

ANÁLISE DE PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DA VARIABILIDADE ESPACIAL NA BACIA DO RIO PARAGUAÇU

Myrla de Souza Batista Vieira

*CPRM – Serviço Geológico do Brasil
myrla.vieira@cprm.gov.br*

Érica Cristine Medeiros Nobre Machado

*Universidade Federal de Campina Grande
erica@ccta.ufcg.edu.br*

Osvalcélio Mercês Furtunato

*CPRM – Serviço Geológico do Brasil
osvalcelio.furtunato@cprm.gov.br*

ABSTRACT

Nowadays, the climate change linked to rainfall variability is the one of the most discussed topics among scientific because of the amount of natural disasters from its excess or shortage in many regions. It generates a search for areas favorable for the occurrence of natural disasters through the determination of precipitation patterns the best represent each region. Therefore, it is very important grouping of rain with certain characteristics in common, for comparison purposes. This work presents an analysis of patterns of precipitation through the application of geostatistics for the analysis of spatial variability for sub-basin of the river Paraguaçu, where normally, there is an association of low rainfall and high rates of evapotranspiration. We analyzed the average annual rainfall of long-term and the coefficient of irregularity in 56 rainfall stations in the period between October 1975 and March 2007.

Palavras-Chave: Variabilidade espacial, Geoestatística, Precipitação

INTRODUÇÃO

Atualmente, em todas as partes do mundo, vêm ocorrendo fenômenos meteorológicos que causam grandes desastres naturais, afetando a vida das pessoas e causando pânico na sociedade. Grande parte destes desastres é decorrente da variabilidade climática, definida pelas Nações Unidas como a terminologia utilizada para as variações de clima em função dos condicionantes naturais do globo terrestre e suas interações. A variabilidade climática afeta os usos dos recursos hídricos e se refletem nas modificações da distribuição temporal e espacial da precipitação, que é variável de entrada na bacia hidrográfica, e podem produzir alterações nas variáveis de resposta da bacia como, por exemplo, as séries de vazões.

Para análise da variabilidade espacial da precipitação em uma bacia hidrográfica é necessária a interpolação dos dados pontuais obtidos por meio de pluviômetros ou pluviógrafos componentes de uma rede pluviométrica. A interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas (Queiroga et al, 2007). Mine (2006) destaca que ainda é comum o uso de métodos manuais em hidrologia para interpolação dos dados de precipitação, sendo frequentemente utilizado o Método do Quadrado da Distancia e o os Polígonos de Thiessen. A autora ainda destaca que estes métodos são na maioria dos casos considerados arbitrários e inflexíveis, e defende o uso de métodos geoestatísticos, por serem facilmente automatizados e apresentarem resultados confiáveis a partir de um modelo explícito da variabilidade espacial.

Neste contexto, este trabalho tem como principal objetivo o uso de procedimentos geoestatísticos baseado em técnicas de krigagem para análise da variabilidade espacial no ambiente de geoprocessamento, para determinar padrões de precipitação na sub-bacia do rio Paraguaçu, onde, normalmente, há uma associação de baixas pluviosidades e elevadas taxas de evapotranspiração. Estes procedimentos englobam análise exploratória, geração e modelagem de semivariogramas, validação do modelo e interpolação de krigagem.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde o início do século XX, a comunidade científica vem desenvolvendo pesquisas para determinar a variabilidade espacial dos dados amostrais, porém os procedimentos usados eram baseados na estatística clássica, que se utiliza de parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno e se baseia na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias. E estas pesquisas utilizavam grandes quantidades de dados amostrais, visando caracterizar ou descrever a distribuição espacial da característica em estudo.

Apenas na década de 50, que trabalhando com dados de concentração de ouro, Krige (1951) concluiu que somente a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo e que seria necessário levar em consideração também a localização e a distância entre as observações. Surgindo, portanto, o conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

Matheron (1963, 1971), baseado nas observações de Krige, desenvolveu a teoria das variáveis regionalizadas, que consiste em 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.

No Brasil, foi na década de 90 que se difundiu o uso da geoestatística nos estudos em hidrologia, principalmente para o cálculo da variabilidade da precipitação, como é o caso da estimativa de isoietas com base em dados pluviométricos, utilizando os métodos geoestatísticos de kriging e co-kriging (Oliveira e Chaudrhy, 1995), que compararam estes métodos, considerando o efeito da orografia na precipitação da Bacia do Rio Camanducáia, em São Paulo, e detectaram a dependência da precipitação em relação às altitudes dos postos selecionados.

Coelho e Ambrizzi (1998) relacionaram o padrão de precipitação sobre a América do Sul com a circulação de grande escala durante o verão austral (DJF) dos eventos de El Niño de 1982/83 e 1986/87, e mostraram que o padrão de circulação sobre a América do Sul tem uma grande variabilidade de um evento para outro.

Em 2000, Ferreira Filho et al. dividiram o Estado do Ceará em três partes - Serra do Ibiapaba, Litoral e Interior – e mostraram a importância da precipitação como variável necessária ao estudo dos recursos hídricos, ressaltando que, para o efetivo monitoramento dessa variável, seriam imprescindíveis a instalação, operação e manutenção dos pluviômetros.

Com o objetivo de comparar o cálculo do valor médio da precipitação com diversos métodos, Gomes e Silans (2000), estudaram a variabilidade destes métodos sobre o cálculo da precipitação média na Bacia do Rio Gramame, na Paraíba.

Almeida et al. (2004) afirmaram que a geoestatística se revela uma forte ferramenta de análise espacial, que ainda permite a compreensão e distribuição de confiabilidade, do processo de espacialização da variável, depois de analisar a variabilidade espacial da precipitação anual média e dos coeficientes de irregularidade na Bacia do Rio Ipanema em Pernambuco.

Salgueiro e Montenegro (2004) utilizaram a geoestatística para analisar a variabilidade espacial e os padrões de precipitação na bacia do rio Ipojuca, Pernambuco, e comprovaram que as duas variáveis apresentam forte estrutura de correlação espacial e, portanto, devem ser tratadas como variáveis regionalizadas.

Salgueiro et al. (2006), utilizando as séries pluviométricas da Rede Hidroclimática da SUDENE e o método da krigagem, avaliaram o comportamento pluviométrico em Pernambuco através da análise da variabilidade espacial das precipitações máximas e seus padrões frontais, orográficos e convectivos em relação aos diversos patamares altimétricos do Estado, como a Baixada litorânea, o Planalto da Borborema e a Depressão sertaneja.

