

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA  
PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E SUA  
EROSIVIDADE PARA GUINÉ-BISSAU**

**SADJO DANFÁ**

**2009**

**SADJO DANFÁ**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E SUA  
EROSIVIDADE PARA GUINÉ-BISSAU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Danfá, Sadjó.

Distribuição espacial da precipitação pluvial e sua erosividade para Guiné-Bissau / Sadjó Danfá. – Lavras : UFLA, 2009.

104 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.

Bibliografia.

1. Precipitação pluvial. 2. Erosividade. 3. Análise espacial. 4. Análise temporal. 5. Chuvas intensas. 6. Precipitações prováveis. 7. Meteorologia. 8. Guiné-Bissau. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 551.57726657

**SADJO DANFÁ**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E SUA  
EROSIVIDADE PARA GUINÉ-BISSAU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 31 de julho de 2009

Prof. Dr. Carlos Rogério de Mello

UFLA

Prof. Dr. Gilberto Coelho

UFPEL

Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

*Aos meus pais,  
Malam Bata Danfá e Sali Djata (in memoriam)*

*A toda família Gã Danfá e Gã Camará*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Ministério de Relações Exteriores e ao Ministério de Educação Ciência e Tecnologia do Brasil, pelo fortalecimento do Programa de Cooperação de Educação Superior (PEC-G e PEG-PG).

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Engenharia/Engenharia de Água e Solo.

Ao Professor Antônio Marciano da Silva, pelo apoio incondicional, confiança, orientação e possibilidade de desenvolver o trabalho.

Aos professores Carlos Rogério de Mello (DEG/UFLA) e Gilberto Coelho (UFPE), pelas críticas e sugestões apresentadas à dissertação, ensinamentos e colaborações expressivas no desenvolvimento deste trabalho.

Ao doutorando Marcelo Ribeiro Viola, pelos ensinamentos, amizade e apoio incondicional em todas as etapas da minha vida acadêmica no Brasil.

Aos professores Antônio Carlos Fraga, Pedro Castro Neto e Nilson Salvador, pela amizade, carinho e estímulo nos estudos.

Aos meus amigos Alisson, Edimar, Pedro, Rafael, David (vulgo Baiano) Rogner, Jaime, Ronaldo, Léo, Donizete, Lucas, Edecarlos, Saulo, Gil, Mayck, João Paulo, Paulino Mendes, Alexandrino, Gervásio, Constantino, Mário, Mário Abel, Stélio, Moíseis, Osvander, Joaquim Gomes Sá, Victor, Antônio Pedro, André, Stefania, Aída, Mayra, Daniela, Estér, Débora, Luciana, Nair, Lidiane, Fabiana, Alessandra e Andresa, pela convivência saudável e amizade.

A todos os colegas de pós-graduação do DEG/UFLA, DEX/UFLA, DCS/UFLA, professores e a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, ajudaram-me para que este trabalho fosse realizado.

E, para terminar, ao Brasil, País de Sonhos...

**MUITO OBRIGADO**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 Precipitação.....	5
2.2 Precipitações prováveis.....	8
2.3 Precipitações médias mensais e anuais.....	10
2.4 Precipitações máximas.....	11
2.5 Séries temporais.....	12
2.6 Erosividade.....	14
2.7 Fundamentos de geoestatística.....	16
2.7.1 Variáveis regionalizadas.....	16
2.7.2 Escolha do modelo e método de semivariograma.....	20
2.7.3 Interpolador geoestatístico (krigagem).....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Base de dados.....	25
3.1.1 Precipitação média mensal e anual.....	25
3.1.2 Precipitação provável.....	27
3.1.3 Precipitação média máxima diária para Guiné-Bissau.....	28
3.1.4 Séries temporais.....	30
3.1.5 Erosividade.....	32
3.2 Análise espacial dos dados.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Precipitação média mensal e anual.....	34
4.2 Precipitação provável.....	41
4.3 Séries temporais.....	57
4.4 Intensidade média máxima de chuvas.....	75
4.5 Erosividade.....	86
5 CONCLUSÕES.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	103

## RESUMO

DANFÁ, Sadjó. **Distribuição espacial da precipitação pluvial e sua erosividade para Guiné-Bissau.** 2009. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras MG.<sup>1</sup>

A República de Guiné-Bissau é um país independente, localizado na África ocidental, no entorno do paralelo entre 11° e 12°N (Latitude), de 14° a 16° W (longitude). As informações estatísticas confirmam que a agricultura representa mais de 61% do PIB, sendo de grande importância no crescimento econômico e na redução de pobreza. Dessa forma, com a realização deste trabalho, objetivou-se estudar a distribuição espacial e temporal de precipitação pluvial e da sua erosividade ( $EI_{30}$ ) para Guiné-Bissau, aplicando interpolador espacial mediante a modelagem de semivariograma e temporal, por meio de funções de autocorrelação. Foi possível verificar alta variabilidade no comportamento da distribuição espacial e temporal de precipitações no país, descrevendo tendências das situações atmosféricas responsáveis pelo excesso de eventos extremos de chuvas que são associados à zona de convergência intertropical (ZCIT), com ciclos anuais bem marcados. As maiores intensidades médias máximas anuais de chuvas foram observadas para regiões sul e sudoeste, proporcionando diferenças expressivas dos índices de erosividade e o eixo sul sudoeste o que apresenta os maiores valores, em relação à região norte-nordeste. Ficou evidente que o ambiente guineense é muito propício à erosão natural causada pela chuva. Em vista disso, o processo produtivo intensivo envolve grandes riscos de degradações ambientais, requerendo o uso de técnicas conservacionistas.

---

Comitê Orientador: Antônio Marciano da Silva-UFLA (Orientador), Carlos Rogério de Mello – UFLA



## ABSTRACT

DANFÁ, Sadjo. **Spatial distribution of rainfall and its erosivity in Guinea-Bissau**. 2009. 104p. Dissertation (Master Science in Agricultural Engineering, Engineering of Water and Soil) - Universidade Federal de Lavras, Lavras MG<sup>2</sup>.

The Republic of Guinea-Bissau is an independent country, located in West Africa around the latitude between 11 and 12 ° N (Latitude), 14 to 16 ° W (longitude). The statistics confirm that agriculture accounts for more than 61% of GDP, confirming the great importance of this sector in economic growth and poverty reduction. Thus, this work aimed to study the spatial and temporal distribution of rainfall and its erosivity ( $EI_{30}$ ) to Guinea-Bissau applying spatial interpolation by semivariogram modeling, and temporal interpolation through autocorrelation functions. It was possible to verify high variability in the behavior of spatial and temporal distribution of rainfall in the country, describing trends of atmospheric conditions responsible for the excess of extreme events of rainfall that is associated with the intertropical convergence zone (ITCZ) with well-marked annual cycles. The highest average annual maximum intensities of rainfall were observed for the South and Southwest regions providing significant differences in erosivity indices, the South-Southwest axes presented the greatest values in relation to the North-Northeast axes. It was evident that the Guinean environment is very propitious to natural erosion caused by rain. Thus, intensive production process involves great risks to environmental degradation, requiring the use of conservation techniques.

---

Guidance Committee: Antônio Marciano da Silva-UFLA (Major Professor), Carlos Rogério de Mello – UFLA

## 1 INTRODUÇÃO

A República de Guiné-Bissau é um país independente, localizado na África ocidental, no entorno do paralelo entre 11° e 12°N (Latitude), de 14° a 16° W (longitude). O país tem uma geomorfologia simples, com poucas alterações de altitudes, situada na transição entre zonas bioclimáticas de floresta, savana e estepe, onde a grande porção das suas terras é inundada periodicamente. A maior parte situa-se abaixo de 40 m; apenas na região leste apresenta cotas superiores a 300 metros (Costa & Resende, 1994).

Em Guiné-Bissau, a agricultura representa mais de 61% do PIB, tendo assegurado uma percentagem das receitas, em divisas, que ascendeu a 77%, no ano 2000. Os resultados do último recenseamento revelaram que 83% da população ativa laboravam no setor primário (e majoritariamente na agricultura), 13% no terciário (essencialmente na administração pública e serviços) e 4% no secundário (Manafá et al., 2005). São informações estatísticas que confirmam a importância da agricultura e do conjunto do setor primário no crescimento econômico, na criação de empregos e na redução da pobreza do país.

Vários empreendimentos do setor agrícola têm seu sucesso ou fracasso intimamente ligado às características do regime de chuvas (Araújo et al., 2001; Castro et al., 2005; Mello et al., 2007), cuja variabilidade é ainda maior em regiões tropicais, onde atuam vários sistemas atmosféricos, como a zona de convergência intertropical, os sistemas convectivos, as brisas de leste e os vórtices ciclônicos.

A distribuição e o comportamento das precipitações pluviais são fatores básicos para o planejamento das atividades agrícolas, como a definição de datas de semeadura e preparo de solo, o dimensionamento de vertedouros de redes pluviais, a erosão, as enchentes e a elaboração de projetos de irrigação suplementar. Tendo em conta estes aspectos, pode-se dizer que o volume de

chuva que cai em uma localidade é fator determinante da atividade agrícola a ser desenvolvida.

Segundo Botelho & Morais (1999), o conhecimento do comportamento das precipitações pode fornecer subsídio para determinar períodos críticos predominantes na região, visando reduzir as consequências das flutuações naturais do regime pluviométrico.

A ocorrência de precipitação está relacionada com os mecanismos de sua gênese. Esses mecanismos são ditados pela circulação atmosférica que determina o tipo de clima e a precipitação na região.

A circulação atmosférica é regida por massas e fluxos de ar que, normalmente, se movem de forma estável e bem definida. A temperatura e a umidade de massas de ar dependem fortemente da região onde se formam, de forma que massas continentais polares são frias e secas, enquanto massas tropicais oceânicas são quentes e úmidas.

Na região equatorial, onde os ventos alísios dos dois hemisférios convergem, forma-se a zona de convergência intertropical (ZCIT), cujas características são elevação do ar quente e úmido, pouco vento, formação de um cinturão de nuvens e chuva convectiva.

O regime de precipitação de Guiné Bissau e a variabilidade interanual estão associados à dinâmica da ZCIT, cujo deslocamento latitudinal e intensidade estão associados à estação do ano e à temperatura da superfície do oceano Atlântico, respectivamente. No mês de maio, em geral, a ZCIT é deslocada para o norte e sua passagem para o sul ocorre entre outubro e novembro. A época de chuvas corresponde à fase em que a ZCIT está no território guineense ou ao norte dele (junho a outubro); maio e novembro são meses de transição (Machado & Souza, 1972).

Sambú & Albuquerque (2003), analisando a variabilidade climática da precipitação em Guiné Bissau, destacaram a importância de centros de ação

regionais semipermanentes, tais como os anticiclones dos Açores e de Santa Helena, situados no oceano Atlântico, respectivamente ao norte e ao sul do Equador, e uma baixa térmica que se instala sobre a região do Sahara, além das circulações das monções.

As intensidades com que esses fenômenos se manifestam apresentam marcante variabilidade ao longo do tempo e do espaço, em decorrência das variações, algumas regulares e muitas irregulares, do clima regional, bem como das particularidades regionais, sob os aspectos meteorológicos, geomorfológicos, de propriedades e de uso de solos.

As características das chuvas ocorridas em uma região determinam, em grande parte, os efeitos danosos da erosão, sendo a intensidade da precipitação uma de suas principais características, assim como a energia cinética total da chuva.

Modelos matemáticos e estatísticos têm explicado o comportamento dos fenômenos naturais, destacando-se os elementos climáticos. A geoestatística é uma das metodologias estatísticas utilizadas para análise, interpretação e mapeamento em vários campos do conhecimento tais como ecologia, climatologia e engenharia, dentre outros.

Diversos estudos visando realizar o mapeamento da precipitação têm sido desenvolvidos com aplicação de várias técnicas, uma vez que a disponibilidade de dados climáticos e hidrológicos é pequena, se comparada com grandes extensões territoriais, em especial em países em desenvolvimento (Marquínez et al., 2003; Mello et al., 2007).

O semivariograma é a ferramenta básica na estimação por meio da geoestatística, haja vista que expressa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental e permite a estimativa dos parâmetros com os quais os valores não amostrados são estimados por meio da técnica de interpolação conhecida como krigagem, permitindo a construção de

mapas de isolinhas ou tridimensionais para exame e interpretação da variabilidade espacial (Vieira, 2000; Carvalho et al., 2002).

O conhecimento da variabilidade da precipitação dá suporte a qualquer atividade econômica e limita os impactos dos distúrbios no ambiente físico e nas dimensões humanas correlatas (Cano & Brandão, 2002).

Dessa forma, com a realização deste trabalho, objetivou-se estudar a distribuição espacial e temporal de precipitação pluvial e da sua erosividade ( $EI_{30}$ ) para Guiné-Bissau, aplicando interpolador espacial mediante a modelagem de semivariograma, e funções de autocorrelação na análise temporal.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Precipitação**

A precipitação é um elemento meteorológico altamente variável no tempo e no espaço e seu monitoramento é feito convencionalmente por pluviômetros e pluviógrafos, para medições pontuais e por meio de radares meteorológico, para medições em áreas extensas.

Em hidrologia, a precipitação é entendida como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações encontradas na natureza (Bertoni & Tucci, 1993). A ocorrência da precipitação é um processo aleatório, que não permite uma previsão determinística com grande antecedência. O tratamento dos dados de precipitação para grande maioria dos problemas hidrológicos é estatístico.

No ciclo hidrológico, a precipitação é o elo entre os fenômenos atmosféricos e aqueles da superfície da Terra, influenciando de forma direta e relevante em processos como infiltração (responsável pela reposição hídrica dos lençóis), escoamento superficial, transporte de sedimentos, suprimento de água para várias atividades econômicas, enchentes e inundações.

Embora a água presente na atmosfera seja o elemento básico para a ocorrência da precipitação, é necessária a presença de outros requisitos, tais como mecanismos de resfriamento do ar, presença de núcleos higroscópicos (sais, cristais de gelo, resíduos industriais e outros) sobre os quais ocorre condensação, e um mecanismo de crescimento de gotas.

O processo de formação de gotas pode se dar, principalmente, por coalescência, no qual o aumento se dá no contato com outras gotas por colisão, ou difusão, quando o ar, após atingir o nível de condensação, continua evoluindo

e difundindo o vapor supersaturado, com a conseqüente condensação em torno das gotículas que vão aumentando de tamanho (Silva, 2001).

O processo de condensação por si só não é capaz de promover a precipitação, pois são formadas gotículas muito pequenas, denominadas elementos de nuvens, que permanecem em suspensão sustentada pela força de flutuação térmica. Para que haja a precipitação, deve haver a formação de gotas maiores (elementos de precipitação) e isso ocorre por coalescência das pequenas gotas, de forma que a ação da gravidade supere a força de sustentação, promovendo a precipitação (Pereira et al., 2002).

Silva (2001) descreve o processo de formação da precipitação da seguinte forma: o ar úmido das camadas inferiores, aquecido por condução, sofre ascensão adiabática  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  até atingir a condição de saturação (nível de condensação). A partir deste nível, em condições favoráveis e com existência de núcleos higroscópicos, o vapor d'água se condensa, formando minúsculas gotas em torno desses núcleos, que são mantidas em suspensão até que, por um processo de crescimento, ela atinja tamanho suficiente para vencer as forças de ascensão que exercem resistência às gotas e, então, precipitar.

Conforme o mecanismo fundamental pelo qual se produz a ascensão do ar úmido, as precipitações podem ser classificadas em: convectivas, frontais e orográficas.

Precipitações convectivas originam-se de nuvens formadas a partir de correntes convectivas (térmicas) que se resfriam adiabaticamente ao se elevarem, resultando em nuvens de grande desenvolvimento vertical (cumuliformes). As chuvas convectivas se caracterizam por forte intensidade, mas curta duração (aproximadamente 45 minutos), podendo ocorrer descargas elétricas, trovoadas, ventos fortes e granizo. São precipitações que podem provocar importantes inundações em pequenas bacias (Brooks et al., 1997).

Segundo Smith (1993), a estrutura de sistemas de nuvens precipitantes pode ser caracterizada pela dominância relativa de mecanismos convectivos e estratiformes de precipitação. Esses dois mecanismos básicos de precipitação diferem no tempo de crescimento das partículas precipitantes e na magnitude da movimentação vertical de ar associado com nuvens precipitantes.

Precipitações frontais são originárias de nuvens formadas a partir do encontro de massas de ar frio e quente. A massa quente e úmida (mais leve) tende a se elevar, resfriando-se adiabaticamente, isto é, sem troca de calor com o meio adjacente. São chuvas de intensidade moderadas a fraca, de longa duração e podem vir acompanhadas por ventos fortes com circulação ciclônica.

Precipitações orográficas ocorrem em regiões montanhosas onde o relevo força a subida da massa de ar úmido. Este tipo de precipitação é típico de regiões costeiras e apresenta intensidade variando de baixa à moderada. As três principais grandezas da precipitação são: altura, frequência e intensidade, cujos valores variam no espaço; o conhecimento dessas grandezas é essencial para planejar sua correta utilização.

Duração (t): é o período de tempo durante o qual a chuva ocorre, geralmente expressa em horas ou minutos.

Intensidade (i): é a taxa de precipitação no tempo, geralmente expressa em  $\text{mm h}^{-1}$  ou  $\text{mm min}^{-1}$ .

