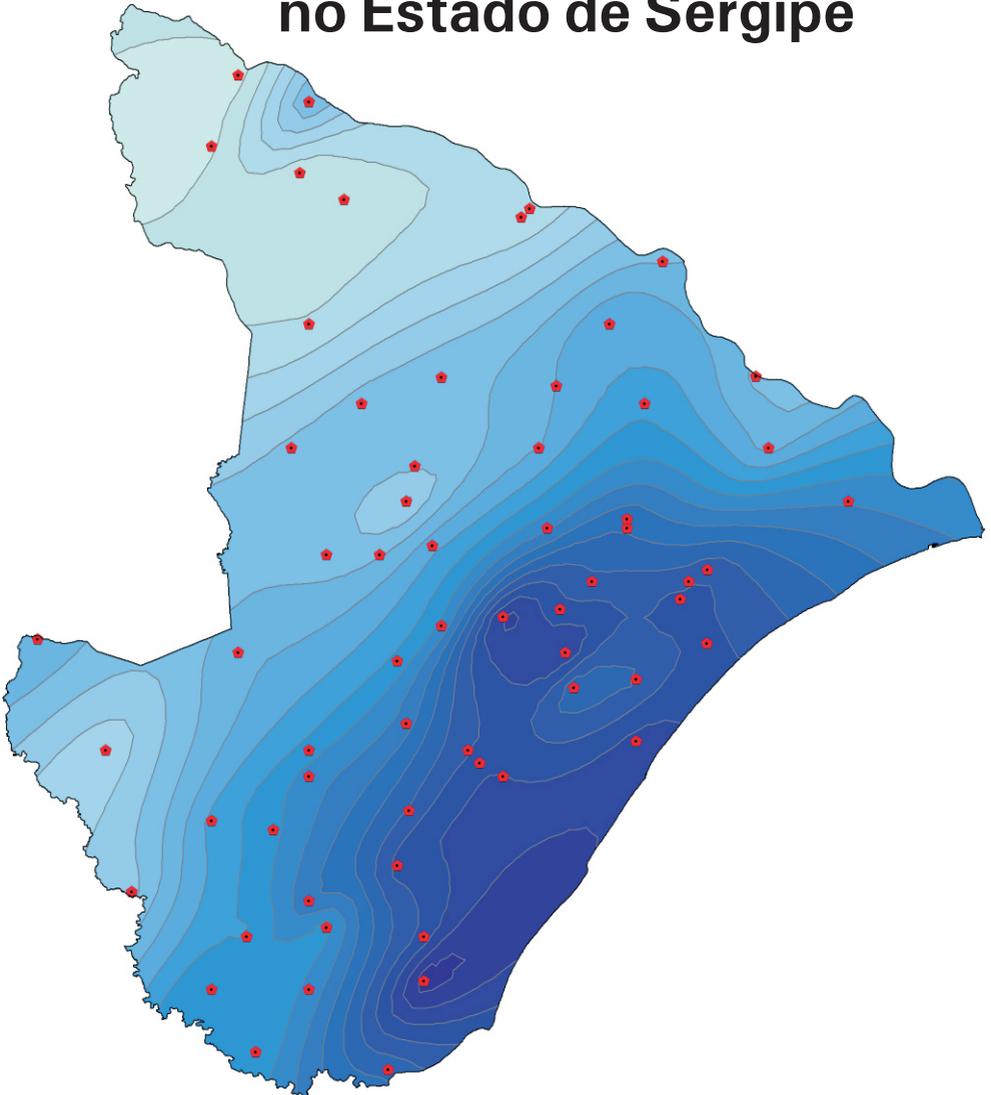


Regionalização de precipitações médias e prováveis mensais e anuais no Estado de Sergipe





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1678-1961

Dezembro, 2009

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 54

Regionalização de precipita- ções médias e prováveis mensais e anuais no Estado de Sergipe

Marcus Aurélio Soares Cruz

Aracaju, SE
2009

Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/index.php?idpagina=artigos&artigo=4523>

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Av. Beira Mar, 3250, Aracaju, SE, CEP 49025-040
Caixa Postal 44
Fone: (79) 4009-1344
Fax: (79) 4009-1399
www.cpatc.embrapa.br
sac@cpatc.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Ronaldo Souza Resende
Secretária-Executiva: Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues
Membros: Semíramis Rabelo Ramalho Ramos, Julio Roberto Araujo de Amorim, Ana da Silva Lédo, Flávia Karine Nunes Pithan, Ana Veruska Cruz da Silva Muniz, Hymerson Costa Azevedo.

Supervisora editorial: Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues
Revisão Bibliográfica: Josete Cunha Melo
Tratamento de ilustrações: Bryene Santana de Souza Lima
Editoração eletrônica: Bryene Santana de Souza Lima
Foto da capa: Luciana Marques de Carvalho

1ª edição

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Tabuleiros Costeiros

Cruz, Marcus Aurélio Soares

Regionalização de precipitações médias e prováveis mensais e anuais no estado de Sergipe / Marcus Aurélio Soares Cruz. – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009.

26 p. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 54).

1. Precipitação pluviométrica. 2. Chuva. 3. Sergipe. 4. Brasil I. Título. II. Série.

CDD 551.577

©Embrapa 2009

Sumário

Resumo.....	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultado e Discussão.....	12
Conclusões.....	23
Referências Bibliográficas.....	24

Regionalização de precipitações médias e prováveis mensais e anuais no Estado de Sergipe

Marcus Aurélio Soares Cruz¹

Resumo

O conhecimento do comportamento temporal e espacial da precipitação pluvial constitui-se em elemento essencial para o planejamento da grande maioria das atividades humanas em uma dada região ou bacia hidrográfica. As precipitações caracterizam-se como fenômeno aleatório, no entanto estudos de valores médios mensais e anuais associados a distribuições de probabilidades permitem a avaliação dos riscos assumidos em projetos para o uso dos recursos hídricos. Um outro fator importante é a variabilidade espacial da precipitação, pois os registros são pontuais e a cobertura das regiões é muitas vezes deficitária. Desta forma, a utilização de técnicas de geoestatística pode possibilitar a ampliação da informação e avaliar a confiabilidade do dado em regiões de baixa cobertura. Este estudo objetivou avaliar o comportamento temporal e espacial das precipitações médias anuais e mensais no Estado de Sergipe e sintetizar as informações em 52 mapas de zoneamento, considerando-se riscos de ocorrência de chuvas. Avaliaram-se 63 postos pluviométricos, para os quais foram ajustadas funções de probabilidade do tipo Log-Normal, determinando-se as chuvas prováveis de 50%, 75% e 90%, além da chuva média. Há dependência espacial nos dados compilados e as lâminas precipitadas apresentam padrão de crescimento no sentido do interior para o litoral do estado.

