

Distribuição da precipitação mensal, anual e máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins

Monthly and annual precipitation and maximum daily precipitation distribution at the Formoso river basin, Tocantins

Kaio Cesar Cardoso de Lima Fonseca Alves¹

Marcelo Ribeiro Viola^{2(*)}

Carlos Rogério de Mello³

Marcos Giongo⁴

André Ferreira dos Santos⁵

Resumo

A precipitação é uma variável de notória variabilidade espaço-temporal, com reflexos diretos sobre a disponibilidade hídrica superficial. A distribuição sazonal da precipitação, bem como a sua distribuição espacial, é informação de caráter essencial para as mais diversas atividades humanas. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi mapear, por meio de técnicas geoestatísticas, a precipitação média mensal e anual, bem como a precipitação máxima média diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. Um estudo geoestatístico, utilizando o programa GeoR, foi conduzido, modelando-se o semivariograma experimental com os modelos esférico, exponencial e gaussiano, ajustados pelo método dos mínimos quadrados ponderados. A partir deste estudo, o modelo que apresentou o menor erro médio obtido por validação cruzada foi aplicado ao processo de mapeamento por

-
- 1 Engenheiro Florestal; Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins, UFT; Endereço: Rua Badejós, Lote 7, Chácaras 69/72, Zona Rural. Cx. postal 66. CEP: 77402-970, Gurupi, Tocantins, Brasil; E-mail: kcclfa@uft.edu.br
 - 2 Dr.; Engenheiro Agrícola; Professor Adjunto do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins UFT; Endereço: Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil; E-mail: marcelo.viola@deg.ufla.br (*) Autor para correspondência
 - 3 Dr.; Engenheiro Agrícola; Professor Adjunto do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, UFLA; Endereço: Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil; E-mail: crmello@deg.ufla.br
 - 4 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor Adjunto do curso de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins, UFT; Endereço: Rua Badejós, Lote 7, Chácaras 69/72, Zona Rural. Cx. postal 66. CEP: 77402-970, Gurupi, Tocantins, Brasil; E-mail: giongo@uft.edu.br
 - 5 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor Adjunto do curso de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins, UFT; Endereço: Rua Badejós, Lote 7, Chácaras 69/72, Zona Rural. Cx. postal 66. CEP: 77402-970, Gurupi, Tocantins, Brasil; E-mail: andrefs@uft.edu.br

Recebido para publicação em 01/08/2014 e aceito em 28/07/2015

Ambiência Guarapuava (PR) v.12 n.1 p. 49 - 70 Jan./Abr. 2016 ISSN 1808 - 0251
DOI:10.5935/ambiencia.2016.01.03

krigagem ordinária. Foi constatado bom desempenho das técnicas geoestatísticas no mapeamento da precipitação para a bacia do rio Formoso, podendo-se destacar o modelo de semivariograma gaussiano, que se sobressaiu na maioria dos eventos estudados. Os mapas de precipitação mostraram considerável variabilidade da precipitação mensal, com os maiores valores estimados para as regiões nordeste e noroeste da bacia, e menor variabilidade da precipitação máxima diária anual.

Palavras-Chave: Geoestatística; Hidrologia; Gestão Ambiental.

Abstract

Precipitation is variable of notorious space-time variability, presenting direct effects on surface water availability. Information concerning the seasonal distribution of precipitation as well as their spatial distribution is essential for a variety of human activities. In view of this, the present study aimed to map, by using geostatistical techniques, the average monthly and annual precipitation as well as the annual maximum daily precipitation in the Formoso river basin, Tocantins. A geostatistical study was previously conducted using GeoR program, modeling the experimental semivariogram with the Spherical, Exponential and Gaussian models, estimated by the method of weighted least squares. From this study, the model with the lowest average error, which was calculated based on the cross validation method, was applied to the mapping process by ordinary kriging. It was found good performance of the geostatistical techniques in mapping the precipitation for the basin of the Formoso river, highlighting the Gaussian semivariogram model, which excelled in most of the studied events. Precipitation maps showed considerable variability of the monthly precipitation, with the highest values estimated for the northeastern and northwestern regions of the basin, however, smaller variability was observed for the annual maximum daily precipitation.

Key words: Geostatistics; Hydrology; Environmental Management.

Introdução

O conhecimento da sazonalidade da precipitação, bem como de seu padrão espacial, é informação de caráter essencial para as mais diversas atividades humanas, sendo que, o seu alto grau de variabilidade, gera uma das principais incertezas e riscos em uma programação agrícola (CASTRO; SCÁRDUA, 1985). Além da influência na agricultura, períodos de estiagem muito longos afetam o nível de água dos mananciais

e dos reservatórios das usinas hidrelétricas, trazendo problemas para o abastecimento urbano e geração de energia elétrica (VIEIRA; CARVALHO, 2001), conforme observado no ano de 2014 na região sudeste do Brasil.

Segundo Ayoade (2007), o padrão de distribuição espacial da precipitação é bastante complexo, devido à influência de vários fatores, tais como a topografia, a distância a partir dos grandes corpos hídricos, a direção e caráter das massas de ar predominantes, entre outros. De acordo

com Reis et al. (2005), no mapeamento da precipitação, frequentemente são empregados métodos de interpolação espacial, com destaque ao inverso do quadrado da distância e às técnicas geoestatísticas.

A estatística clássica desconsidera a influência entre observações vizinhas, considerando que as realizações das variáveis aleatórias são independentes entre si. Contudo, a precipitação e muitas outras variáveis climáticas apresentam estruturação nas variações vizinhas, o que caracteriza dependência espacial dos dados. Nessa situação, o uso da geoestatística proporciona melhorias na qualidade final dos mapas (VIEIRA, 2000). Diversos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de avaliar metodologias para o mapeamento da precipitação, destacando as qualidades das técnicas geoestatísticas em comparação a outros interpoladores (MELLO et al., 2003; MELO JÚNIOR et al., 2006; GOMES et al., 2007; MELLO et al., 2007; MELLO et al., 2008; VIOLA et al., 2010; SANTOS et al., 2011; MELLO; VIOLA, 2013).

De acordo com a divisão hidrológica da Agência Nacional de Águas (ANA), a bacia do rio Formoso pertence à Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia e situa-se na região sudoeste do Estado do Tocantins, com uma população de 172.176 habitantes, segundo estimativa do IBGE (2014). O setor agropecuário constitui a base da economia de toda a região da bacia, que possui um cultivo agrícola intenso, mais precisamente às margens do rio Formoso, onde prevalece o cultivo de arroz, feijão, milho e melancia (TOCANTINS, 2007).

O deflúvio superficial gerado na bacia hidrográfica do rio Formoso representa a fonte hídrica para o abastecimento público, além de suprir a demanda por irrigação, dessedentação

animal e outros usos na bacia. Da demanda total da bacia, que é de aproximadamente 35.000 L s^{-1} , cerca de 98,7% é destinado para a irrigação, 1,10% para a dessedentação de animais e 0,16% para o abastecimento público. O Projeto de irrigação rio Formoso, localizado dentro dos limites do município de Formoso do Araguaia, à sudoeste do estado do Tocantins, apresenta extensa área sistematizada à agricultura irrigada (27.787 ha de várzea), na qual é cultivado principalmente arroz, milho, melancia e soja, utilizando o sistema de irrigação por subinundação, consumindo, portanto, um grande volume de água. Em outros municípios, as áreas com culturas irrigadas encontram-se, sobretudo, em propriedades privadas (TOCANTINS, 2007).

Uma vez que, de acordo com Vergara et al. (2013), a definição dos períodos seco e chuvoso no Tocantins facilita o plantio, pois divide o período de safra e entressafra conforme a sazonalidade climática no estado, evidencia-se a necessidade de estudos hidrológicos na bacia visando fornecer informações a respeito do regime de chuvas aos produtores da região. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver o mapeamento da precipitação média mensal e anual e da precipitação máxima média diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso – TO, por meio de técnicas geoestatísticas, a fim de dar subsídio ao planejamento agrícola e ao Comitê de Bacias Hidrográficas do rio Formoso.