Frequência e tempo de recorrência: por ser um fenômeno aleatório, na análise de valores máximos de alturas pluviométricas, ou de intensidades, o tempo de recorrência para eventos máximos é interpretado como número médio de anos nos quais se espera que certo evento seja igualado ou superado. Sua estimativa se faz pela probabilidade de ocorrência (P) do fenômeno, sendo que quanto mais frequente o valor, menor será o período de retorno, o qual, é dado pela expressão:



$$TR_{Max} = \frac{1}{P_{Exc}} \quad (1)$$

## 2.2 Precipitações prováveis

Os estudos probabilísticos da distribuição pluviométrica têm papel relevante no planejamento racional da produção agrícola, pois, conhecendo, com certa margem de segurança, a lâmina mínima a se precipitar em certa região agrícola, pode-se realizar um planejamento eficiente de irrigações suplementares, além de permitir o aumento das áreas cultivadas pelo uso otimizado da água disponível.

Estudo de chuva provável pode ser feito por meio de algumas distribuições estatísticas. Dentre elas, destacam-se, segundo Back (2001), a distribuição Log-Normal com dois parâmetros, a distribuição Log-Normal com três parâmetros, a distribuição Pearson tipo III, a distribuição Log-Pearson tipo III e a distribuição de extremo tipo I, também conhecida como distribuição de Gumbel.

Apesar da reduzida extensão territorial, 36.125 km<sup>2</sup> e uma morfologia simples, com poucas alterações de cotas, Guiné-Bissau apresenta uma variação de precipitação que vai de cerca de 2.380 mm, na região sul do país, até 1.200 mm no extremo norte, fronteira com o Senegal.

Estimativas preliminares, para Bolama, Gabu e Bedanda (Guiné-Bissau), no que se refere às precipitações dos meses de maio e junho, mostram que, a cada quatro anos, em três chove mais de 170, 145 e 210 mm, respectivamente (Costa & Resende, 1994).

A disponibilidade de chuvas adequada (quantidade e distribuição no tempo), capaz de atender à demanda hídrica das culturas (evapotranspiração) e as temperaturas dentro de limites que não afetam negativamente os processos

fisiológicos das plantas cultivadas são determinantes para a produção vegetal (Doorenbos & Kassam, 1994).

Para fins agrícolas, o nível de probabilidade mais recomendado é de 75% a 80%, isto é, a lâmina mínima de chuva que se pode esperar em três a cada quarto ano é de 75% ou em quatro a cada cinco anos (80%) em determinado período do ano (Bernardo, 2005).

Fietz (1998) ressaltam que a precipitação de um determinado local pode ser estimada, em termos probabilísticos, mediante modelos teóricos de distribuição ajustados a uma série de dados, após a comprovação de aderência à distribuição, podendo fornecer informações úteis para o planejamento de muitas atividades.

Um modelo de probabilidade é definido com base em dois ou três parâmetros. Esses parâmetros são calculados com base na média, no desvio padrão e no coeficiente de assimetria.

Um erro muito comum em análise de dados climatológicos é desprezar as características da distribuição de probabilidade mais adequada para os dados em estudos. Os procedimentos para se estimar qual a distribuição de probabilidade mais adequada para certo conjunto de informações é relativamente simples e uma única distribuição pode ter um vasto espectro de aplicação.

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov é amplamente empregado para a análise de adequabilidade de distribuições teóricas (Sampaio et al., 1999). Por esse teste confronta-se o módulo da maior diferença entre a probabilidade estimada e a frequência observada, com o valor da estatística de Kolmogorov Smirnov que é tabelado em função do tamanho  $n$  da amostra e do nível de significância ( $\alpha$ ).

### **2.3 Precipitações médias mensais e anuais**

A precipitação é uma variável hidrológica considerada contínua no espaço e no tempo, dentro da hidrologia estocástica, sendo sua ocorrência intimamente relacionada à sua frequência (Naghetini, 2007).

Convencionalmente, as formas mais utilizadas para se obterem dados de precipitação são a construção e a manutenção de uma rede de postos pluviométricos. Esses dados são pontuais e suscetíveis a uma série de fatores naturais inerentes à localização do posto, além da sua manipulação.

Os radares meteorológicos no solo oferecem estimativas espaciais da precipitação sobre grandes áreas e em tempo real. Nestes, a taxa de precipitação em um determinado ponto é correlacionada à intensidade de um sinal de retorno irradiado pelas gotas de chuva e a distância do ponto ao radar é correlacionada ao tempo de retorno do sinal.

Segundo Conti (2002), os métodos de média aritmética, o método de Thiessen e o método de isoietas destacam-se na obtenção da precipitação sobre toda área a partir de pluviômetros distribuídos sobre a mesma.

A obtenção da correta distribuição espacial para precipitação é relevante no planejamento agrícola, no que diz respeito à instalação de culturas anuais. Além da influência na agricultura, períodos de estiagens muito longos afetam o nível de água dos mananciais e dos reservatórios das usinas hidrelétricas, trazendo problemas para o abastecimento urbano e a geração de energia elétrica. Inúmeros métodos de interpolação, com diversos níveis de complexidade, estão disponíveis na literatura (Carvalho et al., 2002). Dentre eles destaca-se o método de krigagem, que usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima.

## **2.4 Precipitações máximas**

O estudo da distribuição de dados de precipitação pluvial máxima é de grande importância para a elaboração de projetos agrícolas e de engenharia hidráulica, tais como dimensionamento de canais de irrigação e drenagem, vertedouros de barragens e definição de obras de desvios de cursos d'água, entre outros. Para isso, são necessários o conhecimento e a previsão de grandezas hidrológicas, considerando o custo mínimo associado a um risco admissível de falha de grande magnitude, tais como máximas vazões ou precipitações que podem vir a ocorrer em certa localidade.

Dentre as características das precipitações, as de maior interesse pela relevância no dimensionamento de obras hidráulicas são a frequência e a altura que correspondem, respectivamente, ao número de ocorrências de uma dada precipitação no decorrer de um intervalo fixo do tempo e à quantidade.

Segundo Vieira et al. (1991), o conhecimento da chuva diária máxima provável é importante para trabalhos de conservação do solo, estradas, barragens e drenagem, cujo dimensionamento adequado é necessário conhecer ocorrência extrema.

A chuva extrema ou intensa é aquela que apresenta grande lâmina precipitada, durante pequeno intervalo de tempo. Frequentemente, essas chuvas causam consideráveis prejuízos materiais e aos seres humanos, provocando cheias no sistema de drenagem, gerando escoamentos pluviais nas galerias e canais, de modo que as vazões de pico atingem valores próximos à capacidade do sistema, resultando em inundações.

Conhecer o modelo de distribuição temporal de chuvas intensas de uma localidade torna mais realista a previsão hidrológica em projetos de engenharia em áreas rurais e urbanas, permitindo a caracterização e a quantificação, com maior precisão, do escoamento superficial, o que pode ser efetuado pela

aplicação de métodos de análise de hidrógrafas, como o conhecido método de Sherman e o do Soil Conservation Service, entre outros (Cruciani,1986)

A principal forma para a caracterização de chuvas intensas é por meio da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial.

$$I_{\text{med; máx}} = \frac{C \cdot TR^m}{(t_0 + t_d)^n} \quad (2)$$

em que

$I_{\text{med,máx}}$  = intensidade média máxima da chuva, em mm h<sup>-1</sup>;

TR= período de retorno, em anos;

$t_d$ = tempo de duração da chuva, em minutos;

C, m,  $t_0$  e n = coeficientes de ajustamento específicos para cada localidade.

Alguns pesquisadores estimam relações entre precipitações de diferentes durações com base na metodologia de desagregação de chuvas para a obtenção de chuvas de projeto.

O método de desagregação de chuvas (CETESB, 1979), o método de Isozona (Torrico, 1975) e o de Bell (1969) são amplamente aplicados para alcançar esses objetivos considerando a escassez de dados de registros pluviográficos.

## 2.5 Séries temporais

Uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo em que, dentre os objetivos das análises destacam-se: a investigação do mecanismo gerador da série, a realização de previsões de valores futuros de curto e longo prazo, a descrição do comportamento da série, com verificação

gráfica de existência de tendências, ciclos e variações sazonais e a busca de periodicidade nos dados (Morettin & Toloi, 2006).

A maior parte da teoria de séries temporais trabalha com séries estacionárias. Por isso, a série deve ser trabalhada previamente, por meio de transformações, permitindo que o processo gerador estacionário passe, então, a ser adequadamente descrito pelos momentos de suas distribuições de probabilidade (Box et al., 1994).

O estudo dos processos estacionários é feito no domínio da frequência ou do tempo. No domínio da frequência, dá papel de relevo aos conceitos de periodograma e de densidade espectral; o domínio no tempo atribui papel predominante às funções de autocovariância e autocorrelação (Morettin & Toloi, 2006).

Uma das técnicas quantitativas mais difundidas é a metodologia de Box-Jenkins, descrita por esses autores na década de 1970. Os modelos de Box-Jenkins partem da ideia de que cada valor da série (temporal) pode ser explicado por valores prévios, a partir do uso da estrutura de correlação temporal que, geralmente, há entre os valores da série.

Segundo Abdel-Aal & Al-Garni (1997), os modelos Box-Jenkins têm sido largamente utilizados para modelagem e previsão em aplicações médicas, ambientais, financeiras e de engenharia.

Os modelos de Box-Jenkins, genericamente conhecidos por ARIMA (autorregressivos integrados de médias móveis) são modelos matemáticos que visam captar o comportamento da correlação seriada ou a autocorrelação entre os valores da série temporal e, com base nesse comportamento, realizar previsões. Se essa estrutura de correlação for bem modelada, fornecerá boas previsões.

Os modelos ARIMA exploram a autocorrelação entre os valores da série em instantes sucessivos, mas, quando os dados são observados em períodos

inferiores a um ano, a série também pode apresentar autocorrelação para uma estação de sazonalidades. Os modelos que contemplam as séries que apresentam autocorrelação sazonal são conhecidos como SARIMA e contêm uma parte não sazonal, com parâmetros  $(p, d, q)$  e uma sazonal, com parâmetros  $(P, D, Q)$ , sendo  $P, p, Q, e q$  a ordem dos polinômios dos componentes autorregressivos e de médias móveis que funcionam como filtros para modelar a série, enquanto  $D$  e  $d$  são o fator diferença para tornar a série estacionária.

## **2.6 Erosividade**

O solo é o recurso natural mais intensamente utilizado na produção de alimentos, podendo, por isso, ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão hídrica, em decorrência de seu uso e manejo inadequados, especialmente em regiões com alta concentração de chuvas. Assim, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las é de fundamental importância para o planejamento conservacionista da propriedade agrícola (Roque et al., 2001).

A erosão hídrica compreende três processos físicos: a desagregação, causada pelo impacto das gotas de chuva; o transporte, pela enxurrada ou escoamento superficial direto e a deposição quando a velocidade da enxurrada não é suficiente para transportar o material sólido.

As características das chuvas ocorridas em uma região determinam, em grande parte, os efeitos danosos da erosão, sendo a intensidade da precipitação uma de suas principais características, assim como a energia cinética total da chuva. O impacto da gota de chuva tem energia cinética 256 vezes maior que a energia de escoamento superficial (Hudson, 1995). Guy et al. (1987) sugerem que 85% dos sedimentos da erosão hídrica têm origem no impacto das gotas de chuvas e 15% são atribuídos ao escoamento superficial.

Entre os diversos fatores ligados à erosão, a erosividade das chuvas é um dos mais importantes. A medida dessa grandeza é feita por índices, como o índice de erosividade padrão  $EI_{30}$  (Wischmeier & Smith, 1978), relatado por diversos pesquisadores como uma medida satisfatória, devido à significativa correlação que esse índice apresenta com as perdas de solo (Silva et al., 1997; 2003). Contudo, seu cálculo envolve a necessidade de pluviogramas que, na maioria das vezes, não estão disponíveis, especialmente em países em desenvolvimento, como é caso de Guiné-Bissau.

Segundo Bertol et al. (2002), a erosão dos solos apresenta grande variabilidade espacial e temporal, o que pode ser explicado pela variabilidade dos padrões de precipitação, que influi no potencial erosivo da chuva, bem como de atributos físicos, químicos e mineralógicos diretamente associados à erodibilidade dos solos.

Os solos de Guiné-Bissau são, em geral, bastante arenosos na superfície, têm baixos teores de matéria orgânica e apresentam grande gradiente de infiltração com a profundidade, isto é, a mudança textural abrupta entre horizontes A e B, induzindo a uma pronunciada diferença de infiltração, o que aumenta a susceptibilidade do solo a erosão hídrica (Costa & Resende, 1994).

A fim de minimizar esses problemas, diversos autores correlacionaram o índice  $EI_{30}$  com o coeficiente de chuva ( $R_c$ ), conhecido como índice de Fournier (Renard & Freimund, 1994; Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Silva et al., 1997; Carvalho et al., 2000; Silva et al., 2003; Mello et al., 2007), o qual é facilmente obtido a partir do registro dos totais diários das precipitações.

Vários pesquisadores vêm utilizando correlações entre a erosividade, determinada em registros pluviográficos, com simples dados de pluviometria mensais e anuais de ampla disponibilidade em praticamente todos os lugares do mundo, para agilizar a obtenção do índice  $EI_{30}$ .



Portanto, para o planejamento e o controle de uso do solo, além da fundamental caracterização pedológica de pormenor, é fundamental dispor de ferramentas de caracterização da incidência dos processos erosivos e da tolerância e da susceptibilidade dos sistemas edáficos a medidas e usos que amplifiquem ou acelerem os correspondentes mecanismos naturais.

## **2.7 Fundamentos de geoestatística**

### **2.7.1 Variáveis regionalizadas**

Segundo Ribeiro Júnior & Diggle (2007), a geoestatística surgiu de forma independente do restante da estatística espacial, tendo sido aplicada inicialmente na indústria de mineração, com Matheron e outros pesquisadores de Fointanebleu, França. É uma subdivisão da estatística espacial, na qual os dados consistem em uma amostra finita de valores medidos, relacionados com um fenômeno espacial contínuo.

Segundo Landim (2003), no estudo do comportamento das variáveis regionalizadas, duas são as ferramentas fundamentais dos métodos geoestatísticos: o semivariograma e a krigagem.

A teoria considera a dependência espacial das observações, lançando mão de medidas estatísticas que expressem essa estrutura de dependência em pontos referenciados (Ribeiro Junior, 1995).

Segundo (Moolman & Huyssteen, 1989) as análises estatísticas baseadas na independência das observações têm sido substituídas por análises espaciais, as quais consideram as correlações entre observações vizinhas. Essas análises consideram as características estruturais e aleatórias de uma variável espacialmente distribuída, de forma a descrevê-la adequadamente.

As variáveis regionalizadas são constituídas por um duplo aspecto contraditório. Pela sua característica “aleatória”, apresenta irregularidades e variação imprevisível de um ponto para outro e, pela sua característica

“estrutural”, apresenta relações existentes entre os pontos no espaço, motivadas pela sua gênese.

A interpretação probabilística de que a variável regionalizada  $Z(x)$  é uma particular realização de certa função aleatória  $Z(x)$  é consistente quando se pode inferir toda ou, pelo menos, parte da lei de distribuição de probabilidade que define esta função aleatória (Journel & Huijbregts, 1978). No entanto, em problemas práticos, em cada ponto  $x$  tem-se apenas uma realização  $Z(x)$  e o número de pontos é sempre finito. Isso torna usualmente impossível inferir sobre a distribuição de  $Z(x)$ . Em vista disso, certas hipóteses são necessárias, as quais envolvem diferentes graus de homogeneidade espacial, sendo comumente denominadas hipóteses de estacionariedade.

A geoestatística dispõe de interpoladores eficientes, capazes de estimar valores de variáveis em pontos que não foram amostrados. Pode, então, se consagrar como ferramenta poderosa para gerar com precisão superfícies interpoladas, uma vez que permite conhecer os resíduos dos erros. A sua aplicação pode ser de grande valia, desde que as variáveis utilizadas satisfaçam às condições que determinam uma “variável regionalizada” e que, entre outras exigências, tenham uma estacionariedade estatística de segunda ordem e dependência espacial entre os pontos medidos, inferida por meio de funções semivariográficas (Montenegro, 2008).

De fato, a aplicação do semivariograma como medida de continuidade espacial requer apenas que os dados satisfaçam à hipótese intrínseca para uma variável regionalizada (Journel & Huijbregts 1991).

A estacionariedade de primeira ordem admite que todas as variáveis aleatórias  $Z(x_i)$ ,  $i=1,\dots,N$  possuem a média constante para todos os locais, em toda a região de estudo (Tragmar et al., 1985). Esta hipótese é expressa por:

$$E[Z(x_1)] = E[Z(x_2)] = \dots = E[Z(x_i)] = E[Z(x)] = m \quad (3)$$

A estacionariedade de segunda ordem, além de atender à hipótese da primeira ordem, considera que a média ou a tendência seja constante numa determinada área e a covariância existe e depende somente da função do vetor  $h$  (Tragmar et al., 1985; Vieira, 2000), ou seja:

$$E[Z(x)] = m(x) = \mu \quad (4)$$

$$\text{Cov}[Z(x), Z(x+h)] = C(h) \quad (5)$$

Para avaliar em que tipo de estacionariedade os dados se enquadram, o semivariograma é a principal ferramenta utilizada (Andriotti, 2005).

Segundo Landim et al. (2003), para a obtenção de um semivariograma, deve-se supor que a variável regionalizada tenha um comportamento fracamente estacionário, em que os valores esperados, assim como sua covariância espacial, sejam os mesmos para uma determinada área.