¹Pesquisadores da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira Mar, 3250, C.P. 44, Jardins, Aracaju, SE.CEP: 49025-040. E-mail: mascruz@cpatc.embrapa.br.

Regionalization of mean rainfall and probable rainfall considering monthly and yearly time steps in the Sergipe state

Abstract

Knowledge of spatial and temporal behavior of rainfall is an essential element for planning the vast majority of human activities in a given region or basin. The rainfall is characterized as a random phenomenon, but studies of mean rainfall considering monthly and annual records associated with probability distributions allow the assessment of risks on projects for use of water resources. Another important factor is the spatial variability of precipitation, because the records are spatially limited and monitoring coverage of the regions is often deficient. Thus, the use of geostatistical techniques may allow the improvement of information and the evaluation of data reliability in regions of low information. This study aimed to evaluate the spatial and temporal behavior of annual rainfall and monthly rainfall in the state of Sergipe and synthesize the information into 52 zoning maps, considering the risks of rainfall. The analysis was made with 63 rainfall stations for which were adjusted Log-Normal probability functions and produced rainfalls with 50%, 75% and 90% of occurrence probability, as well as the mean rainfall. There is spatial dependence in the precipitation data and a growth pattern towards the interior to the coast of the state.

Introdução

O planejamento da gestão dos recursos hídricos no Brasil é realizado considerando-se como unidade a bacia hidrográfica (PORTO; PORTO, 2008). Os profissionais atuantes nessa área confrontam-se diariamente com dificuldades relacionadas à escassez de informação confiável relacionada aos diferentes processos do ciclo hidrológico. A precipitação pluvial tem se caracterizado historicamente como a variável hidrológica melhor registrada no território brasileiro, contando com uma boa malha de pluviômetros e pluviógrafos distribuídos nas principais bacias hidrográficas. Apesar disso, ainda existem muitas deficiências de cobertura em algumas regiões e problemas nos registros, resultantes de erros de leituras, aparelhos sem manutenção adequada, falta de investimentos no setor e vandalismos, ocasionando falhas nas séries históricas registradas.

Informação pluviométrica tem importância indiscutível no planejamento de ações relacionadas aos usos da água em bacias hidrográficas, que vão desde a utilização de sistemas complexos para irrigação de culturas a cisternas para abastecimento em regiões de escassez hídrica. O conhecimento da variação de volumes precipitados durante o ano a partir de séries históricas possibilita a geração de valores médios e com possibilidade de ocorrência em um mês ou ano qualquer. A esta possibilidade associa-se o conceito de precipitação provável, que representa a precipitação mínima relacionada a uma probabilidade de ocorrência (BERNARDO et al., 2005). Estas informações são de extrema aplicabilidade nos processos de planejamento agrícolas, em que, por exemplo, o dimensionamento de sistemas de irrigação deve considerar um risco de atendimento das demandas de água das culturas pela precipitação. Várias distribuições de probabilidade têm sido aplicadas em estudos de precipitações prováveis no Brasil, destacando-se as distribuições Gama, Normal e Log-Normal (RIBEIRO et al., 2007).

A variabilidade temporal associada à variação espacial dos eventos de chuva, segundo características climáticas e geomorfológicas da região, promovem uma distribuição não-uniforme das alturas precipitadas em uma bacia hidrográfica, dificultando a obtenção de valores exatos em regiões com baixa cobertura de postos. Segundo Tucci (1993), bacias hidrográficas com boa cobertura de registros pontuais de chuva devem apresentar uma área de abrangência máxima de 25 km² por posto. Infelizmente, essa não é a realidade da grande maioria das bacias hidrográficas brasileiras, cujas áreas de abrangência máximas podem

superar facilmente os 100 km².

Uma ferramenta para auxílio ao processo decisório em políticas de gestão de recursos hídricos são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os SIGs constituem-se em um conjunto harmônico composto por uma base de dados, um ou mais programas computacionais que permitam a manipulação de informações e uma interface gráfica para acesso do usuário (CÂMARA; QUEIROZ, 2001). Por meio dos SIGs é possível a manipulação de atributos georreferenciados de forma rápida, com a produção de mapas, gráficos e planilhas que possibilitem, por exemplo, a partir de associações com técnicas de geoestatística, a interpretação do comportamento das precipitações em uma bacia hidrográfica ou região de interesse no que se refere à sua variabilidade espacial, permitindo a detecção da influência climática ou geomorfológica nos padrões de distribuição espacial das chuvas, bem como a produção de informação associada a um grau de confiabilidade em região não coberta por posto.

O Estado de Sergipe, que apresenta três regiões climáticas distintas com diferenças pluviométricas significativas, denominadas Litoral úmido, Agreste e Semiárido, apresenta, comparativamente à maioria dos estados brasileiros, boa cobertura de postos pluviográficos, distribuídos de forma aproximadamente uniforme dentro de seu território e sob gerenciamento de órgãos executivos federais, como a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); estaduais, como as Secretarias de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) e a Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO); além de instituições de ensino e pesquisa, como a Universidade Federal de Sergipe (UFS) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). O formato e disponibilidade dos dados destas estações apresentam-se como fatores limitantes de sua ampla utilização, uma vez que apenas as estações mantidas pela ANA têm seus registros diários das séries históricas completas acessíveis ao público interessado em meio digital no portal HidroWeb (ANA, 2009). As informações das demais instituições apresentam ainda restrições ao uso, seja por indisponibilidade total ou parcial, como dados não-digitalizados, séries muito curtas dentre outras.

Este estudo visa contribuir para as ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos no Estado de Sergipe por meio da análise do comportamento espaço-temporal das precipitações médias mensais e anuais e produção de mapas de distribuição espacial das alturas precipitadas associadas às probabilidades de

ocorrência. O produto deste estudo poderá ser utilizado na definição de volumes médios de chuva mensais ou anuais para regiões do estado com baixa cobertura por postos, considerando-se uma probabilidade de ocorrência.

Material e Métodos

O Estado de Sergipe, localizado entre os paralelos 9°31'54" e 11°34'12" de latitude sul e os meridianos 36° 24'27" e 38° 11'20" de longitude oeste, apresenta um clima tropical que varia de úmido, sub-úmido ao semiárido, onde as temperaturas são elevadas durante todo o ano, com médias térmicas anuais em torno de 24°C (SEMARH, 2009). Segundo a classificação climática de Köppen, predomina o clima tropical com estação seca de verão (As). O período chuvoso é compreendido entre abril e agosto com concentração nos meses de maio, junho e julho. Na faixa litorânea, com relevo de baixas altitudes, os ventos alísios que vêm do Atlântico penetram no continente propiciando totais pluviométricos mais elevados, entre 1.200 e 1.600 mm, diminuindo em direção ao interior. Na porção Agreste ou área de transição, predomina o clima tropical sub-úmido com precipitações atmosféricas anuais entre 800 e 1.200 mm. Na área sertaneja o clima é o semiárido, onde as temperaturas são elevadas e as taxas pluviométricas mais reduzidas, variando em torno de 500 a 800 mm. Apresenta baixa umidade do ar e grande variação térmica entre o dia e a noite. Conforme se observa, há grande variabilidade temporal e espacial na precipitação sobre o estado, exigindo-se a aplicação de diferentes técnicas estatísticas e geoestatísticas para o entendimento destes comportamentos e produção de informação útil espacialmente distribuída.

