



ARTIGO ORIGINAL

Roberto Castro Nascimento¹
Brauliro Gonçalves Leal^{2*}
Henrique Oldoni³
Saulo Medrado dos Santos⁴

Espacialização da pressão atmosférica na
região do Vale do Submédio São Francisco
*Spatialization of the atmospheric pressure in the
Mid-Lower São Francisco Valley region*

¹ Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA, Av. General San Martin, 1371, Bongi, 50761-000, Recife, PE, Brasil

² Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, Avenida Antonio Carlos Magalhães, 510, Santo Antônio, 48902-300, Juazeiro, BA, Brasil

³ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, Rua Doutor José Barbosa de Barro, 1780, Jardim Paraíso, 18610-307, Botucatu, SP, Brasil

⁴ Universidade Federal da Bahia – UFBA, Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina, 40170-020, Salvador, BA, Brasil

*Autor Correspondente:
E-mail: rcnjua@hotmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Interpolador
Parâmetros de potência
Agrometeorologia

KEYWORDS

Interpolator
Numerical powers
Agrometeorological

RESUMO: Os objetivos deste trabalho foram obter e validar as melhores potências numéricas para o método de interpolação do Inverso da Potência da Distância (IPD) na espacialização de valores da pressão atmosférica no Submédio São Francisco, para os períodos de um ano e das estações do ano (inverno, primavera, verão e outono). A pressão atmosférica foi espacializada utilizando o método do IPD a partir dos dados medidos em 14 estações meteorológicas automáticas de uma região do Submédio São Francisco. Os valores obtidos da potência do interpolador foram iguais a 4,8, 5,0, 5,9, 5,1 e 1,5 para a época anual, inverno, primavera, verão e outono, respectivamente. A variação diária do erro relativo médio calculado, utilizando os dados de pressão atmosférica, com o melhor valor da potência do interpolador obtida para a época ano (4,8) foi em média 0,05%. Os valores de erro médio foram pequenos quando comparados com o erro instrumental.

ABSTRACT: This study aimed to obtain and validate the best numerical powers for the interpolation method of inverse distance weighting (IDW) on spatialization of atmospheric pressure values in the mid-lower São Francisco valley, for periods of one year and the seasons (winter, spring, summer and autumn). The atmospheric pressure was spatialized using the IDW method from data measured in 14 automatic weather stations, in a region of the mid-lower São Francisco. The values obtained for the interpolator power were 4.8, 5.0, 5.1, 5.9 and 1.5 for the annual seasons, winter, spring, summer and autumn, respectively. The daily variation in the average relative error calculated, using data from atmospheric pressure, with the best value from the interpolator power obtained for the season of year (4.8) was on average 0.05%. The mean error values were small when compared with the instrumental error.

1 Introdução

Dentre as variáveis meteorológicas requeridas para o cálculo do balanço hídrico, destaca-se pressão atmosférica, que apresenta uma continuidade espacial no quantitativo de distância, possibilitando assim a criação de campos contínuos utilizando métodos de interpolação espacial (Cardoso et al., 2013; Alencar et al., 2012).

Devido à necessidade de dados meteorológicos, Guhathakurta et al. (2013) descreveram que uma solução é o uso da interpolação. Estudos de validação da potência da espacialização de parâmetros meteorológicos são inovadores, uma vez que já foram realizados estudos da interpolação de dados meteorológicos através do método do Inverso da Potência da Distância (IPD), utilizando o software Sistema de Informações, como proposto por Amorim et al. (2008), Martins & Rosa (2012), Marcuzzo et al. (2011), Oliveira et al. (2015) e Medeiros et al. (2005), porém não foram observados trabalhos que escolhessem a potência de interpolação através do menor erro, do ano completo ou de outras épocas.

Sugeridos por Willmott & Matsuura (2006), através do estudo dos erros de dados meteorológicos interpoladas pelo Inverso do Quadrado da Distância, as formas para a avaliação dos erros de interpoladores espaciais são através do Erro Absoluto Médio (MAE) e o Viés Médio (VM). Além da área meteorológica, já existem pesquisas que consolidam a verificação por esses dois métodos, a exemplo de Delgado et al. (2012), Oliveira et al. (2015) e Borges Júnior et al. (2012).

