

Avaliação do *inverse distance weighting* para estimar a precipitação na Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco, Brasil.

Jackson F. Amorim^{1†}, Antonio S. A. Silva², Patrícia S. M. P. Ximenes³, Rômulo S. C. Menezes⁴

¹UFRPE-DEINFO-PPGBEA.

²UFRPE-DEINFO-PPGBEA. E-mail: <samuelmatico@gmail.com>.

³UFRPE-DEINFO-PPGBEA. E-mail: <patricia.medeiross10@gmail.com>.

⁴UFPE-PROTEN-PPGBEA. E-mail: <rmenezes@ufpe.br>.

Resumo: A precipitação é um dos fatores importantes nos estudos climáticos. Sua importância está associada às consequências ocasionadas por precipitações extremas ou estiagem, afetando vários setores da sociedade (deslizamento de barreira, mobilidade, agricultura, etc.). O estudo desta variável torna-se indispensável, todavia a disponibilidade de dados históricos de precipitação é limitada, relativamente escassos e pontuais. Uma das alternativas bastante empregada nos preenchimentos de dados ausentes e na espacialização da precipitação é a utilização de métodos de interpolação para dados georreferenciados. O método *inverse distance weighting* (*idw*) é uma ferramenta robusta e tradicionalmente utilizada para este fim quando se tem uma alta rede de estações. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar as estimativas de precipitação obtidas a partir do *idw* quando se tem um baixo número de estações. Para isto, 12 séries históricas de precipitação (1988 – 2017) disponibilizadas pela ANA, foram utilizadas. A interpolação foi empregada variando o número de vizinhos ($N = 1; 2; \dots; 12$) e parâmetro de ponderação ($p = 1, 0; 1, 1; \dots; 5, 0$), resultando em 451 interpolações. O *idw* foi apoiado pela técnica *cross validation*, sendo o erro absoluto médio ($EAM = 203.31$), erro quadrático médio ($EQM = 51183.27$), raiz do erro quadrático médio ($REQM = 226.24$) e o coeficiente de determinação ($R^2 = 0.32$) utilizados para avaliar a interpolação. Em seguida foi realizada a espacialização da precipitação média anual para a Mesorregião do Agreste Pernambucano e os valores estimados estão próximos da média climatológica comparada com o boletim climático da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

Palavras-chave: Precipitação; interpolação; espacialização; agreste; pernambuco.

Abstract: Precipitation is one of the important factors in climate studies. Its importance is associated with the consequences caused by extreme precipitation or drought, affecting several sectors of society (barrier slip, mobility, agriculture, etc.). The study of this variable becomes indispensable, however the availability of historical precipitation data is limited, relatively scarce and punctual. One of the widely used alternatives to absent data fills and precipitation spatialization is the use of interpolation methods for georeferenced data. The *inverse distance weighting* (*idw*) method is a robust tool traditionally used for this purpose when having a high network of stations. In this way, the objective of this work was to evaluate the precipitation estimates obtained from *idw* when having a low number of seasons. For this, 12 historical precipitation series (1988 – 2017) made available by ANA were used. The interpolation was used by varying the number of neighbors ($N = 1; 2; \dots; 12$) and weighting parameter ($p = 1, 0; 1, 1; \dots; 5, 0$), resulting in 451 interpolations.

† Autor correspondente: <ibamorim@gmail.com>.

The idw was supported by the cross validation technique, with the mean absolute error ($EAM = 203.31$), mean square error ($EQM = 51183.27$), root mean square error ($REQM = 226.24$) and determination coefficient ($R^2 = 0.32$) used to evaluate the interpolation. Afterwards, the annual average precipitation was carried out for the Agreste Meso-region of Pernambuco and the estimated values are close to the climatological average compared to the Climatic Bulletin of the Pernambuco State Agency for Water and Climate (APAC).

Keywords: Precipitation; interpolation; spatialization; agreste; pernambuco.