A metodologia de trabalho adotada consistiu no procedimento de seleção de postos com registros diários de precipitação de longo período, análise de consistência dos dados, ajustes estatísticos e análise espacial com obtenção de mapas. Essas ações têm caráter consecutivo e são abaixo detalhadas:

1. Obtenção e análise de consistência de dados diários de precipitação

Uma das intenções do estudo estava na avaliação da capacidade de geração de informação confiável a partir dos dados disponíveis ou de acesso gratuito a qualquer pessoa interessada. Assim, restringiu-se a fonte de dados ao portal da

ANA, pelos motivos já citados e por fornecer as séries históricas diárias completas, o que possibilita a realização de procedimentos para a análise de consistência mais detalhados, não tão eficientes para manipulação de dados com escala temporal maior, como valores mensais, por exemplo. Desta forma, foi realizada uma busca no portal HidroWeb, acessado através do endereço <http://hidroweb.ana.gov.br>, na seção “Dados hidrológicos/ Séries históricas”, identificando-se a existência de 129 postos de registros de precipitação. Após a obtenção das séries em formato *ASCII*, procedeu-se à realização da análise de consistência dos dados. Os arquivos obtidos apresentam o código de identificação dos postos, coordenadas geográficas, data de cada registro e valores diários de lâminas precipitadas em formato padronizado com separação por ponto-e-vírgula. Foi elaborado, então, um algoritmo em linguagem *Fortran90* para realizar a verificação do tamanho da série, ocorrência de falhas, presença de *outliers* e cálculo de parâmetros estatísticos de tendência central, como média e mediana, e de dispersão, como desvio padrão, máximo, mínimo e percentis, considerando-se as escalas de tempo mensal e anual. Realizou-se ainda a análise comparativa entre postos situados próximos entre si, com períodos equivalentes de registros, por meio de gráficos de *precipitação x tempo*, para a verificação de comportamentos anuais similares e/ou divergências que inviabilizem o uso dos dados. Estes procedimentos permitiram a eliminação de um grande número de postos considerados inconsistentes e com séries históricas consistidas muito curtas. Considerou-se 10 anos um tamanho mínimo de série que permita uma análise consistente para valores de precipitação médios e prováveis, mantendo uma cobertura de postos mínima para o território do Estado de Sergipe. Esta consideração é aceitável uma vez que o estudo concentrou-se na análise de registros frequentes, portanto caso diferente de análises que envolvem eventos críticos.

2. Determinação das lâminas de precipitação provável

Com os postos selecionados, foi realizado o ajuste de distribuição estatística para os dados mensais e anuais de cada posto. Para tanto, utilizou-se a distribuição de probabilidade Log-Normal com posição de plotagem pela fórmula de Blom (LANNA, 1993), que é a mais indicada para distribuições de probabilidade do tipo Normal e Log-Normal. Esta distribuição foi selecionada a partir da verificação do ajuste estatístico nas amostras por meio do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KIRKMAN, 2009) ao nível de 5% de significância. A distribuição de probabilidade Log-normal é descrita por meio da Função de Densidade de Probabilidade (FDP):

$$P[x] = \frac{1}{x \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-0,5 \cdot \left(\frac{\ln(x) - \mu_n}{\sigma_n} \right)^2}, \text{ com } x \geq 0,$$

Tendo-se μ_n e σ_n como seus parâmetros, que podem ser calculados a partir dos dados amostrais por meio das seguintes equações:

$$\mu_n = 0,5 \cdot \ln \left(\frac{\mu^4}{\mu^2 + \sigma^2} \right)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\ln \left(\frac{\mu^2 + \sigma^2}{\mu^2} \right)}$$

Em que μ é a média e σ é o desvio padrão dos valores da amostra.

A equação base utilizada para estudos hidrológicos, neste caso, fica:

$$X = e^{\mu_n + \sigma_n \cdot Z},$$

Em que X é a precipitação provável obtida e Z é a variável reduzida para distribuição normal padronizada.

Para efeitos de regionalização, foram selecionadas apenas as precipitações prováveis com 50%, 75% e 90% de probabilidade de não-superação para cada mês e anual em cada posto, além dos valores das precipitações médias.

3. Análise espacial com regionalização da informação

À avaliação das medidas estatísticas usuais, seguiu-se à verificação da existência e do alcance da dependência espacial dos valores médios e com probabilidade de ocorrência para chuvas mensais e anuais. A avaliação do comportamento espacial da precipitação partiu da elaboração dos semivariogramas experimentais, considerando-se valores médios e com as probabilidades de ocorrência de 50%, 75% e 90%, localizados espacialmente em cada posto. Avaliando-se a ocorrência de anisotropia, foram obtidas a detecção do alcance da dependência espacial da variância e a seleção dos parâmetros de funções matemáticas para interpolação. Em seguida, foram selecionadas dentre as funções ajustadas aquelas que melhor representassem o comportamento gráfico dos

semivariogramas, observando-se a formação de efeito pepita, alcance e patamar, minimizando-se o erro padrão médio. Os procedimentos foram executados no programa ARCVIEW® (ESRI, 2008). O semivariograma ajustado fornece a função matemática que melhor representa o comportamento da variância segundo o deslocamento no espaço de estudo. Esta função permite a determinação dos ponderadores ou pesos a serem utilizados no processo de interpolação por krigagem. Por meio da aplicação da krigagem ordinária foram gerados 52 mapas interpolados de variabilidade espacial das precipitações prováveis e médias, acompanhados de mapas de variância dos erros, possibilitando a visualização dos graus de confiabilidade das informações fornecidas.

Resultados e Discussão

As análises exploratória e de consistência realizadas possibilitaram a seleção de 63 postos com séries históricas de precipitação diária de tamanho igual ou superior a 10 anos consistidos, descartando-se postos que, após os procedimentos de análise, tiveram suas séries reduzidas a menos de 10 anos. Na Figura 1, é apresentada a cobertura de postos pluviométricos considerada. A tabela 1 apresenta as principais características dos postos selecionados.