Desse modo, devido à escassez de bibliografia relacionada à espacialização de variáveis meteorológicas para a região Polo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, o objetivo deste trabalho foi obter os parâmetros de potência validados para o método de interpolação do IPD, na espacialização de valores diários da pressão atmosférica desta região, para os períodos de um ano, da estação de inverno, de primavera, de verão e outono.

2 Material e Métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A área estudada foi em uma região do Submédio São Francisco, que compreende o Polo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, situado na zona mais árida do Nordeste brasileiro, às margens do Rio São Francisco, no extremo oeste de Pernambuco e norte da Bahia.

A região de estudo é representada cartograficamente através um círculo de aproximadamente 250 km de raio em torno da cidade de Petrolina-PE (Figura 1), no Semiárido Nordestino. Ele abrange uma área de cerca de 260.000 hectares irrigados (CODEVASF, 2014).

Foram utilizados dados horários de 14 estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET em operação na área estudada (Tabela 1).

Na Figura 2 está indicada altitude dessas estações e suas distâncias em relação à estação de Petrolina.

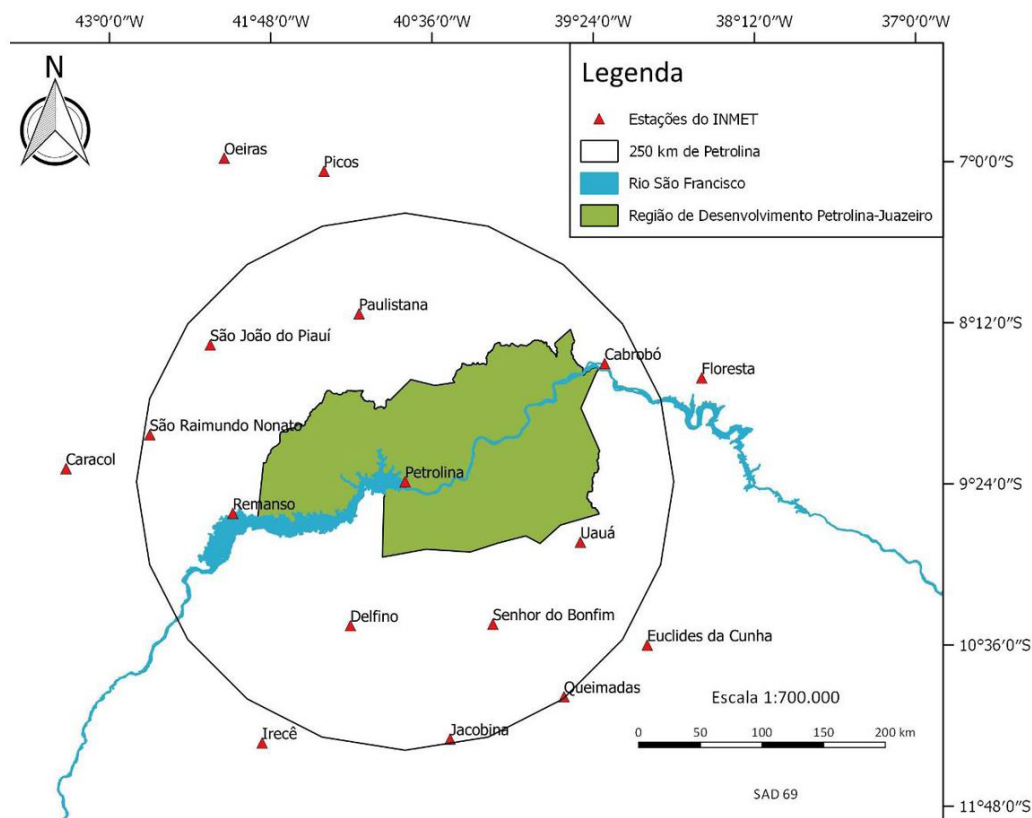


Figura 1. Espacialização das estações automáticas do INMET utilizadas no estudo, com distância de referência da estação localizada em Petrolina-PE.

Figure 1. Spatialization of the INMET automatic stations used in the study, with reference distance of the station located in Petrolina-PE.