Material e Métodos

O presente estudo contempla a bacia hidrográfica do rio Formoso (Figura 1), afluente pela margem direita do rio Araguaia, com a área de drenagem de $21.328,57 \text{ km}^2$. Está localizada entre as latitudes $10^\circ 28'$ e $13^\circ 16' \text{ S}$ e longitudes $48^\circ 50'$ e $49^\circ 57' \text{ W}$, na região

sudoeste do Estado do Tocantins. A bacia é subdividida em seis sub-bacias hidrográficas na divisão hidrográfica estadual, sendo, rio Pau Seco, rio Xavante, rio Dueré, rio Pias, rio Urubu e rio Formoso (TOCANTINS, 2012a).

A bacia abrange parte do território de 21 municípios dos estados do Tocantins e Goiás, e que apresentam diferentes percentuais de participação no domínio físico da bacia, sendo eles: a) Estado do Tocantins: Aliança do Tocantins, Alvorada, Araguaçu, Cariri do Tocantins, Cristalândia, Crixás do Tocantins, Dueré, Fátima, Figueirópolis, Formoso do Araguaia, Gurupi, Lagoa da Confusão, Nova Rosalândia, Oliveira de Fátima, Pium, Sandolândia, Santa Rita do Tocantins e Talismã e b) Estado de Goiás: Porangatu, Novo Planalto e São Miguel do Araguaia. Destaca-se que, desse total, sete apresentam sede municipal inserida na bacia, como pode-se observar na figura 1 (TOCANTINS, 2007).

A bacia do rio Formoso está situada no contato Cerrado-Floresta Estacional, na Amazônia Legal. Das fisionomias do Cerrado encontradas na bacia, a maioria delas é de formação campestre entremeadas por arvoretas, sendo somente a porção noroeste da bacia de formação florestal representada pela Savana Arbóreo Densa (TOCANTINS, 2007). Em relação ao uso do solo e cobertura vegetal, 43,51% da área é destinada às práticas agropecuárias, 2,11% ao cultivo de culturas temporárias; 41,9% da cobertura vegetal encontra-se ocupada por fitofisionomias do Cerrado, principalmente Cerrado Sentido Restrito e Parque Cerrado, 11,29% por Mata Ciliar ou Mata de Galeria e o restante da área se divide em outros usos como Praias e Área Urbanizada (TOCANTINS, 2012a).

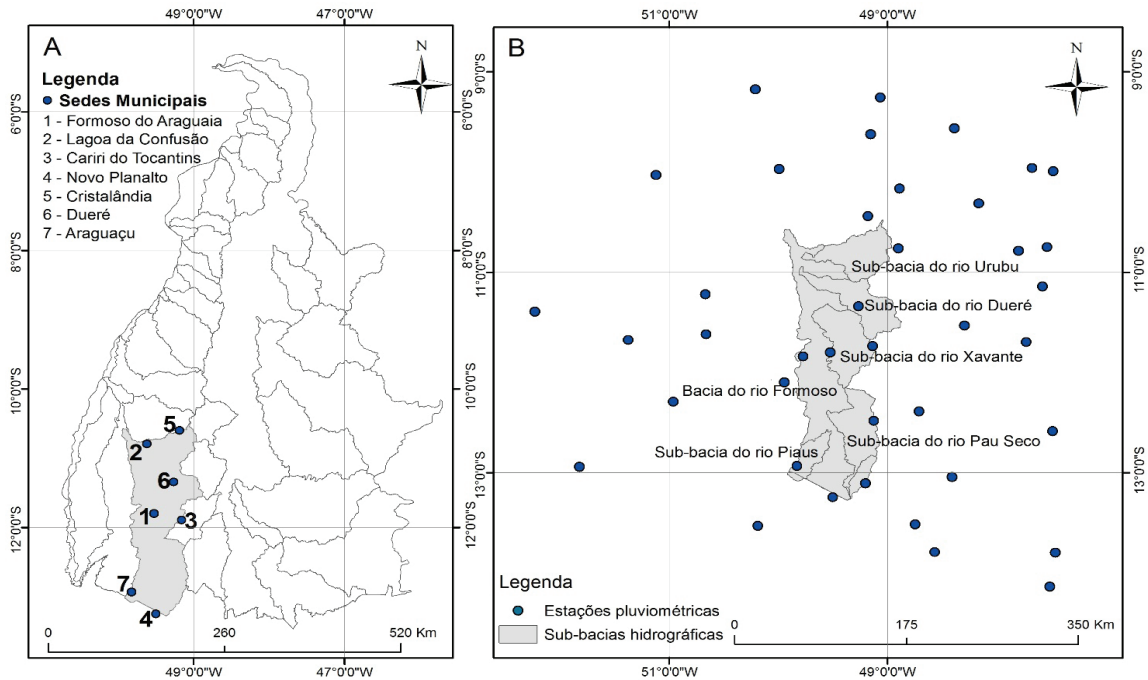
Os solos predominantes na bacia do rio Formoso são: solos concrecionários (40,8%),

latossolo vermelho-amarelo (33,0%), plintossolo (15,0%), gleissolo (7,0%), podzólico vermelho-amarelo (3,5%), neossolo quartzarênico (0,5%) e neossolo litólico (0,1%) (TOCANTINS, 2007). Estes, em sua maioria, são mal drenados, apresentam resistência à mecanização, elevada acidez e baixa fertilidade. O clima, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite, é úmido com deficiência hídrica variando de moderada à nula, com regime de chuvas bem definido (TOCANTINS, 2007), precipitação média anual em torno de 1586,23 mm, e temperatura média entre 25,5 e 26 °C (TOCANTINS, 2009).

Base de Dados

O banco de dados consiste de séries históricas de precipitação diária, do período de 1985 a 2009, para 40 postos pluviométricos. Os dados foram obtidos junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo 5 postos pluviométricos localizados dentro dos limites da bacia e 35 nos seus arredores. A utilização de séries hidrológicas das proximidades da bacia visa melhorar o mapeamento na região de contorno, e, também, busca uma adequada representação da estrutura de dependência espacial da variável. A partir das séries históricas completas, foram estruturadas séries reduzidas equidistantes de precipitação máxima diária anual, total mensal e total anual. A partir destas extraíndo-se valores médios para posterior análise espacial e interpolação dos dados. Na figura 1B está apresentada a distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados, enquanto que, na tabela 1, constam suas informações básicas.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Formoso e das sedes municipais inseridas em seus limites (A); localização dos postos pluviométricos e sub-bacias da divisão hidrográfica estadual (B).



Fonte: Adaptado de Tocantins (2012a).

Tabela 1 – Código, nome, latitude, longitude (graus) e altitude (m) dos postos pluviométricos utilizados.

(continua)

Código	Nome	Latitude	Longitude	Altitude
01347000	Cavalcante	-13,7969	-47,4617	821
01348000	Campinaçu	-13,7900	-48,5669	683
01348003	Trombas	-13,5128	-48,7450	391
01349001	Novo Planalto	-13,2447	-49,5017	286
01349003	Entroncamento São Miguel	-13,1028	-49,2014	345
01350001	Rio Pintado (Faz. Pontal)	-13,5286	-50,1881	200
00951000	Vila rica	-10,0306	-51,1219	222
01050000	Luciara	-11,2192	-50,6686	182

Tabela 1 – Código, nome, latitude, longitude (graus) e altitude (m) dos postos pluviométricos utilizados.