Observa-se, pela Figura 1, que há uma distribuição aproximadamente uniforme dos postos de chuva nas principais bacias hidrográficas do Estado de Sergipe, com exceção da bacia do rio São Francisco em sua porção centro-oeste e próximo ao litoral, onde há escassez de cobertura, bem como nos extremos noroeste e sudeste da bacia do rio Vaza-Barris. Contabilizando-se as áreas específicas cobertas em cada bacia, verificou-se, por exemplo, na bacia do rio São Francisco, que cada posto selecionado responde por aproximadamente 486 km² de área na bacia, sendo esta a de pior cobertura. Para a bacia do rio Japarutuba, a taxa de cobertura foi de 193 km² para cada posto, seguida pelas das bacias dos rios Sergipe, com 289 km²/posto; Piauí (332 km²/posto); Real (341 km²/posto) e Vaza-Barris, com 378 km² de área coberta para cada posto pluviométrico. Nota-se que estes valores são bem elevados, caracterizando a necessidade premente de instalação de estações de coleta para longo período no estado.

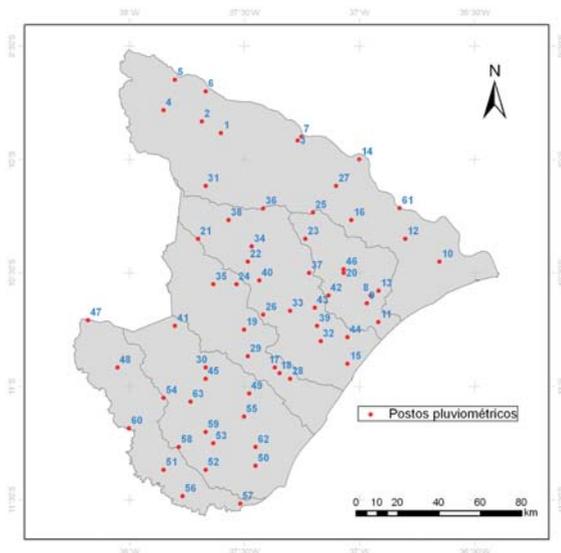


Figura 1. Postos pluviométricos selecionados no Estado de Sergipe.

Pelos períodos das séries históricas apresentados na Tabela 1, verifica-se que, após a análise de consistência e exploratória as séries originais tiveram seus tamanhos reduzidos em 31%, em média, resultando em séries efetivas com valor médio de 35 anos, em que o posto 13 (Fazenda Cajueiro) apresentou a menor série histórica, totalizando 11 anos de dados, e o posto 62 (Estância), a maior, com 82 anos de registros diários sem falhas. Observa-se ainda que os registros foram realizados em diferentes períodos, com 30 postos contemplando períodos mais recentes (até 10 anos) e destes, apenas 3 postos mantêm leituras até a data atual. Como o estudo se concentrou na análise de valores médios e prováveis de precipitação, os períodos considerados passam a ter importância secundária, no entanto isso pode ter mascarado possíveis efeitos de mudanças climáticas nas precipitações.

Tabela 1. Características principais dos postos pluviométricos selecionados.

ID	Código ANA	Nome da estação	Latitude	Longitude	Ano inicial	Ano final	Série (anos)	Série efetiva (anos)
1	937024	FAZENDA LAGOA	-9,88333	-37,60000	1963	1994	32	18
2	937025	POCO REDONDO	-9,83333	-37,68333	1963	1984	22	14
3	937026	PORTO DA FOLHA	-9,91667	-37,26667	1913	2000	88	61
4	937027	FAZENDA BELO HORIZONTE	-9,78333	-37,85000	1963	1999	37	15
5	937028	CANINDE DE SÃO FRANCISCO	-9,65000	-37,80000	1912	1999	88	67
6	937029	CURRALINHO	-9,70000	-37,66667	1937	2000	64	38
7	937030	ILHA DO OURO	-9,90000	-37,25000	1936	1984	49	35
8	1036014	JAPARATUBA	-10,60000	-36,95000	1917	1987	71	61
9	1036020	USINA OUTEIRINHOS (IAA)	-10,63333	-36,96667	1963	1996	34	19
10	1036021	PACATUBA (PACATIBA)	-10,45000	-36,65000	1920	1984	65	60
11	1036033	CURRAL DO MEIO	-10,71667	-36,91667	1963	1984	22	18
12	1036054	JAPOATA (FAM)	-10,35000	-36,80000	1949	1971	23	12
13	1036063	FAZENDA CAJUEIRO	-10,57806	-36,91556	1991	2008	18	11
14	1037000	QUEIMADAS	-10,00000	-37,00000	1956	1972	17	13
15	1037002	ARACAJU	-10,90000	-37,05000	1912	1985	74	54
16	1037003	AQUIDUBA	-10,26667	-37,03333	1912	1997	86	58
17	1037006	FAZENDA BELEM	-10,91667	-37,36667	1936	1976	41	36
18	1037007	FAZENDA BELEM	-10,94167	-37,34500	1948	2006	59	35
19	1037008	CAMPO DO BRITO	-10,75000	-37,50000	1952	2001	50	29
20	1037009	CAPELA	-10,50000	-37,06667	1953	1998	46	31
21	1037010	CARRA	-10,35000	-37,70000	1963	1984	22	20
22	1037012	CRUZ DAS GRACAS	-10,45000	-37,48333	1963	2000	38	23
23	1037013	CUMBE	-10,35000	-37,23333	1963	1987	25	23
24	1037014	FREI PAULO	-10,55000	-37,53333	1912	1985	74	62
25	1037016	GRACHO CARDOSO(TAMANDUA)	-10,23333	-37,20000	1963	1999	37	23
26	1037019	ACUDE ITABAIANA	-10,68333	-37,41667	1913	1985	73	63
27	1037021	ITABI (PROVIDENCIA)	-10,11667	-37,10000	1963	1999	37	22
28	1037022	ITAPORANGA D'AJUDA	-10,96667	-37,30000	1912	1977	66	57
29	1037024	JENIPAPO	-10,86667	-37,48333	1963	1996	34	16
30	1037025	LAGARTO	-10,91667	-37,66667	1920	1999	80	58
31	1037027	LAGOA DA SERRADINHA	-10,11667	-37,66667	1963	1999	37	17
32	1037028	LARANJEIRAS	-10,80000	-37,16667	1920	1987	68	62
33	1037030	MALHADOR	-10,66667	-37,30000	1963	1984	22	15
34	1037031	MANICOBA	-10,38333	-37,46667	1963	2000	38	21
35	1037032	MOCAMBO	-10,55000	-37,63333	1912	1979	68	60
36	1037034	NOSSA SENHORA DA GLORIA	-10,21667	-37,41667	1912	1999	88	71
37	1037036	NOSSA SENHORA DAS DORES	-10,50000	-37,21667	1913	2000	88	74
38	1037038	FAZ. OLHO D'AGUA DOS PORCOS	-10,26667	-37,56667	1963	1999	37	15
39	1037042	RIACHUELO	-10,73333	-37,18333	1963	1999	37	23
40	1037044	RIBEIROPOLIS	-10,53333	-37,43333	1940	1999	60	23
41	1037045	SIMAO DIAS (ANAPOLIS)	-10,73333	-37,80000	1912	1987	76	68
42	1037047	SIRIRI	-10,60000	-37,13333	1963	1998	36	24
43	1037049	SANTA ROSA DE LIMACAMBOATA)	-10,65278	-37,19278	1952	2008	57	27
44	1037050	SANTO AMARO DAS BROTAS	-10,78333	-37,05000	1963	1999	37	23
45	1037051	FAZENDA VILA ISABEL	-10,96667	-37,66667	1963	1999	37	22
46	1037078	CAPELA	-10,48333	-37,06667	1983	2007	25	21
47	1038000	POCO VERDE	-10,70861	-38,17750	1937	1989	53	35
48	1038001	SAMAMBAIA (IGREJA NOVA)	-10,91667	-38,05000	1963	1999	37	20
49	1137001	SALGADO	-11,03028	-37,47833	1941	2006	66	41
50	1137002	SANTA LUZIA DO ITANHI	-11,35000	-37,45000	1963	1989	27	19
51	1137003	TOMAR DO GERU	-11,36667	-37,85000	1963	2000	38	15
52	1137004	UMBAUBA	-11,36667	-37,66667	1963	2000	38	21
53	1137010	ARAUA	-11,25000	-37,63333	1963	1996	34	19
54	1137011	BONFIM	-11,05000	-37,85000	1912	1989	78	70
55	1137012	FAZENDA CAMBOATA	-11,13333	-37,50000	1963	1984	22	18
56	1137014	CRISTINAPOLIS (CRISTINA)	-11,48333	-37,76667	1963	1984	22	13
57	1137018	INDIAROBA	-11,51667	-37,51667	1963	2000	38	23
58	1137020	ITABAIANINHA	-11,26667	-37,78333	1912	1985	74	56
59	1137023	PEDRINHAS	-11,20000	-37,66667	1952	2001	50	30
60	1138000	TOBIAS BARRETO	-11,18333	-38,00000	1913	1981	69	62
61	1036048	PROPRIA	-10,21528	-36,82389	1923	2007	85	69
62	1137015	ESTANCIA	-11,26667	-37,45000	1919	2008	90	82
63	1137025	RIACHAO DO DANTAS	-11,06667	-37,73333	1954	1987	34	23