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas do INMET utilizadas no trabalho com código, local, Unidade Federativa (UF), Latitude e Longitude.
Table 1. INMET automatic weather stations used in work with code, location, Federative Unit (UF), Latitude and Longitude.

Código	Local	UF	Latitude (°)	Longitude (°)
A329	Cabrobó	PE	-9,3833	-40,8012
A443	Delfino	BA	-10,4553	-41,2072
A442	Euclides da Cunha	BA	-10,4442	-40,1469
A351	Floresta	PE	-8,1325	-41,1428
A424	Irecê	BA	-9,6189	-42,0831
A440	Jacobina	BA	-9,8336	-39,4956
A330	Paulistana	PI	-8,5036	-39,3144
A307	Petrolina	PE	-8,3647	-42,2508
A436	Queimadas	BA	-11,205	-40,4653
A423	Remanso	BA	-9,0331	-42,7006
A331	São João do Piauí	PI	-10,9847	-39,6171
A345	São Raimundo Nonato	PI	-10,5367	-38,9978
A428	Senhor do Bonfim	BA	-11,3289	-41,8647
A435	Uauá	BA	-8,6103	-38,5922

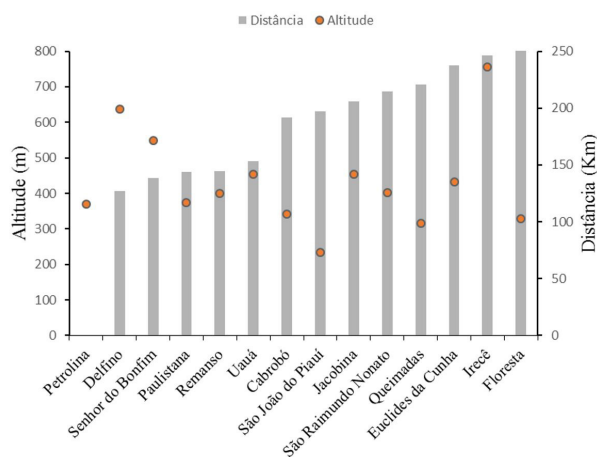


Figura 2. Altitude das estações e suas distâncias em relação à estação localizada em Petrolina-PE.

Figure 2. Altitude of the stations and their distances in relation to the station located in Petrolina-PE.

2.2 Períodos estudados

Os valores diários da pressão atmosférica foram obtidos a partir dos dados horários medidos nas estações meteorológicas automáticas. Foram utilizados apenas dias que possuíam pelo menos 18 dados horários válidos. Esses dados foram organizados em dois períodos e cinco épocas cada:

- Primeiro período – de 21/03/2008 a 20/03/2009, com a época, ano (21/03/2008 a 20/03/2009), e as estações outono (21/03/2008 a 20/06/2008), inverno (21/06/2008 a 22/09/2008), primavera (23/09/2008 a 20/12/2008), verão (21/12/2008 a 20/03/2009). Esses dados foram utilizados para estimar os valores de p dessas épocas consideradas;
- Segundo período – de 21/03/2009 a 21/03/2010, esses dados foram utilizados para avaliar o erro do valor da potência, ao estimar dados utilizando os valores de p no primeiro período.

2.3 Estimação dos parâmetros de potência do IPD

A utilização de métodos de interpolação para diferentes variáveis climáticas possibilita a sua estimativa em regiões onde não há presença de estação meteorológica instalada.

Interpoladores, no que lhe concernem, são ferramentas matemáticas que atribuem valores relativos a alguma variável em pontos inseridos em um campo de valores já existente, transformando dados discretos em contínuos (Castro et al., 2010).

Para a espacialização da pressão atmosférica diária, avaliaram-se as potências para o método de interpolação do Inverso da Potência da Distância (IPD). Variou-se o parâmetro de potência de 0,1 a 25,0, com incremento de 0,1, metodologia esta já utilizada em alguns estudos para precipitação na mesma região.

A metodologia do IPD leva em consideração que o quantitativo da variável, a ser estimado numa posição qualquer, é calculado por seus vizinhos e assim ponderados pelo inverso da sua distância elevada a uma potência “ p ”, conforme a Equação 1.

