, 2009).

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.

2 Material e métodos

O Estado da Paraíba localiza-se na região Nordeste Brasileira, apresenta área de 56.372 km², representando 0,662% do território. Posiciona-se entre os paralelos 6°02'12"S e 8°19'18"S, e os meridianos de 34°45'54"W e 38°45'45"W (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),

Pela Figura 1, é possível observar a espacialização dos postos pluviométricos, assim como as regiões e sub-regiões geográficas dos atributos naturais desses espaços. Esses atributos guardam uma estreita relação com a ocorrência da pluviosidade e clima, servindo desta forma para fundamentar a apresentação e a discussão deste trabalho. Setzer (1966) afirma que, uma distribuição de postos pluviométricos com espacialização adequada, proporciona ótima distribuição na determinação do clima.

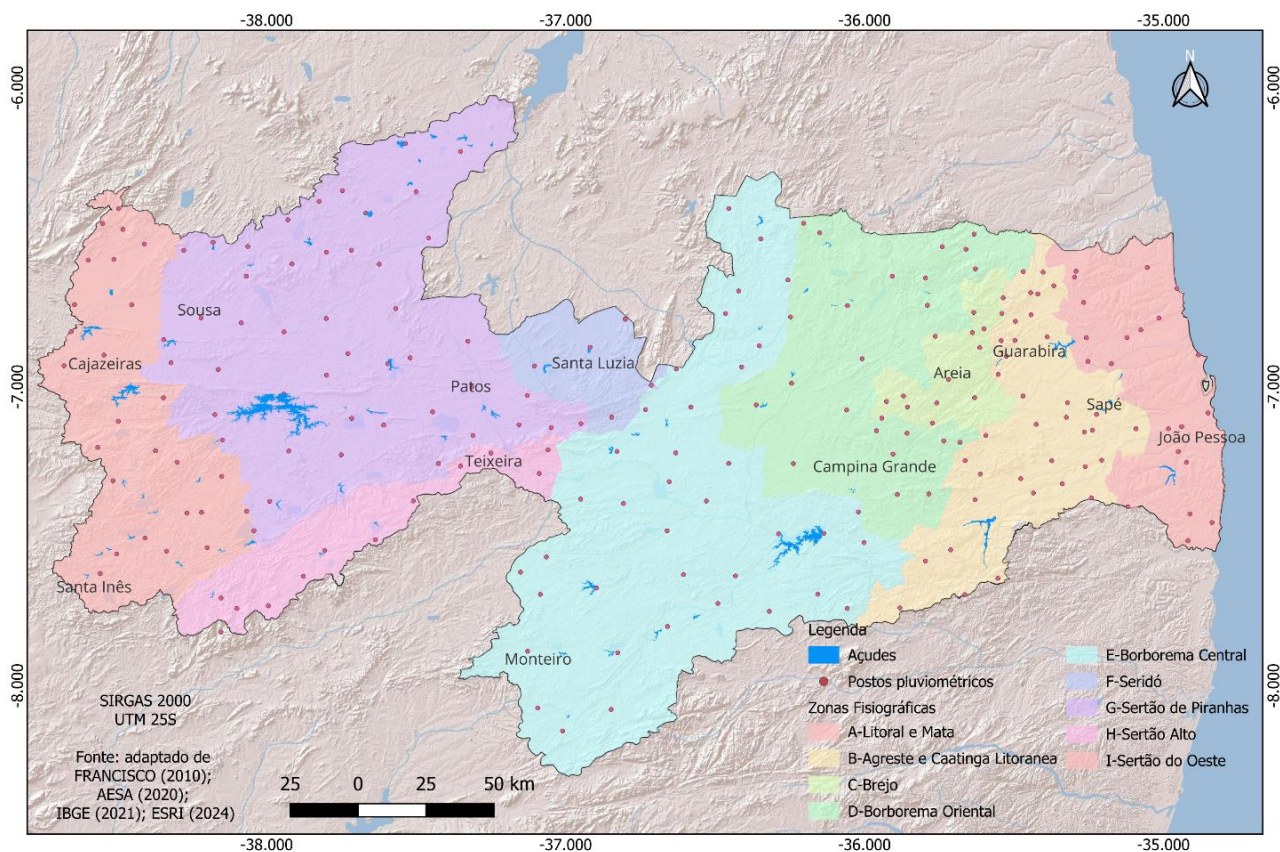


Figura 1. Postos pluviométricos distribuído por Zona Fisiográfica. Fonte: adaptado de Francisco (2010); AESA (2020); IBGE (2021); ESRI (2024).