Em 2010, Furtunato et al. realizaram a análise da variabilidade espacial da precipitação na bacia do médio Rio São Francisco, utilizando as séries temporais de precipitação mensal de 36 estações pluviométricas, no período compreendido entre outubro de 2009 e março de 2010, e identificaram quais são as áreas onde há maior ocorrência de chuva na bacia.

ÁREA DO ESTUDO: Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu

A bacia hidrográfica do Rio Paraguaçu, também denominada Sub-bacia 51 (Figura 1), compreende área de drenagem compreendida entre a baía de Todos os Santos, inclusive, e a foz do Rio de Contas, exclusive (DNAEE, 1987). Por isto, a sub-bacia 51 engloba as sub-bacias hidrográficas dos rios Paraguaçu, Jiquiriçá, Jaguaripe, Das Almas e outros, abrangendo uma área de aproximadamente 74.733 km². Situa-se no Centro-Leste do Estado da Bahia, limita-se a Noroeste e Oeste com a bacia do rio São Francisco, ao Norte com a bacia do Itapicuru, ao Sul com a bacia do rio de Contas, e a Leste com as bacias dos rios Pojuca, Inhambupé e o seu estuário, a baía do Iguape, na Baía de Todos os Santos.

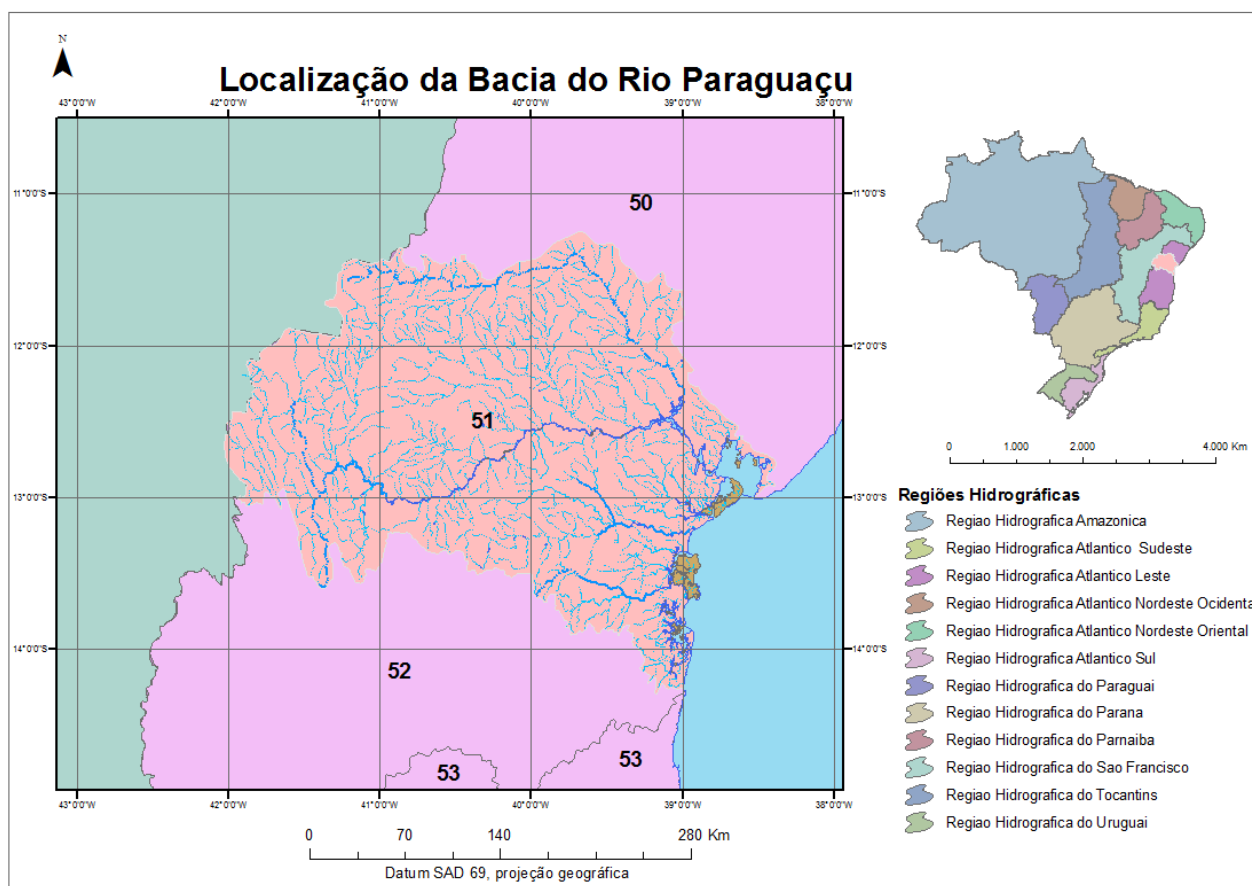


Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Paraguaçu

Os principais rios da bacia são: Paraguaçu, Subaé, Jequiriçá, Jaguaripe, Una, das Almas, Jequié e Cachoeira Grande. O rio Paraguaçu nasce nas proximidades do município de Barra de Estiva (BA), numa altitude de aproximadamente 1.200 m, percorrendo cerca de 500 km até sua foz. Inicialmente tem seu curso orientado no sentido Norte até sua confluência com o rio Santo Antônio, quando faz uma curva para Sudeste até as imediações da cidade de Itaeté. Daí volta-se para Nordeste até a confluência com o rio Capivari, seguindo até sua foz em sentido Oeste-Leste (Figura 2).

O rio Paraguaçu tem regime permanente, sendo continuamente abastecido pelos afluentes provenientes da Chapada Diamantina. Caracterizada como uma área de armazenamento de água, a chapada é beneficiada pela constituição litológica e clima úmido, além das águas provindas das rochas calcárias que também se constituem num importante aquífero, imprimindo um caráter especial à alimentação do rio. Os afluentes do seu médio curso são rios intermitentes, com regime torrencial na época das chuvas, decorrente do clima semi-árido. Essa torrencialidade é mais intensa na parte Nordeste, interferindo no regime do rio e provocando enchentes catastróficas.

O perfil longitudinal do rio Paraguaçu apresenta uma relativa regularidade, sem grandes variações de declive, exceto no contato da Chapada Diamantina, quando seu gradiente passa da altitude 1000 m para 400 m em cerca de 20 km. Em seu baixo curso, a jusante da barragem de Pedra do Cavalo, seu vale é encaixado e o canal retilíneo, até formar a baía do Iguape.

