



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS.
CAMPUS DIANÓPOLIS
CURSO ENGENHARIA AGRONÔMICA**

PEDRO HENRIQUE HADDAD ARAÚJO

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MANUEL ALVES DA NATIVIDADE**

**Dianópolis
2018**

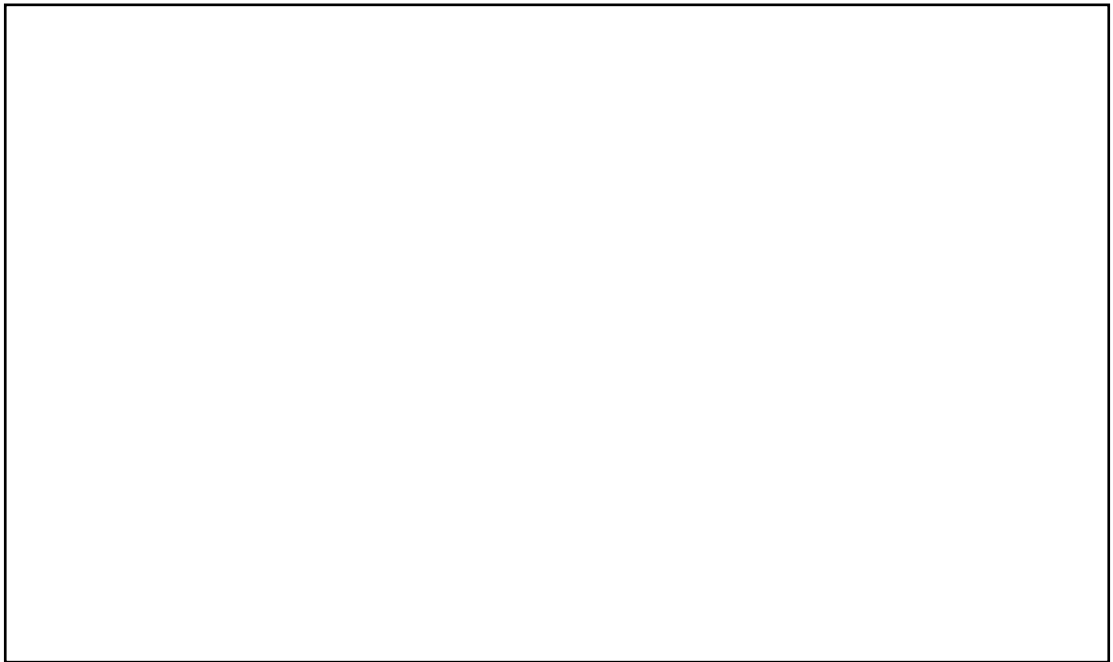
PEDRO HENRIQUE HADDAD ARAÚJO

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MANUEL ALVES DA NATIVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito para
obtenção do Título de Engenheiro
Agrônomo do Curso Superior de
Engenharia Agrônoma do Instituto
Federal do Tocantins, *Campus*
Dianópolis.

.
Orientador: Professor Me. Virgílio
Lourenço da Silva Neto

**Dianópolis
2018**



PEDRO HENRIQUE HADDAD ARAÚJO

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MANUEL ALVES DA NATIVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de Curso de
Engenharia Agrônômica do Instituto
Federal do Tocantins - *Campus* Dianópolis,
como exigência à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 20/06/2018.

BANCA AVALIADORA

Professor Me. Virgílio Lourenço da Silva Neto
IFTO –*Campus* Dianópolis

Professor Me. Pietro Lopes Rêgo
IFTO –*Campus* Dianópolis

Dr. Otacílio Silveira Júnior
IFTO –*Campus* Dianópolis

Dedico este trabalho a minha mãe, Ana Lígia Haddad, e a todos familiares e amigos fiz ao longo desta caminhada, que em todos os momentos estiveram comigo, independente da adversidade encontrada! Obrigado!

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologias *CAMPUS* Dianópolis por contribuir com toda a estrutura e custeio dos meus estudos por intermédio do programa de bolsas PIBIC/IFTO.

Ao meu orientador Virgílio de Lourenço da Silva Neto por me despertar interesses pela pesquisa, paciência e apoio, sendo sempre solícito e atencioso. E a colega de pesquisa Tamara Thallia por me auxiliar durante o processo, ao Me. Pietro Lopes e ao Dr. Otacílio Silveira pelas colaborações.

A minha família Francine Haddad, Luiz Philipe, Eduardo Haddad e Adailton Rodrigues.

Aos meus amigos Henrique Ávila, Tiago Ávila, Neiva Cerqueira, Emerson Caldeira, Bruno Oliveira, Lumara Sobbis, Michele Pereira, Halan Lima, Grazi Garcia, Manu Araújo, Paula Hayalla, Carmiram Turíbio e demais amigos, obrigado por serem minha base por todos esses anos de convivência, por me apoiarem e incentivar a continuar e crescer no curso.

Aos professores do curso de Engenharia Agrônômica por contribuir com informações importantes para minha formação profissional, em especial as professoras Carmen Manhães, Fábila Silva, Grazielle Garcia, Joana Patrícia e Leidiane Pimentel, e aos professores Ítalo Cordeiro, Otacílio Silveira, José Alberto, Ezequiel Lopes, Eduardo Carvalho e Pietro Lopes.

Aos funcionários do IFTO, que sempre me trataram com respeito, e que tenho imensa gratidão por todos, em especial “Tia Nerci”, que tenho um imenso apreço.

À coordenação do curso de Engenharia Agrônômica pela dedicação para o funcionamento e melhoria do curso, além de se dedicar inteiramente para que tudo ocorra da maneira mais plausível possível.

E a todos aqueles que fizeram parte da minha vida acadêmica e pessoal.

Á todos, minha sincera gratidão!

“São as nossas escolhas, mais do que
as nossas capacidades, que mostram
quem realmente somos.”

Alvo Dumbledore

RESUMO

A precipitação é um dos principais elementos dentro de um ciclo hidrológico, sendo ele a porta de entrada para a água no sistema, essa por sua vez essencial para vida na terra. Neste contexto, a geoestatística constitui importante ferramenta para o mapeamento da variável hidrológica no aspecto espacial e temporal, que permite melhor gestão de recursos hídricos, melhor planejamento das atividades agrícolas, manejo do solo e da água. 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 mensal e 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, 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 apresentaram pequenos erros, com melhor desempenho nos meses de março, junho e novembro, respectivamente, o modelo de semivariograma que melhor representou foi o modelo gaussiano, onde foi constatado bom desempenho das técnicas geoestatísticas no mapeamento da precipitação anual e média mensal, indicado pelos pequenos erros encontrados.

PALAVRAS CHAVE: Geoestatística. Hidrologia. Krigagem.

ABSTRACT

Precipitation is one of the main elements within a hydrological cycle, being the gateway to water in the system, this in turn essential for life on earth. In this context, geostatistics is an important tool for the mapping of the hydrological variable in the spatial and temporal aspects, which allows better management of water resources, better planning of agricultural activities, soil and water management. The basin of the Manuel Alves da Natividade River plays a major economic role in the region, as it includes the Manuel Alves Irrigated Perimeter, as well as supplying several hydroelectric projects and other agricultural and livestock activities in the region. Thus, in this present work we aimed to map the monthly and annual rainfall in the Manuel Alves de Natividade river basin, from historical series with a mean of 29 years, from 1984 to 2013, obtained from 25 rainfall stations in the database of ANA, totaling 738 years, with the aid of geostatistical techniques. The spherical, exponential and Gaussian semivariogram models were adjusted by the weighted least squares method, and the model used in the ordinary kriging mapping was the one that presented the smallest mean error indicated by the cross validation. Although the spherical and exponential models presented small errors, with better performance in the months of March, June and November, respectively, the model of semivariogram that best represented was the Gaussian model, where it was verified good performance of the geostatistical techniques in the mapping of the annual precipitation and average monthly, indicated by the small errors found.