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 envolveu uma análise quanto à sua consistência, homogeneização e 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 $\gamma(x) = a + b \cdot \ln(1 + x)$ 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).

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

Journel (1988) demonstra que, a aplicação dos critérios de mínima variância do erro de estimação e de não tendenciosidade do estimador possibilita o cálculo dos pesos, $\lambda_{0\alpha}(u)$, pela solução do sistema de equações de krigagem ordinária (Equação 3).

$$\begin{cases} \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u) C(u_\alpha, u_\beta) + \phi(u) = C(u, u_\beta) \text{ para } \beta = 1, \dots, n(u) \\ \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u) = 1 \end{cases} \text{ (Eq.3)}$$

Em que: $C(u_\alpha, u_\beta)$ é a covariância entre as amostras observadas em u_α, u_β ; $C(u, u_\beta)$ é a covariância entre a amostra observada em u_β e a posição u ; e $\phi(u)$ é o multiplicador de Lagrange, necessário para a minimização da variância do erro e associado com a restrição $\sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{0\alpha}(u) = 1$.

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

3 Resultados e discussão

Pelos resultados pode-se observar na Figura 2 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, atingindo valores mínimos de 335,80 mm ano⁻¹, voltando a aumentar na região do Sertão, chegando a 1.000 mm ano⁻¹ (Tabela 1). Resultados similares observados por Francisco et al. (2016c) e por Francisco et al. (2023) em que a variabilidade espacial de precipitação das chuvas se concentram no sentido oeste/leste em todo decorrer do ano, devido à orografia da área.

Conforme Hastenrath e Heller (1977), o Litoral é a região com os maiores índices pluviométricos do Estado, sendo que na região do Litoral Sul, a pluviometria é ainda mais elevada. Nessa área, a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT atua com maior intensidade, assim como as

Frentes Frias, de acordo com Aragão (1976) e Kousky (1979). Yamazaki e Rao (1977) afirmam que os Distúrbios de Leste, e conforme Aragão (1976) e Kousky e Gan (1981) os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).

Na distribuição temporal da pluviosidade média anual de 2000 a 2020 (Figura 3) observa-se uma alta variabilidade espacial da precipitação. Nas regiões do Cariri/Curimataú, os valores estão entre 300mm a 500mm, no Sertão e Alto Sertão de 700mm a 900mm, no Brejo e Agreste entre 700mm a 1.200mm, e no Litoral entre 1.200mm e 1.600mm (Francisco et al., 2016c).

Becker et al. (2011), ao realizar a caracterização climática das regiões pluviométricamente homogêneas do Estado da Paraíba, utilizando dados entre 1996 e 2010 provenientes de 89 postos pluviométricos, observaram resultados similares a este trabalho em relação à média anual. Souza et al. (2022) ao elaborarem a modelagem espacial de chuvas intensas no Estado da Paraíba, observaram que o estado se destaca pela grande heterogeneidade da precipitação máxima e pela presença de períodos chuvosos distintos em cada mesorregião.

Francisco et al. (2016) concluíram que, a distribuição da precipitação pluviométrica ocorre de forma irregular e com grande variação ao longo do ano em todo o Estado. A distribuição anual demonstra a alta variabilidade espacial de precipitação no setor central, região do Cariri/Curimataú, com valores menores em torno de 300mm a 500mm. Chaves et al. (2021) afirmam que, o terço médio do Estado, região do Cariri/Curimataú, é considerada o local com a menor precipitação, com média anual variando entre 350 e 750mm, e as chuvas são irregulares, resultado similar ao obtido neste trabalho. Para a região do Brejo, de acordo com Francisco et al. (2015), observam-se valores mais altos em áreas isoladas, devido a fatores atmosféricos como a menor intensidade dos raios solares, alta cobertura de nuvens, flutuação da umidade relativa do ar irregular e oscilação da pressão atmosférica.