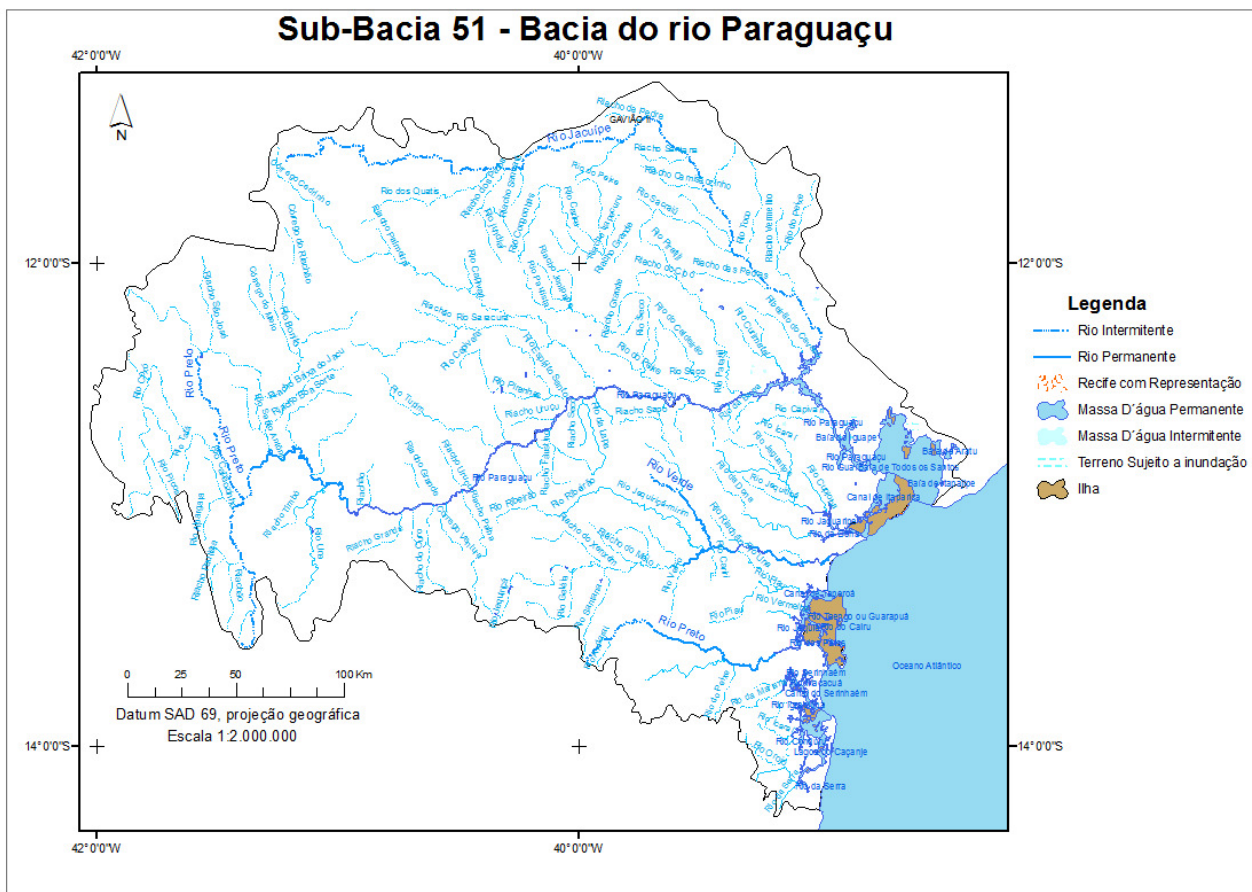


Figura 2 – Rede Hidrográfica da Bacia do Rio Paraguaçu.

Para que se pudesse analisar de forma mais fácil as características da região Nordeste, o IBGE dividiu a região em quatro zonas (sub-regiões): Meio Norte, Sertão, Agreste Nordestino e Zona da Mata. O território da bacia do rio Paraguaçu está contido em três destas zonas, a Zona da mata, o Agreste e o Sertão (Figura 3). Na Zona da Mata as chuvas são abundantes, enquanto que no Sertão, devido ao clima semi-árido, as chuvas são irregulares e escassas (CERQUEIRA, 2011). O Agreste é uma faixa de transição entre o Sertão e a Zona da Mata.

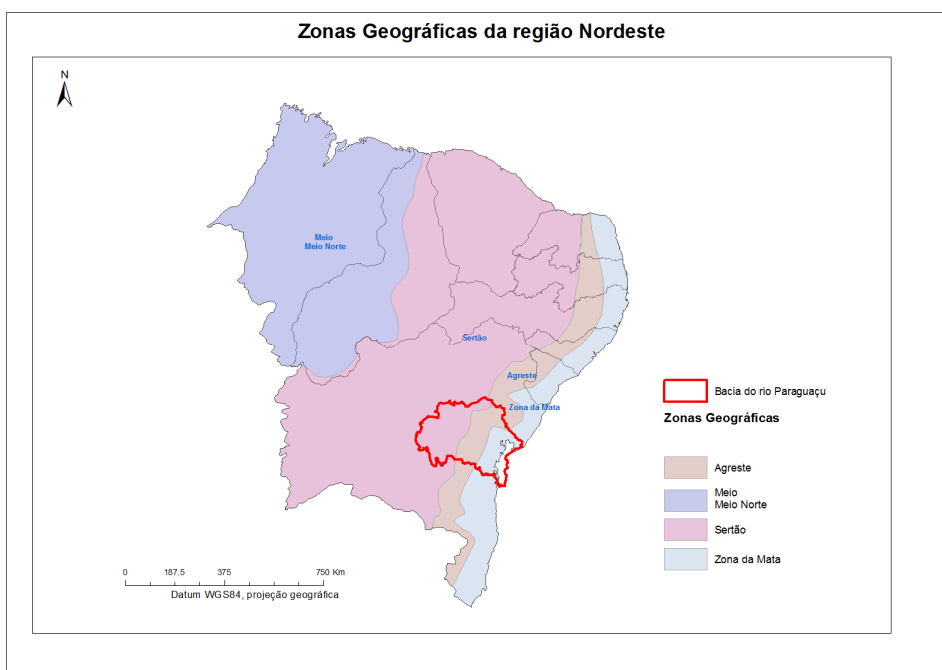


Figura 3 – Zonas geográficas da região Nordeste

Além disso, a bacia do rio Paraguaçu está sob a influência de quatro sistemas meteorológicos, que são: Alísios de Sudeste; Convergência Intertropical; Equatorial Continental Amazônica; e Frente Polar Atlântica. Das interações desses quatro sistemas com os fatores geográficos resulta na bacia em questão um quadro climático com domínio de clima quente. Na bacia do rio Paraguaçu as temperaturas médias situam-se entre 16° a 28°C. A média do mês mais frio (julho) varia entre 14° e 18°C, decrescendo da nascente até a foz. Os totais pluviométricos anuais variam entre 500 e 1200mm.

