

COMPORTAMENTO PLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANUEL ALVES DA NATIVIDADE

Pedro Henrique Haddad Araujo¹, Virgílio Lourenço da Silva Neto², Tamara Thalia Prolo³, Pietro Lopes Rego⁴, Otacilio Silveira Júnior⁵, Ezequiel Lopes do Carmo⁶

¹Engenheiro Agrônomo - IFTO. E-mail: <p-haddad@hotmail.com>

²MSc. em Ciências Florestais, professor do curso técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio/Bacharelado em Engenharia Agrônoma-IFTO. E-mail: <virgilio.neto@ifto.edu.br>

³Discente do curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma Campus Dianópolis/IFTO. Bolsista do PIBIC/IFTO e-mail: <thaliprolo5@gmail.com>

⁴MSc. em Ciências Florestais, professor do curso técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio/Bacharelado em Engenharia Agrônoma-IFTO. E-mail: <pietro.rego@ifto.edu.br>

⁵Dr. em Ciência Animal Tropical pela Universidade Federal do Tocantins, Técnico de Laboratório/Área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. E-mail: <otacilio.junior@ifto.edu.br>

⁶ Dr. em Agronomia (Energia na Agricultura), professor do curso técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio/Bacharelado em Engenharia Agrônoma-IFTO. E-mail: <ezequiel.carmo@ifto.edu.br>

Resumo: O principal aporte de água no sistema hidrológico se dá por meio de eventos pluviométricos, esse por sua vez, sendo de extrema necessidade ser mapeado, pois dentro de uma bacia hidrográfica ocorrem variações tanto no tempo quanto no espaço, e a principal ferramenta de mapeamento é a geoestatística. A bacia Hidrográfica do rio Manuel Alves da Natividade desempenha um grande papel econômico na região, pois nela está inserido o Perímetro Irrigado Manuel Alves, além de abastecer diversos empreendimentos hidroelétricos e demais atividades agropecuárias da região. Dessa forma, neste presente trabalho objetivou-se mapear a precipitação anual da bacia, a partir de séries históricas com média de 29 anos, entre 1984 a 2013, obtidas de 25 estações pluviométricas do banco de dados da Agência Nacional das Águas – ANA, totalizando 738 anos, com o auxílio de técnicas geoestatísticas. Foram avaliados os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano, ajustados pelo método dos mínimos quadrados ponderados, sendo que o modelo utilizado no mapeamento por krigagem ordinária foi o que apresentou o menor erro médio indicado pela validação cruzada. Embora os modelos esférico e exponencial apresentassem pequenos erros o modelo de semivariograma que melhor representou foi o modelo gaussiano, onde foi constatado bom desempenho das técnicas geoestatísticas no mapeamento da precipitação anual indicado pelos pequenos erros encontrados.

Palavras-chave: geoestatística, hidrologia, krigagem, pluviosidade.

1 INTRODUÇÃO

Para desenvolvimento das atividades bioquímicas dos seres vivos, em especial ao ser humano, a água se constitui o principal recurso indispensável para sua sobrevivência. A principal forma de entrada da água no sistema hidrológico se dá por meio de eventos pluviométricos (MELLO e VIOLA, 2013).

As chuvas, entretanto, devido a diversos fatores como o volume da precipitação, sua intensidade (onde colige em consideração o volume que foi precipitado pela sua duração e frequência), o regime sazonal (distribuição temporal das chuvas, podendo ser avaliados, diariamente, mensalmente ou anualmente), e a área da bacia (levando em consideração a topografia, vegetação), contribuem para que dentro de uma bacia hidrográfica ocorra variações tanto temporais como espaciais.

É de suma importância a compreensão da dinâmica climática predominante na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade, bem como a distribuição da precipitação

pluviométrica no tempo e no espaço, para fornecer subsídios para o planejamento e gestão dos recursos hídricos dessa bacia (TOCANTINS 2012).