(continuação)

01150001	São Félix do Araguaia	-11,6197	-50,6625	195
01151000	Bate Papo	-11,6747	-51,3764	235
01152001	Espigão	-11,3933	-52,2350	347
01250001	Sto. Antônio do Leverger	-12,2903	-50,9656	205
01251001	Divínea	-12,9397	-51,8264	391
00950001	Barreira do Campo	-9,1761	-50,2108	195
00948000	Miracema do Tocantins	-9,5642	-48,3875	210
00949000	Abreulândia	-9,6244	-49,1553	240
00949001	Dois Irmãos do Tocantins	-9,2572	-49,0642	264
00950002	Cangussu	-9,9703	-49,9936	240
01047000	Jatobá (Faz. Boa Nova)	-9,9906	-47,4786	201
01047001	Novo Acordo	-9,9606	-47,6747	300
01047002	Porto Gilândia	-10,7856	-47,8000	220
01047004	Ponte Alta do Tocantins	-10,7508	-47,5361	300
01048000	Fátima	-10,7636	-48,9022	352
01048001	Paraíso do Tocantins	-10,1653	-48,8906	390
01048005	Taquarussu do Porto	-10,3133	-48,1625	406
01049001	Pium	-10,4411	-49,1792	280
01147001	Natividade	-11,6969	-47,7283	308
01147002	Pindorama do Tocantins	-11,1403	-47,5767	444
01148000	Fazenda Lobeira	-11,5314	-48,2947	243
01149000	Duere	-11,3389	-49,2653	234
01149001	Formoso do Araguaia	-11,7972	-49,5250	247

Tabela 1 – Código, nome, latitude, longitude (graus) e altitude (m) dos postos pluviométricos utilizados.

				(conclusão)
01149002	Gurupi	-11,7372	-49,1361	353
01247005	Fazenda Santa Rita	-12,5850	-47,4867	340
01248001	Colonha	-12,3875	-48,7108	264
01248003	Palmeirópolis	-13,0419	-48,4069	435
01249000	Alvorada	-12,4836	-49,1244	293
01249001	Araguaçu	-12,9311	-49,8294	295
01249002	Projeto rio Formoso	-11,8394	-49,7717	196
01249003	Barreira do Pequi	-12,0986	-49,9475	208
01447000	Alto Paraíso de Goiás	-14,1347	-47,5117	1197

Fonte: Alves, K. C. C. L. F. et al. (2014).

Análise geoestatística

Inicialmente, foi realizada a análise exploratória dos dados, a partir de gráficos de tendência e histogramas de distribuição de frequências para todos os eventos analisados. O primeiro com o objetivo de verificar a existência de tendência no conjunto de dados, e o segundo, se os dados apresentam normalidade. Tais constatações prévias são essenciais para se averiguar a aplicabilidade das técnicas geoestatísticas.

Uma etapa fundamental da análise geoestatística consiste no ajuste do modelo de semivariograma teórico, obtendo-se valores para os parâmetros que estruturam tais modelos (efeito

pepita, contribuição e alcance). Neste estudo, foram avaliados os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano, tendo sido aplicado o método de ajuste dos mínimos quadrados ponderados (MQP).

O modelo esférico é amplamente difundido em aplicações hidrológicas. De acordo com Vieira (2000), nesse modelo são empregados os valores do efeito pepita (C_0) e do patamar (C_0+C_1). Segundo Lamparelli et al. (2001), no modelo esférico, o patamar e o alcance (a) são claramente identificados, e, geralmente, o efeito pepita (C_0) é pequeno em relação a esse patamar. Na equação 1, está apresentado o modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]; 0 < h < a \quad (1)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1; h \geq a \quad (2)$$

em que, $\gamma(h)$ é o valor de semivariância C_1 é a contribuição e h é a distância entre pares de pontos.

Outro modelo com aplicação bastante difundida é o exponencial (MELLO et al.,

2003). Segundo Vieira (2000), neste modelo atinge-se o patamar apenas assintoticamente, de maneira distinta do modelo esférico, no qual esse valor é atingido no valor do alcance. Sua expressão é dada por:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3\frac{h}{a}\right) \right]; 0 < h < a \quad (3)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1; h > a \quad (4)$$

O terceiro modelo ajustado foi o gaussiano. Segundo Vieira (2000), junto à origem, esse modelo apresenta uma curva parabólica, e a tangente, nesse ponto, é horizontal, indicando pequena variabilidade a curtas distâncias. O modelo gaussiano está apresentado na Equação 5:

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-h^2/a^2}) \quad (5)$$

Na estimativa de valores em locais não amostrados, existe certo grau de incerteza, principalmente inerente às hipóteses assumidas ou sobre os parâmetros ajustados. Nesse sentido, a escolha do modelo de semivariograma balizada na qualidade do mapeamento é determinante para a qualidade do estudo. Visando à avaliação do modelo ajustado, uma importante metodologia é a validação cruzada, a qual consiste em estimar os valores da variável em estudo para a exata localização dos pontos amostrados, permitindo, assim, comparar o valor estimado com o real (SANTOS et al., 2011). Essa metodologia foi utilizada para verificar a qualidade do ajuste do semivariograma aos dados experimentais, através do erro médio percentual absoluto (EMPA), possibilitando a identificação do modelo que produziu o menor erro de estimativa, e a ser utilizado

para o mapeamento de cada evento em análise. Procedimento análogo foi adotado em diversos estudos de mesma natureza, com destaque para o trabalho desenvolvido por Mello et al. (2005). O EMPA, em %, foi calculado utilizando a seguinte expressão:

em que, n é o número de postos pluviométricos, Obs_i é a precipitação observada para o posto i e Est_i é a precipitação estimada por krigagem para a posição do posto i .

$$EMPA = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right| \cdot 100 \quad (6)$$

Visando verificar a estrutura de dependência espacial dos modelos de semivariograma ajustados foi calculado o grau de dependência espacial (GD), sendo obtido conforme Cambardella et al. (1994) por:

$$GD = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100 \quad (7)$$

Após a definição do modelo de semivariograma que melhor se ajustou a cada situação, prosseguiu-se à fase de geração de mapas utilizando-se a krigagem ordinária. Foram gerados mapas de superfície para a precipitação média mensal e anual e precipitação máxima média diária anual para a bacia hidrográfica do rio Formoso. Para a confecção dos mapas, adotou-se a

Projeção Cônica de Albers, que, de acordo com Campos et al. (2008), é indicada para trabalhos de análise espacial em diversas áreas, apresentando como principal vantagem a preservação da área. Todos os procedimentos da análise geoestatística e espacialização dos dados foram feitos utilizando o pacote GeoR (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001).

Resultados e Discussão

Análise exploratória dos dados

Na figura 2, apresentam-se os gráficos de tendência e os histogramas de frequência para a precipitação média mensal de janeiro, tidos como representativos dos resultados da análise exploratória dos eventos em análise.

Os gráficos de tendência apresentam boa dispersão dos dados, caracterizando não tendenciosidade. Essa característica é de fundamental importância para aplicação da geoestatística, significando que os semivariogramas ajustados terão boa representatividade da continuidade espacial dos dados (ÁVILA et al., 2009). Para os histogramas de distribuição

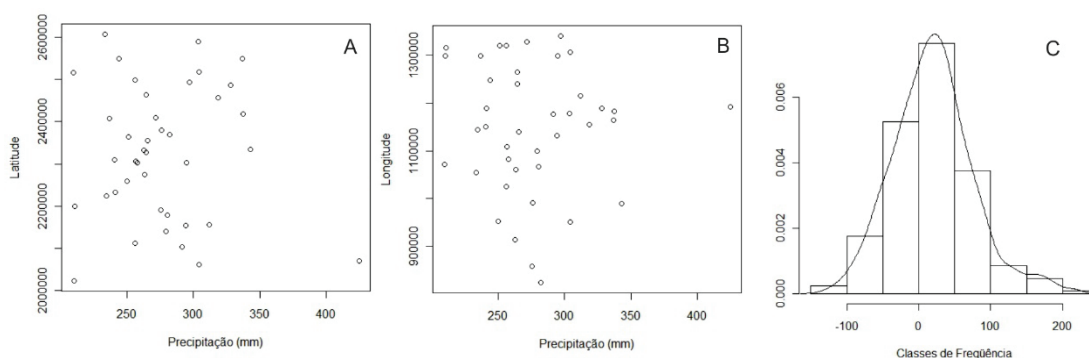
de frequências, pode-se visualizar que os eventos analisados apresentam normalidade. De acordo com Gomes et al. (2007), tais características evidenciam o atendimento às pressuposições requeridas para a aplicação das técnicas geoestatísticas.