O principal uso na Bacia do Paraguaçu é a pecuária, que invariavelmente aparece associada com outros tipos de uso como a agricultura e o extrativismo.

METODOLOGIA

1. Aquisição e consolidação dos dados

Neste trabalho, foram utilizadas as séries temporais de precipitação anual de 56 estações pluviométricas obtidas a partir do banco de dados gerado para atender aos estudos do Atlas Pluviométrico do Brasil, projeto do Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), na área de abrangência da Superintendência Regional de Salvador - Sureg/SA (Figura 4). Abrange, portanto, estações contidas na área de abrangência da bacia do Rio Paraguaçu (sub-bacia 51) e no seu entorno.

Este banco de dados foi organizado através da reunião de dados de estações pluviométricas que continham, entre o período de 1975 a 2007, no mínimo 15 anos completos de dados (sem falhas), contínuos ou não. Composto em sua grande maioria de estações da Agência Nacional de Águas (ANA), pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional, e, em menor quantidade, estações pertencentes às redes hidrometeorológicas da CHESF, CODESVASF, DNOCS, EMBASA e SUDENE. A consolidação do banco de dados foi realizada em três etapas (Machado et al, 2011): 1 – Detecção de erros grosseiros: foram buscadas observações marcadas em dias que não existem e de quantidades absurdas, que, sabidamente, não podem ter ocorrido; 2 – Preenchimento de falhas e consistência mensal dos dados: realizada com o auxílio do software Hidro-Plu, programa de homogeneização de dados pluviométricos desenvolvido pela ANEEL; 3 - Verificação da homogeneidade e consistência anual dos dados: utilizando-se, como referência, a curva dupla acumulativa.

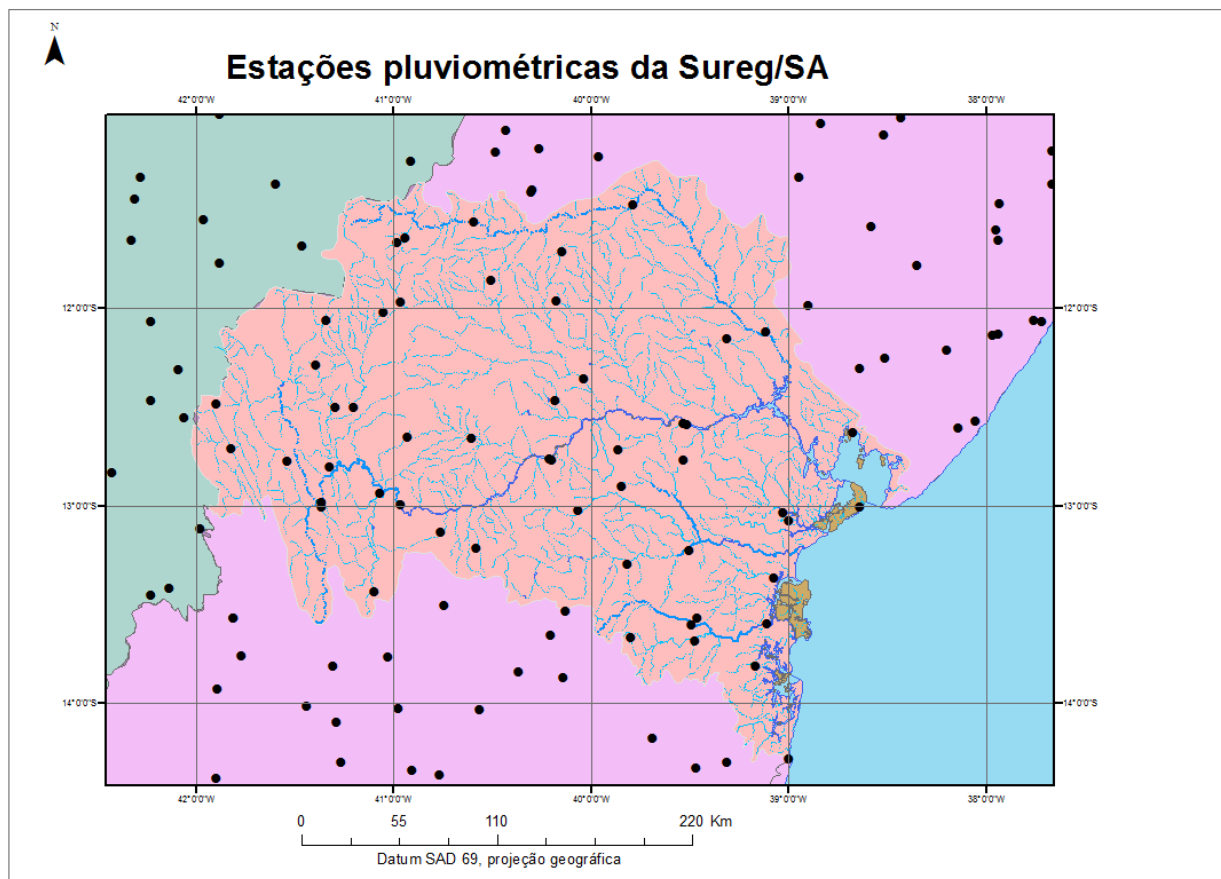


Figura 4 – Estações pluviométricas da Sureg/SA

2. Variáveis analisadas

A Tabela 1 resume as principais variáveis analisadas neste trabalho, contendo as 56 estações contidas na bacia do Rio Paraguaçu, com seus respectivos nomes, códigos, coordenadas geográficas (DATUM: WGS84), precipitação média anual e coeficiente de irregularidade meteorológica.

A precipitação Média Anual (Pmed) foi calculada através da média aritmética dos totais anuais do período da série histórica. O Coeficiente de Irregularidade Meteorológica (CI) é obtido pela razão entre o valor máximo (Pmax) e o valor mínimo (Pmin) da precipitação total anual, o qual, se resultar em um valor superior a 3, já pode ser considerado alto (Scheffer et. al, 1994).