O objetivo deste estudo consistiu em mapear a precipitação anual na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves de Natividade, a partir de séries históricas com média de 29 anos, entre 1984 a 2013, obtidas de 25 estações pluviométricas do banco de dados da Agência Nacional das Águas – ANA, com o auxílio de técnicas geoestatísticas e o método do inverso da potência da distância, com diferentes expoentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A água é o recurso natural indispensável para a sobrevivência da vida no planeta, sendo de fundamental importância na constituição de ecossistemas. É importante em formações hídricas atmosféricas, influenciando o clima das regiões. Estima-se que aproximadamente 75% da constituição do ser humano é água (CATI; SAA, 2013; DRUGOWICH, 2014).

O ciclo hidrológico é caracterizado pelo movimento e troca de água nos seus diferentes estados físicos, que ocorre na hidrosfera, tendo início com a evaporação das águas de corpos hídricos (como mares, oceanos, rios, lagos), o vapor então é transportado através do movimento de massas de ar, na atmosfera, graças às condições locais, o vapor é condensado, desenvolvendo nuvens, que ao sofrer incidência solar, causam assim as chuvas. Parte da água precipitada fica dispersa no solo, que retorna à atmosfera por meio de evaporação ou evapotranspiração de plantas (TUCCI, 2009). Outra parte é escoada pela superfície do solo para rios ou adentrar nos lençóis. Dentre as variáveis dentro do ciclo hidrológico, temos a precipitação, como sendo um dos principais aportes de entrada da água no ciclo (MARCUSO; GOULART, 2013).

A precipitação é entendida como toda forma de água presente na atmosfera que atinge a superfície terrestre. Ela se manifesta de diversas formas, como neblina, chuva, orvalho, saraiva, neve, geadas ou até mesmo granizo, diferenciando apenas em seu estado físico (TUCCI, 2009). A precipitação representa o elo entre os demais fenômenos hidrológicos e fenômeno do escoamento superficial. As precipitações são classificadas da forma como a parcela de ar se eleva e atinge a saturação existem três tipos de chuva, as convectivas, as ciclônicas e as orográficas (TUCCI, 2009).

Através do desenvolvimento e expansão do Sistema de Informações Geográficas (SIG) a caracterização da variabilidade espacial e temporal é possível, podendo caracterizar grandes extensões territoriais. Nesse contexto, constitui como uma demanda atual, o estudo de diferentes métodos de interpolação espacial de dados no que se refere à precipitação, buscando fundamentar técnicas de elaboração de mapas, como os de gestão de recursos hídricos e simulações hidrológicas, para que eles tenham o máximo de acurácia possível, nesse âmbito surge a geoestatística (CECÍLIO; PRUSKI, 2003; JUNQUEIRA JÚNIOR et al., 2008; SOUZA et al., 2005).

A geoestatística é uma ferramenta matemática utilizada para caracterização da dispersão espacial das grandezas que definem, por exemplo, a quantidade e a qualidade de recursos naturais ou de outros recursos espaciais em que os atributos manifestem uma estrutura de espaço ou no tempo. A geoestatística não remete a dados de fins geológicos, mas a dados geoposicionados, ou seja, a fenômenos naturais que possui variabilidade no espaço e apresentam uma correlação, nesse âmbito, a geoestatística busca realizar uma leitura da fórmula matemática que mapeia tal dependência espacial (CARVALHO et al., 2002; CARVALHO et al., 2005; CARVALHO; ASSAD, 2002; CARVALHO; ASSAD, 2005).

Nesse contexto, a geoestatística se difere da estatística convencional pelo fato de considerar que os valores de uma variável estão de alguma forma relacionada à sua distribuição espacial, ou seja, observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores, e por levar em consideração o comportamento espacial das variáveis apresenta grande potencial de aplicação nas geociências e ciências agrárias. Na geoestatística, os eventos naturais são interligados formando uma distribuição espacial, desta forma, se deixa uma assinatura que a geoestatística busca capturar por meio de regras matemáticas a fim de mapear a dependência espacial. Entretanto, esses eventos não podem apenas serem descritos por simples modelos matemáticos, nesse contexto, novos modelos são propostos para sanar falhas em sistemas matemáticos simples (CARVALHO et al., 2002; CARVALHO; ASSAD, 2002; CARVALHO et al., 2005; CARVALHO; ASSAD, 2005).