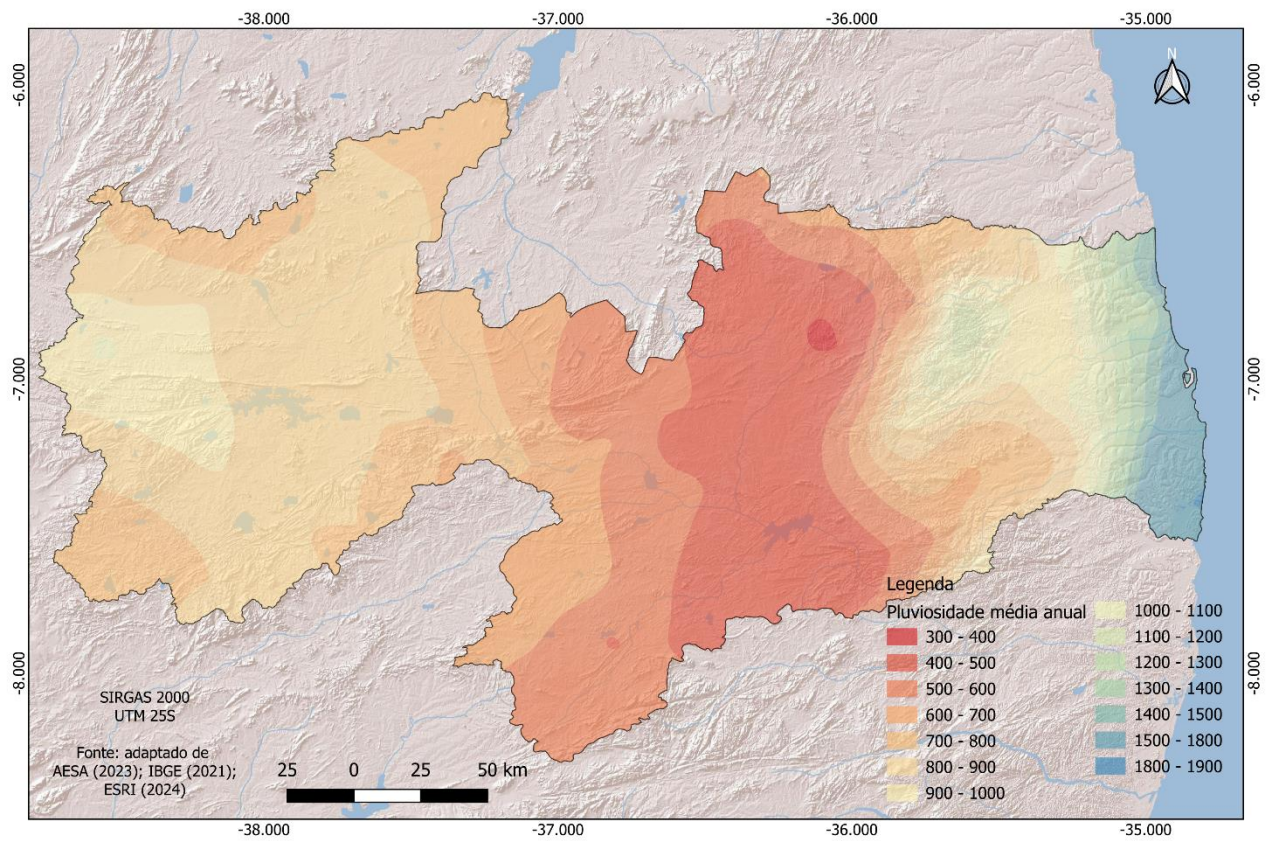