KEY WORDS: Geostatistics. Hydrology. Kriging.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização da Bacia Manuel Alves com todos os postos pluviométricos utilizados neste estudo.....	24
Figura 2- Semivariograma experimental para precipitação na situação anual pelo modelo que se destacou (Tabela 1).....	31
Figura 3- Semivariogramas para as situações de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d), maio (e) e junho(f), realizado pelo modelo que se destacou (Tabela 1).....	32
Figura 4- Semivariogramas para as situações de julho (a), agosto (b), setembro (c), outubro (d), novembro (e) e dezembro (f), realizado pelo modelo que se destacou (Tabela 1).....	33
Figura 5 - Mapa de precipitação anual representado pelo modelo que se destacou (Tabela 1).....	37
Figura 6- Mapas dos meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d), maio (e) e junho (f), pelo modelo que se destacou (Tabela 1).....	39
Figura 7- Mapas para os meses de julho (a), agosto (b), setembro (c), outubro (d), novembro (e) e dezembro (f), pelo modelo que se destacou (Tabela 1).....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros dos modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano para situação anual.....	28
Tabela 2. Parâmetros dos modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano para situações mensais.....	28
Tabela 3 - Comparação entre o erro médio percentual absoluto (EMPA) entre os trabalhos que contemplam variáveis hidrológicas utilizando a mesma metodologia.....	34

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1.	Ciclo hidrológico.....	15
2.1.1.	Precipitação.....	16
2.2.	Geoestatística.....	17
3.	METODOLOGIA.....	22
3.1.	Caracterização da área de estudo.....	22
3.2.	Análise Exploratória dos dados.....	24
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
6.	BIBLIOGRAFIA.....	42

1. INTRODUÇÃO

A água é o mais importante recurso disponível para os seres vivos, não só para desenvolver atividades biológicas, mas especialmente para os seres humanos, a água é utilizada para atividades exploratórias dentre elas, geração de energia, atividade agropecuária, manutenção e abastecimento de cidades, uso industrial e turística. Onde a principal forma de entrada da água dentro do ciclo hidrológico se dá por meio de eventos pluviométricos.

Dentro de uma bacia hidrográfica, ocorrem variações da precipitação em decorrência de diversos fatores, e manifestam-se de duas formas: temporal e espacial. 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) são eventos que contribuem para que ocorra a variabilidade espacial e temporal da precipitação sobre uma bacia (CHIERICE; LANDIM, 2014).

Na região sudeste do Tocantins, destaca-se a Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade. A bacia, além de atender Perímetro irrigado Manuel Alves da Natividade, um dos maiores projetos irrigados do norte do país, atende diversos empreendimentos hidrelétricos e fomenta o perfil socioeconômico da região (SOUZA, 2005).

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, fornece subsídios para o planejamento e gestão dos recursos hídricos dessa bacia (TOCANTINS 2012).

A geoestatística é uma ferramenta para o cálculo de variabilidade espacial e temporal onde se utiliza de séries hidrológicas das proximidades da bacia visando melhorar o mapeamento na região de contorno, e também, para adequar a representação da estrutura de dependência espacial da variável (ALVES et al., 2016).

Dispondo de informações sobre a variação espacial e temporal da pluviosidade média mensal e anual, é possível melhor planejamento no uso racional da água por meio de projetos de irrigação e conservação do solo na área da bacia.

O objetivo deste estudo consistiu em mapear a precipitação mensal e 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 métodos do inverso da potência da distância, com diferentes expoentes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ciclo hidrológico

A água é o recurso natural indispensável para a sobrevivência da vida no planeta, sendo de fundamental importância na constituição de ecossistemas da natureza. 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 hídrico é o fenômeno universal de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre, dentro desse contexto, uma série de processos naturais estão envolvidos, precipitação, evaporação, condensação, detenção e escoamento superficial, infiltração e percolação da água no solo e em aquífero, escoamentos fluviais e a inter-relação entre eles (RIGUETTO, 1998; CARVALHO et al., 2005; MARCUZZO; GOULART, 2013).

O ciclo 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 freáticos (CARVALHO, 2007). Dentre as variáveis dentro do ciclo hidrológico, temos a precipitação, como sendo um dos principais aportes de entrada da água no ciclo (RIGUETTO, 1998; CARVALHO et al., 2005; MARCUZZO; GOULART, 2013).

Diversos fatores influenciam a quantidade de água e a sua velocidade com que ela circula nas diferentes fases do ciclo hidrológico como a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia (CARVALHO, 2007).

Na Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, o art. 1º da Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se no seguinte fundamento: "a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos". As bacias hidrográficas ou bacias de drenagem, que se destacam em estudos hidrológicos devido sua simplicidade que oferecem na aplicação do balanço de água, os quais

podem ser desenvolvidos para avaliar as componentes do ciclo hidrológico para uma determinada região hidrológica (DRUGOWICH, 2014).

Bacia Hidrográfica é uma área definida topograficamente drenada por um curso d'água ou um sistema de cursos d'água, tal que toda a vazão efluente descarregue em um único ponto de saída (DRUGOWICH, 2014).

Sabe-se que o regime hidrológico é afetado por diversas características, dentre eles podemos citar características físicas locais, topografia, geologia e principalmente pelo seu clima. E dentro dos fatores climáticos, temos como um dos principais a precipitação, que representa a principal entrada no balanço hídrico em uma região (CHIERRICE; LANDIN, 2014; TRINDADE et al., 2016; SILVA NETO, 2016; TERRASI et al., 2016).

2.1.1 Precipitação

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, geada 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 chuvas por sua vez, 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).

As chuvas convectivas ou de verão, é mais comum na região tropical, São caracterizadas por serem de abrangência local e de intensidade variando de média a alta. Ela é resultante do aquecimento diferenciado da superfície terrestre, resultando em gradientes horizontais e verticais de temperatura e pressão atmosférica. Qualquer perturbação que ocorra, acaba por provocar uma ascensão violenta das camadas de ar mais quentes, capaz de atingir a grandes altitudes, ocasionando assim as precipitações (GALVANI; AZEVEDO, 2003; TUCCI, 2009).

As precipitações ciclônicas são ocasionadas pelo encontro de duas massas de ar com características diferentes de temperatura e umidade, desse modo a massa de ar quente sobe, o ar se resfria, nesse momento aproxima-se do ponto de saturação,

dando origem à formação de nuvens e consequente precipitação, que pode ser frontal ou não frontal (GALVANI; AZEVEDO, 2003; TUCCI, 2009).

As chuvas orográficas são resultantes da subida forçada do ar quando, no seu trajeto, se apresenta uma elevação. O ar ao subir, se resfria, atingindo o ponto de orvalho dá-se a condensação e consequente formação de nuvens, podendo resultar na precipitação são os chuviscos, neblinas e garoas típicas da Serra do Mar, no Brasil (AREJÃO SILVA, 2000; GALVANI; AZEVEDO, 2003).

Para que ocorra o fenômeno, alguns elementos são fundamentais, tais como a umidade atmosférica, essa em decorrência principalmente da evaporação e evapotranspiração, algum mecanismo de resfriamento de ar (ascensão do ar úmido), quanto mais frio o ar, menor sua capacidade de suportar água em forma de vapor, o que acaba com a sua condensação, presença de núcleos hidrocópicos, e mecanismos de crescimento de gotas (coalescência e difusão de vapor) (GALVANI; AZEVEDO, 2003).

É de suma importância estimar a disponibilidade de precipitação de uma bacia para quantificar a necessidade de irrigação ou até mesmo saber sobre abastecimento urbano e industrial, além de colaborar em formas de controle de erosões e inundações (TUCCI, 2009).

O regime pluviométrico no Tocantins, sobretudo na bacia do rio Manuel Alves da Natividade é altamente influenciado pela altitude, sua temperatura e disponibilidade hídrica local uma vez que a região é rica em corpos hídricos, além da bacia está situada numa região com bastante área de vegetação nativa, além de topografia e geologia favorável para formação de chuvas, tendo suas estações bem delimitadas (CARVALHO, 2007).

2.2 Geoestatística

A caracterização da variabilidade espacial e temporal é possível graças ao desenvolvimento e expansão do SIG (sistema de informações geográficas) que vem se aprimorando e se expandido, 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; MONTEBELLER et al., 2007; SOUZA et al., 2005; SILVA et al., 2011).