Entre os modelos, temos a krigagem ordinária como sendo um método geoestatístico caracterizado pela interpolação de dados, amplamente utilizado em estudos de distribuição espacial de precipitações pluviométricas. O que o diferencia de outros métodos é a correlação espacial entre as observações próximas para então prognosticar estimações em locais não amostrados a krigagem também fornece estimadores apropriados com propriedades de não tendenciosidade e eficiência (CARVALHO et al., 2002; CARVALHO; ASSAD, 2002; CARVALHO et al., 2005; CARVALHO; ASSAD, 2005).

A geoestatística é considerada como um modelo probabilístico, onde explora a aparente aleatoriedade dos dados, para estimarem-se as medidas de correlação espacial dos mesmos, considerando uma determinada vizinhança (STURARO, 2000). Para isso, surge o variograma, que é uma ferramenta básica para suporte da técnica de krigagem, onde permite representar quantitativamente a variação do fenômeno a ser realizado a geoestatística (LANDIM; STURARO; 2002; LANDIM, 2003; LANDIM, 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves, pertence ao Sistema Hidrográfico do rio Tocantins, correspondendo à unidade T5 (quinta unidade do sistema hidrográfico do Rio Tocantins), com uma área de drenagem de 14.894,7 km², contemplando 11 municípios, que abrangem uma área de aproximadamente 22.576 km² (SILVA NETO et al., 2016).

Para a realização deste estudo foram utilizados dados anuais de precipitação pluvial do período entre 1984 a 2013, das estações meteorológicas distribuídas espacialmente na Bacia Hidrográfica do Manuel Alves de Natividade e seu entorno (Figura 1), isso se deve ao fato de se encontrar poucas informações referentes à pluviosidade na região, devendo ser complementado com informações pluviométricas da região próxima. A utilização de séries hidrológicas das proximidades da bacia visa melhorar o mapeamento na região de contorno, e também, para a adequada representação da estrutura de dependência espacial da variável (ALVES et al., 2016).