1. Análise da variabilidade temporal e precipitações prováveis

Os valores médios mensais e anuais de precipitação foram obtidos para fins de análise preliminar do comportamento temporal da chuva nas diferentes regiões do estado e comparação com valores prováveis. Considerando-se todos os postos selecionados, observou-se que cerca de 70% das alturas máximas mensais precipitadas ocorreram no mês de maio, com as restantes assim distribuídas: 13% em junho, 10% em abril e 6% em julho. Quanto às mínimas, 40% ocorreram no mês de dezembro, 22% em outubro, 17% em novembro, 17% em janeiro e 3% em setembro. A maior máxima média mensal foi registrada no posto 15 (Aracaju), totalizando 320 mm para o mês de maio; e a menor mínima, no posto 2 (Poço Redondo), com 7,4 mm para abril. A menor máxima média mensal foi obtida no posto 5 (Canindé do São Francisco), totalizando 62,4 mm para o mês de abril; e a maior mínima, com 57,8 mm para o mês de dezembro, no posto 56 (Cristinápolis). Logicamente, podem ter ocorrido registros superiores e inferiores a estes em algum ano, no entanto, tratam-se de valores médios que sintetizam as séries históricas disponíveis. Considerando-se as médias anuais, o valor máximo foi obtido no posto 50 (Santa Luzia do Itanhi) com 1.992,6 mm; e para altura mínima média, o valor de 358 mm foi fornecido pelos registros do posto 7 (Ilha do Ouro) no Município de Porto da Folha, Sertão sergipano. Tais valores refletem a influência dos diferentes climas presentes no território do Estado de Sergipe, com maiores volumes precipitados nas porções litorâneas e redução no sentido do Agreste e Sertão.

A avaliação das probabilidades de ocorrência das precipitações forneceu os valores de lâminas de chuva com probabilidades de 50%, 75% e 90% de garantia. As precipitações prováveis foram obtidas por meio da avaliação do ajuste da distribuição estatística Log-Normal. Na Figura 2 apresenta-se um exemplo de ajuste da função para o mês de janeiro no posto 18 (Fazenda Belém). Verifica-se uma boa aderência ao comportamento dos valores observados, corroborada pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Este tipo de procedimento foi executado para todos os 63 postos pluviométricos, constatando-se uma boa aderência da função Log-Normal aos dados disponíveis, fato já observado em outros trabalhos com precipitações no Brasil, como Dame et al., 1996; Sampaio et al., 1999; Villela & Matos, 1975).

Assim como para os valores médios de precipitação, cada posto teve sua série histórica avaliada e foi atribuído a cada um destes um valor de lâmina de chuva

correspondente a determinada probabilidade. Considerando-se 50% de probabilidade de não-excedência, observou-se que a concentração dos valores máximos mensais nos anos avaliados ocorreu no mês de maio (75%), enquanto os mínimos concentraram-se nos meses de dezembro (33%) e outubro (20%). Verificou-se também que a maior lâmina máxima foi obtida para o posto 9 (Usina Outeirinhos) no Município de Japaratuba, com valor de 308 mm para o mês de maio e a menor máxima, com 55,6 mm no posto 5 (Canindé do São Francisco) para o mesmo mês. Com relação às mínimas, o menor valor foi obtido no posto 7 (Ilha do Ouro), com 8,5 mm no mês de novembro; o maior valor mínimo foi contabilizado no mês de janeiro no posto 52 (Umbaúba), totalizando 46,2 mm. Para as chuvas anuais, considerando-se a mesma probabilidade, o valor máximo foi de 1.893 mm para o posto 50 (Santa Luzia do Itanhi) e o mínimo, 296,2 mm, para o posto 7 (Ilha do Ouro).

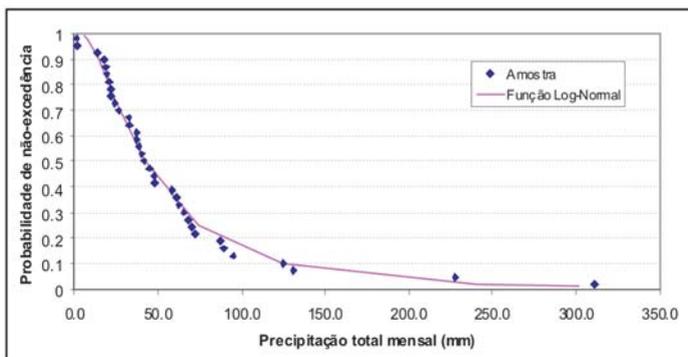


Figura 2. Ajuste da distribuição de probabilidade Log-Normal aos dados de precipitações totais observados no mês de janeiro para o posto 18 (Fazenda Belém).