Tabela 1 – Valores de precipitação média anual e do coeficiente de irregularidade meteorológica das estações analisadas.

n°	Código	Nome da Estação	Longitude	Latitude	Anual	CI
1	1039019	QUEIMADAS	-39,6342	-10,9735	534,00	3,88
2	1039025	AÇUDE JACURICI	-39,7209	-10,6524	564,07	3,44
3	1040019	SAÚDE	-40,4003	-10,9338	967,94	2,82
4	1040025	PINDOBAÇU	-40,3801	-10,8024	840,90	4,54
5	1040026	PONTO NOVO	-40,112	-10,8449	605,42	4,13
6	1138002	INHAMBUPE	-38,3484	-11,7832	922,92	3,41
7	1138014	CIPÓ	-38,517	-11,1171	604,23	3,97
8	1138026	PONTE EUCLIDES DA CUNHA	-38,8356	-11,0635	509,56	3,79
9	1139022	GAVIÃO II	-39,7875	-11,4718	532,45	4,03
10	1140000	MIGUEL CALMON (DJALMA DUTRA)	-37,9406	-12,1307	651,23	5,40
11	1140010	FRANÇA	-40,5964	-11,5574	735,85	4,12
12	1140016	JACOBINA	-40,4845	-11,204	928,89	5,08
13	1140031	BARRA DO MUNDO NOVO	-40,5084	-11,8585	892,27	3,09
14	1140032	AÇUDE SERROTE	-40,3039	-11,4102	675,91	4,61
15	1140033	AÇUDE RIO DO PEIXE	-39,9656	-11,2304	505,47	4,16
16	1141008	ARRECIFE	-41,8837	-11,0171	565,48	3,70
17	1142017	FAZENDA CABACEIRAS	-42,317	-11,4424	699,41	3,94
18	1142020	FAZENDA REFRIGÉRIO - JUSANTE	-42,2856	-11,3335	699,92	4,39
19	1238000	TIRIRICA	-38,057	-12,5707	1731,11	2,73
20	1238010	ARAÇAS	-38,2009	-12,2107	1338,52	2,67
21	1238042	BURACICA	-38,5153	-12,2518	1200,05	2,90
22	1238046	EMBOACICA	-38,1392	-12,6071	1625,64	2,72
23	1238051	TEODORO SAMPAIO	-38,6395	-12,3041	1160,33	3,16
24	1239007	ARGOIM (DNOCS)	-39,5184	-12,5846	649,08	3,63
25	1239010	MILAGRES	-39,8503	-12,9004	475,20	6,14
26	1240012	ITAETÉ	-40,967	-12,9927	682,58	4,65
27	1240016	IAÇU	-40,2153	-12,7604	589,48	6,21
28	1241001	FAZENDA IGUAÇU	-41,0712	-12,9377	714,56	6,42
29	1241008	ANDARAÍ	-41,3278	-12,8021	1057,98	6,05
30	1241017	PORTO	-41,2965	-12,4979	950,45	4,46
31	1241032	GUINE	-41,5445	-12,7716	799,15	7,15
32	1241033	USINA MUCUGÊ	-41,3703	-13,0079	1031,45	4,77
33	1242015	BROTAS DE MACAÚBAS	-42,6298	-12,0036	731,54	2,78
34	1242016	PONTE BR-242	-42,7606	-12,2554	607,82	3,61
35	1338009	COROA	-38,6428	-13,0038	2001,97	2,58
36	1339000	SANTA LUZIA	-39,492	-13,6016	1571,52	2,38
37	1339012	ITUBERÁ	-39,1695	-13,811	2029,13	2,04
38	1339020	ARATUIPE	-39,0025	-13,0746	2053,88	1,87
39	1339027	WENCESLAU GUIMARÃES	-39,4792	-13,6852	1198,20	2,80
40	1339030	MUTUIPE	-39,5048	-13,2246	1159,40	2,50
41	1339034	NAZARÉ	-39,0289	-13,033	1781,22	2,17
42	1339038	VALENÇA	-39,0775	-13,3677	2123,78	2,07
43	1339041	SANTA INÊS	-39,8217	-13,298	570,10	4,68

n°	Código	Nome da Estação	Longitude	Latitude	Anual	CI
44	1339044	NILO PEÇANHA	-39,1084	-13,5996	1654,21	2,13
45	1340003	JEQUIÉ	-40,1426	-13,8721	633,08	4,64
46	1340015	NOVA ITARANA	-40,0684	-13,0227	539,58	4,43
47	1341029	ITUAÇU	-41,3092	-13,8124	635,78	6,16
48	1439001	LOMANTO JUNIOR	-39,4712	-14,8082	1468,97	2,71
49	1439002	FLORESTA AZUL	-39,6587	-14,8602	1061,24	2,32
50	1439006	PEDRINHAS	-39,4689	-14,3271	1145,05	3,19
51	1439014	IPIAÚ	-39,6901	-14,1749	1129,88	2,46
52	1439023	ITAJÚÍPE (PIRANJI)	-39,3876	-14,6777	1594,00	2,52
53	1439089	IBICARAÍ	-39,6087	-14,8768	1074,45	2,89
54	1440032	AREIÃO	-40,1356	-14,6071	511,16	5,34
55	1441000	SANTO ANTÔNIO	-41,2928	-14,0988	581,56	5,59
56	1539002	SÃO JOSÉ	-39,3459	-15,0927	1454,27	2,16

Observa-se que, das 56 estações pluviométricas, apenas 21 possuem um coeficiente de irregularidade meteorológica inferior a 3,0, o que indica uma preponderância dos processos irregulares (precipitações convectivas) sobre a regularidade meteorológica (precipitações frontais), justificando a sua análise através de métodos geostatísticos.

3. Análise pela Geoestatística

Inicialmente foi realizada uma análise preliminar dos dados com o objetivo de avaliar a variação da precipitação com a estatística básica, onde foram calculados os parâmetros descritivos: média, desvio médio, variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

Para a análise da variabilidade espacial empregou-se métodos geoestatísticos, mas precisamente a Teoria das Variáveis Regionalizadas, que estuda a variabilidade de uma quantidade através de um modelo probabilístico associado à consideração da posição relativa das observações no espaço e possíveis correlações dessas observações em função da distância de separação entre elas.