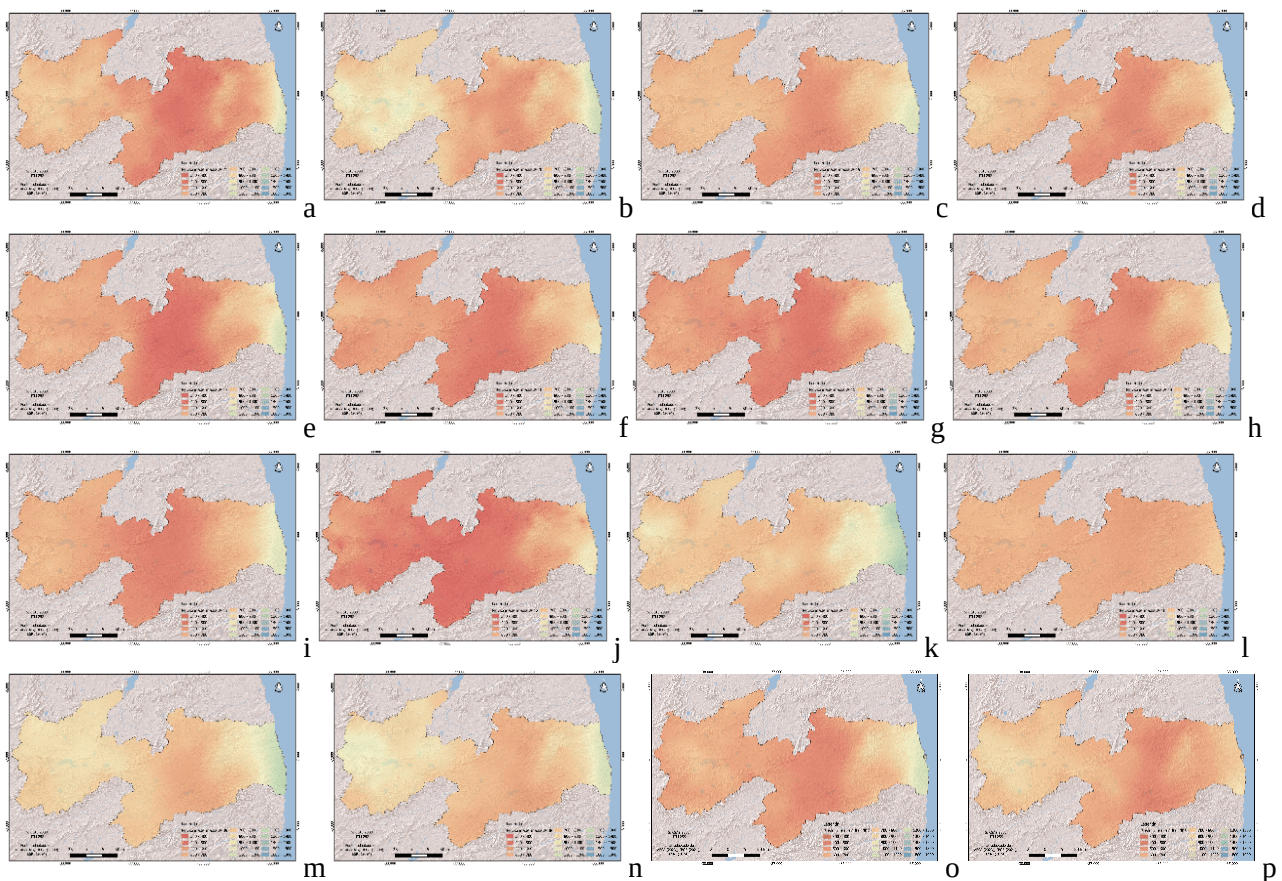