Para 75% de probabilidade de ocorrência, houve uma concentração dos valores de precipitação máximos mensais no mês de junho (54%) e de mínimos, em dezembro (35%) e novembro (27%). As lâminas calculadas tiveram seu maior máximo no posto 39 (Riachuelo), no mês de junho (203,5 mm), e menor máximo, no posto 7 (Ilha do Ouro) com 28,4 mm no mesmo mês. Os valores mínimos tiveram o seguinte comportamento: 19,8 mm no mês de novembro para o posto 52 (Umbaúba) como maior; e 2,0 mm no posto 5 (Canindé do São Francisco) como menor, obtido pelos dados históricos do mês de outubro. Estes valores de lâminas de precipitação correspondem a reduções da ordem de 37% para valores máximos e 61% para mínimos, em média, se comparados aos valores com 50% de probabilidade de ocorrência. O valor máximo para chuvas

anuais com probabilidade de 75% situou-se em 1.685,5 mm (posto 50) e o mínimo, em 247,6 mm para o posto 7, mantendo o comportamento com relação aos postos anteriormente avaliados para 50%.

Considerando-se uma garantia de ocorrência com 90% de probabilidade, as lâminas calculadas apresentaram uma redução média de 56% em relação aos valores e de 87% em relação aos mínimos com 50% de probabilidade. Observou-se que os meses de junho (51%) e julho (37%) concentraram a ocorrência de valores máximos mensais e os meses de outubro (27%) e dezembro (33%), os valores mínimos. A maior altura máxima de precipitação com 90% de probabilidade de ocorrência foi registrada no posto 50 (Santa Luzia do Itanhi) (154,5 mm), para o mês de junho e a menor máxima, com 16,1 mm, no posto 5 (Canindé do São Francisco) para o mês de julho. Com relação às mínimas obtidas, o maior valor foi de 9,4 mm no posto 28 (Itaporanga d'Ajuda) em dezembro; e o menor foi inferior a 1,0 mm, também para dezembro, no posto 11 (Curral do Meio). Com relação às precipitações anuais, da mesma forma que para as probabilidades de ocorrência de 50% e 75%, os postos 50 e 7 apresentaram os valores máximo (1.496,6 mm) e mínimo (183,4 mm) para a probabilidade de 90%, respectivamente.

2. Análise da variabilidade espacial e regionalização de precipitações

A variabilidade temporal das precipitações, descrita anteriormente, explica parcialmente o comportamento deste fenômeno no estado; pois a aplicação eficiente das informações produzidas a partir das séries históricas avaliadas depende fortemente da posição no espaço geográfico em que se necessita realizar o estudo ou projeto. Ademais, os fenômenos naturais têm, de maneira geral, uma tendência à redução da similaridade de comportamentos à medida que há um afastamento do ponto de avaliação, ou seja, a dependência espacial é um fator de peso a ser considerado em análises deste tipo (VIEIRA et al., 1981). Conforme descrito no item de Materiais e método, foram produzidos semiovariogramas para as precipitações avaliadas. Na Figura 3, encontram-se exemplos destes semivariogramas obtidos por meio do programa ArcGIS.

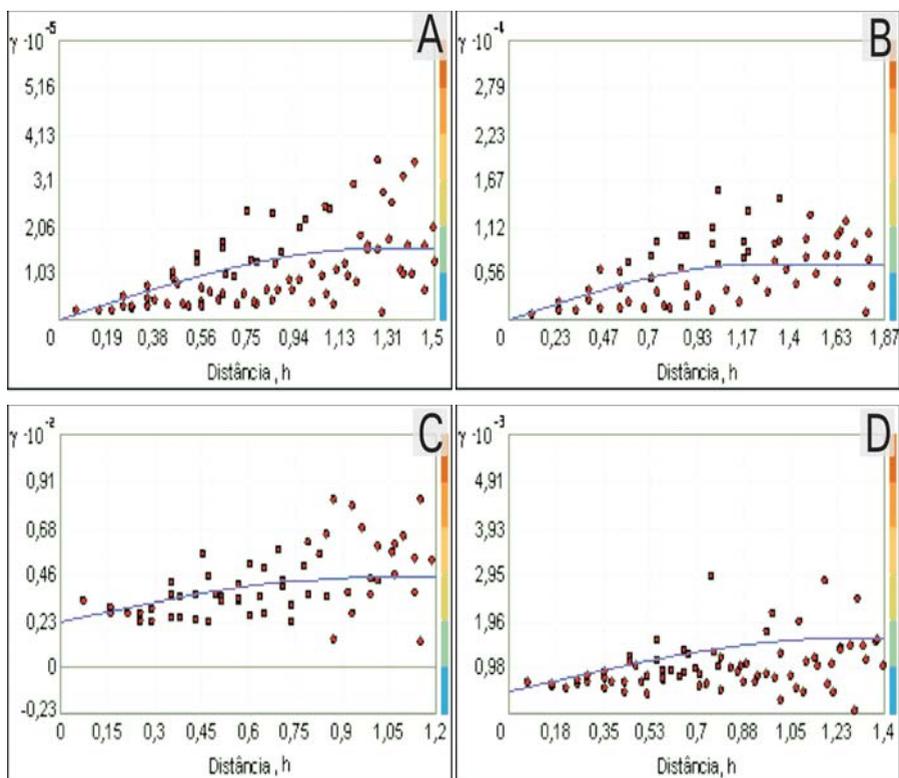


Figura 3. Semivariogramas experimentais e funções ajustadas: (A) Precipitação anual com 50% de probabilidade de ocorrência; (B) Precipitação média do mês de maio; (C) Precipitação do mês de dezembro com 75% de probabilidade de ocorrência; (D) Precipitação do mês de junho com 90% de probabilidade de ocorrência.

Obtidas as funções que melhor representam o fenômeno, para cada conjunto de lâminas de precipitação, partiu-se para a aplicação da krigagem ordinária como meio de gerar os mapas interpolados para todas as bacias hidrográficas do estado. Em alguns casos, foi necessária a aplicação de logaritmos para normalizar o comportamento dos dados e permitir o uso da técnica da forma adequada. As Figuras 4 a 7 apresentam alguns mapas, visto que foram produzidos 52 mapas de regionalização das chuvas na forma de isoietas, contemplando lâminas de precipitação mensais e anuais, considerando-se os valores médios e com 50%, 75% e 90% de probabilidade.