Introdução

O Nordeste brasileiro tem 62% da sua área correspondente ao Polígono das Secas, uma região semiárida de 940.000km^2 , que abrange nove Estados (Pernambuco - PE, Alagoas - AL, Paraíba - PB, Rio Grande do Norte - RN, Bahia - BA, Piauí - PI, Ceará - CE, Sergipe - SE e Maranhão - MA). Por sua baixa precipitação, abaixo de 800mm.ano^{-1} , esta região enfrenta um grande problema de disponibilidade de água (SANTOS et al., 2017). Esta região semiárida, apresenta alta variabilidade temporal e espacial das chuvas que abastecem os seus aquíferos. Por conta do seu clima, com uma irregularidade em sua distribuição de chuva, esta região é considerada crítica, e pouco explorada (OLIVEIRA, 2015). Desta forma, o esgotamento de recursos hídricos é considerado um dos principais problemas sócio-ambientais e econômico do mundo (JALE et al., 2019).

O semiárido nordestino brasileiro, foi afetado por uma seca iniciada em 2011, intensificada em 2012 que prolongou-se até 2017. Esta seca é considerada a mais intensa das últimas décadas, onde provocou um grande impacto em muitos municípios que compreende os Estados do Nordeste, afetando quase 9 milhões de pessoas (BRITO et al., 2017). A seca hidrológica está associada a redução do nível médio de água dos recursos hídricos superficiais e subsuperficiais como lagos, reservatórios, aquíferos e córregos. Por este motivo a gestão de recursos hídricos, as atividades agropecuárias, dentre outras, são fortemente afetados pela variabilidade climática intrínseca da região. Como agravante, há evidências de que o aumento da temperatura e a redução das chuvas, no futuro, causarão redução da disponibilidade de água e da produção de culturas agrícolas, pastagens e lenha neste Bioma.

O Estado de Pernambuco está inserido no polígono das secas. Ele é dividido em 5 mesorregiões: Metropolitana do Recife, Mata Meridional Pernambucana, Agreste Pernambucano, Sertão Pernambucano e São Francisco Pernambucano. O Agreste pernambucano tem como sua principal atividade econômica a criação de gado leiteiro, sendo responsável por 70% da produção leiteira do estado (IBGE, 2014). A agricultura de subsistência também desempenha um papel importante como fonte de renda para pequenos agricultores, que são totalmente dependente da precipitação para o desenvolvimento de suas atividades.

Estudos de natureza ambiental, climática e sócio econômica, requerem o uso de registros de precipitação histórica. A disponibilidade desses dados é limitada, pois são relativamente escassos, pontuais e em muitos casos, há dados ausentes. Para suprir essas lacunas, modelos para interpolação de dados georreferenciados, que é um processo que emprega técnicas matemáticas para produzir estimativas (SILVA et al., 2019), podem ser utilizados para espacializar ou preencher dados ausentes. O *inverse distance weighting* – idw (SHEPARD, 1968), é um método tradicional para esta finalidade e disponível na maior parte dos softwares GIS (Geographic Information System), ele tem sido utilizado amplamente na literatura (ANDRADE et al., 2018; ARAUJO et al., 2015; JAKOB; YOUNG, 2006; SILVA et al., 2019; SHEPARD, 1968; WAN-

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 340-347, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).

DERLEY et al., 2016) e apresentou um excelente desempenho quando realizada as estimativas utilizando uma alta rede de estações. Todavia, na grande maioria dos casos, não se dispõe de uma alta densidade de estações pluviométricas.

Considerando isto, o presente trabalho tem como objetivo verificar se o idw é capaz de produzir estimativas confiáveis da precipitação média anual para a Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco a partir de um baixo número de estações pluviométricas.

Material e método

Caracterização da área e dados

A Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco possui uma área aproximada de 24.500Km^2 e está dividida em 6 microrregiões (Alto Capibaribe, Brejo Pernambucano, Garanhuns, Médio Capibaribe, Vale do Ipanema e Vale do Ipojuca). A Mesorregião do Agreste está localizada, em parte, no planalto da Borborema, e sua altitude média varia entre 400 à 800m, com média climatológica variando entre 700 – 800mm (ANDRADE et al., 2018; JÚNIOR, 2018).