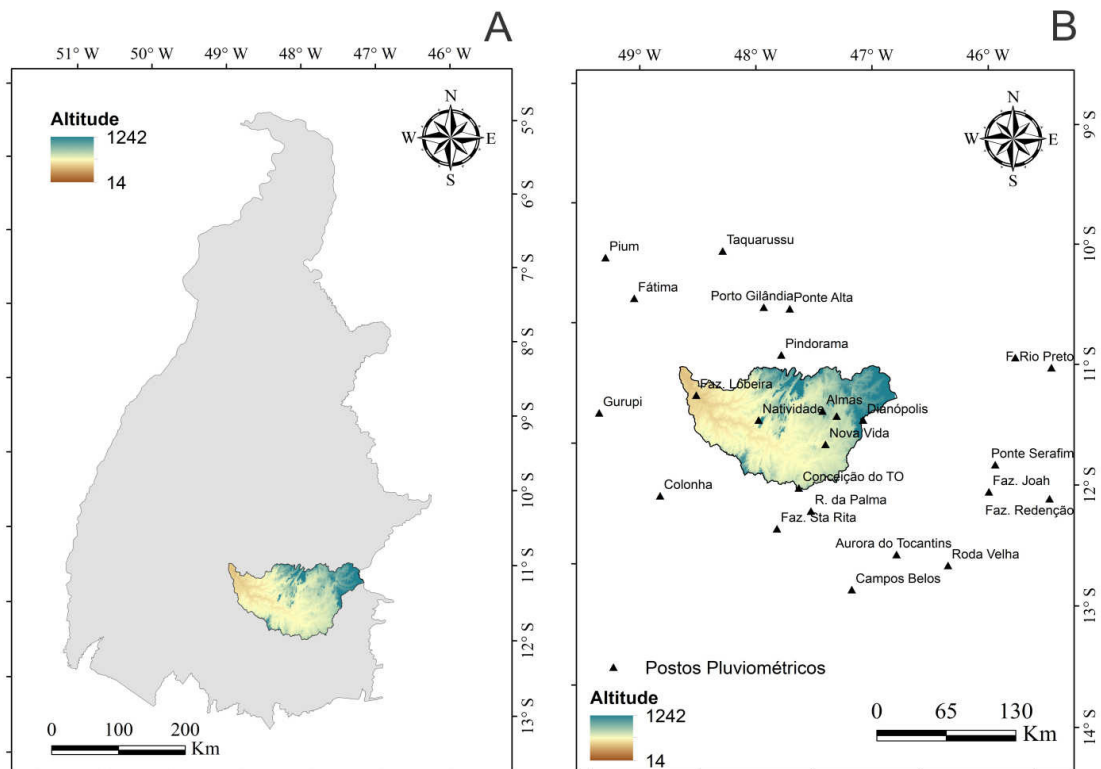


Figura 1- Localização da Bacia Manuel Alves (A) com os postos pluviométricos utilizados neste estudo (B)

Segundo Souza (2016 *apud* SILVA NETO et al., 2017) as regiões climáticas homogêneas, segundo a classificação de Thornthwaite para a região Sudeste do Estado do Tocantins, onde se localiza a bacia do Rio Manuel Alves da Natividade, são: I - C2wA'a '- clima sub-úmido megatérmico, com deficiência moderada de água no inverno; II - B1wA'a '- clima úmido megatérmico, com deficiência moderada de água no inverno.

A Tabela 1 dispõem de informações das estações meteorológicas com seus nomes, código da estação, localização, altitude, e séries históricas. Os dados pluviométricos foram obtidos junto ao Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (Hidroweb-ANA), estabelecendo uma série histórica de 738 anos.

Tabela 1 - Postos pluviométricos trabalhados no presente estudo

Estações	Cód. da estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Série histórica (anos)
Almas	1147000,00	1358202,72	2311314,86	427	27
Aurora do Tocantins	1246001,00	1427429,05	2175344,85	464	28
Campos Belos	1346004,00	1385629,74	2142011,34	638	29
Conceição do TO	1247000,00	1336076,13	2238451,47	407	27
Colonha	1248001,00	1206424,44	2231064,94	264	30
Dianópolis	1146000,00	1396118,42	2302749,00	679	28
Fátima	1048000,00	1182324,76	2418170,59	352	30
Fazenda Bom Jardim	1145004,00	1538492,19	2361948,84	451	31
Fazenda Joah	1245014,00	1513832,55	2234780,69	725	30
Fazenda Lobeira	1148000,00	1240182,48	2326319,80	243	30
Fazenda Redenção	1245004,00	1570493,63	2228247,61	490	33
Formosa do Rio Preto	1145001,00	1572299,66	2352395,08	489	27
Fazenda Sta Rita	1247005,00	1315686,78	2199780,34	340	30
Gurupi	1149002,00	1149515,33	2309600,13	353	32
Natividade	1147001,00	1298539,36	2302793,78	308	30
Nova Vida	1145014,00	1361017,86	2279811,70	458	23
Pindorama	1147002,00	1319733,77	2364576,88	444	32
Pium	1049001,00	1155476,20	2456780,93	280	32
Ponte Alta	1047004,00	1327673,33	2408294,66	300	30
Ponte Serafim	1145013,00	1519710,38	2260496,66	713	32
Porto Alegre-TO	1147003,00	1371516,77	2306626,30	372	31
Porto Gilândia	1047002,00	1303334,84	2409772,06	220	29
Rio da Palma	1247002,00	1347424,85	2216528,73	322	30
Roda Velha	1245015,00	1475551,48	2165041,35	761	28
Taquarussu	1048005,00	1264961,41	2463092,05	406	29

Fonte: autores.

Para análise, foi utilizado 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. Nas Equações 1, 2 e 3 estão apresentados os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano, respectivamente.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right), \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; \text{ se } h \geq a \quad (1)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left(1 - \exp \left(-\frac{3 \cdot h}{a} \right) \right), \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; \text{ se } h > a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left(1 - \exp \left(-3 \cdot \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right), \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; \text{ se } h > a \quad (3)$$

Sendo, $\gamma(h)$ a semivariância, C_1 a contribuição do semivariograma (diferença entre o patamar e o efeito pepita), a o alcance, C_0 o efeito pepita e h a distância entre os pares de pontos.