Figura 2. Pluviosidade média anual (mm ano⁻¹) do Estado da Paraíba entre 2020 a 2022. Fonte: adaptado de AESA (2023); IBGE (2021); ESRI (2024).



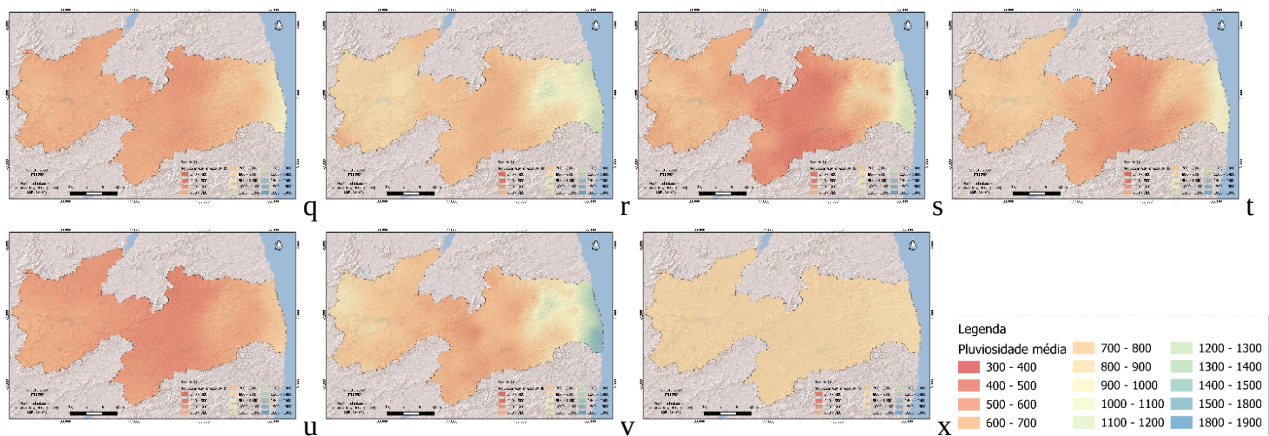


Figura 3. Pluviosidade média anual (mm ano^{-1}) de 2000 a 2020 (A a X), respectivamente. Fonte: adaptado de AESA (2023); IBGE (2021); ESRI (2024).

Nos variogramas da modelagem por interpolação por krigagem ordinária, observa-se, na Figura 4a, para a pluviosidade média anual, um coeficiente de determinação de 88,09%, seguido do variograma do ano de 2000 (Figura 4b) com 93,57%, e em 2020, com valor de 97,32% (Tabela 1). Conforme Gomes et al. (2015), que utilizaram dados para o Estado da Paraíba, afirma que uma estatística amplamente empregada na análise de superfície de tendência é o coeficiente de determinação, pois ele é capaz de medir a porcentagem de ajuste da superfície.

De acordo com Gripp (1992), o variograma é a ferramenta fundamental da geoestatística, pois caracteriza as estruturas e as correlações espaciais da variável regionalizada em estudo. Portanto, os resultados obtidos por este trabalho demonstram que, o ajuste logarítmico realizado no processamento apresenta maior simetria e correlação espacial entre os dados utilizados.

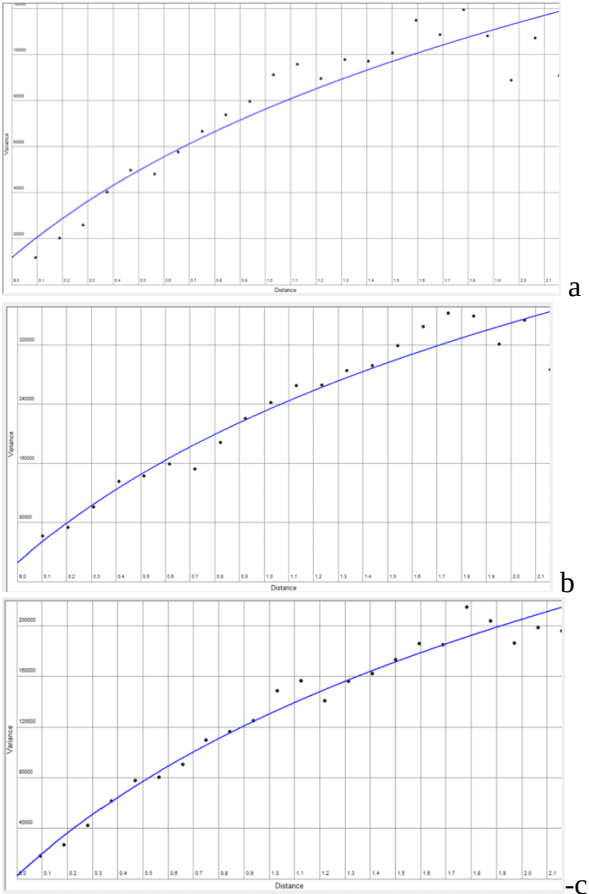


Figura 4. Variograma, a) pluviosidade média anual, b) 2000, c) 2020, respectivamente.

Nos histogramas da Figura 5, é evidente a variabilidade temporal interanual da pluviosidade, conforme a Tabela 1. Destaque para o ano de 2006 (Figura 5g) com uma distribuição mais equilibrada entre os valores acima de 760mm até ao máximo de

1.543,4mm. Já na Figura 5u, referente a 2020, observam-se maiores valores médios distribuídos por toda a imagem. Esta diversidade nos histogramas representa a variação interanual da pluviosidade influenciada pelos principais sistemas.