O desempenho do IPD, conforme Willmott & Matsuura (2006), foi determinado utilizando os valores do Erro Absoluto Médio (MAE) (Equação 2) e de Viés Médio (VM) (Equação 3), calculados por meio da técnica de Validação Cruzada (VC) aplicada aos dados do primeiro período.

$$f_e(r) = \frac{\sum_{i=1}^n d(r, r_i)^{-p} f_m(r_i)}{\sum_{i=1}^n d(r, r_i)^{-p}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_m(r_i) - f_e(r_i)| \quad (2)$$

$$VM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [f_m(r_i) - f_e(r_i)] \quad (3)$$

em que

$f_e(r)$ – valor estimado de f no vetor posição r ;
 $f_m(r_i)$ – valor medido de f no vetor posição r_i ;

n – número total de pontos conhecidos e utilizados na interpolação;
 d(r, ri) – distância euclidiana entre os vetores r e ri; e
 p – parâmetro de potência.

Realizou-se a validação cruzada dos dados, segundo a metodologia de Robinson & Metternicht (2006) e Amorim et al. (2008). Nessa metodologia, consiste um ponto de medida é descartado sucessivamente na realização da interpolação, sendo possível obter o valor estimado (E) correspondente ao retirado, e dessa forma pode-se compará-lo com o valor real da variável (O).

2.4 Avaliação do valor de p

O valor de p da época ano, obtido com os dados do primeiro período, foi avaliado utilizando os dados do segundo período por meio dos valores do erro relativo médio diário, conforme definido a seguir:

- Erro relativo da pressão atmosférica diária (er_{dia}), o erro relativo calculado a partir dos valores de pressão atmosférica diários estimados (X_e) e valores pressão atmosférica diários medidos (X_m) em uma estação meteorológica, Equação 4;
- Erro relativo médio da pressão atmosférica diária (er_{med}), a média aritmética de er_{dia} de um conjunto de estações meteorológicas, Equação 5.

$$er_{dia} = \frac{X_m - X_e}{X_m} \tag{4}$$

$$er_{med} = média \{er_{dia}\} \tag{5}$$

4 Resultados e Discussão

Do primeiro período foram utilizados 4927 valores de pressão atmosférica (PA), calculados utilizando dados horários medidos nas estações meteorológicas da Tabela 1. Os valores dos dados utilizados por época do primeiro período, sendo mínimos, médios, medianas, máximos, primeiro quartis (Q1/4) e terceiro quartis (Q3/4) dos que estão apresentadas na Figura 3.

Os valores de PA do primeiro período variaram de 923 a 998 hPa, com desvio-padrão e coeficiente de variação igual a 9,2 e 6,8 mm, respectivamente. Os valores médios de PA no período estudado de inverno, primavera, verão e outono foram iguais a 966, 968, 965, 964 e 966 hPa, respectivamente.

O desvio-padrão e o número de dados utilizados estão apresentados na Tabela 2. Verificou-se que a variação do desvio-padrão foi pequena entre os períodos, de 0,16 a 2,45, e os números de dados utilizados variaram conforme a PA medida da região. Esses valores baixos de desvio-padrão indicam a baixa variabilidade dos valores do campo de pressão atmosférica na região e período estudado.

Na Figura 4 pode-se observar a variação de Erro Absoluto Médio (MAE) em função de potência nas épocas e período estudado. A variação do MAE foi similar nas épocas, com uma tendência de valor inicial mais elevado, acompanhado por uma sutil redução até um valor mínimo, seguido de um crescimento moderado.

Os valores mínimos de EAM foram 10,44, 11,19, 9,90, 9,91 e 10,51 hPa para a época anual, inverno, primavera, verão e outono, respectivamente,