Com o intuito de analisar 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:

$$GD = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Considerando o GD, pode-se adotar a seguinte classificação: $GD < 25\%$ (fraco), entre 25 e 75% (moderado) e $> 75\%$ (forte).

Visando verificar o modelo de semivariograma que se sobressaiu, foi realizada a validação cruzada, que consiste na estimativa, empregando os parâmetros oriundos do ajuste de cada modelo de semivariograma, dos pontos que foram realmente amostrados, podendo assim comparar o valor estimado ao observado (TRINDADE et al., 2016). Foi quantificado o Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA), possibilitando a identificação do modelo que produziu o menor erro de estimativa, e que será definido para o mapeamento de cada evento em análise. Procedimento análogo foi adotado em diversos estudos de mesma natureza, com destaque para os trabalhos desenvolvidos por Mello et al. (2005), Carvalho e Assad (2005) e Santos et al. (2010). O EMPA, em %, foi calculado utilizando a seguinte expressão:

$$EMPA = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

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 ordinária para a posição do posto i .

O viés estatístico (Bias) foi calculado pela média da diferença entre a série simulada e a observada, indicando o erro sistemático do interpolador (subestimativa ou superestimativa). O valor do Bias corresponde ao percentual de viés das variáveis estimadas com relação às variáveis observadas. O Bias, em %, foi obtido pela Equação 11, de acordo com Liew et al. (2007):

$$BIAS = \frac{\sum_{k=1,n}^n (Q_{kobs} - Q_{ksim})(100)}{\sum_{k=1,n}^n Q_{kobs}} \quad (6)$$

Os valores para Bias foram classificados da seguinte maneira: < 10%, considerado muito bom; entre 10% e <15%, bom; entre 15% e <25%, satisfatório e $\geq 25\%$, o modelo é considerado inadequado, quanto menor o valor de Bias, mais fidedigno é o ajuste do modelo proposto aos dados coletados (LIEW et al., 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se na Tabela 2 os parâmetros dos modelos de semivariograma exponencial, esférico e gaussiano para média anual. Entre eles o efeito pepita (C_0), alcance (m), contribuição (C_1), erro médio percentual absoluto (EMPA), viés estatístico (BIAS) e grau de dependência espacial (GD) obtido por validação cruzada para a precipitação anual (Tabela 2) na Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade, ajustados pela técnica dos mínimos quadrados ponderados, onde o modelo que se destacou com menor valor para EMPA é apresentado em negrito.

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano para precipitação anual

	Modelo	C_0	Alcance (m)	C_1	EMPA (%)	BIAS (%)	GD (%)
Anual	Esférico	0,00	207362,07	116900,86	13,46	2,86	100,00
	Exponencial	0,00	271802,26	122129,44	13,48	2,74	100,00
	Gaussiano*	8124,27	151844,46	105158,65	12,71	3,33	92,83

*Modelo com melhor desempenho

Fonte: autores.

Para a situação anual, o modelo gaussiano se destacou por considerar o menor valor para EMPA dentre os modelos geoestatísticos utilizados, com alcance de aproximadamente de 152 km. Em estudo realizado por Santos et al. (2011) que utilizou da mesma metodologia para mapear a variabilidade espacial e temporal da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite-GO, o modelo que predominou na

mesma situação foi o exponencial com valor de EMPA de 7,75%, onde a região possui clima quente e subúmido com inverno seco com inverno seco com vegetação predominante de cerrado. Para Mello et al. (2005), quanto maior o valor para o grau de dependência espacial, maior a possibilidade da metodologia geoestatística em proporcionar resultados satisfatórios, logo, o grau de dependência espacial do presente estudo, assim como Santos et al. (2011) apresentam alto grau de dependência espacial.

O grau de dependência espacial (GD) apresentou valores acima de 75% precipitação anual, sendo dessa forma, classificados como forte, segundo Cambardella et al. (1994). Quanto mais próximo de 100, maior a dependência espacial. A dependência espacial é tida como a tendência a que o valor da variabilidade espacial e temporal está associada com determinada localidade e suas amostragens vizinhas, desse modo é uma característica inerente a representação dos dados por meio de subdivisões territoriais. A partir desses dados, como afirma com Vieira (2000), os resultados com tal qualidade subsidiam o uso da Krigagem Ordinária conduz resultados não-enviesados e com variação mínima.