Observou-se uma tendência geral de aumento nos valores das lâminas precipita-

das no sentido do interior para o litoral do estado, de acordo com as características climáticas predominantes no Sertão, Agreste e Litoral. Considerando-se, por exemplo, as chuvas anuais (Figura 4), verificou-se uma concentração das maiores lâminas na porção litorânea da bacia dos rios Piauí e Vaza-Barris; por outro lado, no extremo noroeste da bacia do rio São Francisco, em sua porção semiárida, observou-se a ocorrência de valores mínimos de precipitação. Este comportamento manteve-se para a maioria dos mapas produzidos, apenas com deslocamentos de áreas com lâminas precipitadas máximas na região litorânea das bacias dos rios Piauí, Vaza-Barris e Sergipe. O comportamento espacial da precipitação foi descrito de forma satisfatória pelos modelos ajustados, demonstrando o potencial de aplicação das técnicas na previsão de valores de lâminas para locais com deficiência de monitoramento.

Deve-se ressaltar que este estudo não esgota as possibilidades de produção de mapas de precipitações para as bacias do estado, uma vez que podem ser considerados outros postos com séries longas e dados disponíveis, novos períodos de análise, como decenal, por exemplo, além de associações destes mapas com outras variáveis, como evapotranspiração, umidade no solo e potencial erosivo. Desta forma, espera-se que este estudo possa contribuir para o processo de gestão de recursos hídricos, bem como se constituir num complemento a outros já realizados, disponibilizando informação a pesquisadores, estudantes e pessoas interessadas no assunto.

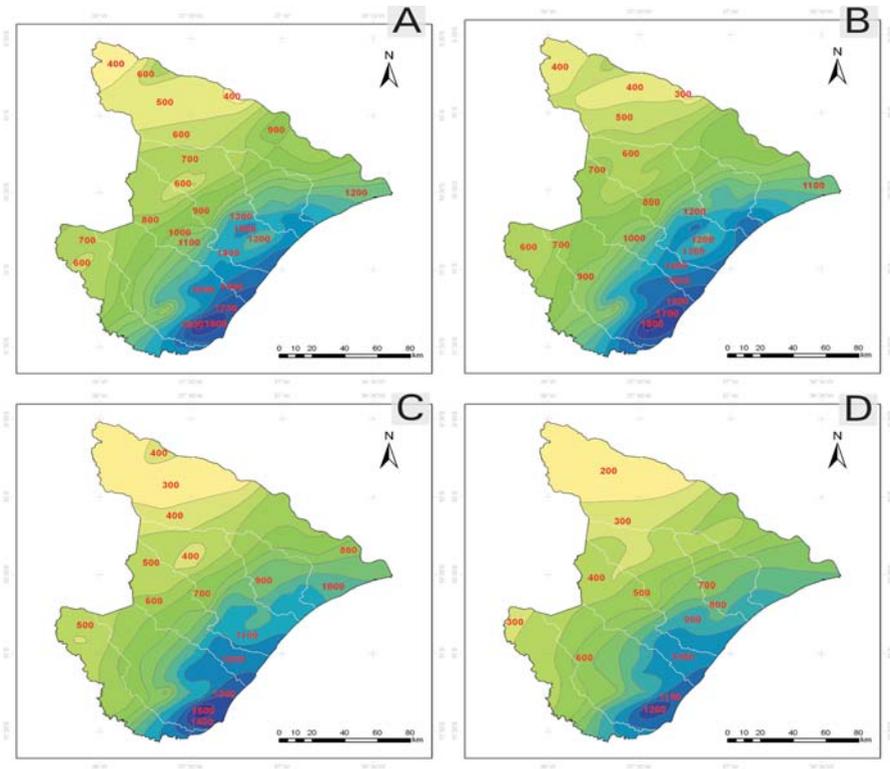


Figura 4. Mapas de isoietas anuais (mm) nas bacias hidrográficas principais do Estado de Sergipe. (A) chuva média; (B) 50% de probabilidade; (C) 75% de probabilidade; (D) 90% de probabilidade.

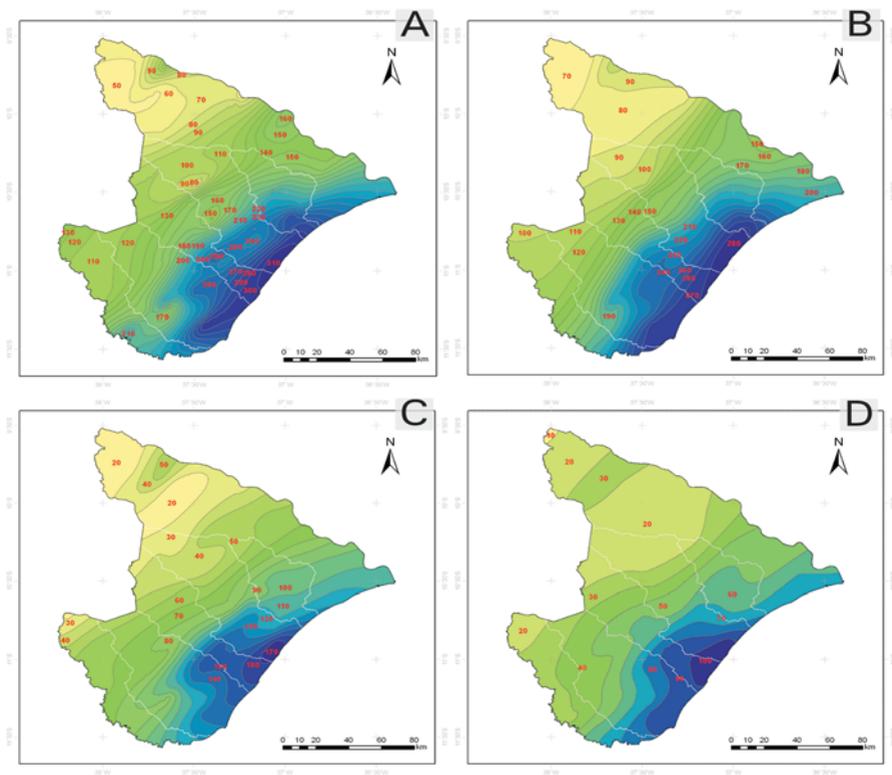


Figura 5. Mapas de isoietas (mm) para o mês de maio nas principais bacias hidrográficas do Estado de Sergipe. (A) chuva média; (B) 50% de probabilidade; (C) 75% de probabilidade; (D) 90% de probabilidade.