A geoestatística surgiu a partir da tecnologia de mineração, para mapear áreas de jazidas de ouro, entretanto, tem ganhado amplo campo de aplicabilidade como em georreferenciamento, mapeamento de cardumes, agricultura de precisão, classificação de solos e inúmeros outros casos (CARVALHO et al., 2002; CARVALHO; ASSAD, 2002; CARVALHO et al., 2005; CARVALHO; ASSAD, 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).

A palavra geoestatística surgiu como enfoque para estudos de caráter estatístico de um fenômeno natural, que por sua vez, é caracterizado pela distribuição no espaço com uma ou mais variáveis, estas chamadas de "variáveis regionalizadas" (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978).

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 (CARVALHO et al., 2002; CARVALHO; ASSAD, 2002; CARVALHO et al., 2005; CARVALHO; ASSAD, 2005).

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. Um deles é a Krigagem Ordinária, onde sua base está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, proposto por Matheron, (1971). O termo tem sua origem do nome de Daniel G. Krige, pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas de ouro na África do Sul com dados de concentração de ouro verificou que para encontrar sentido nas variâncias era preciso levar em conta as distâncias das amostras

A krigagem ordinária é 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).

As técnicas geoestatísticas podem ser usadas para descrever e modelizar padrões espaciais (variograma), para prever valores em locais não amostrados (krigagem ordinária), para obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância de krigagem ordinária) e para aperfeiçoar malhas de amostragem. A krigagem ordinária constitui-se em método de estimação por médias móveis e tem como característica particular, que o diferencia e o torna superior aos demais métodos de estimação, o fato de permitir o cálculo do erro associado às estimativas, chamado de variância de estimação (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 estimar-se as medidas de correlação espacial dos mesmos, considerando uma determinada vizinhança (STURARO, 2000).

O elemento básico da geoestatística é a variável regionalizada, onde a variação espacial é caracterizada pelo fenômeno regionalizado que a originou. As

variáveis podem assumir características casuais e estruturadas, ou seja, pode assumir localmente qualquer valor segundo uma função de probabilidade e globalmente possuem uma estruturação que pode ser tratada por uma função espacial (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978).

Em Stutaro (2000) entende que:

Os semivariogramas experimentais são construídos a partir de malhas com disposição regular ou, quando irregulares, posteriormente regularizadas. Os valores observados a serem submetidos à variograma devem ser obtidos de suportes iguais ou então regularizados e os cálculos são feitos em direções previamente estabelecidas, visando a compreensão da variabilidade espacial do fenômeno em estudo.

Os modelos podem ser divididos em dois tipos: modelos com patamar e modelos sem patamar.

Os modelos de patamar são referenciados na geoestatística como modelos transitivos estão relacionadas basicamente com o comportamento espacial das amostras em relação à distância, até que a função atinja o patamar. Este intervalo de distância é conhecido como amplitude variográfica ou “range” e define o raio de influência da variável. Alguns dos modelos transitivos atingem o patamar (C) assintoticamente. Para tais modelos, o alcance (a) é arbitrariamente definido como a distância correspondente a 95% do patamar (LANDIM; STURARO; 2002; LANDIM, 2003; LANDIM, 2004).

Modelos sem patamar tipo não atingem um valor, chamado de patamar, conforme o valor aumenta a distância também aumenta. Esses modelos são utilizados para modelar fenômenos que possuem competência infinita de dispersão. Os modelos transitivos mais utilizados são: modelo esférico, modelo exponencial e modelo gaussiano (LANDIM; STURARO; 2002; LANDIM, 2003; LANDIM, 2004).

O modelo esférico é o mais utilizado na geoestatística, principalmente a fins aplicados a mineralogia (DAVID, 1977). No modelo exponencial, o ajuste se faz através da curva exponencial. O patamar (c) é a assíntota desta curva e a amplitude variográfica (a) corresponde ao encontro da tangente da curva na origem com o patamar. No modelo gaussiano, a função é parabólica próxima à origem. Este modelo apresenta amplitude variográfica extensa e o patamar semelhante ao modelo exponencial (Equação 1, 2, 3).

A variabilidade espacial vem sendo uma das principais preocupações de pesquisadores, principalmente em relação ao solo, no último século. Em estudo realizado por Smith (1910), estudou a disposição de parcelas no campo em experimento de rendimento de diferentes variedades de milho, buscando eliminar as variações do solo. Em outro estudo realizado por Montgomery (1913) na cultura do trigo, buscou verificar o efeito do nitrogênio na cultura, para isso realizou-se experimento dividido em 224 parcelas, fazendo a medição de rendimento de grãos.

Naquela época, os estudos eram baseados em estatística básica, utilizando-se grandes quantidades amostrais, buscavam assim caracterizar ou descrever a distribuição espacial do determinado estudo, utilizando de parâmetros médios e desvio padrão para representar um fenômeno, sobre hipótese principal de que as variações entre os locais são aleatórias (LANDIM, 2003).

Krige ao trabalhar com os dados de concentração de ouro, obteve a conclusão que apenas as informações fornecidas pela variância não seriam concluintes para explicar o fenômeno, dessa forma, necessitaria levar em consideração a distância entre as observações, surgiu a partir daí o conceito de geoestatística, onde levam em consideração a localização geográfica e a dependência espacial (LANDIM, 2003)

A partir daí, baseado na ideia de Krige, surgiu a teoria das variáveis regionalizadas. Onde “uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples” (LANDIM; STURARO; 2002; LANDIM, 2003; LANDIM, 2004).

O que diferencia a krigagem dos métodos convencionais de estimação, está no fato de estar fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas. A hipótese mais comum é a chamada "estacionaridade de 2ª ordem" (BURROUGH, 1994; LANDIM; STURARO; 2002; LANDIM, 2003; LANDIM, 2004).

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 (HUIJBREGTS, 1975; LANDIM; STURARO; 2002; LANDIM, 2003; LANDIM, 2004).

Uma etapa essencial 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) (CARVALHO; ASSAD, 2005).

Nesse contexto, a partir da ampliação e extensão dos sistemas de informações geográficas (SIG), é possível caracterizar o espaço-temporal de variáveis ambientais em grandes extensões territoriais, no qual a precipitação esta inclusa. Sendo assim, é necessários estudos objetivando a acurácia em diferentes métodos de interpolação espacial nessa variável, fundamentando normativas de elaboração de mapas de simulações hidrológicas e gestão de recursos hidrológicos, sendo assim uma demanda cada vez mais necessária (CECÍLIO; PRUSKI, 2003; JUNQUEIRA JÚNIOR et al., 2008; MONTEBELLER et al., 2007; SOUZA et al., 2005).

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

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 mensais 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 a 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).

Os municípios que compõem a bacia hidrográfica são: Almas, Chapada da Natividade, Conceição do Tocantins, Dianópolis, Natividade, Pindorama do Tocantins, Porto Alegre do Tocantins, Rio da Conceição, Santa Rosa do Tocantins, São Valério da Natividade e Taipas do Tocantins (TOCANTINS, 2012).

Com grande potencial aquícola, o município de Almas desponta como um dos principais exportadores de pescado do Tocantins, produzindo diversas espécies de pescados com destaque para o tambaqui que corresponde a cerca de 51% da produção, além de possuir um laboratório de produção e comercialização de alevinos, uma fábrica de ração e dois abatedouros com SIF (Serviço de Inspeção Federal) que atendem ao projeto tamborá e piracema (TOCANTINS, 2017). Além de grande aptidão agrícola e pecuária.

Dianópolis, é considerada a maior cidade da região sudeste do Tocantins em termos de habitantes, tem como principal atribuição econômica a agropecuária com grandes extensões de área plantada com grãos e rebanho bovino, além de possuir em sua extensão 11 PCH's (pequenas centrais hidrelétricas) onde paralelo a geração de energia apresentam projetos de piscicultura de produção de alevinos e pescados em tanques redes (TOCANTINS, 2017), contribuindo de forma significativa com a economia local, ainda no município de destaca-se na produção de frutas o Perímetro Irrigado Manuel Alves, onde conta com cerca de 350 hectares em produção de área irrigada, atendendo 213 lotes, sendo 199 lotes familiares e 14 lotes empresariais (SOUZA, 2005). A produção de frutas no Perímetro Irrigado Manuel Alves já é significativa, cerca de 600 toneladas de frutas por mês, e tem o comércio garantido no mercado interno, sendo também comercializadas para vários estados do Brasil (TENÓRIO, 2017).