Assim, para tornar os modelos de inferências mais abrangentes, uma estacionariedade mais fraca que a anterior é definida, denominada de hipótese intrínseca.

A hipótese intrínseca não é mais definida por meio das distribuições das variáveis aleatórias e sim pelas diferenças entre elas, também chamada de estacionariedade fraca ou dos incrementos (Ribeiro Junior, 1995). A estacionariedade intrínseca estabelece que os incrementos  $Z(x) - Z(x+h)$  têm esperança zero e variância mínima, sendo expressa pelas seguintes condições:

$$E[Z(x) - Z(x+h)] = 0 \quad (6)$$

$$\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)] \quad (7)$$

A função  $2\gamma(h)$  é a que modela o semivariograma e pode ser definida como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (8)$$

Se as condições especificadas pela hipótese de estacionariedade são contempladas, então, o semivariograma pode ser estimado a partir do dado amostral:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (9)$$

em que  $N(h)$  é o número de pares de pontos amostrados separados pela distância  $h$ .

O gráfico  $\gamma(h)$  versus  $h$  é conhecido como semivariograma experimental, o qual pode ser obtido a partir da equação 8. Seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera dos dados de campo, isto é, que as diferenças  $\{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}$  decresçam à medida que  $h$  diminui. Assim, é esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias (Isaak & Srivastava, 1989).

Um modelo de semivariograma teórico ideal, com seus parâmetros, pode ser visto na Figura 1.

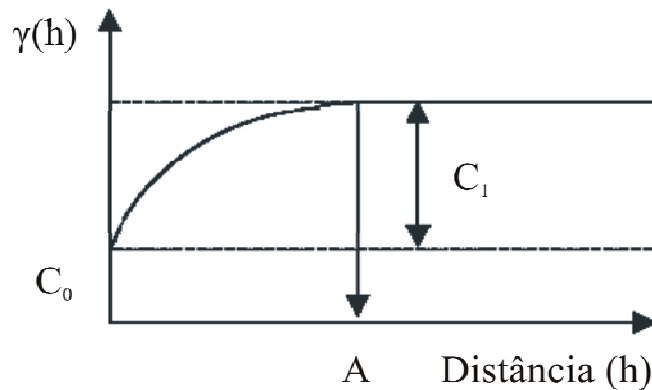


FIGURA 1 Semivariograma teórico, com os parâmetros a serem estimados no processo de sua modelagem.

Os parâmetros do semivariograma teórico são:

- alcance (A): constituindo o espaçamento máximo de amostragem para que se obtenha dependência espacial (Andriotti, 2005);
- contribuição ( $C_1$ ): variância explicada pela componente espacial;
- patamar ( $C_0+C_1$ ): correspondendo às variações que não são justificadas pela semelhança de um ponto com outro, ou seja, ponto onde toda a amostra sofre influência aleatória;
- efeito pepita ( $C_0$ ): é um parâmetro importante do semivariograma que reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para o outro, que pode ser devido a erros de medição (Isaaks & Srivastava, 1989).

### **2.7.2 Escolha do modelo e método de semivariograma**

A fim de promover o ajuste do modelo ao semivariograma, são utilizados métodos de ajuste, dentre os quais se destacam o método dos mínimos quadrados ponderados e o método da máxima verossimilhança (Mello & Silva, 2008).

Os cálculos geoestatísticos dependem do modelo de semivariograma ajustado, em que os pesos são atribuídos de acordo com a variabilidade espacial expressa, no intuito de verificar a qualidade do ajuste do semivariograma aos dados experimentais (Vieira, 2000; Mello et al., 2005).

Se o modelo ajustado não for apropriado, todos os cálculos seguintes conterão erros que poderão afetar as inferências, portanto, o ajuste de semivariograma é uma fase crucial na análise geoestatística e deve receber uma atenção especial.

Vieira et al. (1983) sugerem o método de ajuste por tentativa e erro (ajuste a critério do observador) associado à avaliação do modelo pela técnica de validação cruzada ou autovalidação (“jack-knifing”). No entanto, Mello et al.

(2008) sugerem aplicar alguma metodologia matemática para ajuste do semivariograma técnico, como mínimos quadrados ponderados e máxima verossimilhança.

Mcbratney & Webster (1986) sugerem o método do critério de informação de Akaike (AIC) para avaliar o modelo. Já Pannatier (1996) sugere a utilização de indicação da qualidade do ajuste (IGF).

Os principais modelos de semivariograma utilizados na geoestatística são: modelo linear com patamar, modelo esférico, modelo exponencial, modelo gaussiano e modelos sem patamar.

### **2.7.3 Interpolador geoestatístico (krigagem)**

Uma aplicação imediata do semivariograma é a utilização das informações geradas por ele na interpolação, ou seja, na estimativa de dados e posterior mapeamento da variável. O interpolador que utiliza o semivariograma em sua modelagem é chamado de krigagem.

A krigagem utiliza informações do semivariograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos que irão estimar pontos desconhecidos (Landim, 2003).

O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a forma de atribuição dos pesos. Os pesos são distribuídos de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma (Vieira et al.,1983), não apresentando tendenciosidade, apresentando variância mínima e possibilitando que se conheça a variância da estimativa (Olivier & Webster, 1991).

Vieira (2000) e Mello et al. (2008) concluíram que a superioridade do interpolador geoestatístico pode ser justificada por apresentar não tendenciosidade, ou seja, em média, a diferença entre os valores estimados e medidos deve ser nula e por apresentar variância mínima das estimativas, o que

significa que, embora possam existir diferenças entre os valores estimados e os medidos, elas devem ser mínimas.

Para a aplicação da krigagem assume-se: que sejam conhecidas as realizações  $z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_n)$  da variável  $Z(t)$ , nos locais  $t_1, t_2, \dots, t_n$ ; que o semivariograma da variável já tenha sido determinado e que o interesse seja estimar um valor  $Z^*$  na posição  $t_0$ .

O valor estimado  $Z^*(t_0)$  é dado por:

$$Z^*(t_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(t_i) \quad (10)$$

em que  $n$  é o número de amostras de  $Z(t)$  envolvidas na estimativa de  $Z^*(t_0)$  e  $\lambda_i$  são os pesos associados a cada valor medido,  $z(t_i)$ .

Para que  $Z^*$  seja uma estimativa não tendenciosa de  $z$ , a soma dos pesos das amostras tem que ser igualar a 1.

Existem vários tipos de krigagem, sendo a ordinária o método mais utilizado em geoestatística por vários autores no estudo da distribuição espacial de precipitação pluvial e temperatura (Andriotti, 2005).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Guiné-Bissau localiza-se a oeste da África (Figura 2), entre coordenadas geográficas 11° e 12°N (Latitude), de 14° a 16° W (longitude), altitude máxima de 300 m e temperaturas médias máximas e mínimas, respectivamente, de 32,9° e 25,5°C. De acordo com a classificação de Koppen, o clima tropical úmido, tipo Aw (Worldwide Distribution of Climatic Region, abril de 2006).



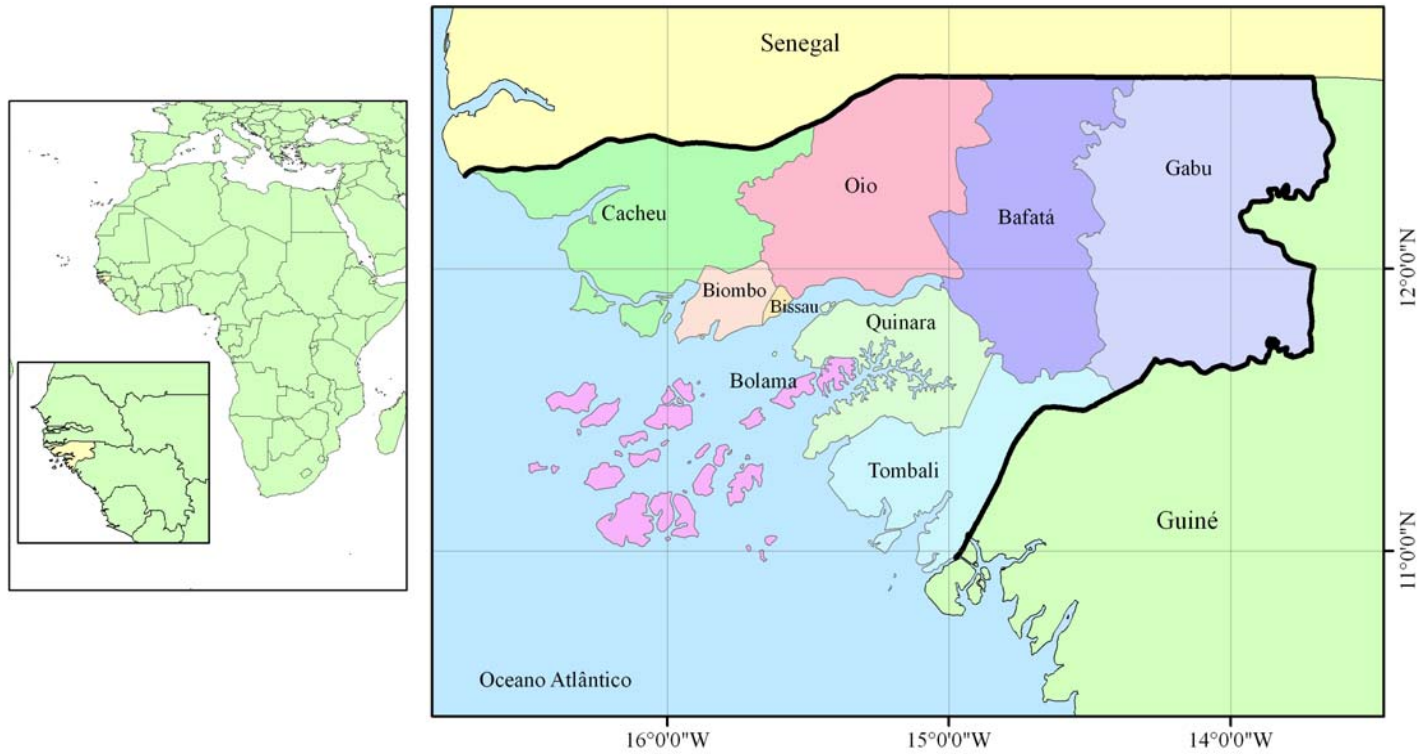


FIGURA 2 Mapa do Continente Africano, com destaque para a República de Guiné-Bissau, à esquerda, e suas divisões administrativas, à direita.

### 3.1 Base de dados

#### 3.1.1 Precipitação média mensal e anual

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados mensais e anuais de precipitação, coletados em 27 estações pluviométricas do país, as quais estão descritas na Tabela 1 e localizadas na Figura 3. As estações pluviométricas de Incore e Sonaco foram as que possuíam menor série de registros, 10 e 12 anos, respectivamente. As estações de Bissau Observatório e Bissau Aeroporto foram as com maiores séries, 47 e 54 anos de registros, respectivamente.

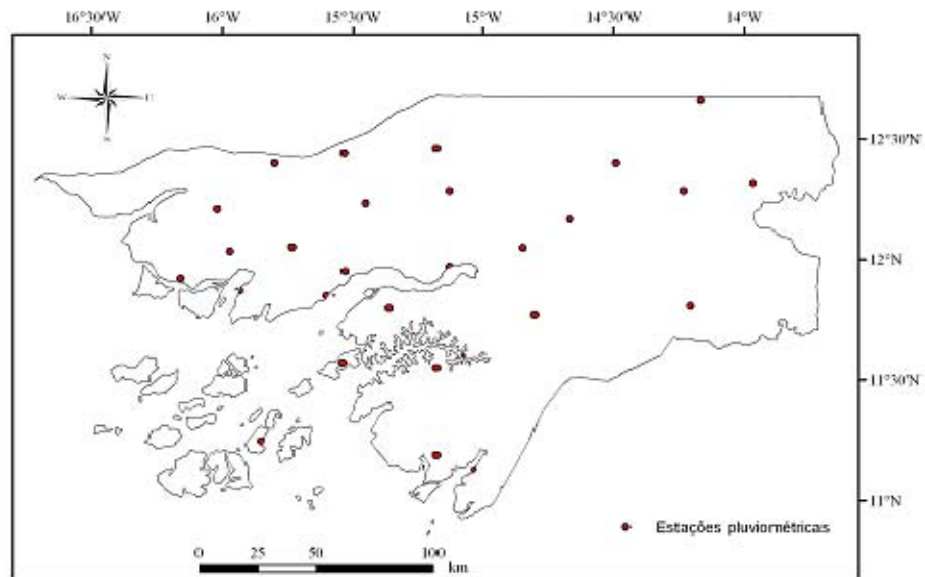


FIGURA 3 Distribuição espacial das estações pluviométricas em Guiné- Bissau.

TABELA 1 Estações pluviométricas de Guiné-Bissau

Local	Criação	Identificação	Latitude	Longitude	Altitude
		OMM	(N)	(W)	(m)
Bolama	1905	61769	11°36'	15°29'	20
Bissau/Aerop.	1941	61766	11°52'	15°56'	29
Bafatá	1950	61781	12°10'	14°40'	43
Bissora	1950	61777	12°14'	15°27'	10
Farim	1950	61775	12°29'	15°30'	03
Bigene	1990	-	12°27'	15°28'	-
Porto Gole	1950	61790	12°17'	14°14'	83
Ingoré	1989	-	12°23'	15°38'	-
Cacheu	1950	190005	12°12,6'	15°52'	-
Xitole	1985	190031	11°46'	14°48'	-
Mansabá	1950	190010	12°17'	15°7'	-
Pitche	1989	190017	12°19'	13°57'	-
Bula	1950	190007	12°03'	15°44'	30
Bubaque	1940	190026	11°04'	16°02'	30
Bissau/Obs.	1916	190021	11°51'	15°36'	20
Buba	1940	190024	11°36'	15°05'	10
Gabu	1941	190013	12°17'	14°14'	83
Catio	1946	190027	11°17'	15°16'	18
Caió	1950	190018	11°50'	16°19'	39.5
Varela	1950	190004	11°17'	16°36'	13
Cacine	1950	190028	11°08'	15°01'	06
Pirada	1950	190011	11°40'	14°10'	55
Sonaco	1950	190012	11°24'	14°29'	25
Boé	1950	190030	11°48'	14°12'	-
Fulacunda	1950	190023	11°48'	15°7,9'	-
Bambadinca	1989	190015	12°2,88	14°50'	-

Fonte: Direção de Serviço Nacional de Meteorologia de Guiné-Bissau (Bissau)

### 3.1.2 Precipitação provável

Utilizaram-se os dados diários de precipitação pluvial, totalizando-os em 1ª e 2ª quinzenas, para os meses de junho a outubro, em 22 das estações constantes na Tabela 1, tendo-se como critério a constituição de séries históricas de 30 anos de registros.

Para a estimativa da precipitação provável com nível de 75% de probabilidade, utilizou-se a distribuição de probabilidade log-normal a dois parâmetros (média e desvio padrão), cuja função de densidade de probabilidade (FDP) é dada por:

$$FDP = \frac{1}{\sigma_n \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \lambda^{-0.5 \left( \frac{\ln(x - \mu_n)}{\sigma_n} \right)^2} \quad (11)$$

Esta distribuição é semelhante à distribuição Normal, porém, trabalha-se com o logaritmo dos dados, sendo, portanto utilizada também a mesma função cumulativa de probabilidade (FCP), cuja solução é por aproximação por série e ou pelo emprego de valores apresentados em tabelas da referida distribuição. A equação geral proposta por Chow (1951), neste caso, assume a seguinte forma:

$$\chi_{Pr ov} = \lambda \mu_n + K_{TR} \cdot \sigma_n \quad (12)$$

em que  $\chi_{Pr ov}$  representa a precipitação provável (mm) com um determinado nível de probabilidade,  $\mu_n$  e  $\sigma_n$ , média aritmética e desvio padrão dos dados logaritmizados,  $K_{TR}$  é a própria variável reduzida ou padrão da distribuição de Gauss.

Teste de aderência da distribuição de probabilidade foi realizado pelo método de Kolmogorov-Smirnov, confrontando-se o módulo da maior diferença entre a probabilidade estimada e a frequência observada, com o valor da

estatística de Kolmogorov-Smirnov, que é fornecido em tabela em função do tamanho (n) da amostra e do nível de significância ( $\alpha$ ). Para ser aderente, deve-se atender à seguinte condição:

$$|\Delta F|_{\text{Calculado máximo}} \leq |\Delta F|_{\text{tabelado}(n, \alpha)} \quad (13)$$

Nesta situação, a distribuição de probabilidades será adequada, pois  $|\Delta F|_{\text{Calculado máximo}}$  será nulo estatisticamente e, portanto, a frequência observada é igual à frequência esperada.

### **3.1.3 Precipitação média máxima diária para Guiné-Bissau**

Trabalhou-se com os dados diários de precipitações máximas diárias, coletados no período de 1950 a 2003, para as estações da Tabela 1, sendo as estações de Xitole e Bambadinca aquelas com menores séries de registros, 11 e 13 anos, respectivamente.

Verificou-se a aderência do modelo de Gumbel para as precipitações máximas diárias anuais, para todas as estações, pelo teste de Kolmogorov Smirnov, considerando um nível de significância de 5% de probabilidade e, depois, estimaram-se os valores para períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos.