Os dados utilizados neste trabalho são séries históricas de precipitação cedidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), obtidos por estações pluviométricas georreferenciadas e distribuídas sobre a mesorregião do Agreste pernambucano. Das 110 estações catalogadas e disponibilizadas pela ANA, foram selecionadas 12 estações, por apresentaram uma série completa (30 anos) para análise. Na **Figura 1** pode-se observar as divisões das mesorregiões do estado de Pernambuco e as subdivisões das microrregiões do Agreste pernambucano, bem como a visualização da localização geográfica das 12 estações selecionadas.

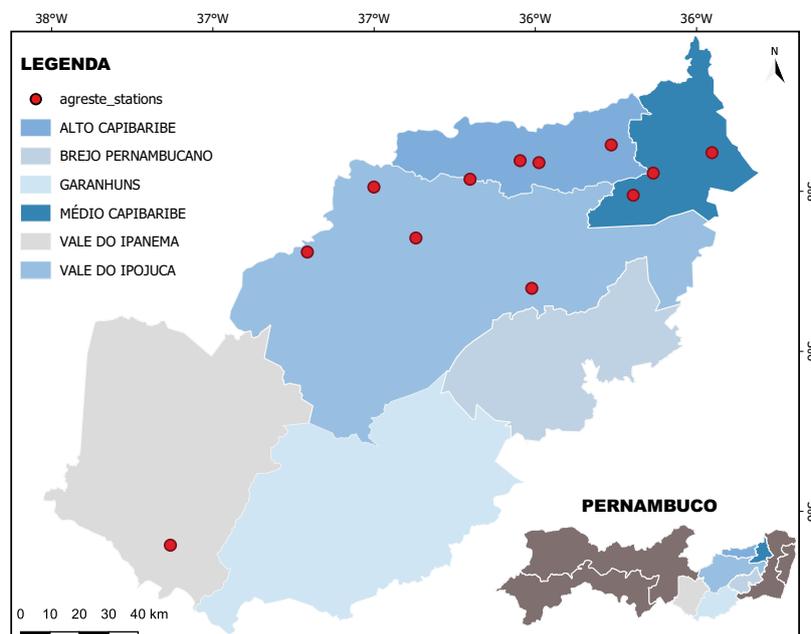


Figura 1: Localização geográfica da Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco e a disposição espacial das 12 estações meteorológicas selecionadas da ANA (1988-2017) sobre o Agreste pernambucano. Fonte: autor.

Pode-se observar ainda na **Figura 1** que as estações estão concentradas nas microrregiões

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 340-347, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).

do Médio Capibaribe, Alto Capibaribe e Vale do Ipojuca e apenas uma estação no Vale do Ipanema se distanciando consideravelmente das demais. Foram utilizadas as precipitações médias anuais, e o período estudado foi de janeiro de 1988 à dezembro de 2017. Na **Tabela 1**, está descrito os códigos (**Cod.**) das estações, as coordenadas geográficas (**Longitude** e **Latitude**) e a precipitação média anual (**Média**).

Tabela 1: Valores observados para a precipitação média anual nas 12 estações meteorológicas selecionada da ANA para a Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco no período de Janeiro de 1988 à Dezembro de 2017.

Cod.	Longitude	Latitude	Média (mm)
735100	-35.452	-7.879	983.158
735067	-35.634	-7.943	851.487
835135	-35.696	-8.012	720.100
937031	-37.132	-9.106	598.412
735159	-35.989	-7.910	608.609
735158	-35.764	-7.855	587.733
736041	-36.202	-7.962	443.110
736040	-36.501	-7.986	411.607
835106	-36.011	-8.303	509.743
836092	-36.370	-8.146	796.540
736042	-36.047	-7.904	1027.704
836093	-36.707	-8.189	820.517