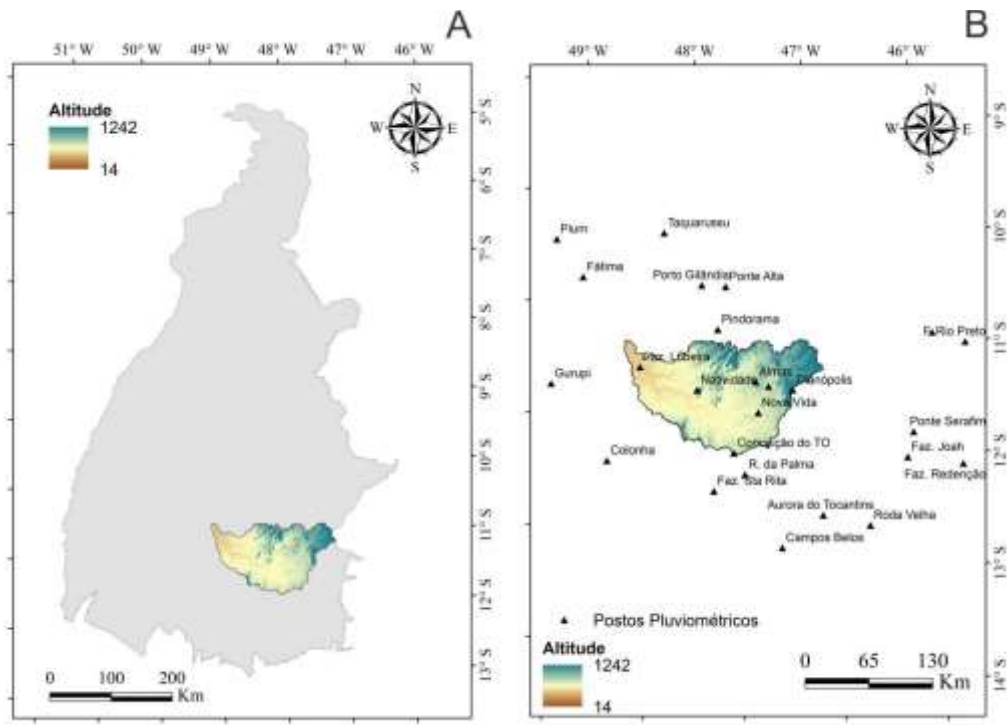
O município de Natividade além de seu potencial turístico, sendo considerada cidade patrimônio histórico do Brasil, se destaca principalmente pela atividade pecuarista, apresentando grande rebanho bovino de corte, além de extensas áreas para produção de grãos, como soja e milho.

Chapada da Natividade, Conceição do Tocantins, Pindorama do Tocantins, Porto Alegre do Tocantins, Rio da Conceição, Santa Rosa do Tocantins, São Valério da Natividade e Taipas do Tocantins, apresentam grande potencial agropecuário, como produção de gado de corte extensivo, pisciculturas e áreas com plantações de grãos.

Segundo Souza (2016 *apud* SILVA NETO; VIOLA, 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.

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



Fonte: ARAUJO, 2018

3.2 Análise Exploratória dos dados

O Quadro 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.

Quadro 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: ARAUJO, 2018.

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), Mello et al. (2008) e Santos et al. (2011). 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):

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

Os valores para Bias foram classificados da seguinte maneira: < 10%, considerado muito bom; entre 10% e <15%, bom; entre 15% e <25%, satisfatório e ≥ 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

A variabilidade espacial e temporal é descrita em diversos estudos, como o de Chierrice e Landin (2014), analisando a variabilidade anual e sazonal das chuvas, tanto em sua extensão temporal, como em sua distribuição espacial para determinar regiões que fossem homogêneas pluviometricamente, na bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, utilizando da mesma metodologia que o presente trabalho, para isso foi realizado a verificação do ajuste dos modelos de semivariograma exponencial, esférico e gaussiano para os dados de precipitação média mensal e anual, na bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves de Natividade.

Apresentam-se nas Tabelas 2 e 3 os parâmetros dos modelos de semivariograma exponencial, esférico e gaussiano para média anual e mensal. 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) e mensal (Tabela 3) 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 1. Parâmetros dos modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano para situação 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

*Texto em Negrito refere-se ao melhor modelo geoestatístico.

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 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.

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.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano para situações mensais.

	Modelo	C ₀	Alcance (m)	C ₁	EMPA (%)	BIAS (%)	GD (%)
Janeiro	Esférico	509,41	262715,69	3781,65	16,23	3,52	88,13
	Exponencial	0,00	381823,43	4871,46	15,96	3,58	100,00
	Gaussiano*	509,94	154614,63	3366,58	15,42	3,61	86,85
Fevereiro	Esférico	380,90	238629,14	2201,55	16,21	3,11	85,25
	Exponencial	0,00	294898,24	2756,02	15,91	3,25	100,00
	Gaussiano	380,25	146193,45	2029,92	15,30	3,54	84,22
Março	Esférico	0,00	168369,63	4235,36	17,37	4,56	100,00
	Exponencial	0,00	248801,16	4664,02	18,25	4,59	100,00
	Gaussiano	4,19	119190,88	4186,98	18,88	5,06	99,90
Abril	Esférico	0,00	170096,84	2365,75	25,11	8,28	100,00
	Exponencial	0,00	275257,31	2686,31	26,69	8,79	100,00
	Gaussiano	15,23	120038,50	2322,05	25,01	9,66	99,35
Maio	Esférico	0,00	179573,63	225,61	25,64	8,40	100,00
	Exponencial	0,00	261695,13	246,13	26,36	8,90	100,00
	Gaussiano	0,00	159186,26	228,05	25,43	7,85	100,00
Junho	Esférico	0,00	105729,72	3,71	53,49	28,97	100,00
	Exponencial	0,00	159900,25	4,10	55,31	34,15	100,00
	Gaussiano	0,68	95148,82	3,09	51,53	26,94	81,97
Julho	Esférico	0,00	95148,82	1,63	85,28	51,72	100,00
	Exponencial	0,00	150566,11	1,80	93,68	59,96	100,00
	Gaussiano	0,37	95148,82	1,30	85,28	52,00	77,81
Agosto	Esférico	1,60	231965,88	2,97	42,02	21,89	64,88
	Exponencial	1,28	308397,70	3,59	44,10	23,49	73,78
	Gaussiano	2,11	221551,45	2,61	41,96	21,74	55,27
Setembro	Esférico	0,00	329139,50	104,38	14,51	4,20	100,00
	Exponencial	0,00	444835,62	106,28	15,35	4,51	100,00
	Gaussiano	4,77	214593,33	89,64	13,89	3,42	94,95
Outubro	Esférico	18,24	259095,26	842,34	12,57	2,49	97,88
	Exponencial	0,00	296929,75	845,86	13,34	2,54	100,00
	Gaussiano	114,35	209396,04	736,46	11,80	2,35	86,56
Novembro	Esférico	156,45	247590,28	820,03	9,85	1,49	83,98
	Exponencial	0,00	287253,22	1025,05	9,69	1,45	100,00
	Gaussiano	232,52	182889,59	712,62	9,86	1,57	75,40
Dezembro	Esférico	0,00	108224,29	1790,36	12,47	3,09	100,00
	Exponencial	0,00	132300,66	1854,27	12,90	2,77	100,00
	Gaussiano	276,74	95148,82	1554,04	12,19	3,00	84,88

*Texto em Negrito refere-se ao melhor modelo geoestatístico.