Para estimativa das precipitações para menores tempos de duração, utilizou-se a metodologia de desagregação de chuvas, conforme Torrico (1975). Inicialmente, transformou-se a chuva máxima diária em chuva máxima em 24 horas, adotando-se o valor 1,10. Regiões do Brasil com características climáticas similares às de Guiné-Bissau foram identificadas, tendo como referência a posição geográfica próxima à linha de Equador e a isozona em que se enquadram as estações pluviométricas do país, para a obtenção dos valores das relações entre precipitações de diferentes durações. Na Tabela 2 apresentam-se os coeficientes percentuais para a obtenção das chuvas com duração de 1h e 6min, extraídos de Torrico (1975).

Oyenbade (1982) e Knoesen et al. (2008) encontraram valores dos coeficientes para relações  $h_1 / h_{24}$  variando de 0,425 a 0,625, para a África de Sul e 0,56, para Nigéria, evidenciando, assim, similaridade com os coeficientes apresentados para a isozona D (Tabela 2) cujo tipo climático é Aw.

Adotaram-se, para a Guiné-Bissau, valores de 0,45 para a relação  $h_1 / h_{24}$  e de 0,112 para a relação  $h_{6\text{min}} / h_{24\text{h}}$ , para estimativa das lâminas precipitadas em 6 minutos, 1 hora e 24 horas, associadas aos respectivos tempos de duração, utilizadas para traçar gráficos em escala semilogarítmica, permitindo interpolar valores de duração associados aos tempos de retorno (TR) de 2, 5 e 10 anos. Para cada estação pluviométrica foi ajustada uma reta, permitindo, assim, identificar a relação existente entre lâminas máximas precipitadas e tempo de duração, dentro do intervalo de tempo 6min-24h e para tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos (Figura 2), cuja avaliação visual permite constatar o bom ajuste das retas. Especificamente, foi estimada a precipitação máxima com duração de 30 minutos, por estar associada ao potencial erosivo da chuva, bem como projetos de práticas mecânicas de conservação de solo, como dimensionamento de terraços.

Equações gerais para duração de 6 min até 24 h (1.440 min) foram ajustadas para tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. A lâmina que relaciona alturas máximas precipitadas em diferentes tempos de duração e período de retorno foi calculada pela equação 14, nos tempos de durações maiores ou iguais a 6 até 1.440 minutos para todas as estações.

$$L_p = a.Ln(T) - b \quad (14)$$

em que  $L_p$  é a lamina máxima para chuvas intensas e o T é o tempo de duração.

TABELA 2 Coeficientes relativos (%) entre as chuvas com duração de 1h/24 h e de 6 min/24 h, para as zonas homólogas e diferentes períodos de retorno.

Zona	Tempo de retorno em anos						
	5	10	20	50	100	5 a 50	100
	1h/24h				6 min/24h		
A	36,2	35,8	35,5	35	34,7	7	6,3
B	38,1	37,8	37,4	36,9	36,6	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,3	38,8	38,4	9,8	8,8
D	42	41,6	41,2	40,7	40,3	11,2	10
E	44	43,6	43,2	42,6	42,2	12,6	11,2
F	46	45,5	45,1	44,5	44,1	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47	46,4	45,9	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,3	47,8	16,7	14

Fonte: Torrico (1975)

Com base nos valores de intensidade média máxima diária de precipitação, correspondentes aos períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos e duração de 6 a 1.440 minutos, foram obtidos os parâmetros da equação de intensidade duração-frequência de cada estação, por meio da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial (equação 2).

### 3.1.4 Séries temporais

Para a realização deste trabalho, utilizaram-se dados de precipitação decenal de Guiné-Bissau, coletados no período de 1950 a 2003. O período de chuvas em Guiné-Bissau é concentrado nos meses de junho a outubro de cada ano, representando 95% da precipitação anual; em outros meses, praticamente não ocorrem chuvas. Dessa maneira, foram considerados, para análise, os registros das precipitações totais decenciais apenas nestes meses, constituindo 210, 250, 245, 245, 205 e 260 observações sucessivas de Bissau observatório (42

anos), Bissorã (50 anos), Buba (49 anos), Gabu (49 anos), Cacheu (41 anos) e Bolama (52 anos), respectivamente agrupadas em cinco observações anuais para os totais decendiais.

As estações utilizadas nas análises foram escolhidas em função do padrão de distribuição espacial de precipitação pluvial no país, que diminui no sentido Sul-Sudoeste para Norte-Nordeste.

As estações de Bissau observatório, Cacheu e Bissorã são situadas no litoral do País, sendo Cacheu e Bissorã mais ao norte, Bissau observatório a noroeste, Bolama ao sul e Gabu a leste.

Os dados foram submetidos a uma análise de periodograma para verificar sua periodicidade. Em seguida, padrões de tendência e sazonalidade foram avaliados graficamente, com construção dos gráficos das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial. Na situação em que o periodograma indicou alguma evidência de periodicidade, foi aplicado o teste de Fisher (Moretin & Toloi, 2006) para testar a significância deste valor. Este teste consiste em comparar as seguintes estatísticas:

$$g = \frac{\max(I_p)}{\sum_{p=1}^{\frac{N}{2}} I_p} \text{ e } z = 1 - \sqrt[n-1]{\frac{\alpha}{n}} \quad (15)$$

em que  $I_p$  são valores do periodograma,  $\alpha$  é o nível de significância e  $n = N/2$ , sendo o  $N$  o tamanho da série. Se  $g > z$ , deve-se rejeitar a hipótese de não existência de sazonalidade, ou seja, a série apresenta sazonalidade a um determinado nível de significância  $\alpha$ .

Como suporte computacional foi utilizado o software STATISTICA for Windows versão 7.0 (2004) e todas as análises foram realizadas considerando um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).



### 3.1.5 Erosividade

Valores das precipitações mensais e anuais foram utilizados para o cálculo do coeficiente de chuva, de acordo com a relação proposta por Renard & Freimund, (1994) e que é expressa como:

$$R_c = \frac{p^2}{P} \quad (16)$$

em que:  $R_c$ ,  $p$  e  $P$  são, respectivamente, o coeficiente de chuva (índice de Fournier), as precipitações médias de cada mês do ano e a precipitação média anual, sendo essas variáveis dadas em mm.

Para cálculo de erosividade, foi aplicada a equação do coeficiente de chuva para Fortaleza (Silva & Dias, 2003), dada as características climáticas similares da região com as de Guiné-Bissau.

$$EI_{30} = 73,989.R_c^{0,7387} \quad (17)$$

Depois do cálculo do índice  $EI_{30}$  mensal de cada uma das 27 localidades, foram utilizadas técnicas geoestatísticas para espacialização da erosividade, precedida pela análise exploratória dos dados.

### 3.2 Análise espacial dos dados

Para estudo da continuidade espacial da precipitação em Guiné-Bissau, o modelo de semivariograma exponencial foi ajustado, uma vez este modelo vem sendo aplicado, com este objetivo, em diversos países e alcançando bons resultados (Mello et al., 2008; Martinez et al., 2003). O alcance desse modelo tem significado puramente analítico, sendo o patamar só alcançado pela curva de forma assintótica, ou seja, teoricamente, quando  $h = \infty$ . Dessa maneira, o alcance prático é determinado por 3 vezes o alcance teórico (Journel & Huijbregts, 1978).

Para isso, o programa R, com o pacote geoestatística GeoR foi aplicado, seguindo procedimentos desenvolvidos por Ribeiro Junior & Diggle (2001). A

fase de mapeamento de precipitação média mensal e erosividade foi conduzida com o programa Arcgis 9.2 (ESRI, 2005) e GeoR para mapeamento de chuvas prováveis e intensidade média máximas diárias de chuvas .

A análise exploratória dos dados foi realizada antes de aplicação das ferramentas da geoestatística, com o objetivo de analisar o comportamento geral dos mesmos, identificar possíveis valores discrepantes conhecidos como “outliers” e análise de tendência dos dados, considerando a localização geográfica de cada observação, sendo fundamental para aplicação da geoestatística. Os dados discrepantes podem afetar a variância aleatória existente no processo, implicando na presença ou na ausência de correlação espacial (Ribeiro Junior & Diggle, 2001). Portanto, estes pontos, assim como as tendências observadas em função das coordenadas geográficas, foram removidos para satisfazer às condições de estacionariedade para prosseguir ao ajuste do modelo de semivariograma exponencial.

Para se desenvolver uma análise complementar e quantitativa da estrutura de dependência espacial, trabalhou-se com grau de dependência espacial, conforme Mello et al. (2005):

$$GD = \left( \frac{C_0 + C_1}{C_0} \right) \times 100 \quad (18)$$

em que GD é o grau de dependência (%),  $C_0 + C_1$  é o patamar e  $C_0$  o efeito pepita, ambos extraídos do ajuste do semivariograma. Mello et al. (2005) apresentam a seguinte classificação para o GD:  $\leq 25\%$  (fraca estrutura de dependência espacial), entre 25% e 75% (moderada) e  $> 75\%$  (forte).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Precipitação média mensal e anual**

Na Figura 4 observa-se que o comportamento dos dados nas direções E-W (longitude) tem boa distribuição espacial, ou seja, não se verifica tendência à medida que se desloca nesta direção, enquanto na direção N-S (latitude) há evidência de forte tendência para maioria dos meses analisados, o que precisa ser removido para não prejudicar a análise geoestatística. Constataram-se dados discrepantes (“outliers”) para precipitação média, de junho e anual, as quais foram removidas.

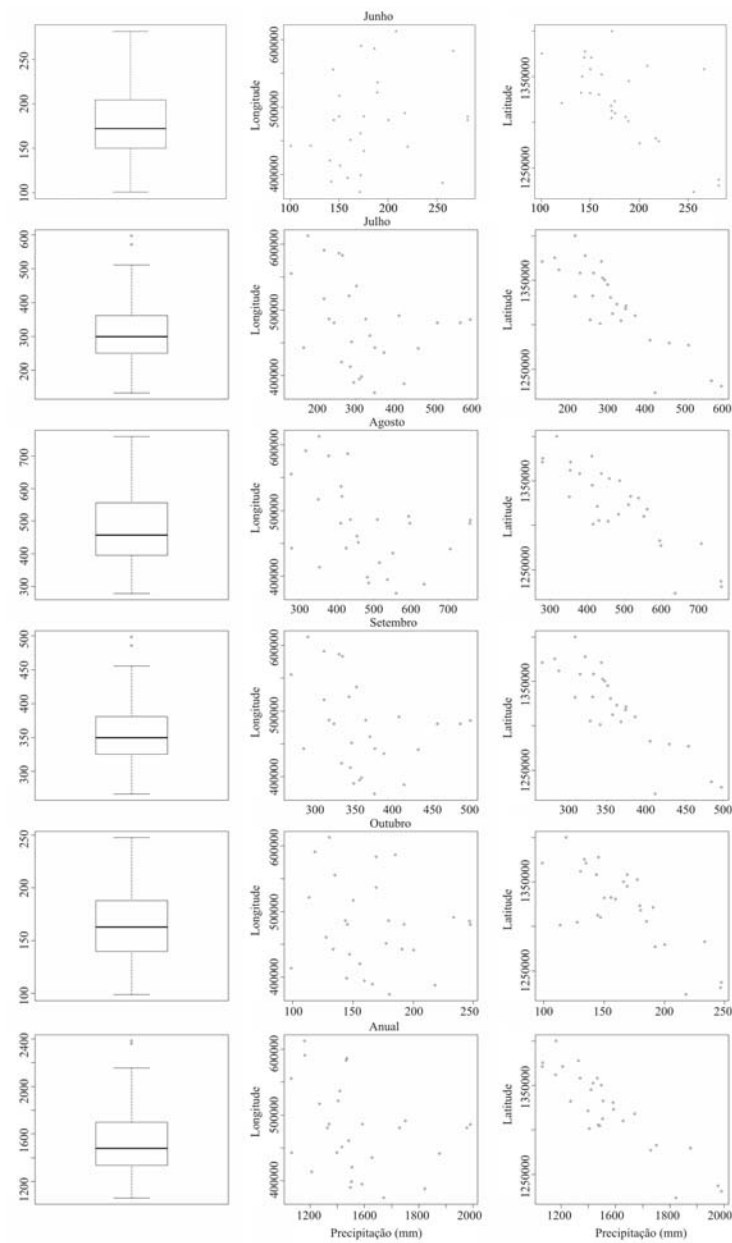


FIGURA 4 Gráficos da análise exploratória dos dados (boxplot e tendências) para precipitação média mensal para Guiné-Bissau.

Na Tabela 3 apresentam-se os parâmetros dos semivariogramas ajustados para as precipitações médias mensais e anuais, pelo método dos mínimos quadrados ponderados. Observa-se que a precipitação média dos meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro e anual apresentaram grau de dependência espacial superior a 75%, ou seja, forte estrutura de dependência espacial. A única exceção foi o mês de junho, que apresentou 68,6%, valor considerado moderado, demonstrando, assim, que a precipitação apresenta-se estruturada.

A forte estrutura espacial permite inferir que a aplicação do interpolador geoestatístico produzirá resultados de boa qualidade, resultando em mapas representativos e sem tendência.

Mello et al. (2008), trabalhando com dados de precipitação para o estado de Minas Gerais, verificaram forte estrutura espacial para a maioria dos meses, assim como Martinez et al. (2003), trabalhando com dados de precipitação da região dos Andes.

O efeito pepita foi nulo em várias situações, exceto para os meses de junho e outubro, indicando que existe descontinuidade entre valores separados por distâncias menores que o usado no intervalo de amostragem. A proporção desses valores para o patamar do semivariograma é um indicativo da quantidade de variação ao acaso, de um ponto para outro, e quanto menor seus valores, mais parecidos são os valores vizinhos. Podem-se notar fortes flutuações de 40 até os 90 km de distância, na Figura 5, causadas por variações periódicas da chuva nesta distância. Acredita-se que tal flutuação se deve aos índices pluviométricos obtidos na região litorânea, onde a precipitação pluvial apresenta distribuição espacial distinta das demais regiões do país.

O alcance prático médio foi de 111,3 km, com amplitude que varia de 26,1 a 434,4 km. Esse comportamento, possivelmente, está associado às

características de chuvas convectivas predominantes na região, proporcionando, assim, existência de dependência espacial num raio de ação menor, dado o caráter mais localizado deste tipo de precipitação.

TABELA 3 Parâmetros dos modelos de semivariograma (C0: efeito pepita; C0+C1: patamar; A: alcance), GD: grau de dependência espacial.

Parâmetros & períodos	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	A (m)	GD (%)
Junho	360,4	786,08	144848,11	68,6
Julho	0	2775,38	17750,42	100
Agosto	0	3994,63	16644,376	100
Setembro	0	938,02	44544,72	100
Outubro	30,7225	719,88	8695,23	95,91
Ano	0,000	24105,26	20443,13	100

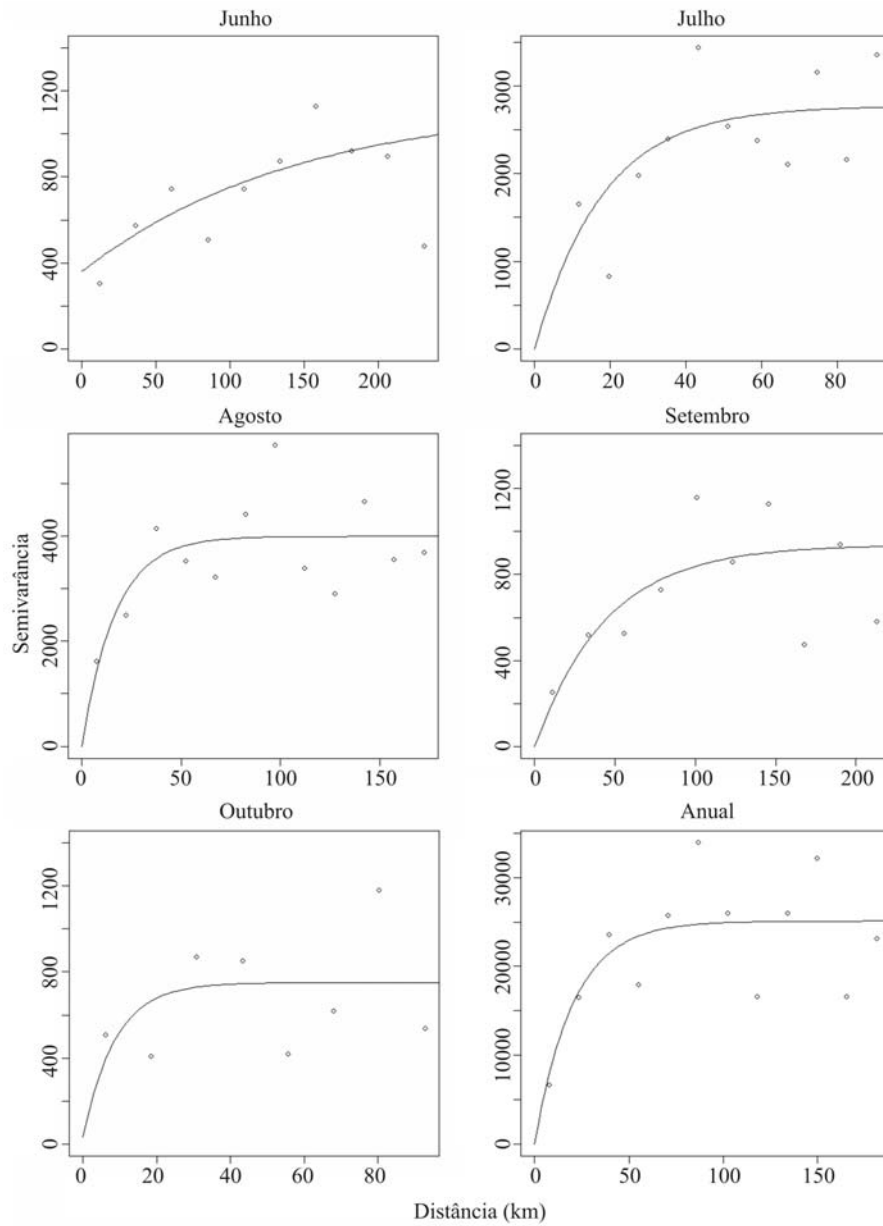


FIGURA 5 Semivariograma exponencial ajustado aos dados para mapeamento da precipitação média mensal e anual, em Guiné Bissau.