Inverse distance weighting

A estimação da precipitação média anual, foi realizada utilizando o método de interpolação idw, proposto por Shepard (1968). O método pressupõe que pontos (estações) amostrais mais próximos aos valores a interpolados, têm maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência sobre a coordenada a ser interpolada, que diminui na medida em que a distância aumenta. O valor estimado pelo idw para cada coordenada é determinado pela seguinte expressão:

$$F(\mathbf{r}) = \sum_{k=1}^N W(\mathbf{r}_k)F(\mathbf{r}_k) \quad (1)$$

onde $F(\mathbf{r})$ é o valor interpolado em \mathbf{r} ; N é a quantidade de pontos observados na vizinhança do local interpolado; $F(\mathbf{r}_k)$ é o valor observado no ponto $\mathbf{r}_k \equiv (x_k, y_k)$; $W(\mathbf{r}_k)$ são os pesos atribuídos a cada uma das localidades. O peso é determinado pela seguinte equação:

$$W(\mathbf{r}_k) = \frac{d_k(\mathbf{r})^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_k(\mathbf{r})^{-p}} \quad (2)$$

onde $d_k(\mathbf{r}) \equiv \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}$ é a distância entre o local interpolado (\mathbf{r}) e cada um dos locais observados (\mathbf{r}_k). Observe que, a medida em que a distância aumenta, o peso é reduzido por um fator de potência p , deste modo, quando o parâmetro p aumenta, menor será a influência

dos pontos mais distantes sobre o valor interpolado (JAKOB; YOUNG, 2006; SILVA et al., 2019).

Avaliação das precipitações estimadas

A avaliação da qualidade das estimativas da precipitação, obtidas pelo método de interpolação *idw*, é feita por meio do procedimento de validação cruzada - *cross validation* (FURTADO; NEGREIROS, 2010). Na validação cruzada, cada ponto observado é retirado e comparado com o valor estimado para aquela coordenada, sendo o desempenho da técnica avaliada através de medidas de avaliação de desempenho: erro absoluto médio (*EAM*), erro quadrático médio (*EQM*), raiz do erro quadrático médio (*REQM*), e o coeficiente de determinação (R^2). Cada uma dessas medidas estão descritas pelas seguintes equações:

$$EAM = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |F(r_k) - f(r_k)| \quad (3)$$

$$EQM = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [F(r_k) - f(r_k)]^2 \quad (4)$$

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [F(r_k) - f(r_k)]^2} \quad (5)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{k=1}^N [F(r_k) - \overline{f(r_k)}] [f(r_k) - \overline{f(r_k)}]}{\sqrt{\sum_{k=1}^N [F(r_k) - \overline{f(r_k)}]^2} \sqrt{\sum_{k=1}^N [f(r_k) - \overline{f(r_k)}]^2}} \right\}^2 \quad (6)$$

no qual, N =número de pontos de teste escolhidos; $f(r_k)$ = valor observado no ponto de teste $r_k \equiv (x_k, y_k)$; $F(r_k)$ = valor estimado no ponto r_k e $\overline{f(r_k)}$ = média dos valores observados. O *EAM* mede o quanto as previsões médias estão afastadas em relação aos valores observados, logo, o valor ideal seria igual a zero, o *EQM* que é a média do quadrado do desvio entre o valor estimado e o valor observado, a *REQM* expressa a precisão dos valores estimados na mesma dimensão da variável em análise, e o R^2 atribui a proporção da variância de uma variável que é previsível da outra variável (HALLAK; FILHO, 2011; SILVA et al., 2019).

Resultados e discussão

O processo de interpolação foi realizado empregando a técnica *idw* e as medidas *EAM*, *EQM*, *REQM* e R^2 foram utilizadas para avaliar o desempenho da técnica em estimar a precipitação média anual do Agreste Pernambucano. Para isto, diferentes valores para o parâmetro de ponderação ($p = 1, 0; 1, 1; 1, 2; \dots; 5, 0$) e para o número de vizinhos ($N = 1, \dots, 12$) foram considerados, resultando em 451 interpolações. Na Tabela 2 está apresentado o *ranking* (classificação) dos cinco melhores parâmetros de ponderação e dos cinco melhores números de vizinhos, obtidos a partir do melhor conjunto de medidas de avaliação (menores valores de *EAM*, *EQM*, *REQM* e maior valor de R^2).

Tabela 2: Ranking (classificação) dos cinco melhores valores de medida de avaliação, obtidos dentre às 451 interpolações do idw para a Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco.