Utilizando da mesma metodologia e para a mesma variável hidrológica que o presente estudo, Santos et al. (2011) e Carvalho e Assad (2005) para as situações propostas mensais o modelo que se destacou foi o exponencial, diferentemente deste,

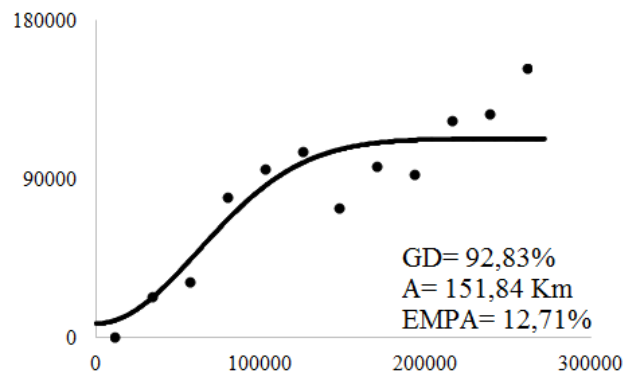
que se destacou o gaussiano (observado na Tabela 2 destacado em negrito o melhor modelo geoestatístico). Isso se deve ao fato dos estudos apresentarem características distintas, como diferentes biomas, condições ambientais diferentes como temperatura e topografia que implica em características geoestatísticas diferentes. É importante ressaltar a necessidade de obtenção de novas metodologias geoestatísticas para interpolação de dados, uma vez que nenhum modelo foi integralmente fidedigno entre todas as situações propostas.

O grau de dependência espacial (GD) apresentou valores acima de 75% para todas as situações propostas, 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.

Para análise geoestatística é de fundamental importância para interpretação dos dados o conhecimento sobre alcance do semivariograma, sendo este, a representação da distância limite da dependência espacial. Neste estudo, apresentaram variação de 95,15 a 287,25 km, mostrando abrangência no que se refere à dependência espacial, tanto das situações anual e mensais da bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade, esse dado nos permite, segundo Mello et al. (2005), realizar mapeamentos geoestatísticos com excelentes resultados.

Nas Figura 2, 3 e 4 apresentam-se os modelos que se destacaram para formação dos semivariogramas 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 para precipitação na situação anual pelo modelo gaussiano (Tabela 1)



O semivariograma para situação 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.

A seguir, para as situações mensais, onde os semivariogramas também foram formatados pelo critério do método que se sobressaiu dos demais ao considerar o valor de EMPA (Tabela 1), verifica-se também, assim como para situação anual, o bom ajuste dos modelos geoestatísticos aos dados coletados para as situações mensais, com alcance entre 95,15 à 287,25 km entre as situações mensais. Observa-se também, ao comparar os valores de EMPA, que em praticamente todas as situações mensais apresentaram baixos valores, com exceção os meses com menores valores em decorrência do baixo índice pluviométrico, como junho e agosto, proporcionado aos dados acurácia no ajuste aos dados coletados, e ao considerar o GD, apresentando valores altos, também com exceção aos meses de estiagem que denotam maiores erros.

Figura 3. Semivariogramas para as situações de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d), maio (e) e junho (f), realizado pelo modelo que se destacou (Tabela 1).

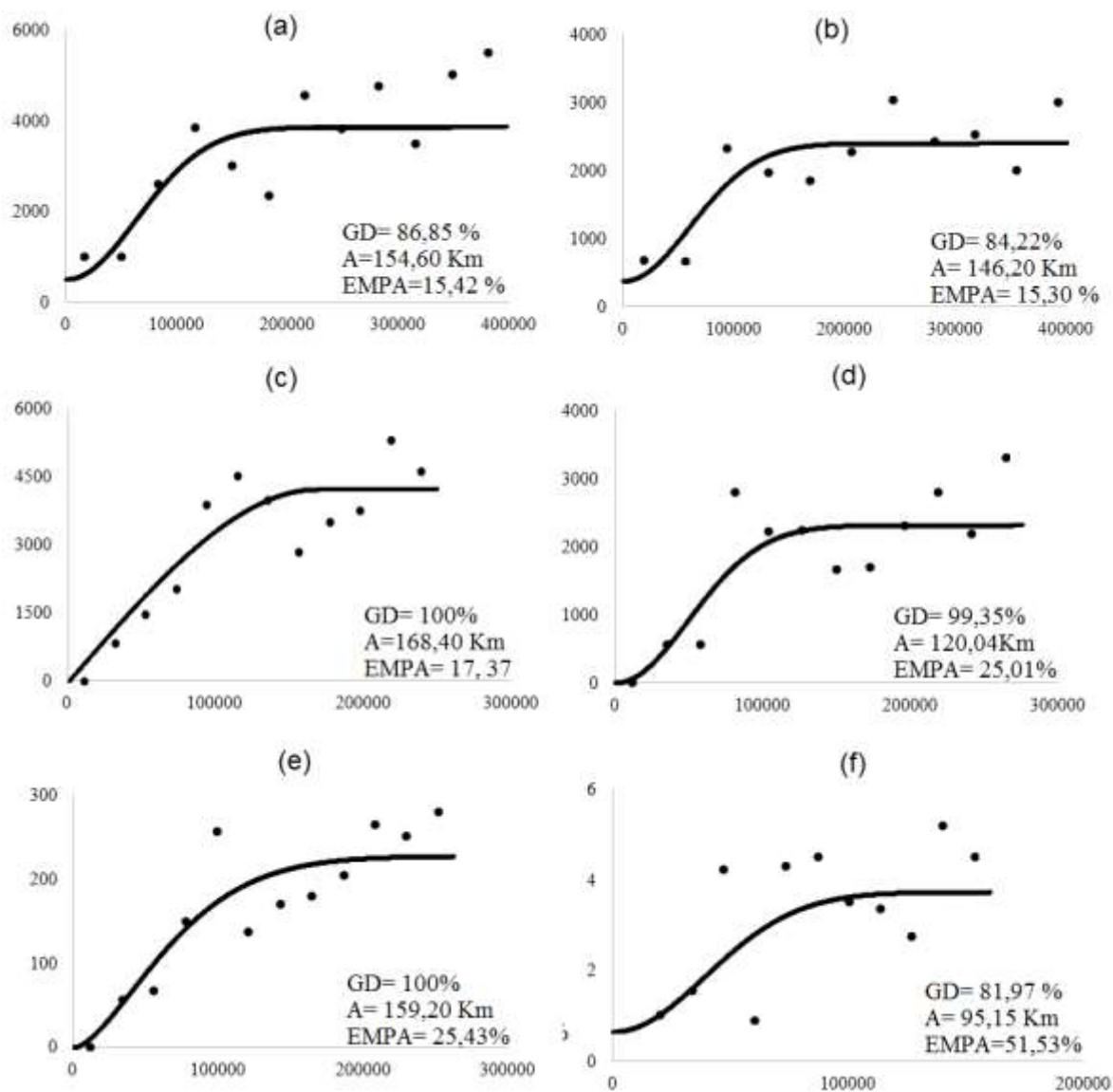
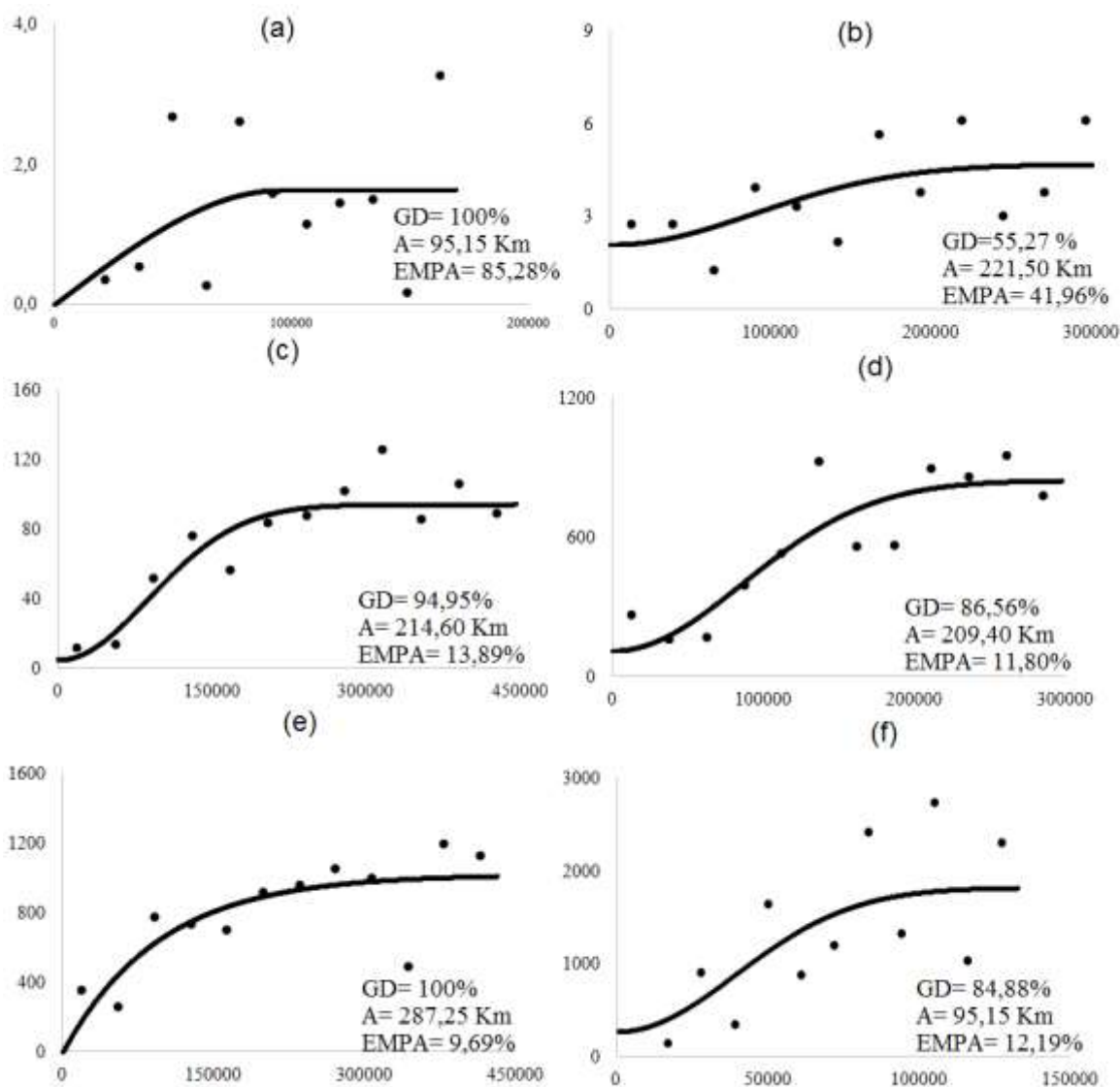