Os mapas desenvolvidos para precipitação média mensal e anual estão apresentados na Figuras 6. Observa-se alta variabilidade espacial da precipitação média mensal para Guiné-Bissau. O comportamento da precipitação seguiu um padrão espacial no qual se observam reduções da precipitação da região sul-sudoeste para a região norte-nordeste, tanto considerando as médias mensais quanto a média anual. Constatou-se diminuição das precipitações do litoral para o interior, caracterizando o efeito da continentalidade e da orientação topográfica. A capacidade de transporte de umidade é afetada pela topografia das encostas suavemente para cima em direção ao leste. Como resultado, a precipitação diminui gradualmente, a partir da costa para o interior.

Thiam & Singh (2002), analisando precipitação, escoamento superficial e temperatura na bacia Casamança, sul do Senegal, fronteira ao norte com Guiné-Bissau, observaram comportamento semelhante na distribuição de chuvas locais.

No mês de agosto concentraram-se maiores índices pluviométricos no país, representando um terço da precipitação anual.



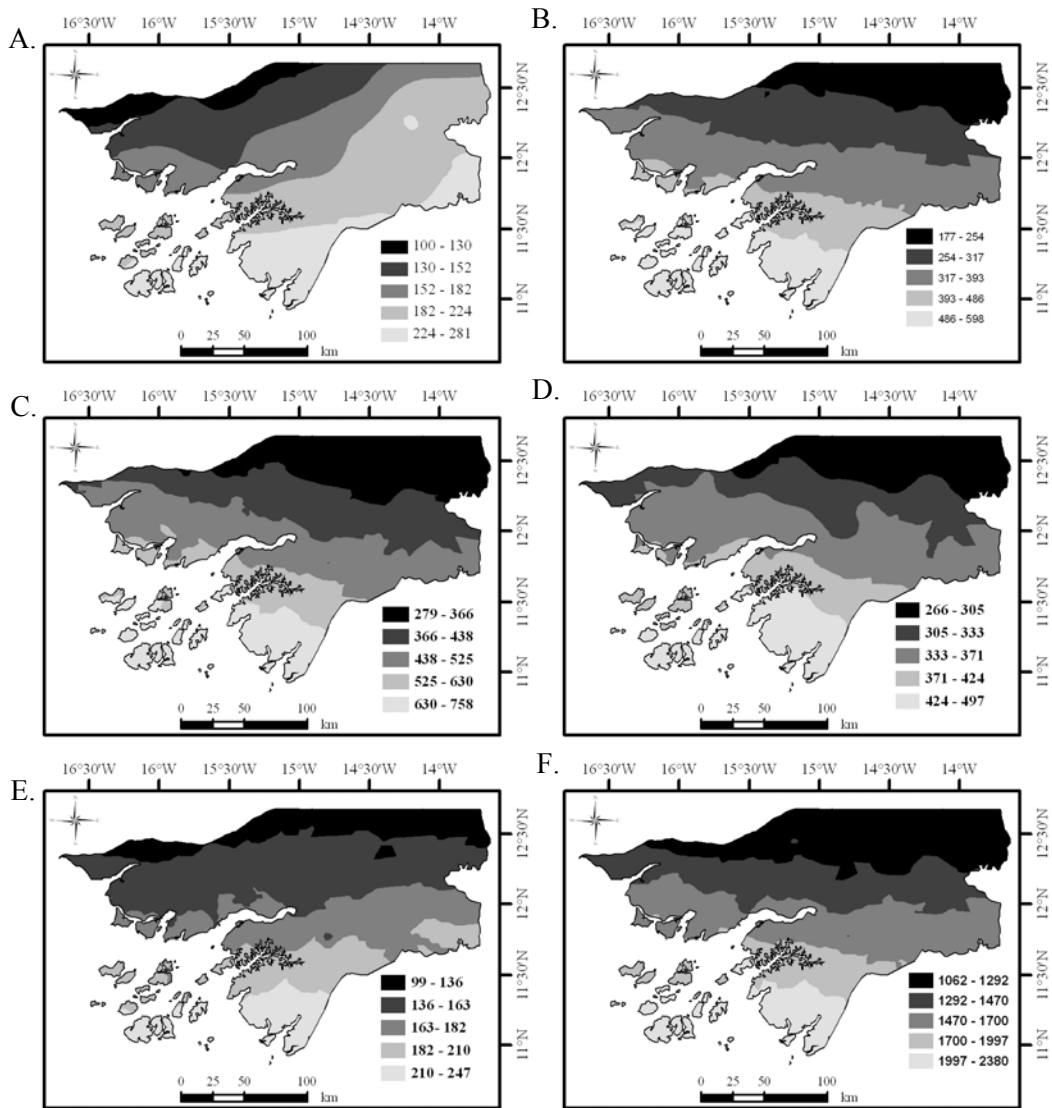


FIGURA 6 Mapeamento da precipitação média mensal e anual em Guiné Bissau, nos meses de junho (A), julho (B), agosto (C), setembro (D), outubro (E) e anual (F).

## 4.2 Precipitação provável

Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5% ( $\alpha_{0,05}$ ), aplicado ao período estudado, totalizando 230 situações, verifica-se que apenas 12 destas (anexo 1) a distribuição Log-Normal a 2 parâmetros, não foi adequada, demonstrando bom desempenho no seu emprego no estudo de precipitações prováveis para Guiné-Bissau.

Observa-se que o comportamento dos dados nas direções N-S (latitude) e E-W (longitude) apresentou boa distribuição espacial, ou seja, não se verificam tendências à medida que se desloca nestas direções (Figuras 7 e 8). Esta característica é de fundamental importância para aplicação da geoestatística, significando que os semivariogramas ajustados terão boa condição para representar a continuidade espacial e a geração de mapas de boa qualidade pela krigagem.

Foram verificadas presença de dados discrepantes ‘outliers’ que produzem alta variabilidade nos dados e distorção do mesmo, para precipitação provável, em junho 1ª quinzena e nos meses de julho, agosto e setembro 2ª quinzena, que foram removidos para prosseguir o ajuste de semivariograma.

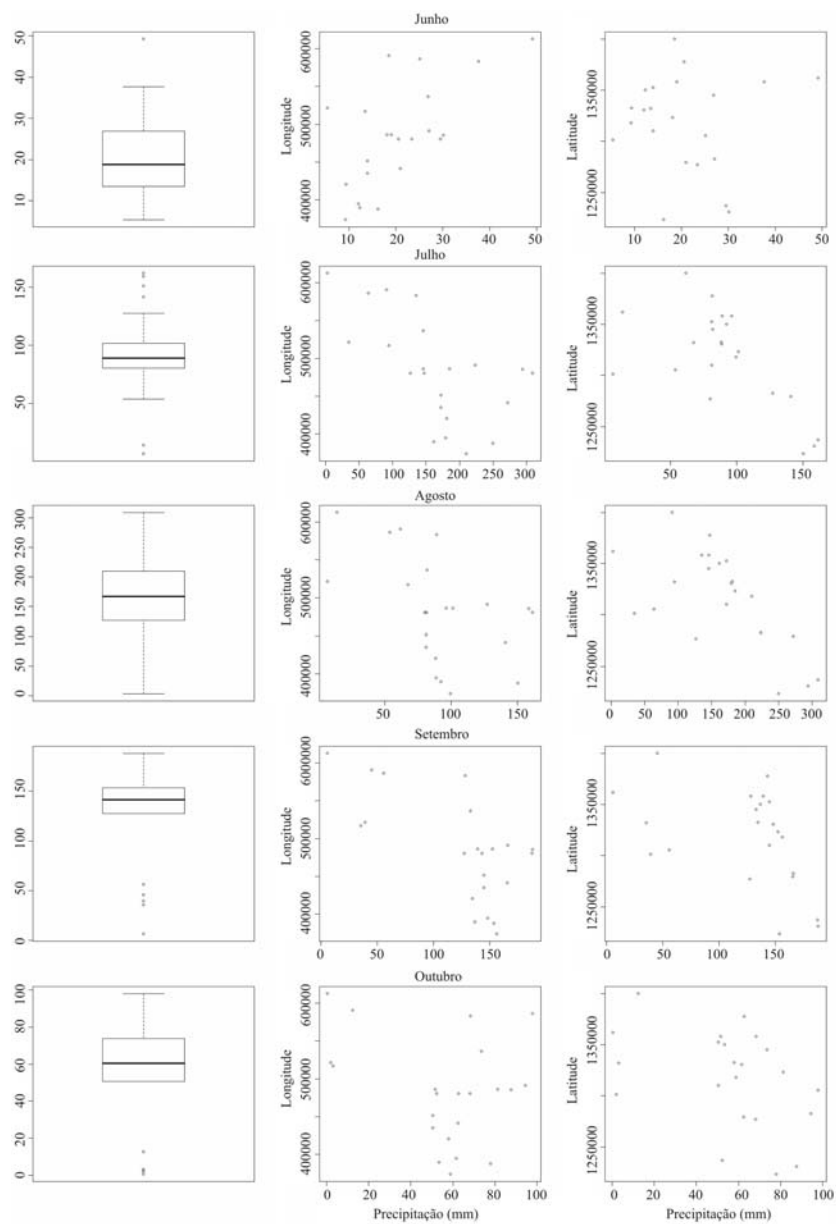


FIGURA 7 Análise exploratória da precipitação provável 1ª quinzena (75% de probabilidade), em Guiné-Bissau.

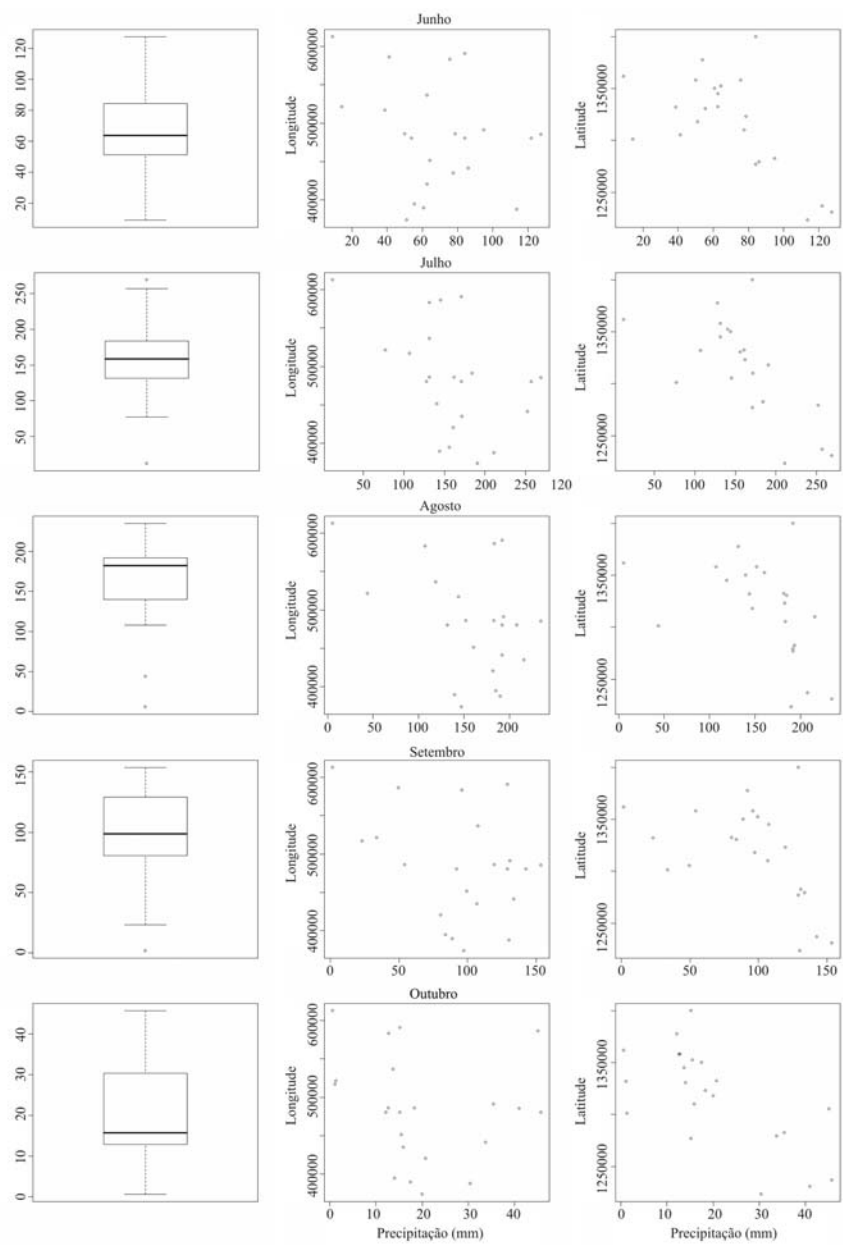


FIGURA 8 Análise exploratória da precipitação provável 2ª quinzena (75% de probabilidade), em Guiné Bissau.

Na Tabela 4 apresentam-se os parâmetros dos modelos de semivariograma exponencial ajustado para precipitação provável (75% de probabilidade) para 1ª quinzena e 2ª quinzena, em Guiné-Bissau, para os meses de junho a outubro, pelo método dos mínimos quadrados ponderados. Observa-se que a precipitação provável, para os meses de junho, julho, agosto setembro e outubro, apresentou grau de dependência espacial superior a 75%, caracterizando-se forte estrutura de dependência espacial, conforme relatado também por Mello (2004).

O efeito pepita foi nulo em quase todas as situações, exceto para o mês de julho 2ª quinzena, evidenciando que o intervalo de amostragem foi suficientemente adequado para detectar a estrutura de continuidade espacial do fenômeno em estudo.

Verificando-se os ajustes dos modelos de semivariograma exponencial, verifica-se forte dependência espacial, sendo possível constatar que a aplicação do interpolador geoestatístico produzirá resultados de boa qualidade com mapas representativos e sem tendência da distribuição espacial da precipitação provável (75% de probabilidade), para 1ª e 2ª quinzena, em Guiné-Bissau (Figura 9 e 10). Desse modo, o alcance prático médio para o modelo exponencial foi de 56,2 km, representando a região de influência em que a precipitação provável da 1ª quinzena apresenta-se espacialmente dependente na área em estudo, com amplitude que varia de 36,8 a 63,6 km. Para precipitação provável da 2ª quinzena, o alcance prático médio para o modelo exponencial foi de 85,44 km, com amplitude variando de 45,03 a 167,1 km. Esse comportamento, possivelmente, está associado às características de chuvas convectivas predominantes na região proporcionada pela zona de convergência intertropical e principais centros de ação regionais semipermanentes, como os anticiclones de Açores e Santa Helena, situados no oceano Atlântico, respectivamente ao norte e ao sul do Equador, que são determinantes no regime de precipitação no país,

proporcionando assim existência de dependência espacial num raio de ação menor.

TABELA 4 Parâmetros do modelo de semivariograma ( $C_0$ : efeito pepita;  $C_0+C_1$ : patamar; A: alcance), GD: grau de dependência espacial, 1ª e 2ª\* quinzena, para Guiné Bissau.