Ajuste dos modelos de semivariograma

Apresentam-se na tabela 2, os parâmetros dos modelos de semivariograma (efeito pepita, contribuição e alcance), o erro médio percentual absoluto e o grau de dependência espacial para cada modelo de semivariograma. Na Figura 3, pode-se observar boa aderência dos modelos teóricos ajustados aos semivariogramas experimentais, sobretudo o gaussiano, o que, segundo Santos et al. (2011), mostra que podem ser obtidos resultados satisfatórios no mapeamento dos dados pelas técnicas geoestatísticas, conforme já apontado pela validação cruzada.

O erro médio percentual absoluto (*EMPA*), considerando-se apenas o modelo de semivariograma de melhor desempenho na validação cruzada para cada evento, apresentou valores reduzidos nos meses de novembro

Figura 2 – Gráficos de tendência nas direções norte-sul (A) e leste-oeste (B), e histograma de frequências (C) para os dados de precipitação média mensal de janeiro.



Fonte: Alves, K. C. C. L. F. et al. (2014).

Tabela 2 - Grau de dependência espacial (GD), efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), alcance (A) e erro médio percentual absoluto ($EMPA$) para os modelos de semivariograma exponencial, esférico e gaussiano, ajustados pelo método dos mínimos quadrados ponderados

(continua)

Evento	Modelo	GD (%)	C_0	C_1	A (km)	EMPA (%)
Janeiro	Exponencial	21,62	250,88	69,20	66,05	11,4
Janeiro	Esférico	66,62	595,56	1188,44	144,70	11,2
Janeiro	Gaussiano	52,67	845,63	941,08	74,82	11,3
Fevereiro	Exponencial	43,26	1478,52	1127,49	306,60	12,2
Fevereiro	Esférico	43,09	1248,55	945,36	253,11	12,2
Fevereiro	Gaussiano	34,48	1455,92	766,06	144,55	12,1
Março	Exponencial	72,61	713,14	1890,30	174,09	12,0
Março	Esférico	99,92	1116,03	1391,178	472,48	12,1
Março	Gaussiano	52,94	1112,83	1251,89	170,28	11,9
Abril	Exponencial	100	0	895,62	53,08	15,9
Abril	Esférico	100	0	886,29	153,79	16,8
Abril	Gaussiano	100	0	889,0	72,51	17,5
Maiο	Exponencial	74,38	30,26	87,84	200,15	19,5
Maiο	Esférico	100	0	82,03	40,00	21,4
Maiο	Gaussiano	88,46	10,59	81,19	102,33	20,9
Junho	Exponencial	100	0	3,11	40,01	145,6
Junho	Esférico	100	0	3,28	205,44	139,0
Junho	Gaussiano	63,64	1,44	2,52	214,89	123,5
Julho	Exponencial	30,77	1,17	0,52	211,19	184,6
Julho	Esférico	58,49	0,66	0,93	205,55	167,0
Julho	Gaussiano	19,14	1,31	0,31	215,38	187,5
Agosto	Exponencial	22,42	14,64	4,23	211,07	65,4
Agosto	Esférico	42,60	10,35	7,68	205,50	64,5
Agosto	Gaussiano	100	0	17,80	42,61	61,5
Setembro	Exponencial	68,86	38,73	85,63	210,16	19,1
Setembro	Esférico	77,33	22,91	78,14	205,00	18,9
Setembro	Gaussiano	48,40	58,49	54,87	214,17	19,0
Outubro	Exponencial	65,70	305,85	585,77	205,59	13,7
Outubro	Esférico	54,42	373,42	445,79	429,97	13,6
Outubro	Gaussiano	48,17	418,61	388,99	193,40	13,4
Novembro	Exponencial	68,47	385,86	838,05	107,00	10,5

Tabela 2 - Grau de dependência espacial (GD), efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), alcance (A) e erro médio percentual absoluto ($EMPA$) para os modelos de semivariograma exponencial, esférico e gaussiano, ajustados pelo método dos mínimos quadrados ponderados

(conclusão)						
Novembro	Esférico	68,23	371,05	796,70	223,28	10,7
Novembro	Gaussiano	53,44	549,20	630,24	122,87	10,6
Dezembro	Exponencial	100	0	2339,20	40,06	12,4
Dezembro	Esférico	75	569,47	1708,43	40,00	11,9
Dezembro	Gaussiano	51,39	1133,59	1198,45	72,79	12,3
Anual	Exponencial	71,77	22385,99	56924,32	111,96	11,3
Anual	Esférico	69,68	22852,65	52511,4	237,70	11,1
Anual	Gaussiano	56,42	33120,63	42876,3	126,04	11,0
Máxima diária anual	Exponencial	80,31	16,97	69,20	66,05	9,0
	Esférico	53,32	39,49	45,10	205,15	9,0
	Gaussiano	48,70	43,34	41,15	95,25	8,9

Fonte: Alves, K. C. C. L. F. et al. (2014).

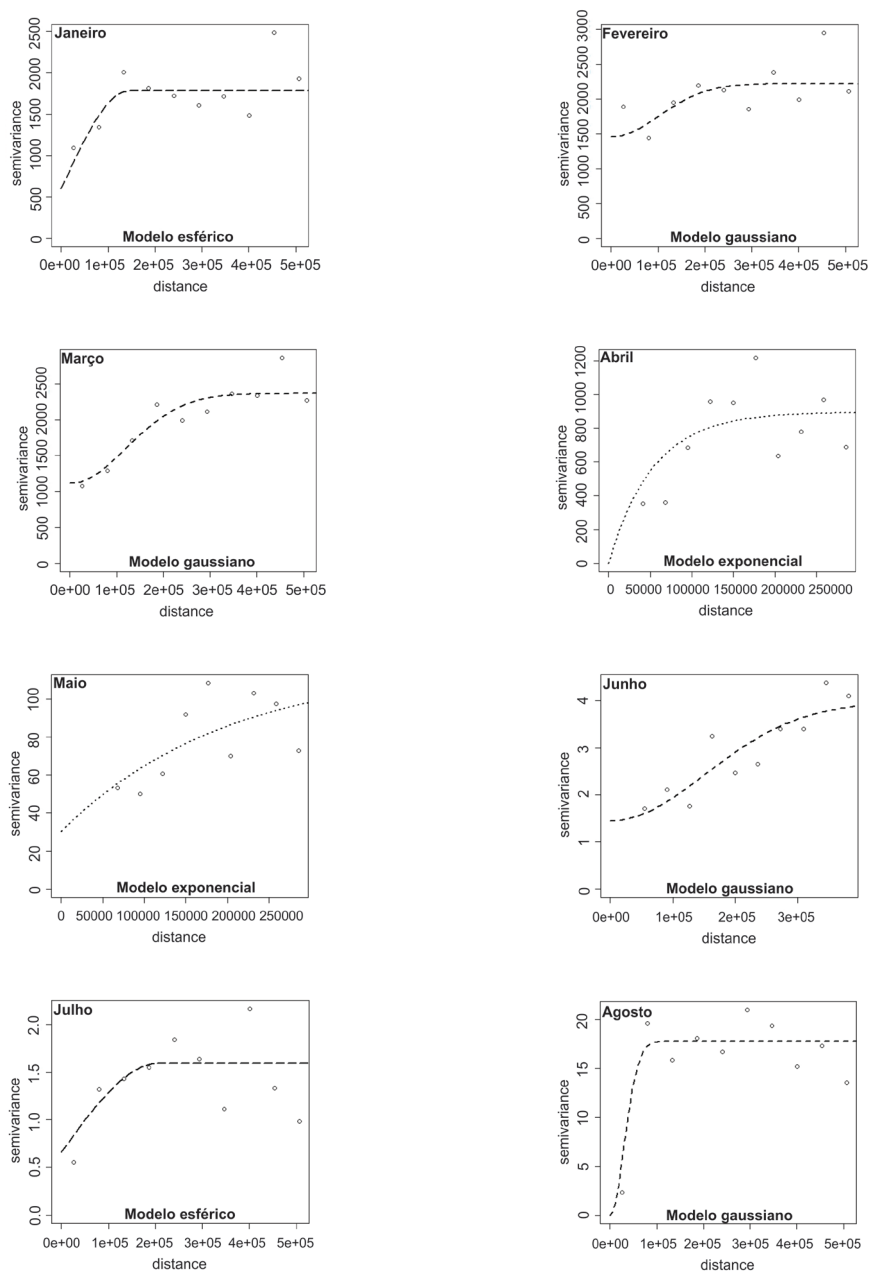
(10,5%), precipitação anual (11%), janeiro (11,2%), dezembro (11,9%), março (11,9%), fevereiro (12,1%) e outubro (13,4%). Em contrapartida, foram encontrados maiores erros nos meses de julho (167,0%), junho (123,5%), agosto (61,5%), maio (19,5%), setembro (18,9%) e abril (15,9%). Já, para a precipitação máxima diária anual, o $EMPA$ foi de 8,9%. Os maiores erros na estação seca (maio a setembro) podem ser atribuídos ao reduzido índice pluviométrico durante essa época do ano, mas que, apresentam alta variabilidade intra-anual, aumentando a variabilidade dentro da série histórica.