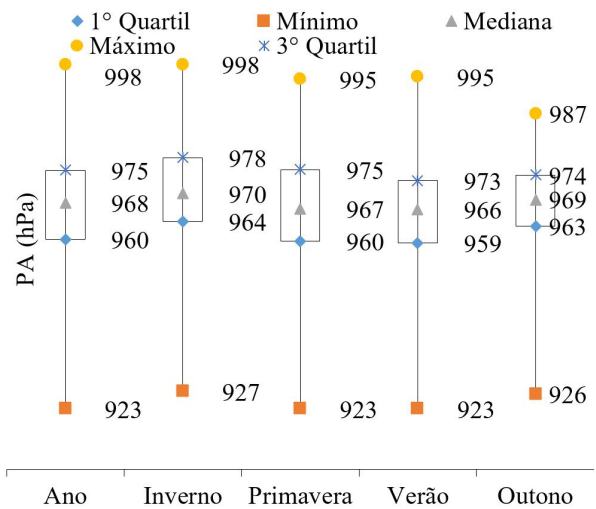


Figura 3. Boxplot dos dados de pressão atmosférica (PA) utilizados nas épocas ano, inverno, primavera, verão e outono do primeiro período.

Figure 3. Boxplot of the atmospheric pressure data (PA) used during the seasons, winter, spring, summer and fall seasons of the first period.

Tabela 2. Estatísticas da pressão atmosférica diárias do primeiro período e suas épocas: desvio-padrão (s) e número de dados utilizados (n).

Table 2. Daily atmospheric pressure statistics of the first period and its seasons: standard deviation (s) and number of data used (n).

Primeiro Período	Pressão Atmosférica (hPa)	
	s	n
ano	1,11	4927
inverno	1,61	1430
primavera	0,92	1435
verão	0,16	1408
outono	2,45	1281

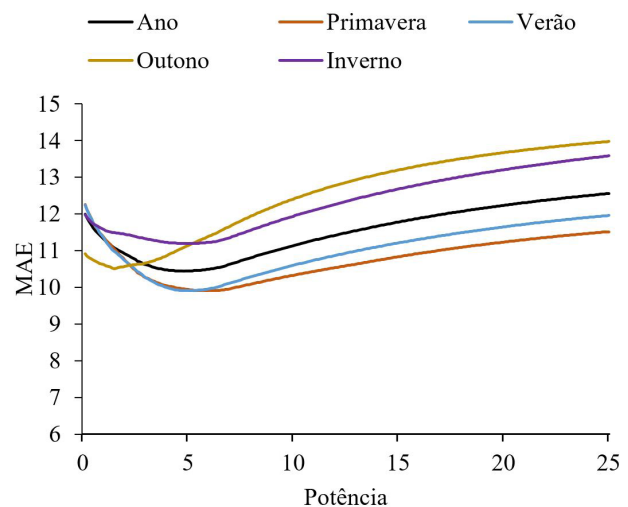


Figura 4. Erro Absoluto Médio (MAE) das potências utilizadas e nas épocas do ano, inverno, primavera, verão e outono do primeiro período, para pressão atmosférica (PA).

Figure 4. Mean Absolute Error (MAE) of the used power and in the seasons, winter, spring, summer and autumn of the first period, to atmospheric pressure (PA).

com os correspondentes valores de p iguais a 4,8, 5,0, 5,9, 5,1 e 1,5. Esses valores são diferentes daqueles utilizados em geral, que é a potência de 2ª ordem. De maneira geral, os resultados obtidos foram dependentes da influência da sazonalidade nas escalas temporais consideradas.

Com exceção da estação de outono, os melhores valores de potência de interpolação para PA são superiores a 4,8. Isso está associado à natureza da medida, em que para uma espacialização são favorecidas as medidas mais próximas, sendo explicado pela variação diária da variável. Essa situação não pode ser observada no estudo de Cecílio et al. (2012), que escolheu interpolar com as potências de 1 a 6 sem verificação anterior de características de espacialização das variáveis do balanço hídrico.

Na Figura 5, consta a variação de VM em função de p nas épocas e período estudado. A variação geral do VM foi similar nas épocas, com valor inicial baixo, acompanhado por um aumento acentuado até um valor máximo, acompanhado por uma diminuição até um valor mínimo local e, em seguida, um crescimento moderado, exceto para a curva correspondente ao outono que se destaca das demais, apresentando valores diretamente decrescentes de VM com uma pequena ascendência e oscilação.

Os valores mínimos de VM foram -0,52, -0,03, -0,56, -0,62 e -1,42 hPa para a época anual, inverno, primavera, verão e outono, respectivamente, sendo os correspondentes valores de p iguais a 6,5, 5,9, 5,9, 6,7 e 6,9.