Parâmetros Período	$C_0$	$C_0+C_1$	A (m)	GD (%)
Junho	0,000	52,2062	16354,0115	100
Julho	204,0727	639,0633	11859,7995	75,5
Agosto	0,000	2761,643	16197,778	100
Setembro	0,000	1427,454	11657,778	100
Outubro	0,000	840,4824	21214,2121	100
Junho*	0,000	583,18	26643,94	100
Julho*	0,000	1523,365	19146,723	100
Agosto*	0,000	2428,482	25835,458	100
Setembro*	0,000	1186,977	15073,647	100
Outubro*	0,000	223,0394	55720,7675	100

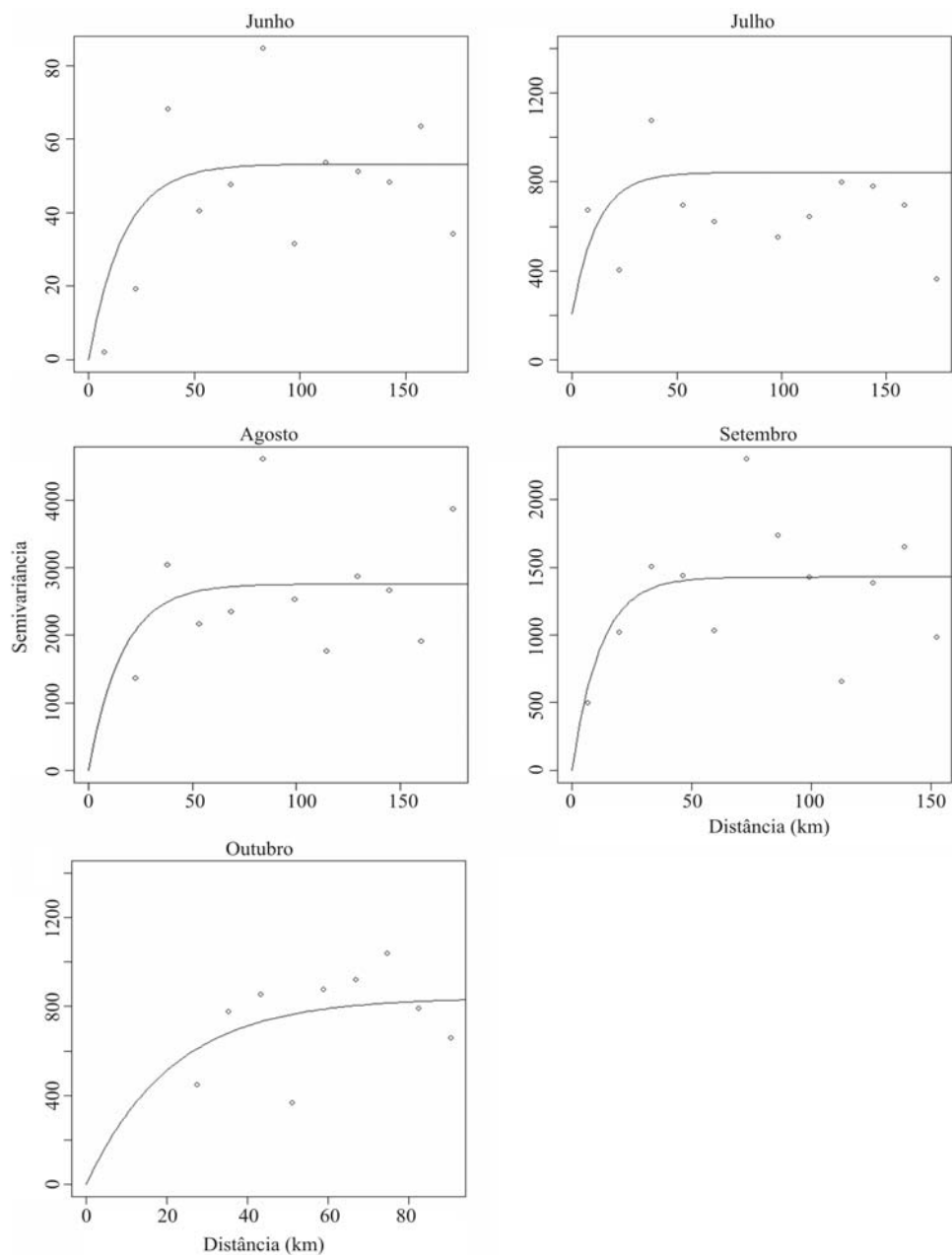


FIGURA 9 Semivariograma exponencial ajustado aos dados de precipitação provável (75% de probabilidade) para 1ª quinzena, em Guiné-Bissau.

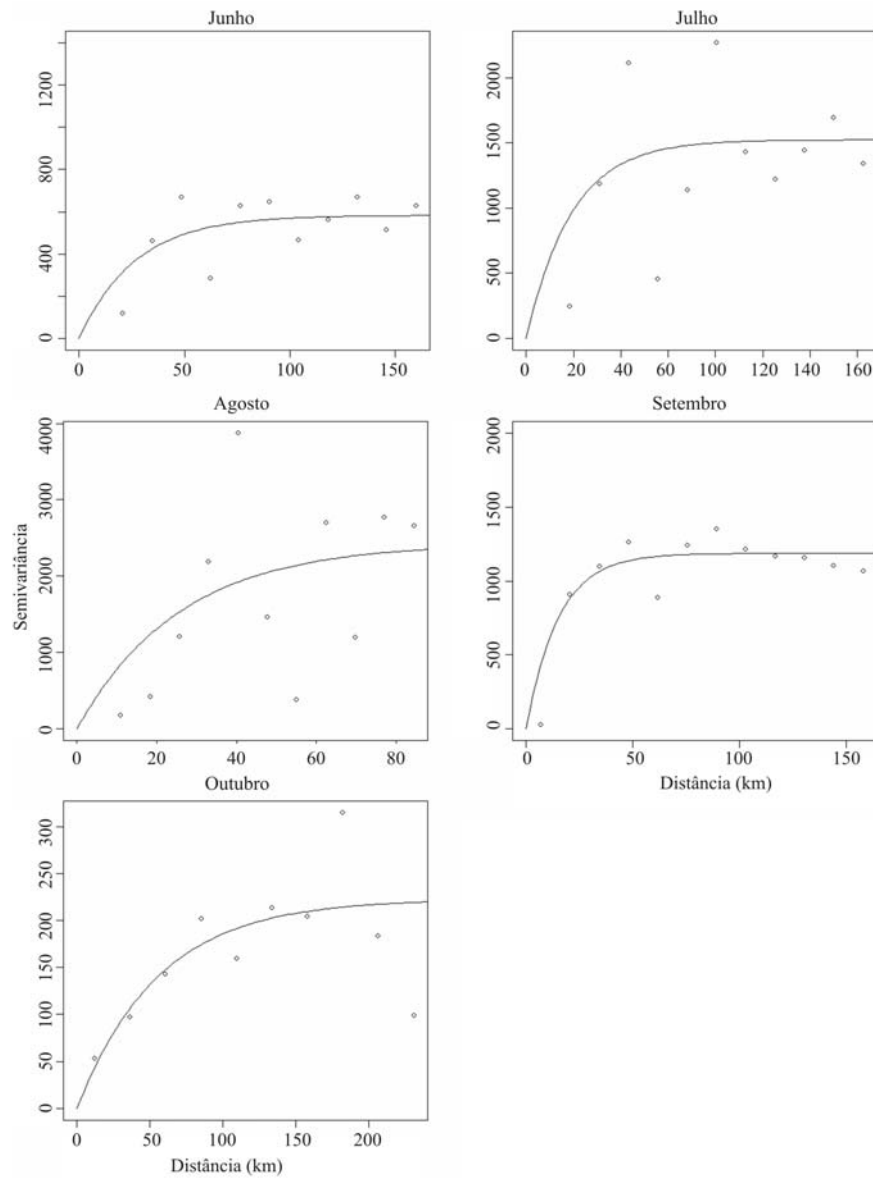


FIGURA 10 Semivariograma exponencial ajustado aos dados de precipitação provável (75% de probabilidade) para 2ª quinzena, em Guiné-Bissau.



Nas Figuras 11 a 16 é mostrada a variabilidade espacial de precipitação provável (75% de probabilidade) para 1ª quinzena e 2ª quinzena, em Guiné-Bissau, para os meses de junho a outubro. Verificou-se que a 1ª quinzena do mês do junho foi a que apresentou os menores valores de chuvas prováveis, variando de 5,48 a 49,14 mm sendo região nordeste aquela que apresenta maiores concentrações.

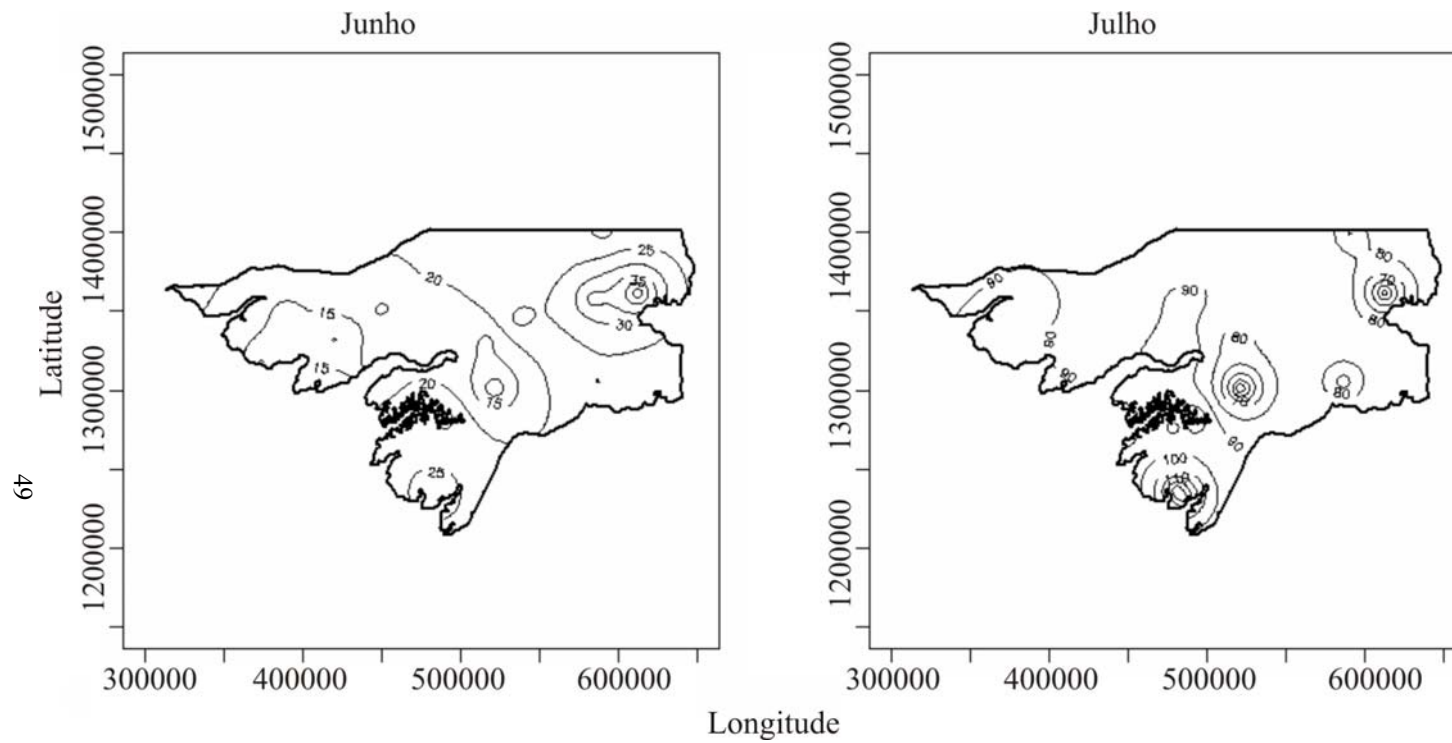


FIGURA 11 Isoietas (mm) de Precipitação provável (75% de probabilidade) para 1ª quinzena, em Guiné-Bissau.

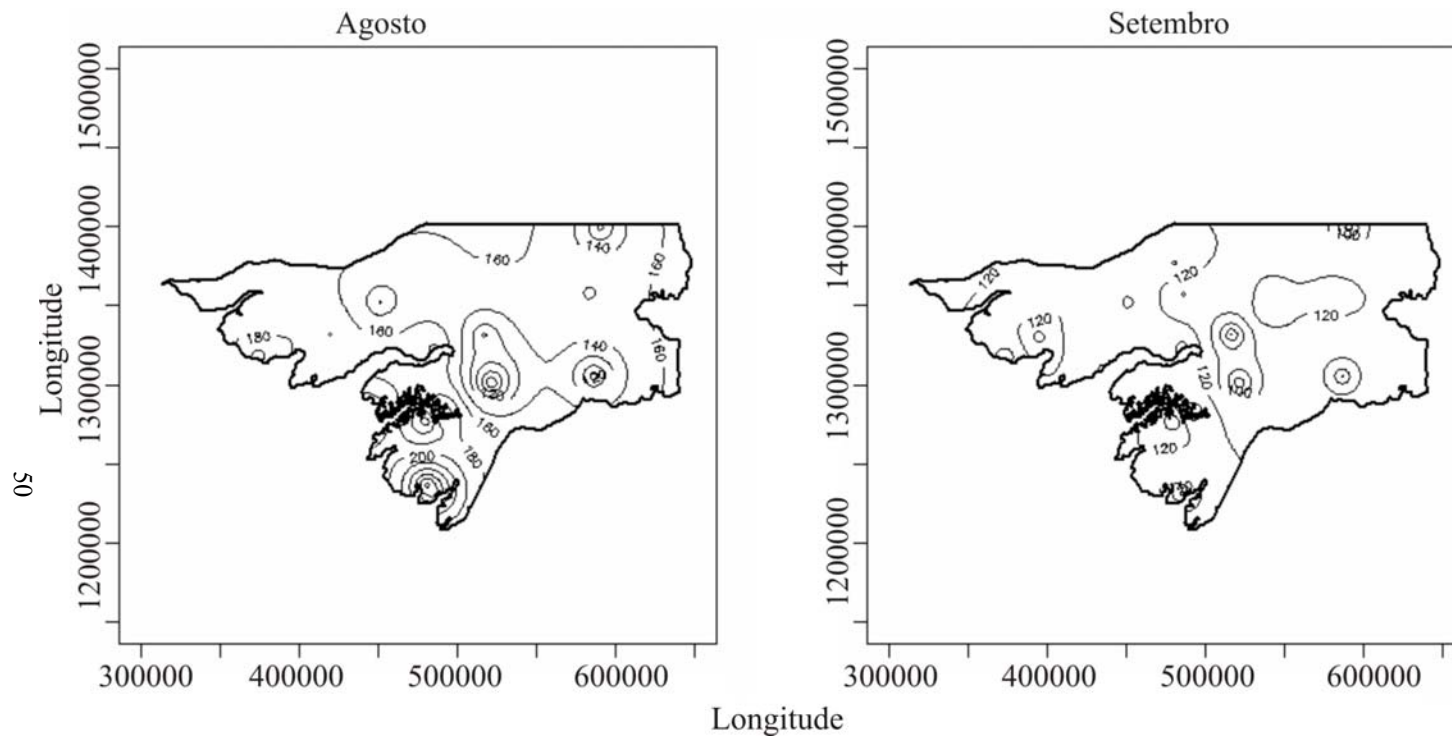


FIGURA 12 Isoietas (mm) de Precipitação provável (75% de probabilidade) para 1ª quinzena, em Guiné-Bissau.

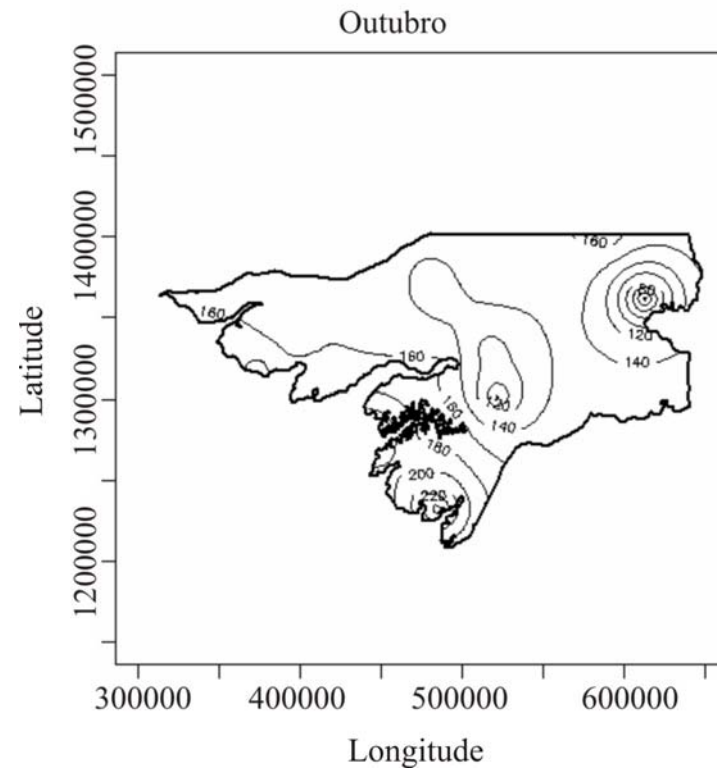


FIGURA 13 Isoietas (mm) de Precipitação provável (75% de probabilidade) para 1ª quinzena, em Guiné-Bissau.