A interpretação do erro médio gerado pela validação cruzada revelou menores erros produzidos pelo modelo exponencial em abril, maio e novembro, pelo modelo esférico em janeiro, julho, setembro e dezembro e pelo modelo gaussiano em fevereiro, março, junho, agosto, outubro, anual e precipitação máxima diária anual. A análise do modelo de semivariograma que produziu o menor

$EMPA$ para as 14 variáveis analisadas mostrou melhores resultados do modelo exponencial em 50% das análises, enquanto que para os modelos exponencial e esférico, 21,4% e 28,6%, respectivamente. Contudo, cabe ressaltar que, sobretudo para o período seco, tido como crítico para análise espacial, a análise do modelo de semivariograma para proceder o mapeamento é primordial, visando-se selecionar o modelo que produz melhor acurácia. Silva et al. (2010) aplicaram os modelos gaussiano e exponencial para modelar a continuidade espacial da erosividade mensal e anual no leste de Minas Gerais (bacia do Rio Doce) e obtiveram adequado desempenho de ambos, porém, com superioridade do modelo gaussiano.

É fundamental discutir o comportamento do alcance do semivariograma, visto que, na região Norte do Brasil, predominam eventos convectivos (REBOITA et al., 2010), de maior variabilidade natural. O mês de

Figura 3 - Modelos de semivariograma ajustados para a precipitação de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K), dezembro (L), precipitação anual (M) e máxima diária anual (N).



Fonte: Alves, K. C. C. L. F. et al. (2014).

Figura 3 - Modelos de semivariograma ajustados para a precipitação de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K), dezembro (L), precipitação anual (M) e máxima diária anual (N).

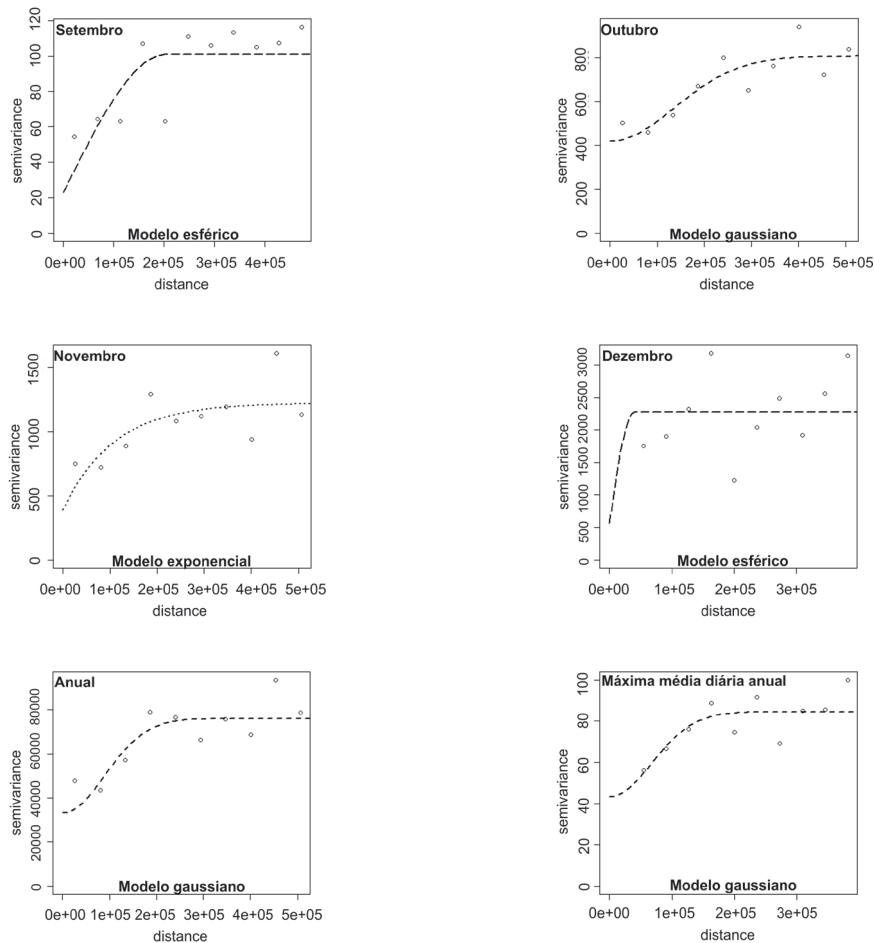
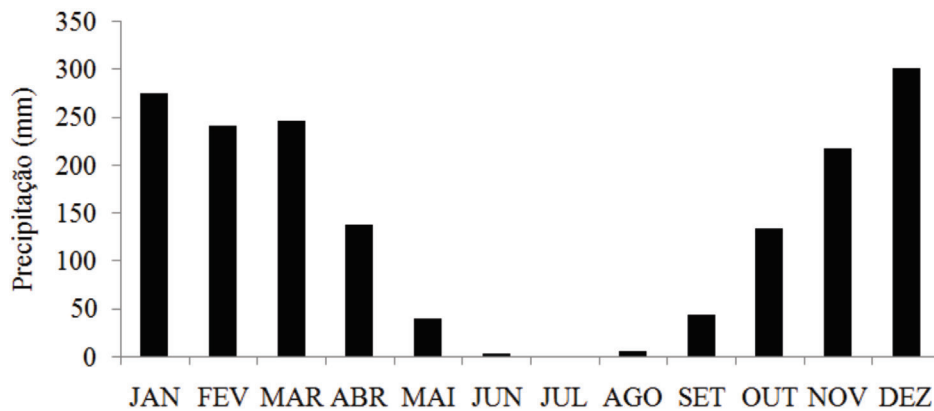


Figura 4 - Precipitação média mensal na bacia hidrográfica do rio Formoso no período de 1985 a 2009, obtida por krigagem.