Esta é um assunto que inclui uma grande variedade de técnicas de estimação, como Inverso do Quadrado da Distância (IDW), análise do vizinho mais próximo (nearest neighbor), e krigagem linear e não-linear. Neste trabalho, foi adotado o método da krigagem ordinária, por ser o mais comumente utilizado para identificar e mapear padrões espaciais da superfície terrestre e que permite identificar se existe autocorrelação espacial entre dados de pontos. Para isso, a função mais comumente utilizada é o semivariograma ou variograma, que identifica a estrutura de correlação de uma Variável Regionalizada (VR). O variograma é a descrição matemática do relacionamento entre a variância de pares de observações (valores medidos: $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$) e a distância separando estas observações (h).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

A parametrização do variograma é normalmente feita ajustando-se um modelo paramétrico ao semivariograma experimental, destacando-se em pesquisas anteriores o emprego dos seguintes modelos no ajuste: modelo Esférico (Esf), o modelo Exponencial (Exp) e o modelo Gaussiano (Gauss).

A figura 5 mostra os componentes do variograma, e seus principais modelos. Dentre estes, o mais comum é o exponencial. O efeito pepita (nugget) é o ponto inicial da curva, onde a curva toca o eixo γ , quando $h=0$. O patamar (sill) é o valor de γ máximo da curva, o ponto em que não existe mais nenhuma correlação entre as variáveis, sendo assim a variância do conjunto de dados. O alcance (*range*) é o ponto máximo onde existe auto-correlação espacial das variáveis.

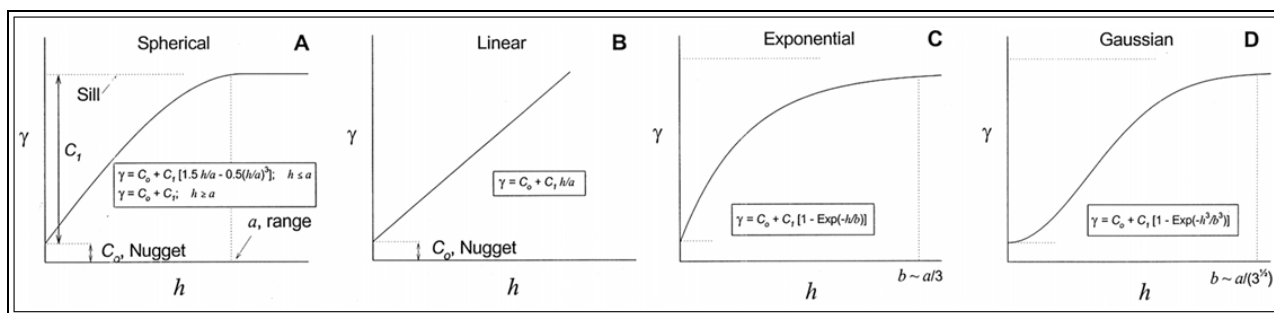


Figura 5. Componentes e Modelos do Variograma (Lembo e Magri, 2002)

Outro fator a ser estudado é a anisotropia, que acontece quando existe uma auto-correlação espacial mais acentuada em uma direção. A parte mais importante do variograma é sua forma próximo à origem, uma vez que são os pontos mais próximos os que possuem maior peso no processo de interpolação. Em geral, 30 ou mais pares de pontos são necessários para um bom variograma.

Uma forma de analisar o variograma é a proposta por Cambardella et al. (1994), que classifica a dependência espacial entre os dados como forte, moderada ou fraca. O critério proposto para classificação é a relação $[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$. Valores inferiores a 25% caracterizam forte (Fort) dependência espacial, entre 25% e 75% moderada (Mode) e acima de 75%, fraca (Frac) dependência espacial.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 mostra os resultados da análise estatística básica. A precipitação média anual da bacia do rio Paraguaçu é de 995,59 mm, mas este valor anual apresenta uma grande variabilidade, como pode ser identificado a partir dos demais parâmetros estatísticos. Esta variabilidade pode ser decorrente da preponderância dos processos irregulares sobre as regularidades meteorológicas, identificado pelo alto valor do parâmetro CI, cujo valor médio é 3,79.

Tabela 2 – Resultados da análise estatística básica

Parâmetros	Pmed	CI
Média	995,59	3,79
Desvio Médio	383,84	1,09
Variância	218837,41	1,74
Desvio Padrão	467,80	1,32
Coefficiente de Variação	47%	35%

Na tabela 3 são apresentados os resultados da análise geoestatística, onde foram espacializadas as variáveis de precipitação média anual (Pmed), Coeficiente de Irregularidade Meteorologica (CI), ajustadas pela distribuição Normal e Log Normal. Uma vez ajustado o semivariograma, é possível analisar, dentre outros fatores, o grau de dependência espacial da variável, a qual expressa a relação entre o efeito Pepita e o Patamar, onde observamos uma forte dependência para a variável de precipitação. Quanto menor esta relação, menor o valor relativo do efeito pepita, e, conseqüentemente, mais bem arranjado espacialmente se encontra o atributo estudado (Berner et al, 2007).

As figuras 6 e 7 mostram a espacialização espacial das variáveis de precipitação média e coeficiente de irregularidade, respectivamente, na bacia do rio Paraguaçu, para o modelo de distribuição normal, o qual apresentou melhores graus de dependência espacial.

Observa-se na figura 6 que, os valores mais elevados de precipitação ocorrem junto ao litoral, na região contida na Zona da Mata. Enquanto que os valores mínimos estão distribuídos na região central da bacia hidrográfica, região da Zona de Agreste. Ao avançar para a Zona do Sertão, há uma ligeira elevação dos valores da precipitação, talvez pelo efeito orográfico, já que esta região está próxima à Chapada Diamantina, o que caracteriza também esta região como as de menores dependências espacial, verificado pelos elevados valores do coeficiente de variação (Figura 7).