A partir desses dados é possível aplicar eficientemente metodologias geoestatísticas na região da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade, apresentando alta acurácia a variável hidrológica precipitação. O BIAS segundo Liew et al. (2007) é considerado muito bom, o que significa dizer que o modelo se ajustou com excelente performance aos dados coletados.

Na Figura 2 apresenta-se o modelo que se destacou para formação do semivariograma ajustados aos dados dos eventos propostos, o que corresponde à distribuição média de precipitação, onde foi utilizado o menor valor de EMPA dentre os modelos para seleção dos semivariogramas. Fica evidente o bom ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais, mostrando resultados contundentes ao se mapear os dados em estudo seguindo metodologias geoestatística.

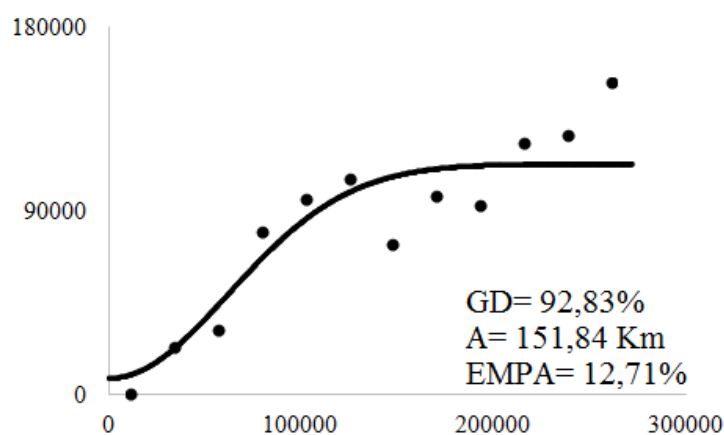


Figura 2 - Semivariograma experimental, modelo gaussiano, para precipitação anual

O semivariograma para precipitação anual, onde se destacou o modelo gaussiano, apresentou grau de dependência espacial de 92,83% com erro médio percentual absoluto de 12,71% com alcance de aproximadamente de 152 km. A partir desses dados, é possível verificar o bom ajuste do modelo geoestatístico aos dados coletados para a situação anual, onde o semivariograma comprava a acurácia dos mesmos.

O erro médio percentual absoluto (EMPA), que foi obtido por meio da validação cruzada. Na Tabela 3, apresenta-se a comparação entre os trabalhos de Santos et al. (2011), Viola et al. (2014) e Alves et al. (2014) com os resultados obtidos neste estudo. Os valores mostraram certa equivalência se levar em consideração que os maiores valores de EMPA onde a discrepância de valores entre os trabalhos se deve principalmente a diferença espacial entre as regiões estudadas, que possuem comportamento pluviométrico, ambientais e topográficos distintos.

Tabela 3 - Comparação entre o erro médio percentual absoluto (EMPA) entre os trabalhos que contemplam variáveis hidrológicas utilizando a mesma metodologia.

	EMPA (%)			
	Bacia Manuel Alves da Natividade	SANTOS et al., (2011)	VIOLA et al., (2014)	ALVES et al., (2014)
Precipitação Anual	12,71	11,93	11,51	11,00

Fonte: autores.

A partir do semivariograma, comprovando a acurácia dos métodos geoestatísticos, foi desenvolvido um mapa apresentando o comportamento espacial da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade, com base nos mapas, é possível realizar o melhor gerenciamento hídrico para fins agropecuários, contribuindo significativamente para os municípios pertencentes à bacia hidrográfica.

Para o mapeamento da precipitação, foi utilizado o menor valor de EMPA para a precipitação anual, o mapa foi feito na Projeção SIRGAS 2000, dos referenciais SAD 69 (South American Datum 1969), zona 22 sul. As informações lâmina d'água para (mm), os menores valores correspondem à cor azul claro e os de maior valor a cor azul escuro.