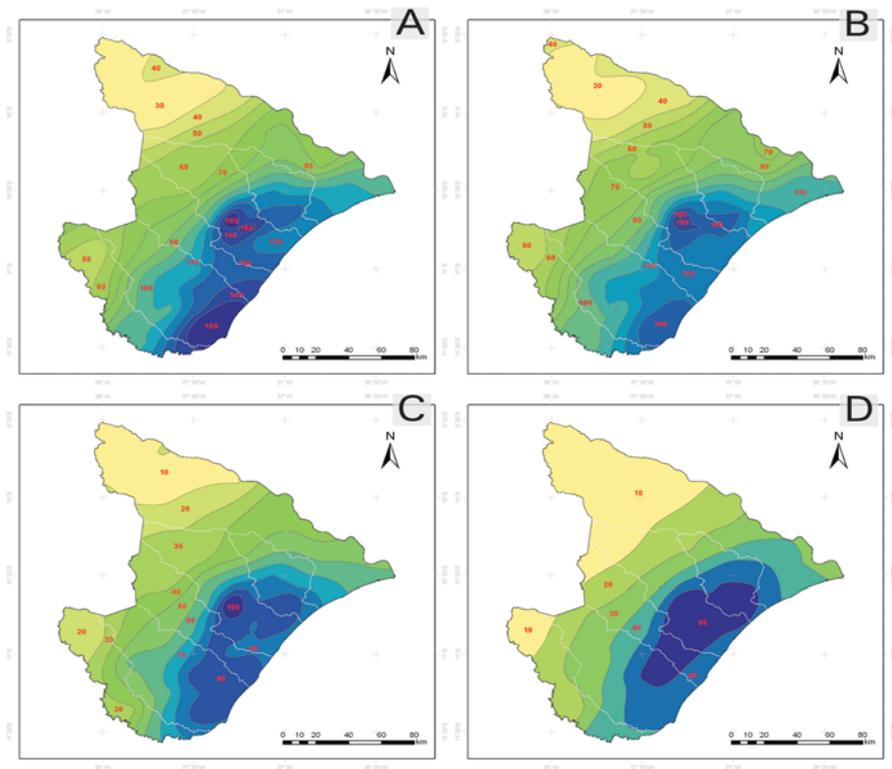


Figura 6. Mapas de isoietas (mm) para o mês de agosto nas principais bacias hidrográficas do Estado de Sergipe. (A) chuva média; (B) 50% de probabilidade; (C) 75% de probabilidade; (D) 90% de probabilidade.

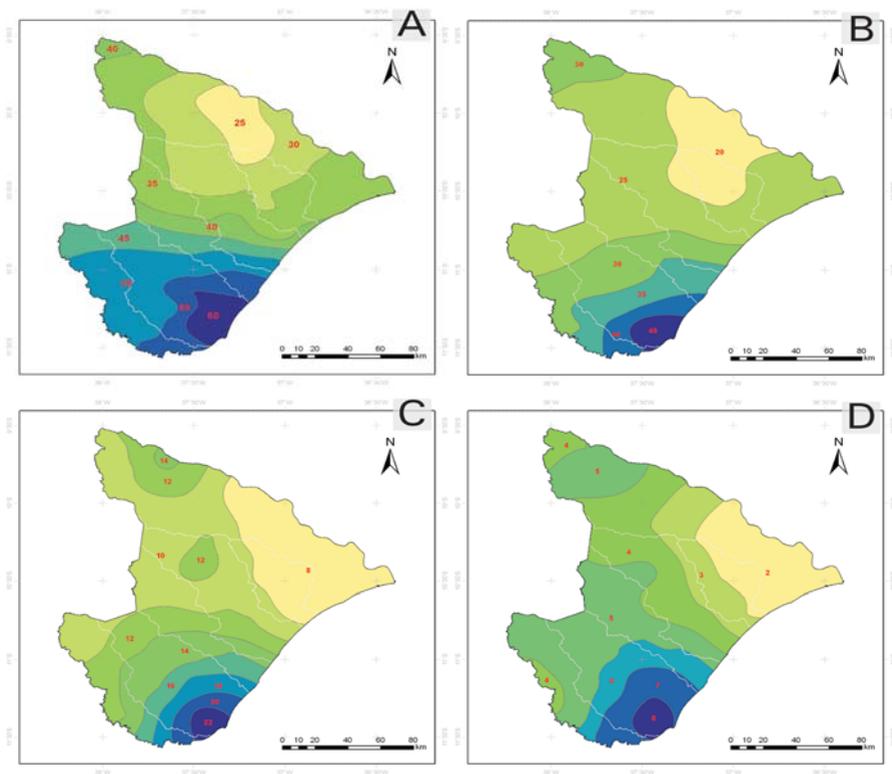


Figura 6. Mapas de isoietas (mm) para o mês de agosto nas principais bacias hidrográficas do Estado de Sergipe. (A) chuva média; (B) 50% de probabilidade; (C) 75% de probabilidade; (D) 90% de probabilidade.

Conclusões

1. Há uma tendência geral de aumento nas lâminas precipitadas no sentido do interior para o litoral do estado, de acordo com as características climáticas predominantes no Sertão, Agreste e Litoral.
2. As maiores lâminas médias e prováveis ocorrem próximas ao Litoral nas bacias dos rios Piauí, Vaza-Barris e Sergipe, e as menores, na zona de sertão da bacia do rio São Francisco.

3. Verifica-se a existência de dependência espacial nos dados de precipitação analisados.

4. Os resultados demonstram o potencial do uso de ferramentas de geoestatística para a obtenção de informações com grau de confiabilidade mensurável em regiões não amostradas.

Referências Bibliográficas

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Hidroweb**: sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 03 jan. 2009.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

DAME, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; SOUTO, M. V. et al. Análise de frequência hidrológica de dados de precipitação pluvial em algumas estações agroclimatológicas da região sul do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 351-355, 1996.

DAVIS, C.; CÂMARA, G. Arquitetura de sistemas de informações geográficas. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345 p. c. 3. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 4 jul. 2008.

ESRI. **ArcGIS desktop help**. v. 9.1. Disponível em: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm>>. Acesso em: 20 jun. 2008.

KIRKMAN, T.W. **Statistics to Use**. Disponível em: <<http://www.physics.csbsju.edu/stats/>>. Acesso em 14 out. 2009.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidade. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 1993. p. 79-176.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Revista**

Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

RIBEIRO, B. T.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R. et al. Comparação de distribuições de probabilidade e estimativa da precipitação provável para a região de Barbacena, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1297-1302, 2007.

SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; SOUZA, M. R. et al. Precipitação provável para o município de Lavras-MG, utilizando a distribuição Log-normal. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 382-389, 1999.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Centro de Meteorologia da SEMARH/SRH**. Disponível em: <<http://www.semarh.se.gov.br/meteorologia/>>. Acesso em: 05 jan. 2009.

SERGIPE. Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital de recursos hídricos do Estado de Sergipe**. Aracaju:SEPLANTEC, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 1993. 946 p.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 6, p. 1040-1048, 1981.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 250 p.

Embrapa

Tabuleiros Costeiros

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