Figura 4. Semivariogramas para as situações de julho (a), agosto (b), setembro (c), outubro (d), novembro (e) e dezembro (f), realizado pelo modelo que se destacou (Tabela 1).



O erro médio percentual absoluto (EMPA), que foi obtido por meio da validação cruzada. Os menores valores para EMPA foram encontrados para as situações com maior índice pluviométrico que são novembro, outubro, dezembro e anual, e maior valor encontrado para as situações com menor índice pluviométricas que são as situações de junho e julho. Na Tabela 3 faz um comparativo entre os trabalhos de Santos et al. (2011), Viola et al. (2014) e Alves et al. (2014), os valores mostraram certa equivalência se levar em consideração que os maiores valores de EMPA foram encontrados para as situações com menores índices pluviométricos, e a

discrepância de valores nessas situações 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.

Meses	EMPA (%)			
	Bacia Manuel Alves da Natividade	SANTOS et al., (2011)	VIOLA et al., (2014)	ALVES et al., (2014)
Anual	12,71	11,93	11,51	11,00
Janeiro	15,42	9,26	13,20	11,20
Fevereiro	15,30	6,79	15,70	12,10
Março	17,37	11,93	12,00	12,00
Abril	25,01	15,99	16,60	15,90
Maio	25,43	24,92	14,40	19,50
Junho	51,53	24,27	18,70	123,50
Julho	85,28	121,54	29,80	167,00
Agosto	41,96	14,96	24,50	61,50
Setembro	13,89	13,14	15,60	18,90
Outubro	11,80	7,60	15,50	13,40
Novembro	9,69	7,98	14,10	10,50
Dezembro	12,19	7,65	14,20	11,9

Viola et al. (2014), estudando a distribuição da precipitação e seu potencial erosivo no Estado do Tocantins, os valores para EMPA foram mais uniformes em relação aos demais estudos, sendo os meses de julho e agosto os meses que apresentam os maiores valores para EMPA, sendo 29,80% e 24,50%, respectivamente, o que permite dizer que os modelos adotados pelo estudo apresentam baixos erros em sua análise exploratória de seus dados. Já o trabalho desenvolvido por Santos et al. (2011), o mês que apresentou maior valor para EMPA foi julho (121,54%), mostrando uniformidade nos valores de EMPA para os demais meses, mas pelo fato de apresentar a discrepância no mês de julho, enfatiza a necessidade de aprimoramento de técnicas geoestatísticas. Alves et al. (2014), os meses de junho, julho e agosto apresentaram como os meses de maior erro com valores de 123,50%, 167% e 61,50%, respectivamente, apresentando padrões semelhantes a esse estudo ao considerar que os maiores valores para EMPA estão dispostos nas situações onde nota-se maiores valores durante os meses de estiagem, com valores de EMPA de 51,53%, 85,28% e 41,96%, respectivamente. O objetivo do EMPA é avaliar os erros médios dos modelos propostos, quanto maior seu valor, maior

é o erro. Observa-se que em todos estudos (Tabela 4) os maiores valores para EMPA estão localizados durante os meses de estiagem, logo, devido aos baixos índices pluviométricos nessa época recorrem em maiores erros para os modelos geoestatísticos.

A alta divergência das médias do EMPA descritas na Tabela 4 enfatiza a potencialidade de estudos sobre essa variável em estudos de krigagem ordinária para mapeamento da mesma, uma vez que o Brasil tem grande extensão territorial e de biomas, possuindo características distintas naturais entre cada região, desse modo é natural que ocorra elevados erros dentro dessa variável (SANTOS, 2011).

Durante os meses de seca as médias são elevadas, colaborando com maiores erros de interpolação, isso se deve ao fato de baixos índices pluviométricos durante esse período na região da bacia e seu entorno, tornando difícil o estabelecimento da dependência espacial.

Santos et al. (2011), apresentaram compatibilidade com trabalhos de Carvalho e Assad (2005) e Mello et al. (2008), realizados em São Paulo e Minas Gerais, respectivamente, a interpretação de EMPA calculado pela validação cruzada demonstrou menores erros pelo modelo exponencial nos meses de janeiro, março, abril, maio e anual; pelo modelo esférico, nos meses de fevereiro, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro; e pelo modelo gaussiano, nos meses de junho e julho. Sendo assim, o melhor valor obtido foi o modelo exponencial de semivariograma, onde alcançou relevância em seis das 13 situações estudadas, o modelo esférico vem logo em seguida com cinco representações e por último o modelo gaussiano com duas representatividades.

O viés estatístico (BIAS) na maioria das situações foi classificado na categoria muito bom, com valores abaixo de 10%, com exceção os meses de junho, julho que se enquadraram na categoria inadequada (acima de 25%) e agosto que se enquadrou em satisfatório (até 25%), o que implica dizer que os modelos geoestatísticos se ajustaram bem às situações propostas, com exceção as situações de junho, julho e agosto, que devido aos baixos índices pluviométricos não apresentam viés estatístico aceitável, entretanto diante disso, usa-se o modelo com menor erro para viabilizar o mapa da precipitação na situação.