Fonte: Alves, K. C. C. L. F. et al. (2014).

ALVES, K. C. C. L. F. et al

dezembro representa o período crítico com relação à dependência espacial da precipitação na bacia do rio Formoso, com alcance de 40 km. Isso indica ser necessária uma densidade de postos pluviométricos de um posto para cada 1257 km², muito aquém da densidade encontrada na bacia, que é de 1 posto a cada 4266 km², muito embora essa densidade esteja dentro da recomendação da Organização Meteorológica Mundial, que é de 1 posto para cada 17.000 km² (PINTO, 1995). Dessa maneira, para a adequada estruturação de dependência espacial na bacia hidrográfica do rio Formoso, pode-se recomendar uma maior densidade da rede de monitoramento, sugerindo-se, como referência, uma distância máxima entre postos pluviométricos de 40 km.

A classificação do grau de dependência espacial, de acordo com Robertson (1998) é dada por: $\leq 25\%$ como fraco, entre 25 e 75% moderado e $\geq 75\%$ como forte. Em relação ao grau de dependência espacial dos modelos analisados, observou-se que 71,43% dos ajustes apresentaram grau de dependência espacial moderado, enquanto que 28,57% apresentaram forte estrutura de dependência espacial.

Precipitação média na bacia

Na figura 4, está apresentada a precipitação média mensal na bacia hidrográfica do rio Formoso, obtida por krigagem, tendo sido a precipitação média anual de 1579,6 mm. Com base nessa figura, fica nítida a sazonalidade do regime pluvial, e pode-se delimitar o período chuvoso, de outubro a abril, e o período seco, de maio a setembro.

O período chuvoso é bastante intenso na bacia, e concentra, durante 7 meses, cerca de 94,2% da precipitação anual. A precipitação média mensal apresentou as maiores precipitações nos meses de

dezembro e janeiro, com 300,4 mm e 275 mm, respectivamente. Por outro lado, observou-se que os meses de outubro e abril foram os que apresentaram menor precipitação durante o período chuvoso, da ordem de 130 mm. Nos demais meses do período chuvoso as precipitações médias ficaram acima dos 215 mm.

Durante o período de estiagem, os meses de junho, julho e agosto foram os mais secos, com precipitação média inferior a 6 mm. Nos demais meses do período seco (maio e setembro), verificaram-se precipitações da ordem de 40mm. Fica evidenciada a severidade do déficit hídrico na bacia do rio Formoso entre maio e setembro (período de estiagem), no qual, em média, ocorre 5,8% da precipitação anual.

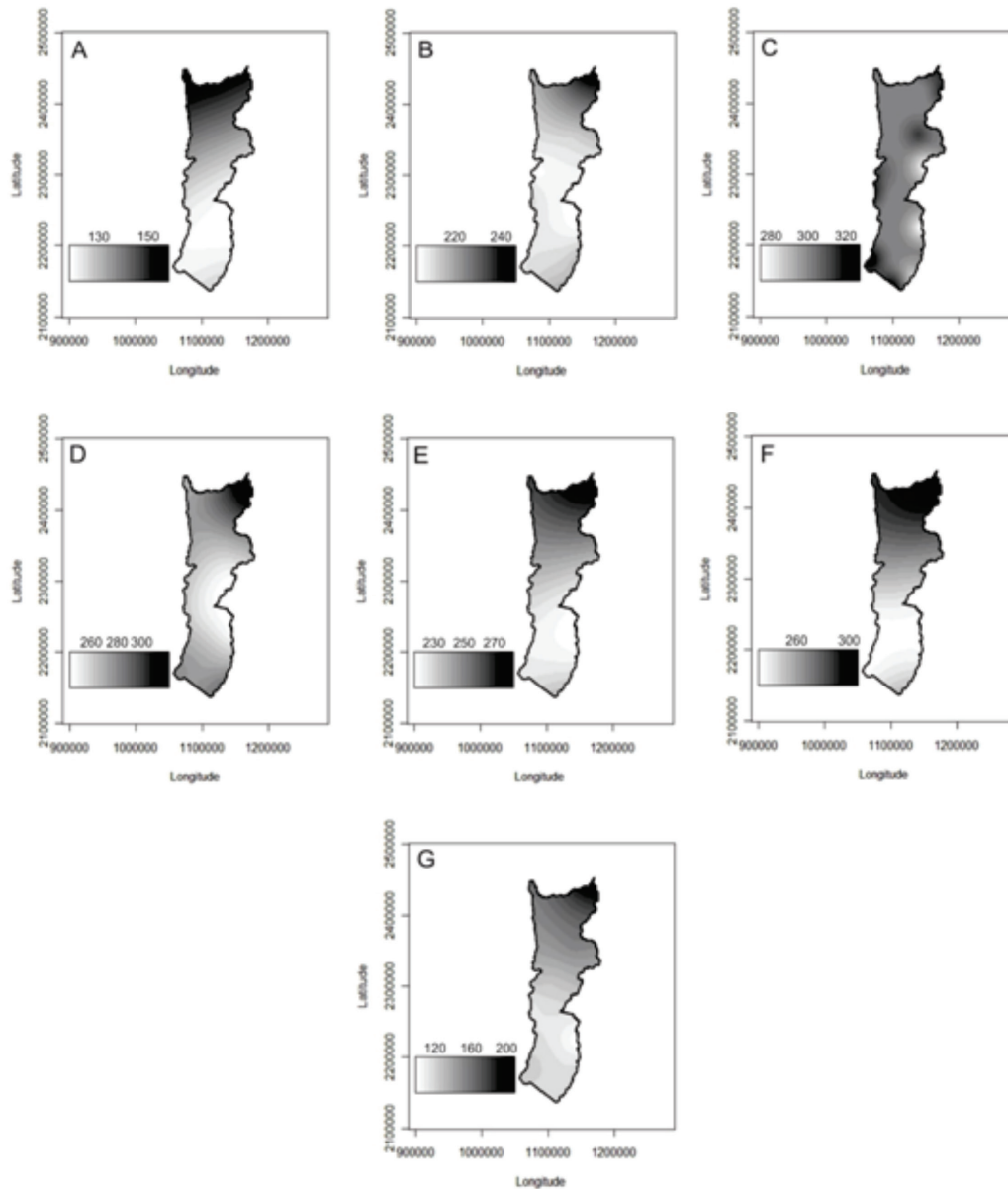
Mapeamento da precipitação média mensal e anual na bacia do rio Formoso

Na figura 5, estão apresentados os mapas de precipitação média mensal para a bacia do rio Formoso durante a estação chuvosa.

No início dessa estação, em outubro, ocorrem precipitações médias de até 150 mm, na porção noroeste da bacia, nas proximidades da confluência do rio Formoso com o rio Araguaia. Em novembro, observa-se uma região de maior índice pluviométrico na porção nordeste da bacia, com precipitação média superior a 240 mm. Em dezembro, o período chuvoso atinge seu ápice, com precipitação superior a 280 mm por toda a bacia do rio Formoso. A partir de janeiro, e se estendendo até o final do período chuvoso, a região nordeste da bacia apresenta as maiores precipitações, ao passo que as regiões central e sul apresentam precipitações consideravelmente menores.

Cabe mencionar que o mês de maior índice pluviométrico (dezembro) é seguido

Figura 5 - Mapas de precipitação média mensal para os meses do período chuvoso, obtidos por krigagem, para a bacia hidrográfica do rio Formoso, sendo: outubro (A), novembro (B), dezembro (C), janeiro (D), fevereiro (E), março (F) e abril (G).