Tabela 3– Resultados da análise geostatística utilizando o método da krigagem ordinária

Parâmetros	Pmed	CI	Log Pmed	Log CI
Transformação estatística	Normal	Normal	Log Normal	Log Normal
Direção considerada	Anisotrópica	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica
Modelos dos semivariogramas	Esférico	Esférico	Gaussiano	Esférico
Fator de anisotropia	2,5868	1	1	1
Ângulo otimizado pelo Software	16,8	0	0	0
Alcance Máximo (a)	2,76855	2,49827	1,07033	2,3642
Alcance Mínimo (a)	1,07026	2,49827	1,07033	2,3642
Patamar (C + C ₀)	246820	1,862	0,17844	0,11217
Efeito Pepita (C ₀)	0	0,3119	0,015079	0,025669
Dependência espacial (C ₀ / (C + C ₀)*100 %)	0% (Fort)	17% (Fort)	8% (Fort)	23%
Lag size	0,39754	0,39754	0,24597	0,6063
nº de lags	7	7	7	7
Médio	25,28	-0,00164	18,94	0,02231
Médio Quadrático	207,5	0,9154	216,9	0,9158
Médio Padrão	262,5	0,8828	241	1,046
Médio Normalizado	0,05712	0,00384	0,05704	0,02712
Desvio Padrão Normalizado	0,9232	1,038	0,8854	0,9036