Verificou-se que, através do método de interpolação, obteve-se eficiência na aplicação no parâmetro pressão atmosférica em uma região do Submédio São Francisco, a área de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro. Pode-se observar as Figuras 5 e 6 a diferença mínima entre os valores estimados.

Essa aplicação de metodologia já foi realizada com resultados satisfatórios por Perin et al. (2015), inferindo assim que o método de interpolação é eficiente na estimativa da pressão

atmosférica, apesar de ter uma gama de metodologias para aquisição dados meteorológicos especializados.

Na Figura 7, pode-se verificar a variação diária do erro relativo médio (ermed), que foi calculado utilizando os dados de pressão atmosférica do segundo período utilizando o valor de p obtido para a época ano, $p = 4,8$.

Ainda nessa figura, pode-se observar que a variação de ermed apresentou dois patamares para seus valores, com uma

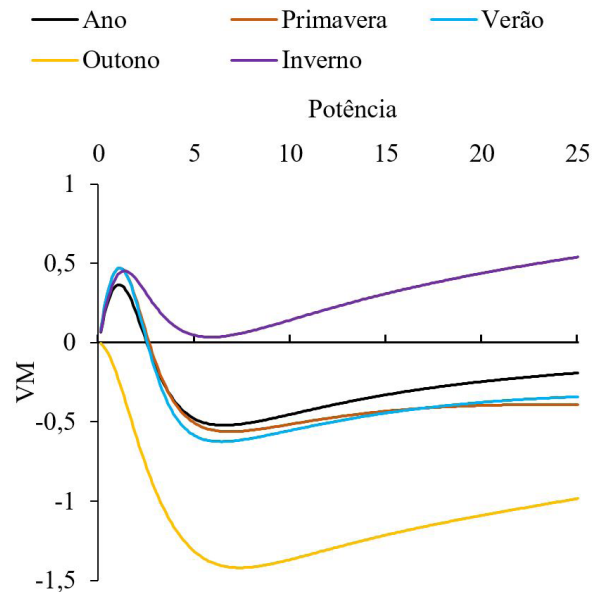


Figura 5. Viés Médio (VM) das potências utilizadas e nas épocas do ano, inverno, primavera, verão e outono do primeiro período, para pressão atmosférica (PA).

Figure 5. Mean bias (VM) of the powers used and at the seasons, winter, spring, summer and autumn of the first period, to atmospheric pressure (PA).

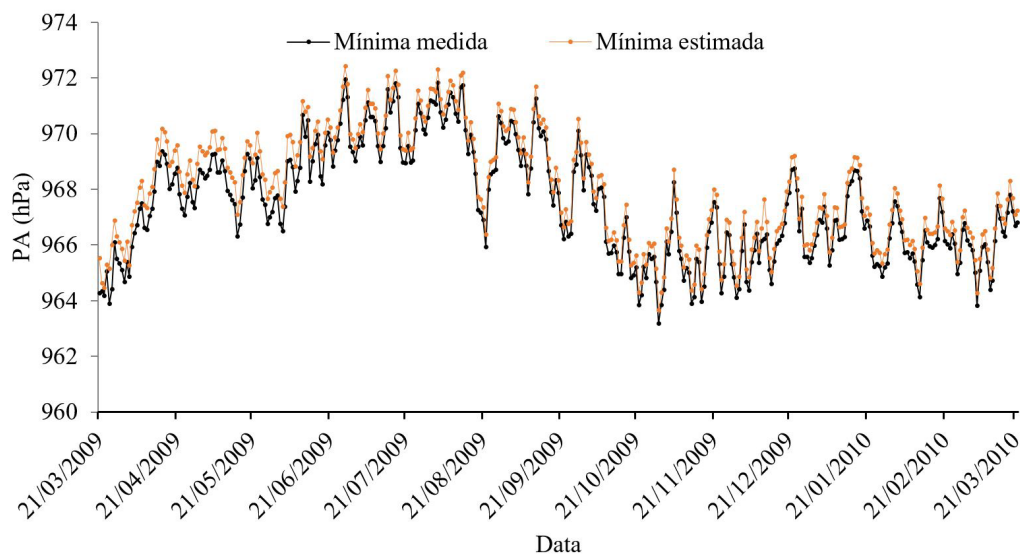


Figura 6. Pressão atmosférica (PA) medida e estimada para o segundo período.