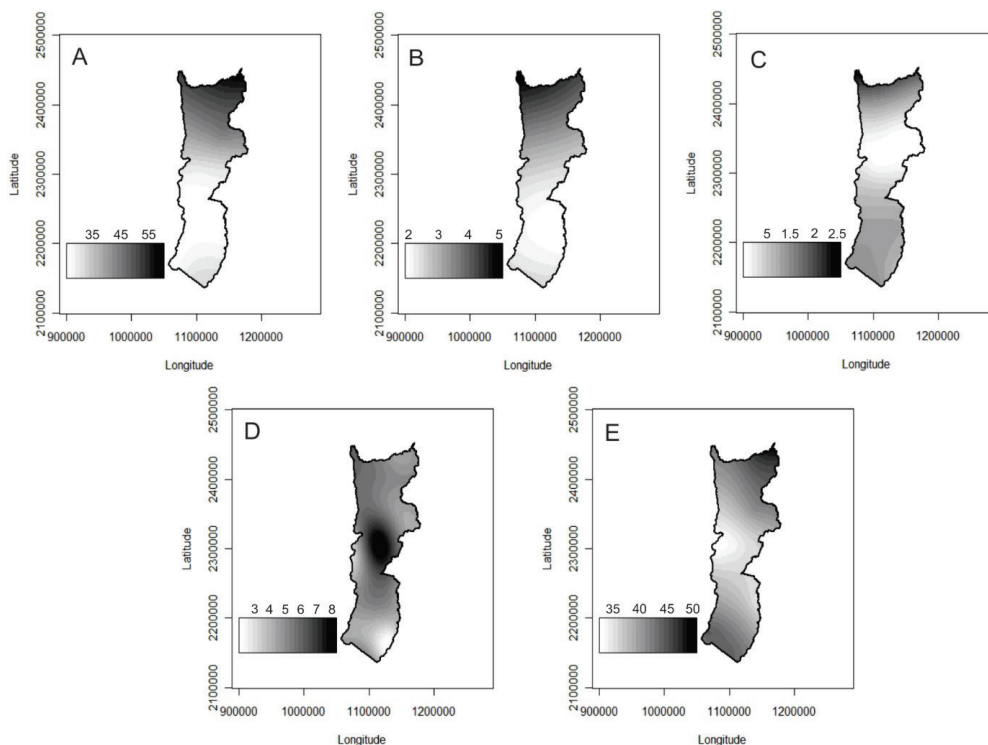
Fonte: Alves, K. C. C. L. F. et al. (2014).

por três meses (janeiro, fevereiro e março) nos quais a precipitação é alta (superior a 260 mm, 220 mm e 240 mm, respectivamente), podendo se considerar esse período de quatro meses como o auge do período chuvoso. A intensificação do regime pluvial durante essa época do ano é resultado da formação de linhas de instabilidade, que promovem a formação de centros convectivos de meso-escala (CCM) na região durante o verão (MARENGO; NOBRE, 2009; MELO et al., 2009; REBOITA et al., 2010; VIOLA et al., 2014). O mês de abril marca o fim da estação chuvosa na bacia do rio Formoso, com precipitação média mensal oscilando

entre 120 e 200 mm. Na figura 6, estão apresentados os mapas de precipitação média mensal durante o período de estiagem, que se estende de maio a setembro.

Pode-se observar que a bacia enfrenta um período de déficit hídrico crítico durante esse período. Nos meses de maio e setembro, algumas regiões apresentam precipitação média da ordem de 50 mm, entretanto a maior parte da bacia aparece com média abaixo de 30 mm para o mesmo período. Esta é uma característica marcante do bioma Cerrado, ou seja, um período seco no qual a atuação do anticiclone do Atlântico Sul (ASAS) ganha força, impedindo o transporte

Figura 6 - Mapas de precipitação média mensal, para os meses do período seco obtidos por krigagem, para a bacia hidrográfica do rio Formoso, sendo: maio (A), junho (B), julho (C), agosto (D) e setembro (E).



Fonte: Alves, K. C. C. L. F. et al. (2014).

de umidade atmosférica proveniente da região amazônica (REBOITA et al., 2010; VIOLA et al., 2014). Nesses meses, são verificadas, na bacia do rio Formoso, precipitações médias mensais variando de 2 a 5 mm (junho), 1 a 2,5 mm (julho) e 3 a 8 mm (agosto). Como consequência direta dos baixos índices pluviométricos na época de estiagem, ocorre, no mesmo período, reduzida disponibilidade hídrica superficial na bacia do rio Formoso. Nesse sentido, o desenvolvimento de estudos sobre o regime hidro-climatológico do rio Formoso é essencial para subsidiar a elaboração de estratégias de mitigação dos crescentes conflitos pelo uso da água na região do Projeto de Irrigação Rio Formoso.

Na figura 7A, está apresentado o mapa de precipitação média anual na bacia do rio Formoso. De modo geral, pode-se verificar que as precipitações médias anuais variam de 1.500 a 1.900 mm, com os maiores valores ocorrendo no extremo nordeste da bacia. Pode-se notar, ainda, a ocorrência de um gradiente crescente nas direções norte e sul, partindo-se da região centro-sul da bacia, sendo alcançadas precipitações de 1.900 mm

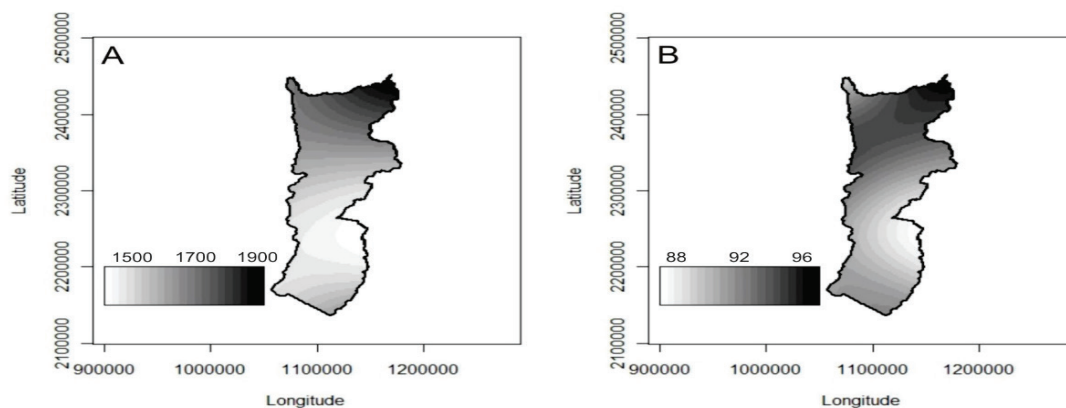
ao norte e 1.600 mm ao sul. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Viola et al. (2014), em estudo sobre o potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins.

A partir desses resultados, observa-se que, em comparação a outras regiões do Brasil, ocorrem precipitações médias anuais bastante expressivas na bacia do rio Formoso. Entretanto, as variabilidades sazonal e espacial apresentam-se como características limitantes ao aproveitamento do regime pluvial, e estão relacionadas com a grande extensão territorial do Estado do Tocantins, que abrange diferentes biomas e áreas de tensão ecológica sob distintas condições climáticas e influência de diferentes mecanismos atmosféricos determinantes para o regime pluvial (TOCANTINS, 2012b).

Mapeamento da precipitação máxima diária anual na bacia do rio Formoso

Na figura 7B, está apresentado o mapa de precipitação máxima diária anual para a bacia do rio Formoso. Para Tucci (2001), a precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com duração,

Figura 7 - Mapa de precipitação média anual (A) e precipitação máxima média diária anual (B), obtidos por krigagem, para a bacia hidrográfica do rio Formoso - TO.