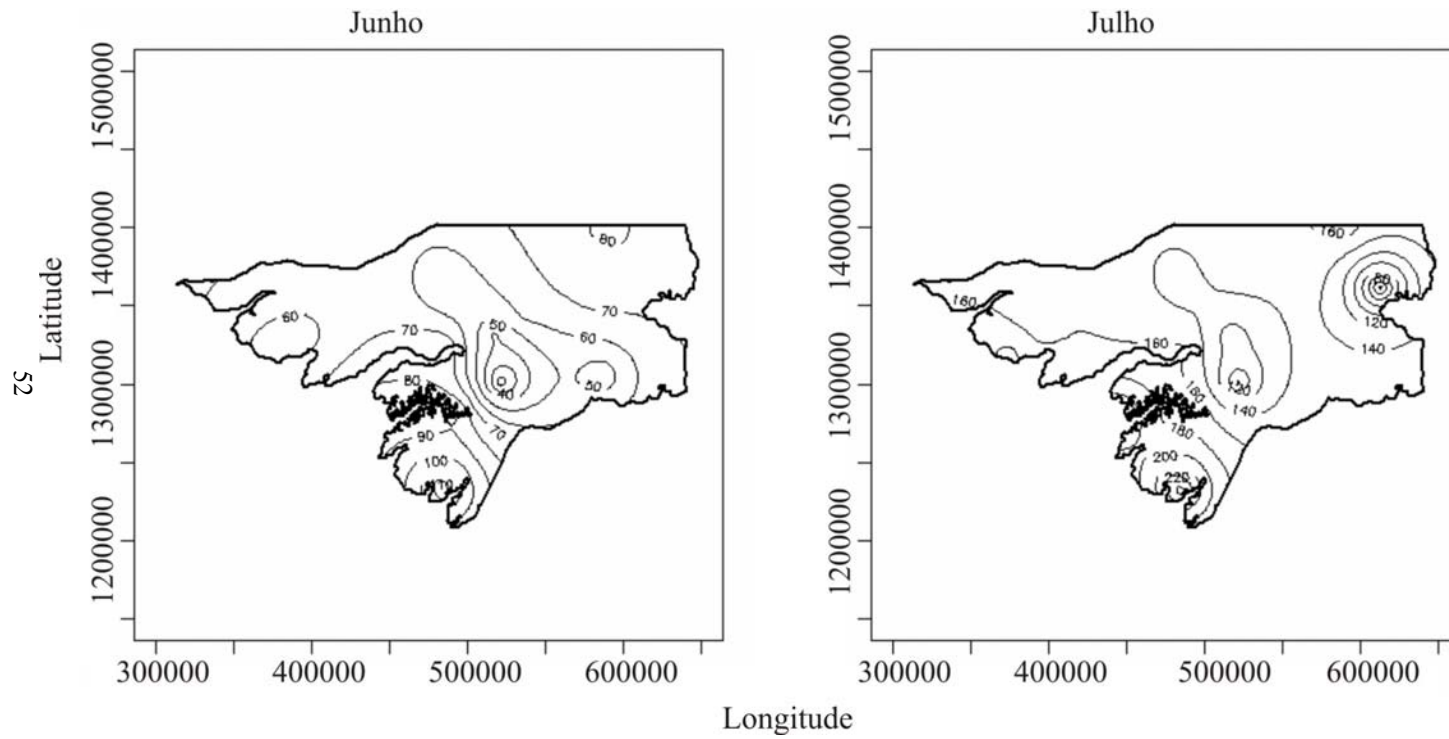


FIGURA 14 Isoietas (mm) de Precipitação provável (75% de probabilidade) para 2ª quinzena, em Guiné-Bissau

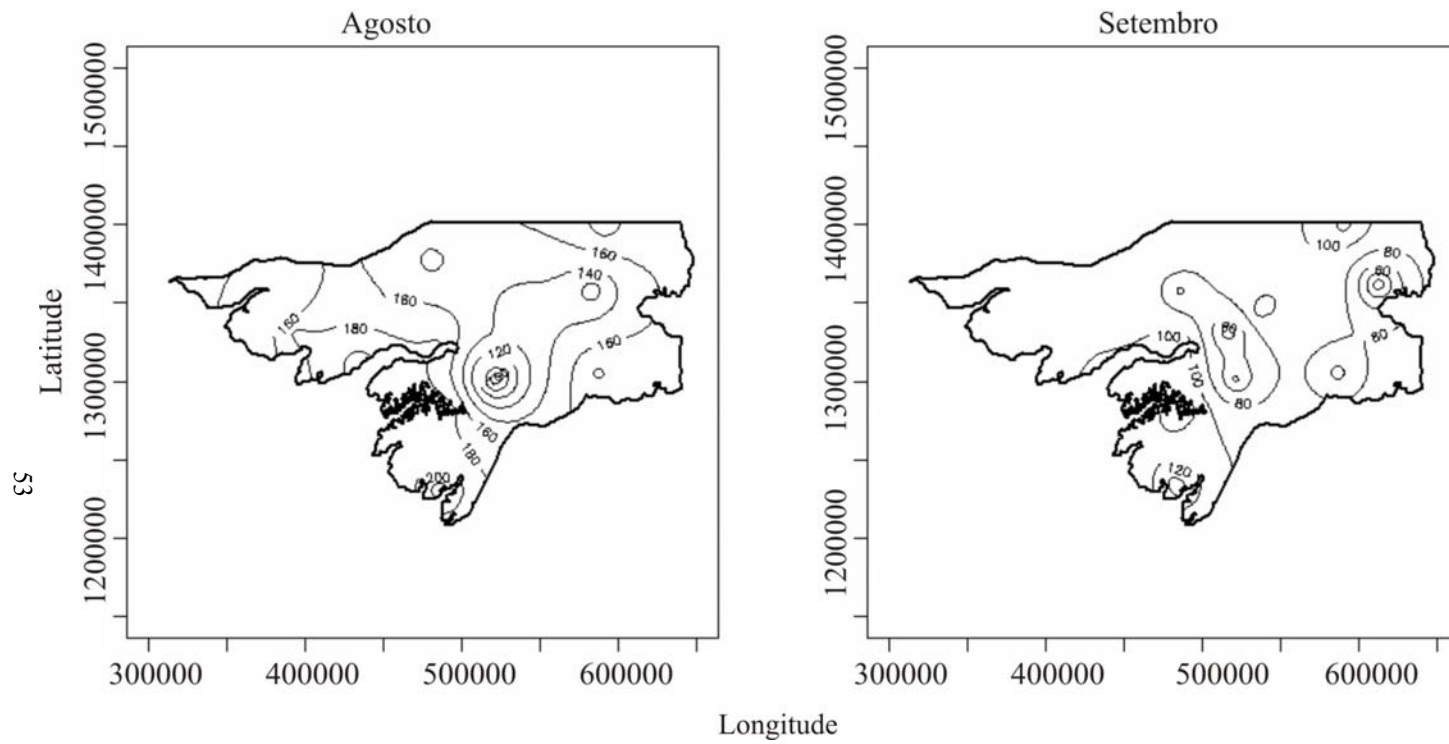


FIGURA 15 Isoietas (mm) de Precipitação provável (75% de probabilidade) para 2ª quinzena, em Guiné-Bissau

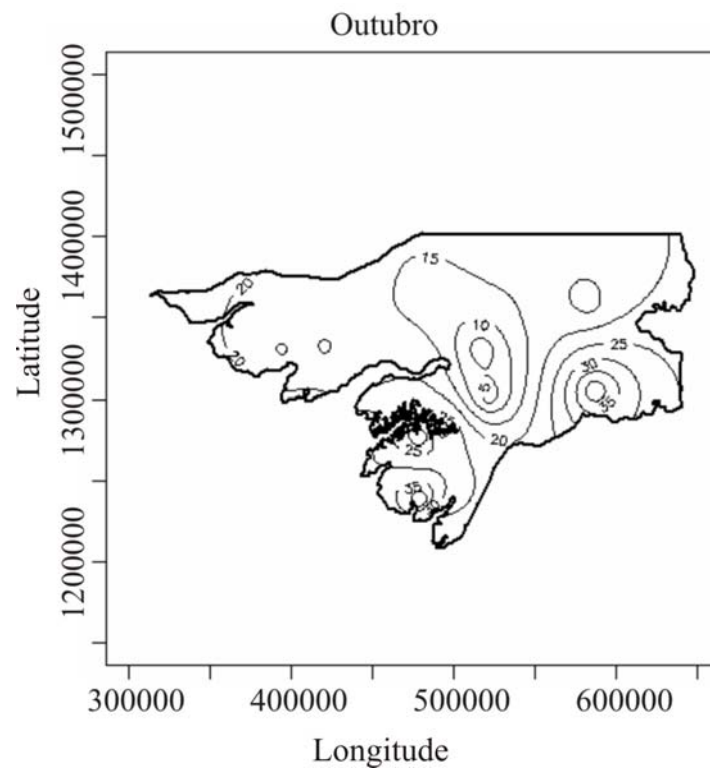


FIGURA 16 Isoietas (mm) de Precipitação provável (75% de probabilidade) para 2ª quinzena, em Guiné-Bissau

Para o mês de julho (1ª quinzena), a ocorrência de mais de 100 mm de chuvas prováveis com 75% de probabilidade ocorre em toda a faixa que compreende as regiões norte e sudeste do país, e verifica-se, ainda, que, nos eixos sul-sudeste para leste e nordeste, as chuvas prováveis seguiram um padrão de diminuição de lâminas de 140 para 60 mm, respectivamente. Essa tendência pode levar a ocorrências de veranicos para esses locais com índices menores considerando que a magnitude desses valores não se deve apenas ao número de dias chuvosos, mas sim a eventos extremos de chuvas características na região.

O mês de agosto, que corresponde ao mês com maiores índices pluviométricos do país, apresenta alta variabilidade nos valores de precipitação provável. Nas regiões sul e sudeste, para esse mês, verificaram-se valores da ordem de 200 a 180 mm e a região com menores índices abrange os eixos leste e noroeste, com volumes de 120 a 140 mm.

Constatou-se homogeneidade na variabilidade espacial de chuvas prováveis para mês de setembro para todo país, com índices de 120 mm, exceto região noroeste e extremo norte (Pirada), com 100 mm. Outubro foi o mês que apresentou menores índices de precipitação provável para 1ª quinzena, com distribuição espacial heterogênea para todo país, cuja amplitude varia de 40 a 80 mm.

Prosseguindo as análises para a 2ª quinzena, observou-se a ocorrência de menores concentrações nesse período para todo país, com exceção do mês de julho, que apresenta maiores índices de precipitação provável para a região sul, com volumes na ordem de 220 mm.

A região norte na 2ª quinzena de junho apresenta homogeneidade na distribuição de precipitação provável, com índices de 80 mm e a região sul sudoeste apresenta maiores índices que diminuem à medida que se avança para o interior do continente. Também se observou, para esse mês, que a região noroeste apresenta menores lâminas, variando de 40 a 50 mm.



O mês de julho, na 2ª quinzena, apresenta maiores valores de precipitação provável para toda a região, em relação ao mês de julho na 1ª quinzena. Constata-se, ainda, que os índices se distribuem de forma heterogênea e os raios que abrangem a região noroeste são os que apresentam menores índices com, 120 mm.

Para o mês de agosto, houve um comportamento semelhante de chuvas prováveis, tanto para 1ª como para a 2ª quinzena e, para setembro, seguiu-se a mesma tendência da 1ª quinzena de agosto, mas com índices um pouco inferiores, de 100 a 110 mm, com exceção da região noroeste que apresenta valores de 90 mm.

O mês de outubro 2ª quinzena apresenta comportamento semelhante ao do mês de junho 1ª quinzena para todo país, com lâminas de 5 a 35 mm, caracterizando o fim do período chuvoso no país.

Pode-se destacar a predominância, em todo o país, das maiores precipitações na 1ª quinzena para todos os meses, exceto o mês de junho 1ª quinzena e outubro 2ª quinzena, que apresentam índices relativamente menores e, para o mês de julho 2ª quinzena que supera as demais, uma evidência do regime transitório sinalizada pela deficiência hídrica no país.

Pode-se destacar a predominância nos índices de precipitação provável de 160 mm em toda faixa do território nacional, com exceção da região sul sudoeste, que apresenta chuvas prováveis de 200 mm para o mês de julho na 2ª quinzena e na região centro leste, com 120 mm, caracterizando a variabilidade natural das chuvas no país.

De modo geral, o plantio na 1ª quinzena de junho se faz com maior risco. Para regiões situadas a leste, há necessidade de irrigação suplementar considerando que a evapotranspiração diária em Guiné-Bissau é de cerca de 4,4 mm (Costa & Resende, 2004).

Este estudo demonstra que a implantação de sistemas de irrigação na região pode ser necessária na forma suplementar para suprir a demanda hídrica das culturas.

### **4.3 Séries temporais**

Para Guiné-Bissau, nas Figuras 17 a 19 está descrito o comportamento da série de precipitação nos três decêndios. A análise preliminar sugere a presença de sazonalidade com periodicidade anual e ausência de tendência. O pico acentuado no gráfico para séries de Bissau (b), Bissorã (c), Gubu (d) e Bolama (f) demonstra comportamento de eventos extremos de chuvas isoladas característica do mês mais chuvoso na região. A variabilidade temporal é alta para todas as situações analisadas, tanto no 1º como no 2º e no 3º decêndio. Constatou-se homogeneidade na distribuição temporal para as regiões litorâneas para as estações de Cacheu (e) e Bolama (f) no 3º decêndio. Esses são locais com maiores lâminas de chuvas em relação às demais localidades para esse período específico.

Os gráficos da função de autocorrelação (fac) (Figuras 20 a 22) para cada uma das séries apresentam comportamento senoidal (alternâncias de lados da autocorrelação em relação ao eixo vertical), tornando mais evidente a presença de componente sazonal na série. Estes gráficos apresentam picos nos “lags” múltiplos de 5, o que é indicativo de uma série com sazonalidade de período 5, uma vez que cada período de tamanho 5 corresponde a um período de um ano, pois os valores das análises só foram considerados nos meses junho a outubro de cada ano, já que 95% da precipitação ocorre nestes meses.

Observa-se que os períodos apresentam variabilidade sazonal, ou seja, nenhum deles apresenta-se absolutamente regular em sua ocorrência, ficando evidente a necessidade de uso de séries históricas mais recentes para atividades de previsão.

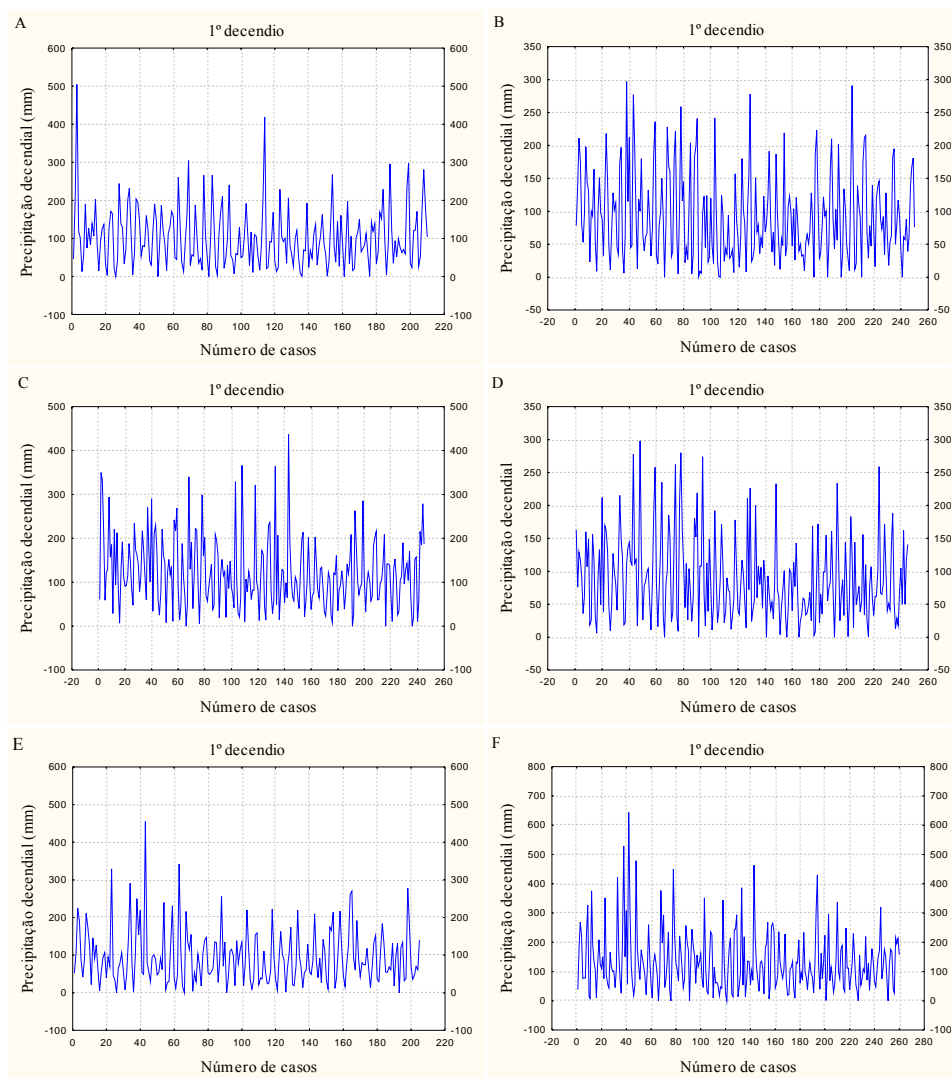


FIGURA 17 Gráficos da série temporal original de precipitação decenal de Bissau observatório (A), Bissorã (B), Buba (C), Gabu (D), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 1º decênio.