Figure 6. Atmospheric pressure (PA) measured and estimated to the second period.

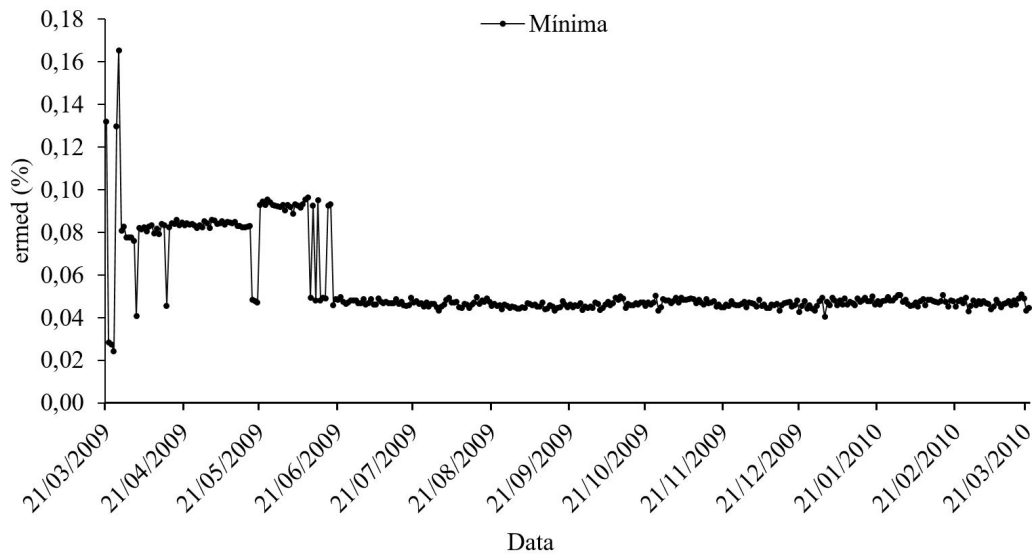


Figura 7. Erro médio relativo entre valores medidos e estimados para o segundo período, para pressão atmosférica.

Figure 7. Relative mean error between measured and estimated values to the second period, to atmospheric pressure.

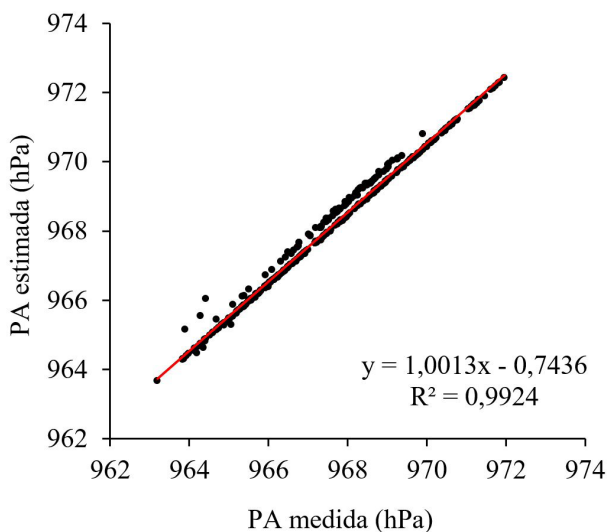


Figura 8. Correlação entre pressão atmosférica (PA) medida e estimada para o segundo período.

Figure 8. Correlation between atmospheric pressure (PA) measured and estimated for the second period.

variação maior entre as datas de 21/03/2008 e 21/06/2008, que corresponde à estação outono. Ainda que tenha ocorrido essa variação nesta estação, os valores dos erros ainda são inferiores a 1%. Esses dados são comparáveis e menores do que os obtidos por Guhathakurta et al. (2013).

De forma geral, os valores obtidos de ermed variaram de 0,02 a 0,18% e com média de 0,05%, indicando grande coerência entre dados medidos e estimados. Pode-se considerá-los pequenos quando comparados com a precisão do sensor de pressão atmosférico da estação automática, cujo valor varia de 2% a 5% (Vaisala, 2011).