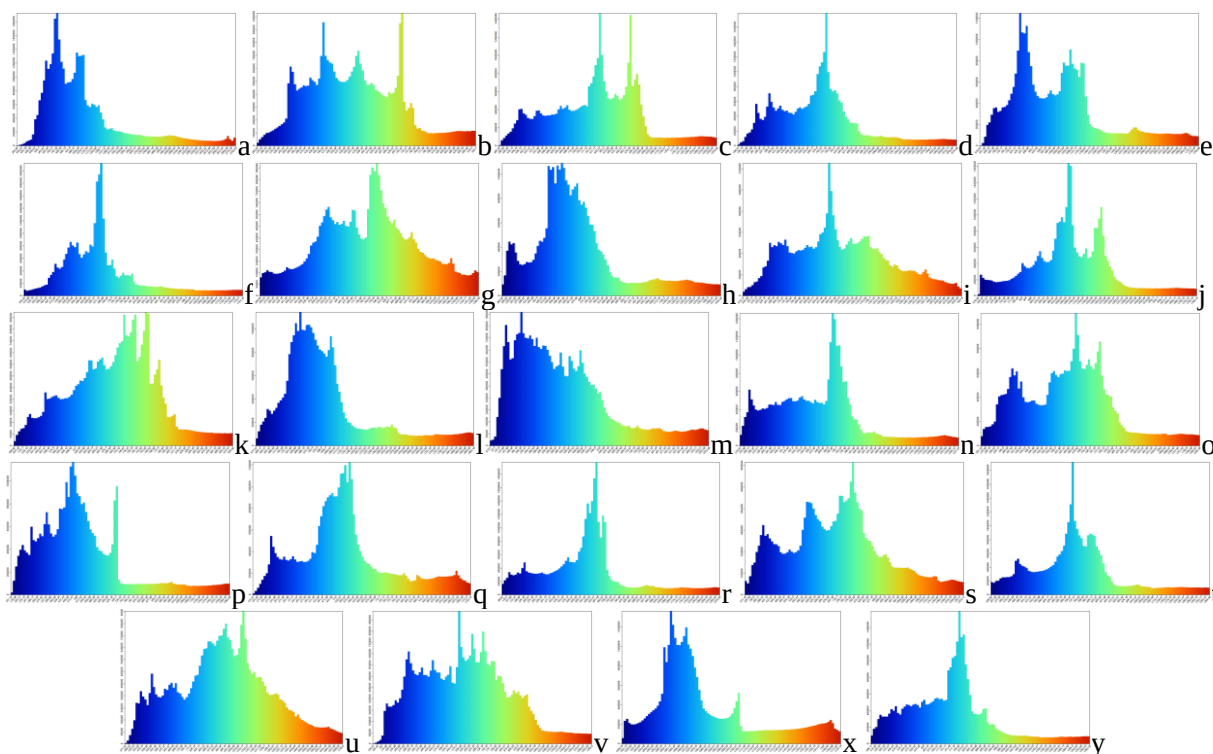


Figura 5. Histogramas das imagens da krigagem ordinária da pluviosidade anual de 2000 a 2022 (A a X) e da média anual (Y), respectivamente.

De acordo com Molion e Bernardo (2002), no Nordeste Brasileiro (NEB), os mecanismos causadores principais de chuvas são os Sistemas Frontais, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as perturbações ondulatórias no campo dos ventos alísios. A dinâmica da atmosfera se processa em diferentes escalas de espaço e de tempo, em função da ocorrência de fenômenos que operam em escala global, tais como as grandes células de circulação meridional, El Niño/La Niña e Oscilação Sul (ENOS), Dipolo do Atlântico; e em fenômenos que se processam regionalmente, como no caso das massas de ar e dos sistemas atmosféricos secundários que são capazes de alterar o funcionamento habitual da circulação geral da atmosfera (Varejão-Silva, 2006; Aragão, 1998; França et al., 2000).

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 padrão (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), observação esta que pode ser verificado na Figura 3x.

Quanto a média, apresenta valores de 808,69mm, no entanto, inferiores aos observados por Becker et al. (2013) que registraram 1.092,56mm no desempenho temporal de séries pluviométricas. Esse resultado deve-se ao fato de a série dos autores compreender o período de 1996 a 2010.