Classificação	Parâmetros (idw)		Medidas de avaliação			
	Ponderação (p)	Número de vizinhos (N)	EAM	EQM	$REQM$	R^2
1	1,00	11	203,31	51183,27	226,24	0,32
2	1,00	12	203,31	51183,27	226,24	0,32
3	1,00	10	204,12	51866,35	227,74	0,30
4	1,10	11	206,11	52251,35	228,59	0,30
5	1,10	12	206,11	52251,35	228,59	0,30

Dentre os valores observados na **Tabela 2**, destacam-se os valores de $EAM = 203,31$, $EQM = 51183,27$, $REQM = 226,24$ e $R^2 = 0,32$, para $p = 1$ e $N = 11$. Após a identificação dos melhores parâmetros, foi realizada a espacialização da precipitação média anual para a Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco, conforme pode-se observar na **Figura 2**.

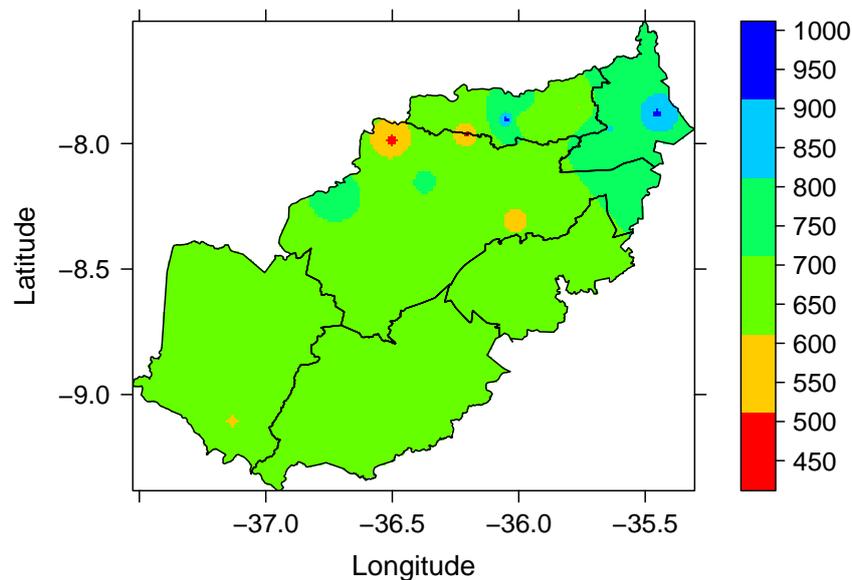


Figura 2: Espacialização da precipitação média anual para o Agreste do Estado de Pernambuco por meio do idw ($p = 1$, $N = 11$), para o período de Janeiro de 1988 à Dezembro de 2017. Fonte: autor.

Tendo em vista o período de Janeiro de 1988 à Dezembro de 2017, e o método empregado na interpolação, idw com parâmetros para $p = 1$ e $N = 11$, pode-se observar na **Figura 2**, que as maiores precipitações estão isoladas em dois pontos da microrregião do Agreste Pernambucano, um no Médio Capibaribe e o outro no Alto Capibaribe, com precipitação média anual de 950mm , ficando acima da média climatológica que é de $768,6\text{mm}$ para o Agreste segundo o Boletim do clima da APAC (JÚNIOR, 2018). Nas demais microrregiões a média anual de precipitação está variando entre $650 - 750\text{mm}$ ficando próximo da média climatológica, este valor corresponde a precipitação média anual das 12 estações selecionada. Verifica-se ainda que

que os menores valores para precipitação média anual é de 450mm, ficando abaixo da média climatológica, essas estão concentrados em dois pontos, um na microrregião do Vale do Ipojuca e outro fazendo fronteira com a microrregião do Alto Capibaribe.

Conclusão

O estudo em análise da aplicação do método de interpolação idw para um baixo número de estações meteorológica (12 estações), com o suporte da técnica *cross validation*, para Mesorregião do Agreste pernambucano (1988–2017), apresentou altos valores para *EAM*, *EQM*, *REQM* e baixo valor para R^2 , todavia quando é analisado o mapa da precipitação espacializada, **Figura 2**, e comparada com os valores das precipitações observadas no boletim climático da APAC, os valores estimados ficaram próximo da média climatológica que é de 768,6mm para o Agreste Pernambucano.