Na figura 3 é possível observar que na porção norte, o comportamento pluviométrico possui médias entre 1792 a 1957 mm, sendo a região de ocorrência extremada bacia do rio Manuel Alves da Natividade, para a porção central, as lâminas registradas estão entre 1398 e 1792 mm e a porção sul com lâminas oscilando entre 975 e 1398 mm, sendo o menor registro para o posto pluviométrico da Fazenda Bom Jesus.

A partir do mapa de anual percebe-se o comportamento espacial da pluviosidade da bacia, com base nesses dados é possível realizar um panorama das atividades desenvolvidas nos municípios da bacia, a maioria dos municípios está localizado na região norte da bacia, onde realizando um paralelo

com os índices pluviométricos registrados é onde se concentra a maior parte das atividades agropecuárias, com ênfase a grandes empreendimentos piscícolas nos municípios de Dianópolis e Almas, entretanto o potencial aquícola não é aproveitado nos demais municípios, onde o potencial agropecuário gira em torno da produção extensiva da bovinocultura de corte e grandes empreendimentos para produção de grãos. Observa-se que os menores índices pluviométricos estão nos municípios na parte sul da bacia (Taipas e Conceição do Tocantins) onde a atividade predominante é a bovinocultura extensiva.

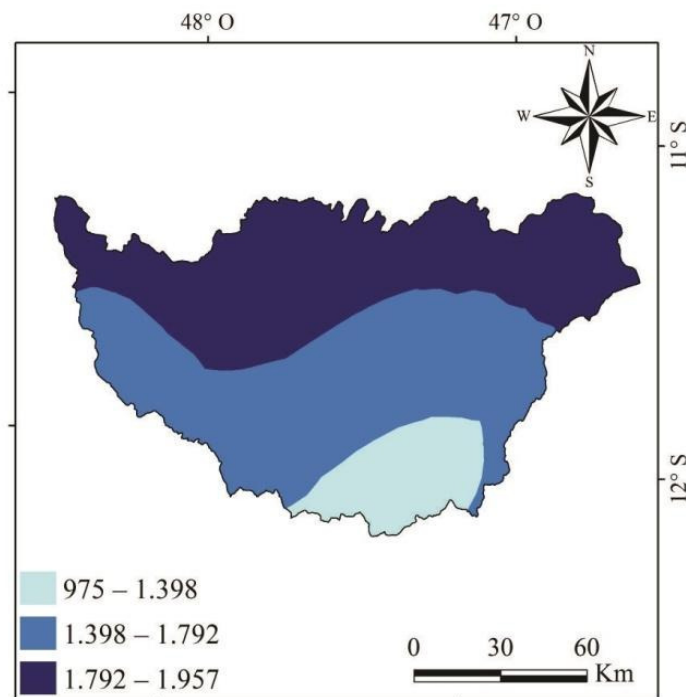


Figura 3 - Mapa de precipitação anual obtido por meio do interpolador Krigagem ordinária, modelo gaussiano.

Diante do mapa de precipitação anual, é possível mensurar que as principais atividades agropecuárias são realizadas ao norte da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade, onde se registra os maiores índices pluviométricos, estes de suma importância para o desenvolvimento das mesmas, e ao sul da bacia registra menores índices, onde a atividade predominante é a pecuária extensiva, onde a exigência hídrica é menor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento espacial da precipitação pluvial mostrou alta variabilidade nos índices pluviométricos para a precipitação anual considerando a diferença entre as classes. A região norte da bacia apresenta os maiores índices pluviométricos e na região sul os menores. O modelo gaussiano

ajustado pelo método dos mínimos quadrados é o mais adequado para aplicações de técnicas geoestatísticas na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves de Natividade.

A partir desses dados geoestatísticos, os recursos hídricos podem ser mais bem geridos na região da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade, este com ampla aptidão agropecuária, especialmente ao norte da bacia onde se concentra as principais atividades e ao sul onde o principal viés agropecuário é a pecuária extensiva.

Na porção norte, o comportamento pluviométrico possui médias entre 1792 a 1957 mm, sendo a região de ocorrência extremada bacia, para a porção central, as lâminas registradas estão entre 1398 e 1792 mm e a porção sul com lâminas oscilando entre 975 e 1398 mm, sendo o menor registro para o posto pluviométrico da Fazenda Bom Jesus.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação do Tocantins, pela concessão de bolsa ao primeiro autor, por meio do Programa de Iniciação Científica – PIC-IFTO, via Edital nº 11/2017/REI/IFTO de 12 de abril de 2017.