O desvio padrão apresenta média anual de 288,55 mm, resultado similar ao observado por Becker et al. (2011) de 281,5mm obtidos em 89 postos pluviométricos entre 1996 e 2010, demonstrando baixa variação interanual da pluviosidade.

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

Francisco e Santos (2017), avaliando série temporal de 103 anos com dados até 2013, observaram a pluviosidade com valores mínimo de 332mm, máximo de 1.979,3mm, média de 864,6mm, desvio padrão de 315,66mm e coeficiente de variação de 0,37. Valores similares a este trabalho. Barros (2022), utilizando técnicas geoestatísticas, observou resultados satisfatórios no mapeamento da pluviosidade total anual de 1991 a 2020 no Estado de Pernambuco, que apresentaram variações significativas espacialmente, e que a interpolação pelo método de krigagem conseguiu representar bem a variabilidade da precipitação pluviométrica.

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. 2023. 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.
- AESA. 2024. Agência de Águas do Estado da Paraíba. Geoportal. Arquivos shapefiles. Disponível em: <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>. Acesso em: 05 de janeiro de 2024.
- Aragão, J.O.R. 1998. O impacto do ENOS e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. Boll. Inst. Fr. Etudes Andines 27(3) 839-844.
- Aragão, J.O.R. 1976. Um Estudo da Estrutura das Perturbações Sinóticas no Nordeste do Brasil. 51f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.

- Barros, M.L. da S. 2022. Análise espacial aplicada ao estudo da precipitação pluviométrica em Pernambuco. 26f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- Becker, C.T.; Melo, M.M.M.S.; Costa, M.N. de M. 2013. Desempenho temporal de séries pluviométricas no Estado da Paraíba: uma análise comparativa. In: Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 1, 2013, Campina Grande. Anais...Campina Grande.
- Becker, C.T.; Melo, M.M.M.S.; Costa, M.N. de M.; Ribeiro, R.E.P. 2011. Caracterização climática das regiões pluviometricamente homogêneas do Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física 4(2) 286-299.
- Berveglieri, A.; Meneguette Júnior, M.; Piteri, M.A. 2011. 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.
- Conti, J.B. 2000. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: Sant'ana Neto, J.L.; Zavatini, J.A. (Org). Variabilidade e mudanças climáticas. Maringá: Eduem.
- Costa Neto, F. de A.; Medeiros, R.M. de; Menezes, H.E.A.; Costa, R.O. da. 2015. Balanço hídrico para cidade de Olivedos-PB, Brasil. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2, 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Costa, M.H. 1994. Balanço Hídrico. Caderno Didático. n. 19. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais.
- Duarte, S.M.A.; Barbosa, M.P. 2009. Estudo dos recursos naturais e as potencialidades no semiárido, estado da Paraíba. Revista Engenharia Ambiental 6(3) 168-189.
- ESRI. 2024. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: janeiro de 2024.
- Felgueiras, C.A. 1999. 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.
- França, J.R.A.; Li, L.Z.; Silva, F.N.R.; Júnior, A.R.T. 2000. Sensibilidade do Modelo de Circulação Geral do LMD às variações na Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico Tropical. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9, 2000, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro.
- Francisco, P.R.M. 2010. 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.
- Francisco, P.R.M.; Ayres, G.D.J.; Silva, V.F.; Oliveira, F.P. de; Santos, D.; Pedroza, J.P. 2021. Dinâmica temporal da cobertura e uso da terra da região do médio curso do rio Paraíba. In: (Org). Francisco, P.R.M.; Silva, V.F.; Santos, D.; Ribeiro, G. do N. Tecnologias aplicadas às pesquisas: GEO 21. EPTEC. 130p.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Lima, E.R.V. de. 2013. Mapeamento das terras para mecanização agrícola - Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física 5(2) 223-249.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Bandeira, M.M.; Silva, L.L. da; Santos, D. 2016. Oscilação pluviométrica anual e mensal no Estado da Paraíba-Brasil. Revista de Geografia (Recife) 33(3) 141-154.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Santos, D.; Matos, R.M. de. 2015. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física 8(4) 1006-1016.
- Francisco, P.R.M.; Mello, V. da S.; Bandeira, M.M.; Macedo, F.L. de; Santos, D. 2016a. Discriminação de cenários pluviométricos do estado da Paraíba utilizando distribuição Gama Incompleta e Teste Kolmogorov-Smirnov. Revista Brasileira de Geografia Física 9(1) 47-61.
- Francisco, P.R.M.; Pedroza, J.P.; Bandeira, M.M.; Silva, L.L. da; Santos, D. 2016b. Mapeamento da insolação do Estado da Paraíba utilizando krigagem. Revista de Geografia (Recife) 33(1) 248-262.
- Francisco, P.R.M.; Santos, D. 2017. Climatologia do Estado da Paraíba. 1ª ed. Campina Grande: EDUEFCG. 75p.
- Francisco, P.R.M.; Silva, V.F.; Santos, D.; Ribeiro, G. do N.; Ayres, G.D.J. 2023. Avaliação pluviométrica da região do médio curso do Rio Paraíba utilizando krigagem. Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology 9(1) 51-59.
- Gripp, A.H. 1992. Utilização de geoestatística para o tratamento de dados de prospecção geoquímica. Revista Brasileira de Geociências 22(2) 248-251.