Agradecimentos

Os autores do presente trabalho agradecem ao CNPq e Facepe pela concessão de bolsas de estudo e de pesquisa e também pelo apoio financeiro através dos seguintes projetos: “ON-DACBC: Observatório Nacional da Dinâmica da Água e de Carbono no Bioma Caatinga” (Edital INCT - MCTI/CNPq/CAPES/FAPs nº 16/2014, Processo CNPq 465764/2014-2 e Facepe APQ-0493-3.07/17 INCT 2014); “Pesquisas integradas para a Garantia da Sustentabilidade hídrica, alimentar e energética no Bioma Caatinga (PEGASUS)”, Edital CNPq 19-2017-Nexus (Processo 441305/2017-2); “Dinâmica da Água e de Biomassa em Pasto e Caatinga no Semiárido de Pernambuco” (Facepe, Edital 04/2017 - APQ-0296-5.01/17); “Consolidação do Núcleo de Pesquisas em Dinâmica da Água e de Carbono em Ecossistemas no Estado de Pernambuco” (Edital 08/2014 Facepe Pronem, APQ-0532-5.01/14). Os autores também agradecem ao Programa de Pós Graduação em Biometria e Estatística Aplicada (PPGBEA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Referências bibliográficas

- ANDRADE, A. R. S.; NETO, A. H. G.; CRUZ, A. F. S.; SILVA, T. N. P. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no Agreste pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, Recife, v.3, n.1, p.126–145, 2018.
- ARAUJO, F. C.; DE MELLO, E. L.; SILVA, B. B.; MERCANTE, E.; GOLIN, G. M. Comparação de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio piquiri (PR). In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, 17., 2015, João Pessoa. Anais... João Pessoa: INPE, v.25, p.5485–5490, 2015.
- BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, Wiley Online Library, v.38, n.2,

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 340-347, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).
18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

p.517–529, 2017.

FURTADO, A.; NEGREIROS, J. Modelação espacial da temperatura na ilha de Santiago, Cabo Verde, com o GeoStatistical Analyst. *Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos*, Aveiro, v.2, n.3, p.46-54, 2010.

HALLAK, R.; FILHO, A. J. P. Methodology for performance analysis of simulations of convective systems in the metropolitan area of São Paulo with the ARPS model: sensitivity to variations with the advection and the data assimilation schemes. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.26, n.4, p.591-608, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção da Pecuária Municipal 2014*, Rio de Janeiro, v.42, 2014. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2014_v42_br.pdf Acesso em: 21 abr. 2019.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: *Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, 15. 2006, Caxambu-MG. Anais... Caxambu: ABEP, 2006. p.1-22, 2006.

JALE, J.S.; XAVIER, S. F. A.; STOSIC, T.; STOSIC, B.; FERREIRA, T. A. E. Application of markov chain on daily rainfall data in Paraíba-Brazil from 1995-2015. *Acta Scientiarum. Technology*, Editora da Universidade Estadual de Maringá- EDUEM, Maringá, v. 41, p. e37186, abr. 2019.

JÚNIOR, V. G. C. *Boletim do Clima - Síntese Climática*. Recife-PE, v. 06, nº1, 2018. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/arquivos_portal/boletins/Boletim%20climatico%20-%20Dezembro_2018.pdf. Acesso em: 08 jan. 2019.

OLIVEIRA, L. B. Uso e manejo da água na região semiárida do Nordeste do Brasil. *Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agrônômica*, Recife, v.11/12, p.50–64, 2014/2015.

SANTOS, W. M.; SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S.; ALMEIDA, A. Q.; ANTONINO, A. C. D. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, Recife, v.2, n.4, p.368–376, 2017.

SHEPARD, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*, ACM, p.517–524, 1968.

SILVA, A. S. A.; STOSIC, B.; MENEZES, R. S. C.; SINGH, V.P. Comparison of interpolation methods for spatial distribution of monthly precipitation. *JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING*, v.24, p.1–11, 2019.

WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S.; LUCENA, J. A.; SANTOS, P. F. C.; SILVA, A. C. Variabilidade climática na bacia leiteira de Pernambuco. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA*, 12., 2016, Goiânia-GO. Anais... Goiânia: SBCG, 2016. p.2110–2122.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 340-347, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).
18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).