Fonte: Alves, K. C. C. L. F. et al. (2014).

distribuição temporal e espacial críticas para uma área ou bacia hidrográfica. Assim, o reconhecimento do padrão espacial desta variável hidrológica é essencial para se caracterizar o padrão de ocorrência das chuvas intensas e, conseqüentemente, da erosividade das chuvas, possibilitando o planejamento adequado do uso do solo. Devido à importância do estudo da precipitação máxima e de sua relação com a caracterização de chuvas intensas, diversos estudos vêm sendo produzidos, no intuito de gerar informações regionalizadas. Na literatura, os mais recentes são os de Silva et al. (2002, 2003) para os Estados da Bahia e Tocantins, Mello et al. (2003) e Mello e Viola (2013) para o Estado de Minas Gerais e Oliveira et al. (2005, 2008) para o Estado de Goiás e Distrito Federal.

A partir do mapa de distribuição espacial da precipitação máxima diária anual da bacia do rio Formoso (Figura 7B) verificou-se valores entre 88 mm e 96 mm. Contudo, é possível constatar que a região nordeste concentra as maiores precipitações diárias (96 mm), e conseqüentemente, as maiores intensidades médias diárias. A identificação dessas regiões críticas é essencial para a gestão de recursos hídricos (OLIVEIRA et al., 2014; THEBALDI, 2012; HARTMANN et al., 2011; MELLO; VIOLA, 2013; VIOLA et al., 2014), devido à elevada erosividade das chuvas e propensão à produção de escoamento superficial direto, devendo-se priorizá-las para a aplicação de políticas que incentivem a adoção de práticas conservacionistas, com o objetivo de evitar a ocorrência de processos erosivos, tais como o plantio direto, terraceamento, construção de bacias de infiltração, entre outros.

Conclusões

A sazonalidade do regime pluvial para a bacia do rio Formoso apresenta dois períodos bem definidos: um chuvoso, de outubro a abril, e um período seco, de maio a setembro.

Verificou-se considerável variabilidade espacial e temporal da precipitação média mensal na região, com valores variando entre 120 e 320 mm ao longo do período chuvoso, e de 1 a 55 mm no decorrer do período de estiagem, sendo observadas as maiores precipitações ao norte da bacia.

A análise do padrão temporal do regime pluvial evidenciou que, na estação chuvosa, ocorre 94,2% da precipitação anual, com o auge do período chuvoso nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. A estiagem, por sua vez, representa um período de déficit hídrico crítico, com ocorrência média de 5,8% da precipitação anual num período de 5 meses.

As maiores precipitações máximas diárias anuais ocorrem na região nordeste da bacia hidrográfica do rio Formoso, podendo indicá-la como prioritária para a aplicação de práticas de conservação dos solos, no intuito de evitar os efeitos adversos decorrentes da erosão hídrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização de séries hidrológicas e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

Referências

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, (Suplemento), p.906–915, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000700013>.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 332p.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.

CAMPOS, S. R. S.; CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MARTINHAGO, A. Z.; VEIGA, R. D.; LIMA, R. B. Banco de dados. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. (Ed.). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais**. Lavras-MG: Universidade Federal de Lavras, 2008. p.43-72.

CASTRO, L. L. F.; SCARDUA, J. A. **Estimativa da necessidade potencial de irrigação para o Estado do Espírito Santo**. Vitória – ES: EMCAPA, 1985. 87p. (Documentos, 22).

GOMES, N. M.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; FARIA, M. A.; OLIVEIRA, P. M. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.31, n.3, p.435-443, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000300003>.

HARTMANN, M.; MOALA, F. A.; MENDONÇA, M. A. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.26, n.4, p.561-568, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000400006>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa populacional 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/estimativa_dou.shtm. Acesso em: 10 jun. 2014.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. Clima da região amazônica. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F.; JUSTI, M. G. A. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.198-212.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.925-933, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500017>.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.537-545, 2007. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>>.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.37, n.1, p.37-44, 2013. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000100004>>.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.2, p.532-539, 2008. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000200029>>.

MELLO, J. M. **Geostatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.

MELLO, J. M.; BATISTA, J. L. F.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; OLIVEIRA, M. S. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.69, p.25-37, 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr69/cap02.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2014.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. Zona de convergência intertropical do atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F.; JUSTI, M. G. A. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.26-41.

MELO JÚNIOR, J. C. F.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B. G.; MINUSI, R. B. Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.417-425, 2006. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000200024>>.

OLIVEIRA, A. S.; MELLO, C. R.; FRANCO, C. S.; MARQUES, R. F. P. V.; SILVA, A. M. Aplicabilidade da distribuição GEV ao estudo da precipitação máxima diária anual na região sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.6, n.1, p.31-44, 2014. Disponível em: <<http://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/523/550>>. Acesso em: 23 set. 2014.

OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A.; FIOREZE, A. P.; SILVA, M. A. S. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.620-625, 2008. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000600008>>.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. P.; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n.1, p.13-18, 2005. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/2277>>. Acesso em: 24 set. 2014.

PINTO, F. A. **Chuvas intensas no estado de Minas Gerais: análises e modelos.** 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.25, n.2, p.185-204, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v25n2/a04v25n2.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2014.

REIS, M. H.; GRIEBELER, N. P.; SARMENTO, P. H. L.; OLIVEIRA, L. F. C.; OLIVEIRA, J. M. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no Estado de Goiás e Distrito Federal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 229-236.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. P. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R – News**, Rochester, v.1, n.2, p.15-18, 2001. Disponível em: <https://geodacenter.asu.edu/system/files/rnews1.2.15-18_0.pdf>. Acesso em: 19 maio 2014.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: Geostatistics for the environmental sciences. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 162p.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVIERA, L. F. C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite - GO. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.78-89, 2011. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000100008>>.

SILVA, D. D.; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.362-367, 2002. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200030>>.

SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v.11, n.1-4, p.7-14, 2003.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas para o Estado do Espírito Santo, Brasil. **Irriga**, Botucatu, v.15, n.3, p.312-323, 2010. Disponível em: <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/125/72>>. Acesso em: 19 set. 2014.

THEBALDI, M. S. Análise estatística da precipitação máxima diária anual da cidade de Uberaba e vazão mínima diária anual do Rio Uberaba. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.4, n.3, p.1-10, 2012. Disponível em: <<http://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/470/440>>. Acesso em: 23 set. 2014.

TOCANTINS. Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Plano de Bacia Hidrográfica do rio Formoso – PBH rio Formoso, no Estado do Tocantins:** Relatório Síntese. Palmas: SRHMA, 2007. 70 p. Disponível em: <central2.to.gov.br/arquivo/31/213>. Acesso em: 22 mar. 2013.

_____. Secretaria de Recursos da Infra Estrutura. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do Tocantins**: Relatório Síntese. Palmas: SEINF, 2009. 251p. Disponível em: <central2.to.gov.br/arquivo/31/846>. Acesso em: 29 set. 2014.

_____. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Base de Dados Geográficos do Tocantins**. versão 2012. Palmas: SEPLAN, 2012a. Disponível em: <http://www.seplan.to.gov.br/Portal/governo/geo/bases-vetoriais>. Acesso em: 11 abr. 2013.

_____. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. 6. ed. Palmas: SEPLAN/DZE, 2012b. 80p. Disponível em: <http://www.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/Atlas_do_Tocantins_2012_portugues.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2013.

TUCCI, C. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande Sul, 2001. 943p.

VERGARA, F. E.; REIS, F. C.; MAGALHÃES FILHO, L. N. L.; REZENDE, C. S. A. Proposta de vazão de referência Q_{90} para o rio Formoso na bacia do Araguaia. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.10, n.1, p.84-102, 2013. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=998>. Acesso em: 3 ago. 2014.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.

VIEIRA, S. R.; CARVALHO, J. R. P. **Estudo da periodicidade temporal de chuvas em bacia hidrográfica dos Rios Turvo/Grande - uma proposta**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2001. 17p. (Documentos, 4). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/8321/1/DOCUMENTO4int.pdf>. Acesso em: 14 maio de 2014.

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, S. O.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.2, p.125-135, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014000200007>.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.9, p.970-978, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000900009>.