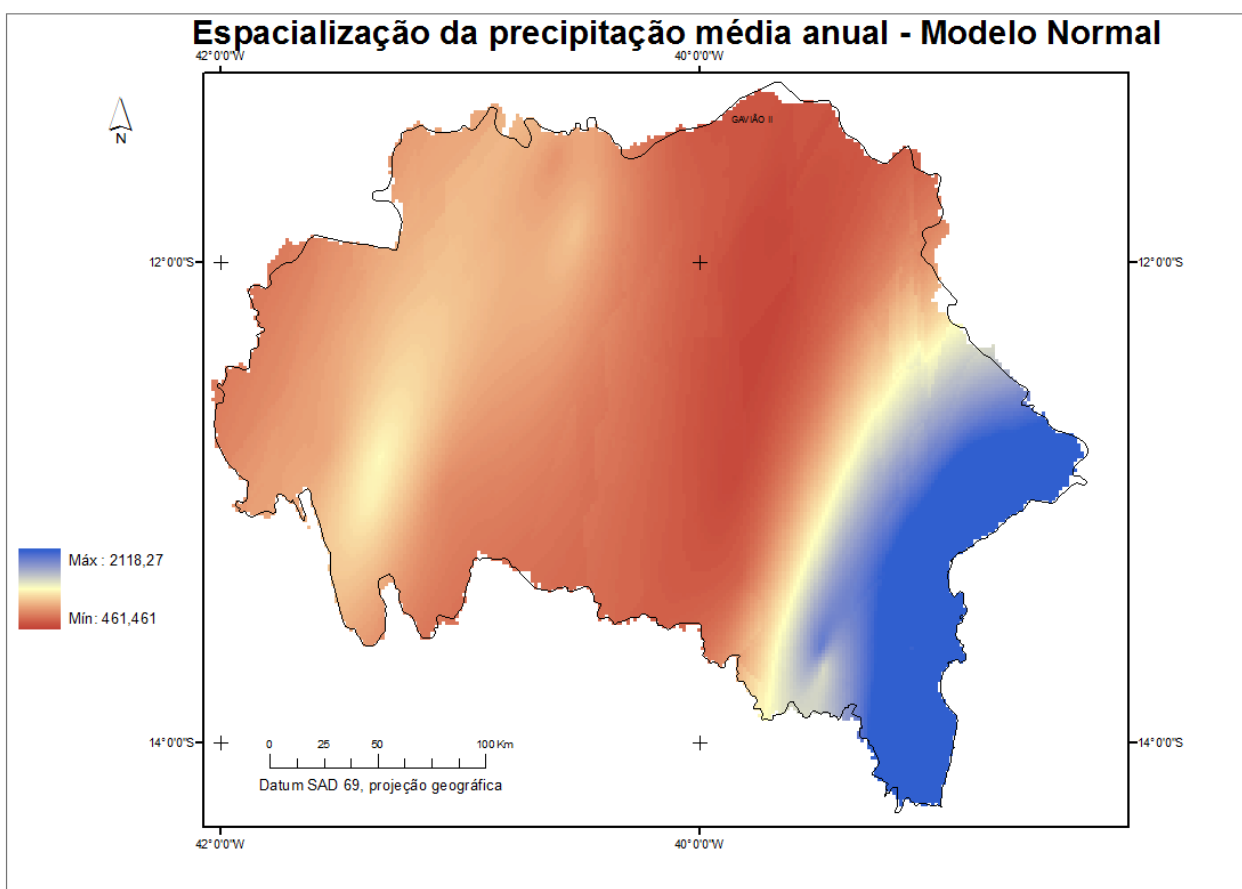


Figura 6 – Espacialização da precipitação média anual na bacia do rio Paraguaçu

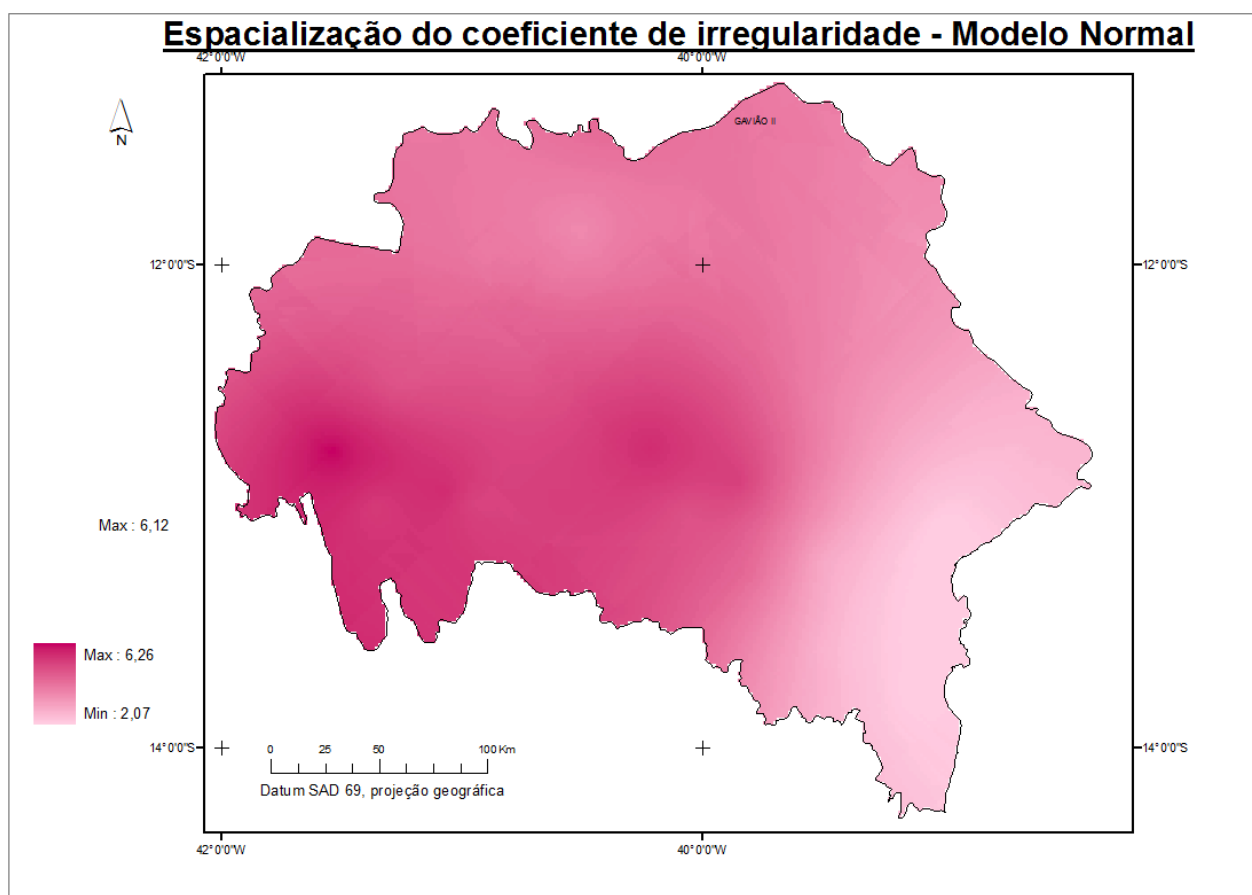


Figura 7 – Espacialização do coeficiente de irregularidade na bacia do rio Paraguaçu

CONCLUSÕES

A espacialização da precipitação média mostrou que a intensidade das chuvas é maior na Zona da Mata.

Os valores do coeficiente de irregularidade mostraram que na região da Zona da Mata prevalecem as chuvas frontais, mas que nas regiões do Agreste e do Sertão são mais freqüentes as chuvas convectivas.

A comparação das figuras de espacialização dos parâmetros analisados apontou que a Zona da Mata tem um padrão de precipitação diferenciado na sub-bacia, com uma intensidade de precipitação média maior e com a presença de chuvas de pouca duração, mas que atingem grandes áreas, ou seja, chuvas frontais.

O Agreste e Sertão seguem padrões similares com chuvas mais intensas, mas com pouca duração, que geram uma intensidade de precipitação média menor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da ANA (Agência Nacional de Águas) e da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) pela disponibilização dos dados para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A.A.A.; OLIVEIRA, O. F. (2004) Análise da Variabilidade Espacial da Precipitação na Bacia do Rio Ipanema, Pernambuco, CD-ROM do VII Simpósio de Recursos hídricos do Nordeste, ABRH, São Luis - MA.

- BERNER, P. G. M.; VIEIRA, S. R.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. (2007). Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 31:837-844.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F., KORNOPKA, A. E. (1994) Fieldscale Variability of Soils Properties in Central Iowa Soils. Soil. Sci. Soc. Am. J., V.58, p1501 – 1511.
- CERQUEIRA, W. (2011) As Sub-regiões do Nordeste - Brasil Escola. <http://www.brasilecola.com/brasil/as-subregioes-nordeste.htm>. Acesso em 19/06/2011.
- COELHO, C. A. S.; AMBRIZZI, T. (1998) Estudos climatológicos da influência dos extremos negativos da Oscilação Sul durante Dez-Jan-Fev de 1982/83 e 1986/87 sobre a precipitação da América do Sul. CD-ROM do X Cong.Bras.Meteor., Brasília, DF.
- DNAEE (1987) Inventário das estações pluviométricas. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Brasília. 140 p.
- FERREIRA FILHO, W. M.; NOGUEIRA, L. A. A.; BEMFEITO, C. J. S. (2000) Aplicação da metodologia kriging à pluviometria do estado do Ceará. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 5., 2000, Natal. Anais... Natal: ABRH. CD-ROM.
- FURTUNATO, O. M.; SILVA, D. R.; CAMPOS, J. M.; SANTOS, S. L.; SANTOS, S. C.; VIEIRA, M. S. B.; HORA, L. S.; CONCEIÇÃO, S. S. S. (2010) Análise da variabilidade espacial da precipitação na bacia do médio São Francisco: estudo para a sub-bacia 46. In: X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Anais. Fortaleza: ABRH. CD-ROM.
- GOMES, R. S.; SILANS, A. M. B. P. (2000) Comparação de diversos métodos de cálculo da precipitação média sobre uma bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 5, 2000, Natal. Anais. Natal: ABRH. CD-ROM.
- KRIGE, D.G. (1951) A statistical approach to some mine valuations problems at the Witwatersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa 52, 119-138.
- LEMBO, A. J.; MAGRI, A. (2002) Geostatistics. Paper apresentado durante a ministração do curso Spatial Modeling and Analysis – CSS 620, do Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, Ithaca, NY.
- MACHADO, E. C. M. M.; FURTUNATO, O. M.; PINTO, E. J. A. (2011). Espacialização dos dados de precipitação anual e trimestrais da bacia do Rio de Contas (Sub-Bacia 52). XIV World Water Congress. Porto de Galinhas – PE.
- MATHERON, G. (1963) Principles of geostatistics. Economic Geology, 58 (8): 1246-1266.

- MATHERON, G. (1971) The theory of regionalized variables and its applications. Paris, Les Cahiers Du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu. 211p.
- MINE, M. R. M. (2006). *Aplicação da geoestatística no estudo da variabilidade da precipitação*. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Gravatá-PE.
- OLIVEIRA, J. N.; CHAUDHRY, F. H. (1995) Uso de métodos geoestatísticos na determinação de isoietas a partir de dados pluviométricos. In: XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vol. 1, p. 13-19.
- QUEIROGA, Y. G. A.; ASSUNÇÃO, R.; SILVA, F. E. O. (2007). *Análise das previsões de precipitação do modelo ETA realizadas durante a operação do sistema de alerta da bacia do rio Doce – o uso da krigagem na interpolação espacial*. XVII Simpósio Brasileiro de Recurso Hídricos, São Paulo-SP.
- SALGUEIRO, J. H. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. (2004). Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões de precipitação na bacia do rio Ipojuca em Pernambuco . VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.
- SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MOURA, G. B. A. (2006) As precipitações máximas e seus tipos de ocorrências sobre as diversas altitudes de Pernambuco: uma abordagem geoestatística do atual conhecimento em Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2006, Gravatá. Anais... Gravatá: ABRH. CD-ROM.
- SCHEFFER, S.; DOHERTY, F. R.; FERREIRA, N. S.; FILHO, P. F. A. (1994). Análise da Rede Pluviométrica do Estado de Pernambuco. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRH, – 310, Fortaleza – CE, p302.