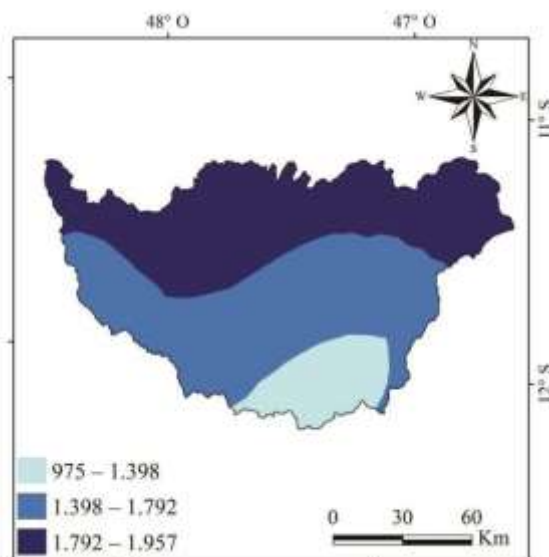
A partir dos semivariogramas, comprovando a acurácia dos métodos geoestatísticos, foi desenvolvido uma série de mapas apresentando o comportamento

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 entre os modelos propostos para cada situação proposta no estudo (Tabela 1), para isso, foi gerado por meio de krigagem ordinária mapas de precipitação média e anual para a Bacia do rio Manuel Alves da Natividade e entorno. Os mapas foram feitos na Projeção SIRGAS 2000, dos referenciais SAD 69 (South American Datum 1969), zona 22 sul. As informações lâmina d'água para cada situação proposta (mm), os menores valores correspondem à cor azul claro e os de maior valor a cor azul escuro.

O mapa de precipitação anual (Figura 6), revela que ao norte da bacia o comportamento pluviométrico possui médias entre 1792 a 1957 mm, para a região central da bacia hidrográfica do rio Manuel Alves de Natividade, a média registrada são de valores entre 1398 a 1792 mm e a parte sul com os menores valores que oscilam entre 975 a 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 município na parte sul da bacia (Taipas e Conceição do Tocantins) onde a atividade predominante é a bovinocultura extensiva.

Figura 5. Mapa de precipitação anual representado pelo modelo pelo modelo que se destacou (Tabela 1).



Através dos mapas para precipitação nas situações mensais Figuras 7 e 8, o período de maior concentração pluviométrica se concentra entre as situações de outubro a abril, com médias que vão de 190 a 347 mm, nota-se que o mês com maior média mensal foi janeiro (347 mm) seguido de dezembro (340 mm).

O padrão para distribuição espacial das precipitações da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade foi verificado que as situações de maior valor precipitado foram novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, sendo as maiores médias pluviométricas mensais de 251 mm, 340 mm, 345 mm, 283 mm, 332 mm e 190 mm, respectivamente.

Em todos as situações propostas, os valores precipitados se concentram ao norte da bacia, onde estão concentrados a maior parte dos municípios da bacia, com exceção o mês de novembro que apresentou maior volume precipitado ao leste da bacia. Durante a período de chuvas é caracterizado pela atividade agrícola com ênfase na produção de grãos, uma vez que em praticamente em sua totalidade a agricultura pela produção de sequeiro, após a colheita dos grãos, geralmente desenvolve-se a pecuária, com formação de pastagens que subsidiam a criação animal, durante os meses de estiagem. Nota-se que embora o potencial agrícola é grande, com índices pluviométricos adequados para grande maioria das culturas anuais, não é aproveitado em sua suma potencialidade, com municípios da bacia que

apenas apresentam produção extensiva de bovinos de corte e pequenas produções de grãos.

Nas situações entre maio e setembro concentram-se os menores volumes de chuvas, que variam de 7mm para menor média registrada a 60mm para a maior. Os meses de maio, junho e setembro apresentaram maior volume precipitado na porção norte da bacia, sendo os valores máximos registrados de 60mm, 10 mm e 45 mm, respectivamente. Os meses de julho (7 mm) e agosto (11 mm) apresentaram comportamento pluviométrico diferenciado dos demais, sendo que julho o maior valor precipitado ficou na porção sul da bacia e agosto na porção leste. Durante esse período a atividade de pecuária extensiva é predominante, atividades agrícolas não são viáveis em decorrência dos baixos índices pluviométricos com apenas atividades de manutenção em fazendas como preparo do solo (controle marlebológico, adubação e calagem) ou uso da área como pastagem para bovinos, que é a atividade predominante nessa época.

Através desses mapas, é possível por meio de planejamento estratégico, dessa forma fomentar a melhor produção agropecuária dos municípios da bacia hidrográfica, sendo de extrema importância para maximização da produção tanto piscícola, agrícola e pecuária.

Figura 6. Mapas dos meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d), maio (e) e junho (f), pelo modelo que se destacou (Tabela 1).

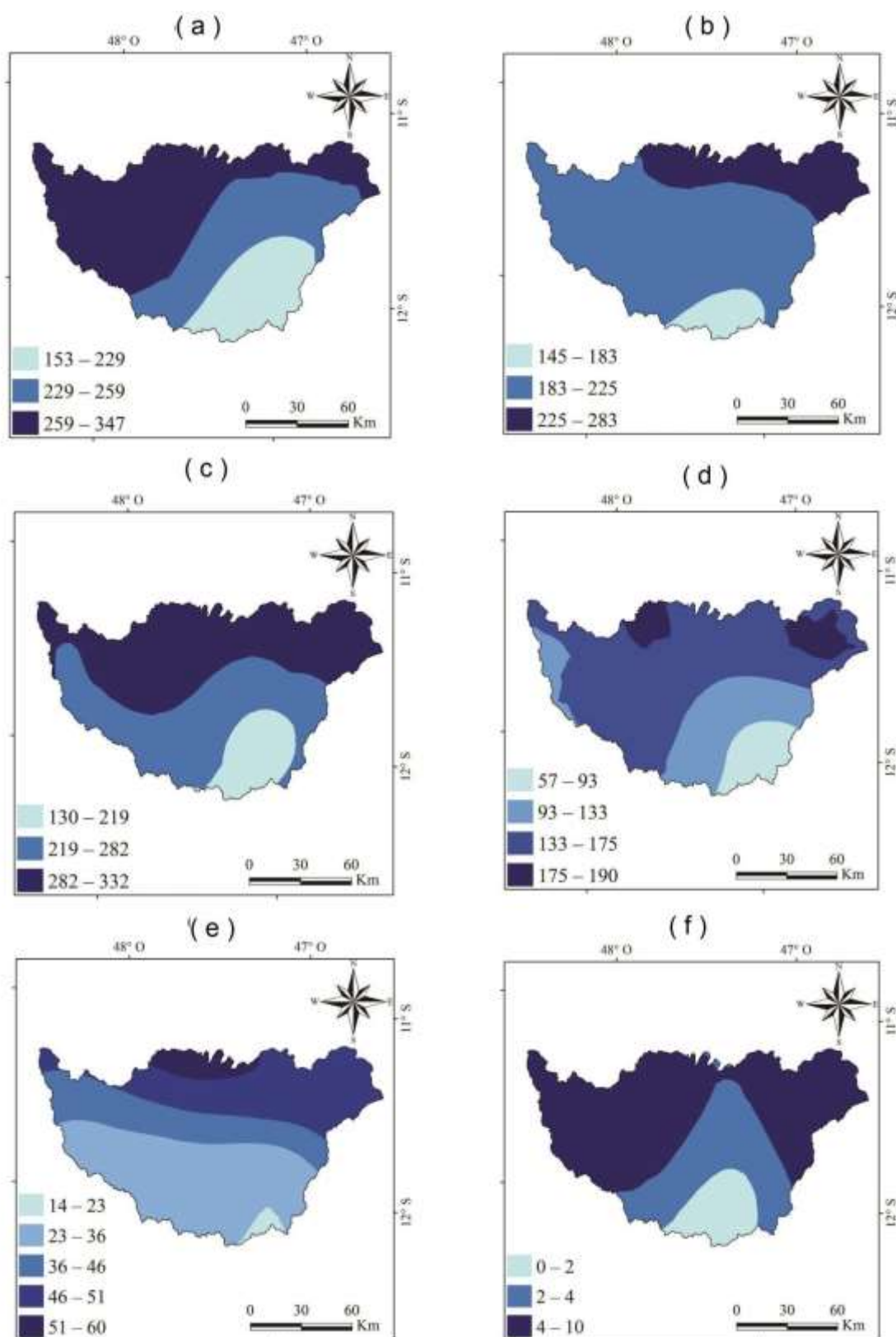
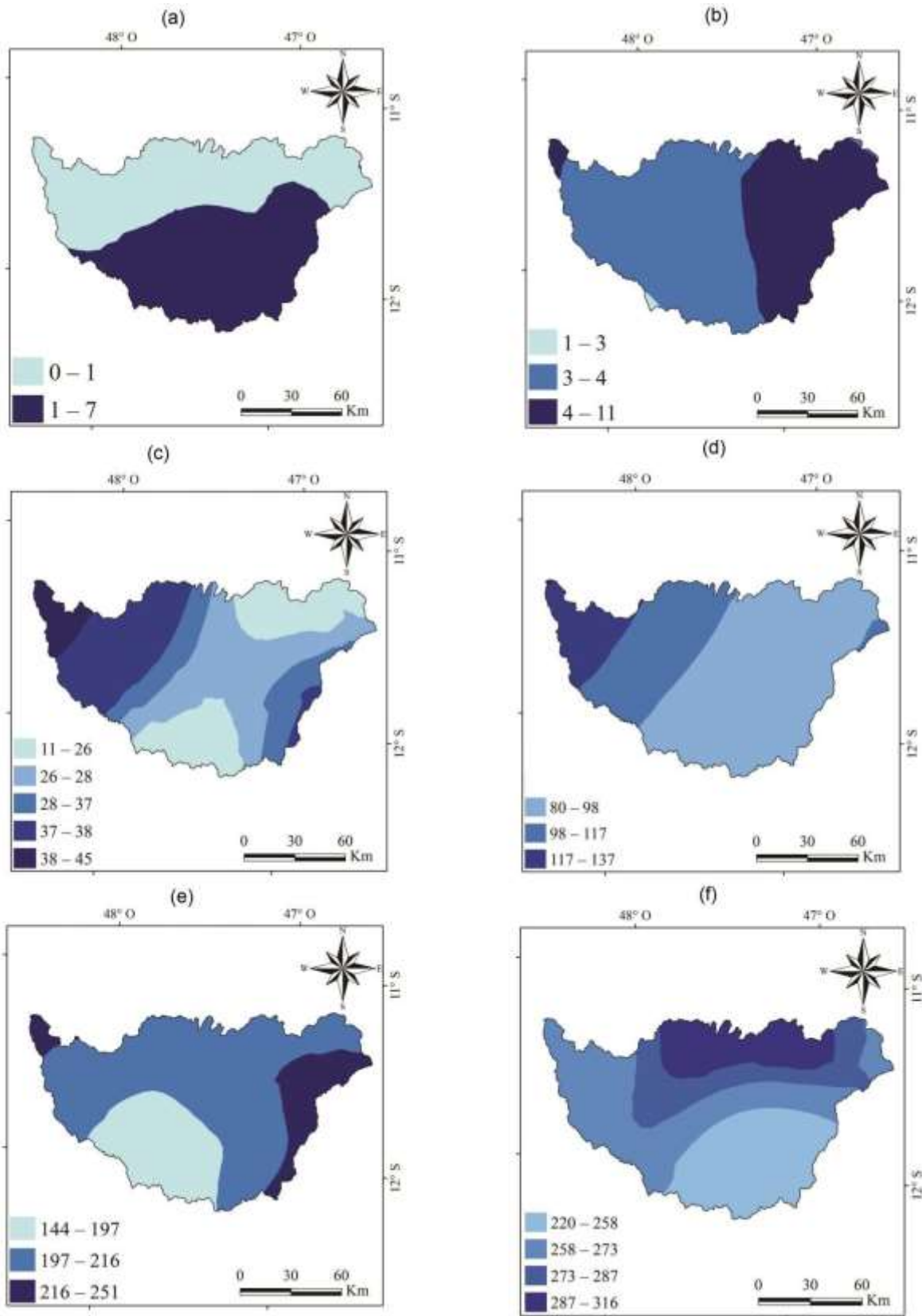