- Gomes, O.M.; Santos, C.A.C. dos; Souza, F. de A.S. de; Paiva, W. de; Olinda, R.A. de. 2015. Análise comparativa da precipitação no Estado da Paraíba utilizando modelos de regressão polinomial. *Revista Brasileira de Meteorologia* 30(1) 47-58.
- Hastenrath, S.; Heller, L. 1977. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society* 103 77-92.
- IBGE. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas Territoriais. 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. 1989. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press. 561p.
- Jakob, A.A.E. 2002. A krigagem como método de análise de dados demográficos. In: Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 13, Ouro Preto, 2002. Anais...Ouro Preto.
- Journel, A.G. 1988. Fundamentals of geostatistics in five lessons. California, Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Earth Sciences Department. 85p.
- Jung, K.; Stelzenmüller, V.; Zauke, G.P. 2006. Spatial distribution of heavy metal concentrations and biomass indices in *Cerastoderma edule Linnaeus* (1758) from the German Wadden Sea: an integrated biomonitoring approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 338 81-95.
- Kousky, V.E. 1979. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 107(9) 1140-1153.
- Kousky, V.E.; Gan, M.A. 1981. Upper Tropospheric Cyclone Vortices in the Tropical South Atlantic. *Tellus* 33 538-550.
- Landim, P.M.B. 2006. Sobre geoestatística e mapas. *Terra e Didática* 2(1) 19-33.
- Medeiros, R.M.; Francisco, P.R.M.; Santos, D.; Silva, L.L.; Bandeira, M.M. 2015. Variabilidade da temperatura média do ar no Estado da Paraíba-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(1) 128-135.
- Molion, L.C.B.; Bernardo, S.O. 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira Meteorologia* 17 1-10.
- Oliveira, R.C.S.; Medeiros, R.M. de; Costa Neto, F. de A.; Gomes Filho, M.F. 2014. 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.
- OMM. 1989. Organização Meteorológica Mundial. Calculation of monthly and annual 30 - year standard normals. Geneva (WMO). Technical Document 341(10).
- Sabino, S.M.L.; Macedo, D.R. 2019. Relação entre dados pluviométricos primários e modelos geoestatísticos interpolados em escala global. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19, 2019, Santos. Anais...Santos.
- Setzer, J. 1966. Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai. São Paulo, Brasil. 61p.
- Silvestre, A.L. 2007. Análise de dados e estatística descritiva. Escolar Editora.
- Souza, L. da S.; Medeiros, E.S. de; Galbetti, M. V.; Bicalho, C.C.; Santos, C.A.C. dos; Shinma, T.A.; Silva, A.Q. da; Oliveira, L.A. de. 2022. Modelagem Espacial de Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia* 37(3) 373-383.
- Varejão-Silva, M.A. 2006. Meteorologia e Climatologia. Recife: INMET.
- Varejão-Silva, M.A.; Braga, C.C.; Aguiar, M.J.N.; Nietzsche, M.H.; Silva, B.B. 1984. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande.
- Yamazaki, Y.; Rao, V.B. 1977. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 55 205-207.
- Zhou, F.; Guo, H.; Hão, Z. 2007. Spatial distribution of heavy metals in Hong Kong's marine sediments and their human impacts: a GIS-based chemometric approach. *Marine Pollution Bulletin* 54 1371-1384.