Para a correlação entre os dados de pressão atmosférica medida e estimada (Figura 8), pode-se constatar, mais uma vez, a eficiência desta metodologia para a obtenção da interpolação quando utilizado o valor de potência com menor erro para os dados de pressão atmosférica nessa região do Submédio São Francisco.

Embora as estações meteorológicas estejam distantes uma das outras, com distância máxima de aproximadamente 500 km, pode-se observar uma grande coerência entre os valores medidos e estimados da pressão atmosférica utilizando os dados do segundo período, na Figura 8 com um valor de R^2 igual a 99,24%.

Em sua maior parte, as variações de pressões atmosféricas estimadas apresentaram uma consistência entre todas as medidas realizadas de acordo com o erro quadrático médio.

5 Conclusões

Foram obtidos os valores da potência (p) do inverso da potência da distância para a interpolação da pressão atmosférica para a área estudada do Vale do Submédio São Francisco, utilizando validação cruzada e erro absoluto médio.

O erro absoluto médio é a melhor medida de desempenho do inverso da potência da distância para obtenção da espacialização pressão atmosférica.

Estudos posteriores devem ser realizados para aprimorar o conhecimento da espacialização de dados meteorológicos na região do Submédio do São Francisco, a fim de tornar um subsídio para auxílio na tomada de decisões no manejo da água nos perímetros irrigados da região.

Referências

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T. S.; DELGADO, R. C.; VIEIRA, G. H. S. Evolução temporal da evapotranspiração de referência e sua sensibilidade aos

principais elementos climáticos na cidade de Uberaba–MG. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, v. 7, n. 1, p. 159-166, 2012.

AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Avaliação do comportamento de variáveis meteorológicas espacializadas em áreas de relevo ondulado na bacia do Rio Doce. *Engenharia Agrícola*, v. 16, p. 19-26, 2008.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, Pe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 380-390, 2012.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Caracterização da temperatura do ar no Estado do Goiás e no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 11, p. 119-134, 2013.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 8, p. 871-880, 2010.

CECÍLIO, R. A.; SILVA, K. R.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M. Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 4, p. 478-488, 2012.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA – CODEVASF. *Projetos de Irrigação no Vale do São Francisco*. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/publicacoes/publicacoes-atuais/pdf/projetos-de-irrigacao-no-vale-do-sao-francisco-documento-elaborado-pelos-tecnicos-da-codevasf.pdf>>. Acesso: 20 jun. 2015.

DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, M. H.; SOARES, V. P.; ANDRADE, R. G. Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da árvore de decisão. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 2, p. 369-380, 2012.

GUHATHAKURTA, P.; TYAGI, A.; MUKHOPADHYAY, B. Climatology at any point: a neural network solution. *Mausam (New Delhi)*, v. 642, p. 231-250, 2013.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 4, p. 793-804, 2011.

MARTINS, A. P.; ROSA, R. Caracterização climática da bacia do rio Paranaíba a partir da rede de estações de superfície automática do INMET (2001-2011), utilizando ferramentas de geoprocessamento. *Revista Geonorte*, v. 2, n. 5, p. 1303-1316, 2012. Edição Especial 2.

MEDEIROS, S. S.; CECÍLIO, R. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; SILVA JÚNIOR, J. L. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005.

OLIVEIRA, J. P. B.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; ZANETTI, S. S. Espacialização da erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação. *Agrária*, v. 10, p. 558-563, 2015.

PERIN, E. B.; VIANNA, L. F. N.; RICCE, W. S.; MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. *Geografia*, v. 40, n. 2, p. 269-289, 2015.

ROBINSON, T. P.; METTERNICHT, G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 50, n. 2, p. 97-108, 2006.

VAISALA. *Transmissor climático Vaisala WXT520*. Disponível em: <<http://br.vaisala.com/br/products/multiweathersensors/Pages/WXT520.aspx>>. Acesso: 15 Set. 2011.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 20, n. 1, p. 89-102, 2006.

Contribuição dos autores: Roberto Castro Nascimento e Brauliro Gonçalves Leal realizaram a análise dos dados, análise estatística, revisão bibliográfica e a escrita científica; Henrique Oldoni e Saulo Medrado dos Santos contribuíram com a escrita científica do trabalho.

Fontes de financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.