Figura 7. Mapas para os meses de julho (a), agosto (b), setembro (c), outubro (d), novembro (e) e dezembro (f), pelo modelo que se destacou (Tabela 1).



Diante dos mapas de precipitação nas situações mensais, 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

Este estudo foi fundamentado na necessidade da obtenção de informações sobre as chuvas por meio de sua distribuição espacial e temporal. Considerando que a Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade, localizada no sudeste do estado do Tocantins, tem como base econômica a agropecuária, tendo como exemplos o Perímetro Irrigado Manuel Alves, grandes plantações de grãos, grandes rebanhos de bovinos de corte, sendo assim é essencial o conhecimento das chuvas para o melhor planejamento das atividades agrícolas, manejo do solo e da água.

O comportamento espacial da precipitação pluvial mostrou baixa variabilidade nos índices pluviométricos para as situações mensais e anuais, sendo milímetros em períodos de estiagem e no maior índice pluviométrico de 80 mm, considerando 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 representou melhor desenvoltura, sendo ele o mais adequado para aplicações de técnicas geoestatísticas na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade. Uma importante limitação neste estudo, foi a influência do regime pluviométrico, sobretudo nos meses de estiagem, na análise geoestatística, que produziram erros exorbitantes.

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.

6. BIBLIOGRAFIA

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

BRASIL. **Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 09 jan. 1997.

BRITTO, F.P; BARLETTA, R; MENDONÇA, M. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no rio grande do sul: influência do fenômeno el niño oscilação sul.** *Revista brasileira de climatologia*. Agosto de 2008.

BURROUGH, P. A.; BOUMA, J.; YATES, S. R. **The state of the art in pedometrics.** *Geoderma*, Amsterdam, v. 62, n. 1/3, p. 311-326, 1994.

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.o 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.

GALVANI, E., AZEVEDO, T. R. **A frente polar Atlântica e as características de tempo associadas**. IN: **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 10. Rio de Janeiro, UERJ, 2003.

HUIJBREGTS, C.J. (1975) - **Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data**. In: DAVIS, J.C. & MC CULLAGH, M. J. (ed.) *Display and analysis of spatial data*. John Wiley, p.38 - 53.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, J.C.H. (1978) - **Mining geostatistics**. Academic Press, 600p. 1978.

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

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 V. 06, N. 01 (2013) 091-099

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 Eucaliptus grandis**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v.1, n.1, p.25-37, 2005.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madrid: ediciones mundi-prensa, 1985. 542p.

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*.

RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. 840p.

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.S.; SILVA, F.J.C. **O potencial erosivo das chuvas na bacia do Manuel Alves**. VII JICE. 2016.

SOUZA, S. M. **Vulnerabilidade ambiental do projeto piloto de Irrigação Manuel Alves – Dianópolis – Tocantins Palmas**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins (UFT). Palmas, 2005.

SOUZA, Z.M. de; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. **Variabilidade espacial de fatores de erosão em Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.1, p.105-114, 2005.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PERREIRA, G.T. & MONTANARI, R. **Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo**. Ci. Rural, 36:829-836, 2006.

STURARO, J.R. (1994) **Mapeamento geoestatístico de propriedades geológico-geotécnicas obtidas em sondagens de simples reconhecimento**. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, 183 p.

STURARO, J.R.; LANDIM. P.M.B. & RIEDEL, P.S. **O emprego da técnica Geoestatística da krigagem indicativa em Geotecnia ambiental: Solos e Rochas**, vol. 23(3):157-164.(2000)

TENÓRIO, E. **Dia Técnico debate a fruticultura irrigada no Tocantins**. SECONTO. 2017. Disponível em <<https://portal.to.gov.br/noticia/2017/8/17/dia-tecnico-debate-a-fruticultura-irrigada-no-tocantins/>> Acesso em: 20 de abril de 2018.

TERASSI, P.M.B. **Características da precipitação pluvial e a erosividade das chuvas na vertente paranaense da bacia hidrográfica do rio Itararé**. Revista do Departamento de Geografia, V. 31 118-131(2016).

TOCANTINS. **Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: SEPLAN/DZE. Atlas do Tocantins, 2012.

TOCANTINS. **Situação atual da aquicultura tocantinense**. SEAGRO. Palmas, 2017.

TRINDADE, A.L.F.; OLIVEIRA, P.T.S.; ANACHE, J.A.A; WENDLAND, E. **Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.51, n.12, p.1918-1928, dez. 2016

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

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. INMET: Brasília, 2000. 515p.

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.

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R. D.; LIMA, S. D. O. e ALVES, M. V. G. **Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 49, p. 125-135, 2014.