REFERÊNCIAS

ALVES, K. C. C. D. L. F.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; GIONGO, M. e SANTOS, A. F. D. Distribuição da precipitação mensal, anual e máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. **Ambiência**, v. 12, n. 1, p. 49-70, 2016.

ANA - Brasil. Agência Nacional de Águas. Hidroweb: Sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 dez 2017.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, D.F; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo - RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.7-14, 2005.

CARVALHO, J,R,P.; ASSAD. E.D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: Comparação de métodos de interpolação. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.377-384, maio/ago. 2005.

CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D. Comparação de interpoladores espaciais univariados para precipitação pluvial anual no Estado de São Paulo. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. 6 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado Técnico, 33). Disponível em: <http://www.cnptia.embrapa.br/modules/tinycontent3/content/2002/comunte_c33.pdf> Acesso em: 12 dez 2017.

CARVALHO, J. R. P. de; SILVEIRA, P. M. da; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002

CATI/SAA. **Revista Casa da Agricultura**, ano 16, n. 4, out. a dez. 2013.

CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.501-504, 2003.

CHIERICE, R.A.F.; LANDIM, P.M.B. Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. **Geociências**, São Paulo, v.33, n.1, p.157-171, 2014.

DRUGOWICH, M. I., coordenador, **Manual Técnico, n.o 81. Boas Práticas em Conservação do Solo e da Água**. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI/SAA), Campinas, abril 2014.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J A.; SILVA, A.M. da; MELLO, C.R. de; PINTO, D.B.F. Continuidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em sub-bacia hidrográfica de cabeceira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, p.914-922, 2008.

LANDIM, P.M.B. - **Análise estatística de dados geológicos (2a. Edição)** – Editora UNESP, 253 p. 2003

LANDIM, P.M.B. & STURARO, J.R. (2002) – **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Lab.. **Geomatématica**, DGA,IGCE,UNESP, Texto Didático 6, 19 p., disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> Acesso em: 30 de mar de 2018.

LANDIM, P.M.B. (2004) - **Introdução à análise variográfica com o VARIOWIN**. Lab. **Geomatématica**, DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Texto Didático 14, 25 p. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html?>> Acesso em: 19 de maio 2018.

LIEW, M. W. et al. Suitability of SWAT for the conservation effects assessment project: Comparison on USDA agricultural research service watersheds. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 12, n. 2, p. 173-189, 2007.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2013. p. ISBN 1984-2295

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, v.1, n.1, p.25-37, 2005.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P. ; OLIVEIRA, L. D. Chuvas intensas relacionadas a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

SILVA NETO, V. L. e VIOLA, M. R. Heavy rainfall equations for the Manuel Alves da Natividade river watershed, TO. **Científica Journal of Agrarians Sciences**, v. 45, n. 4, p. 33-339, 2017.

SILVA NETO, V. L.; SILVA, T. B. e SILVA, J. J. D. C. **O potencial erosivo das chuvas na Bacia do Rio Manuel Alves**. 7ª Jornada de Iniciação Científica e Extensão. Dianópolis: Instituto Federal do Tocantins. 7: 1-8 p. 2016.

SOUZA, F. H. M. D. **Regionalização climática de Thorntwhaite e Mather para o estado do Tocantins**. 2016. 118 f. (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO. 2016.

STURARO, J.; LANDIM, P. e RIEDEL, P. O emprego da técnica geoestatística da krigagem indicativa em geotecnia ambiental. **Revista Solos e Rochas**, v. 23, n. 3, p. 157-164, 2000.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN/DZE. **Atlas do Tocantins**, 2012. Disponível em: <
http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/Publicacoes/Atlas2012/z_Completo_Atlas_do_Tocantins_2012_portugues.pdf>.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação** (Org.). Porto Alegre: Ed. Da UFRGS: ABRH, 2009. 943 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. D.; ALVAREZ, V. H., et al (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, 2000. p.1-54.