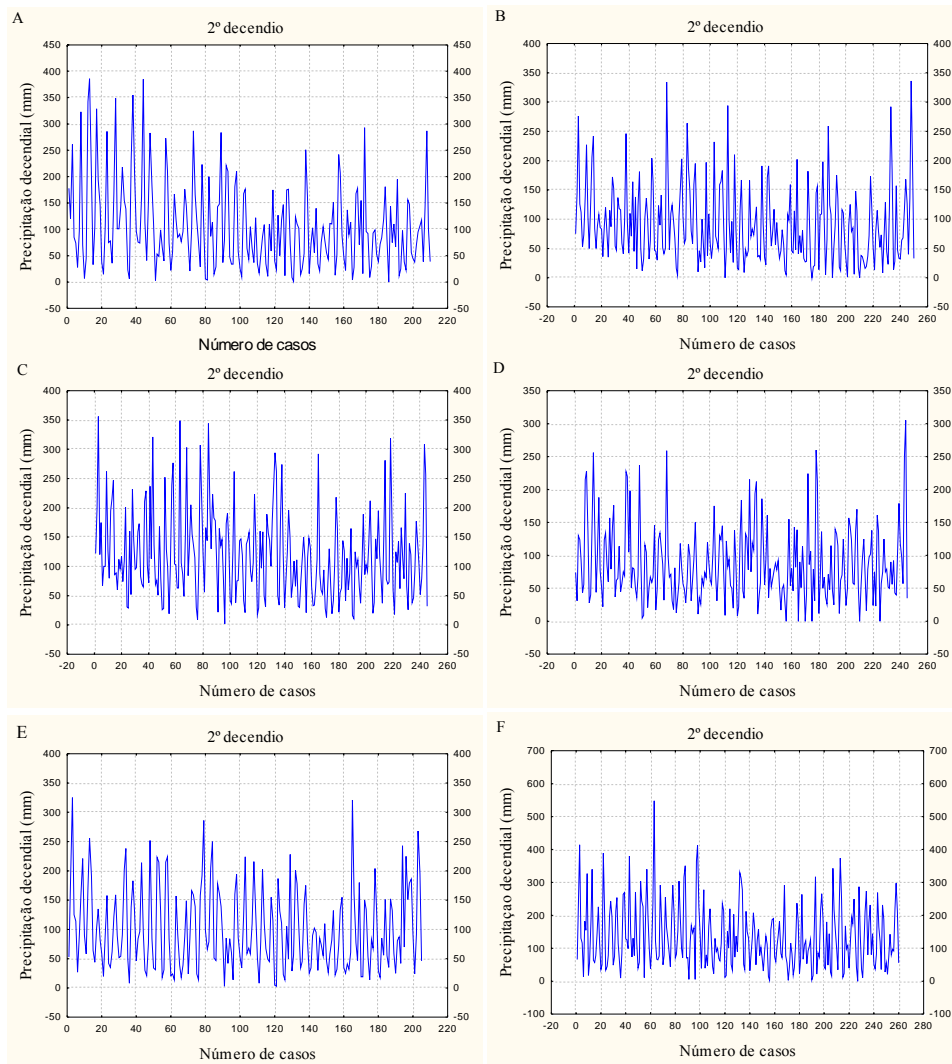


FIGURA 18 Gráficos da série temporal original de precipitação decenal de Bissau observatório (a), Bissorã (b), Buba (c), Gabu (d), Cacheu (e) e Bolama (f), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 2º decênio.

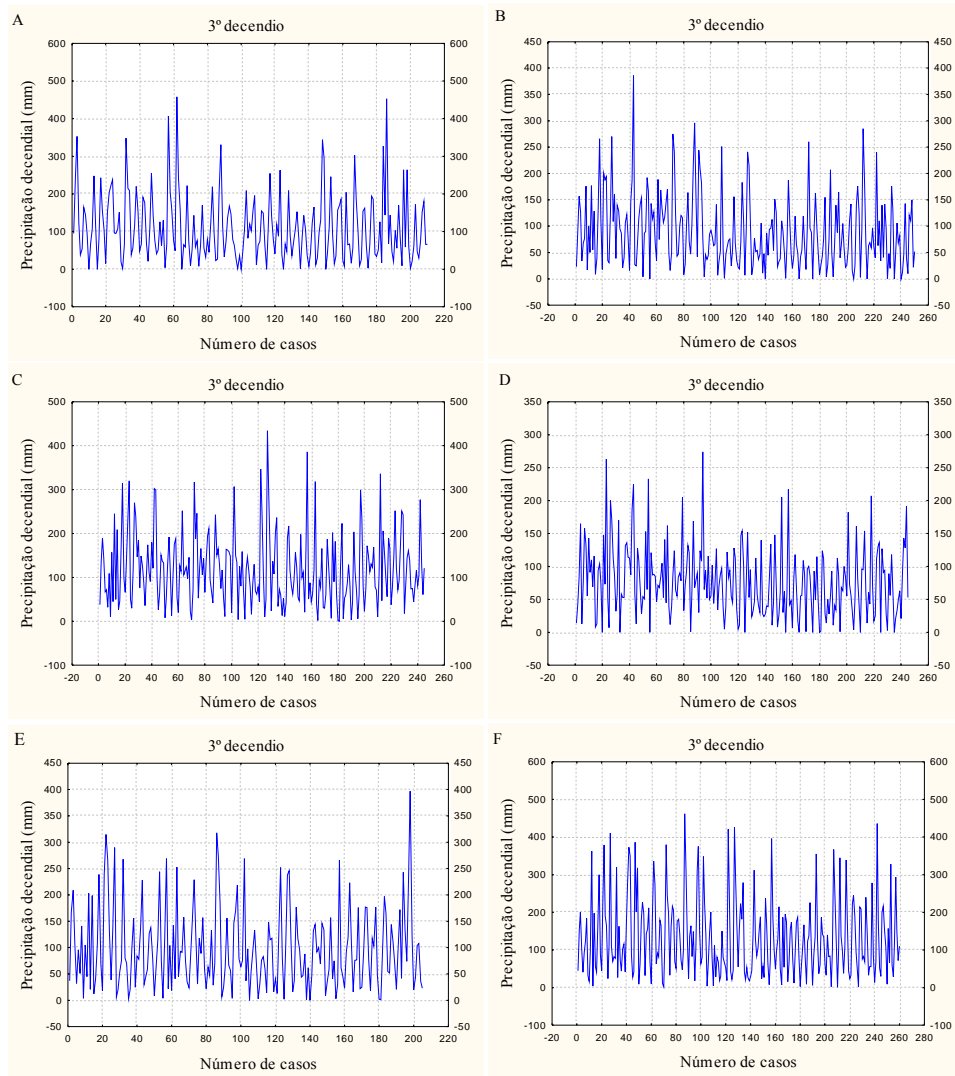


FIGURA 19 Gráficos da série temporal original de precipitação decenal de Bissau observatório (A), Bissorã (B), Buba (C), Gabu (D), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 3º decênio.

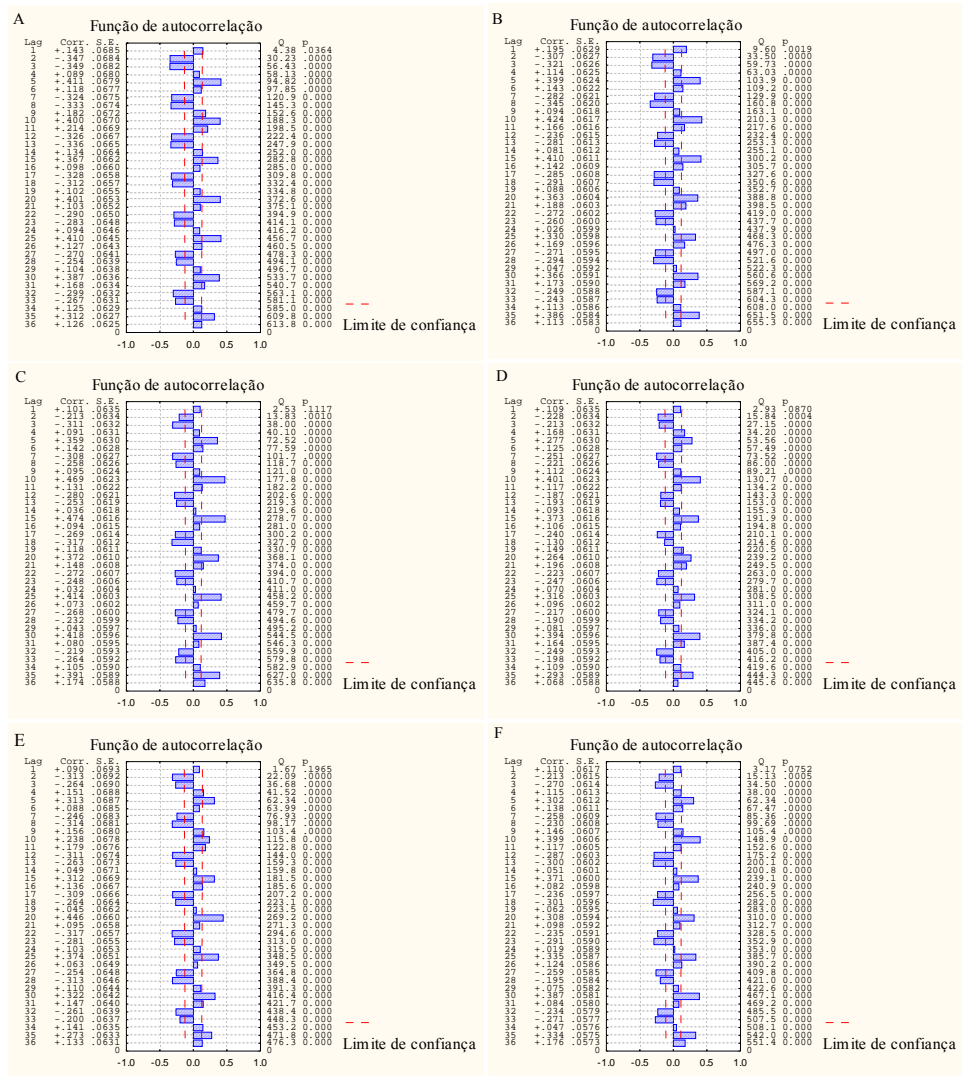


FIGURA 20 Gráficos de funções de autocorrelação da série temporal original de precipitação decendial de Bissau observatório (A), Bissorã(B), Buba(C), Gabu (D), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 1º decêndio.







Construiu-se o periodograma das séries buscando evidenciar a presença de sazonalidade e os mesmos confirmaram a existência de uma componente sazonal de período 5, que pode ser constatado observando o pico existente no gráfico com relação a este período (Figuras 23 a 25). Para verificar se este pico é significativo, utilizou-se o teste g de Fischer (Moretin e Toloi, 2006), em que os resultados confirmaram estatisticamente a presença de sazonalidade, pois, em ambos os casos, obteve-se  $g > z$  (Tabela 5).

TABELA 5 Valores g e z para o teste de significância da componente sazonal de Fisher, para os dados da série temporal original de precipitação decendial de Bissau observatório, Bissorã, Buba, Gabu, Cacheu e Bolama, referente aos meses de junho a outubro de cada ano, nos três decêndios, respectivamente.

Precipitações decendias (mm)	g	z
Bissau observatório	(0, 4419; 0, 3623; 0, 3656)	0, 03913
Bissorã	(0, 3571; 0, 3506; 0, 3506)	0, 03422
Buba	(0, 3398; 0,2577; 0, 3083)	0, 03422
Gabu	(0, 2776; 0, 2515; 0, 2134)	0, 03422
Cacheu	(0, 3289; 0, 3318; 0, 2755)	0, 04082
Bolama	(0, 3417; 0, 3567; 0, 4269)	0, 03249

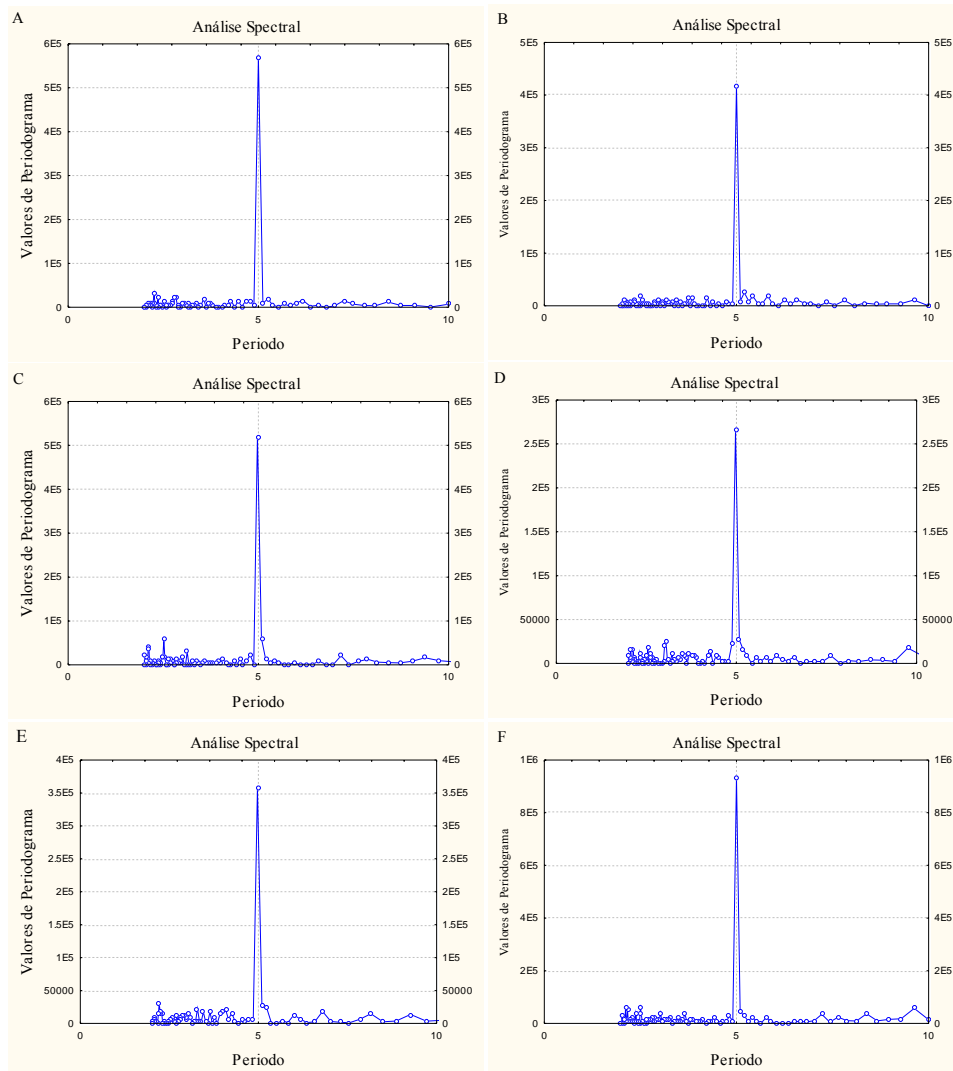


FIGURA 23 Gráficos de periodograma da série temporal original de precipitações decenal de Bissau observatório (A), Bissorã (B), Buba (C), Gabu (D), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 1º decêndio

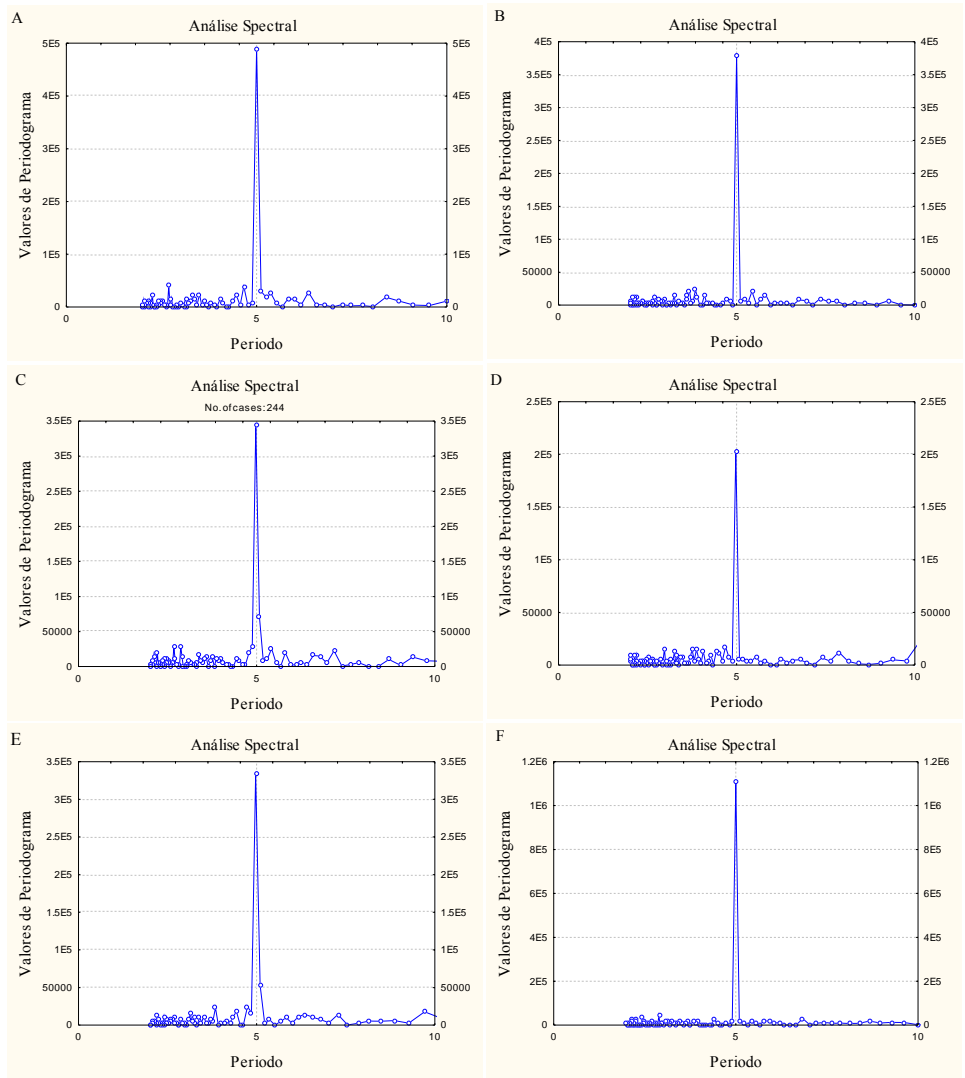


FIGURA 24 Gráficos de periodograma da série temporal original de precipitações decendial de Bissau observatório (A), Bissorã (B), Buba (C), Gabu(d), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 2º decêndio.

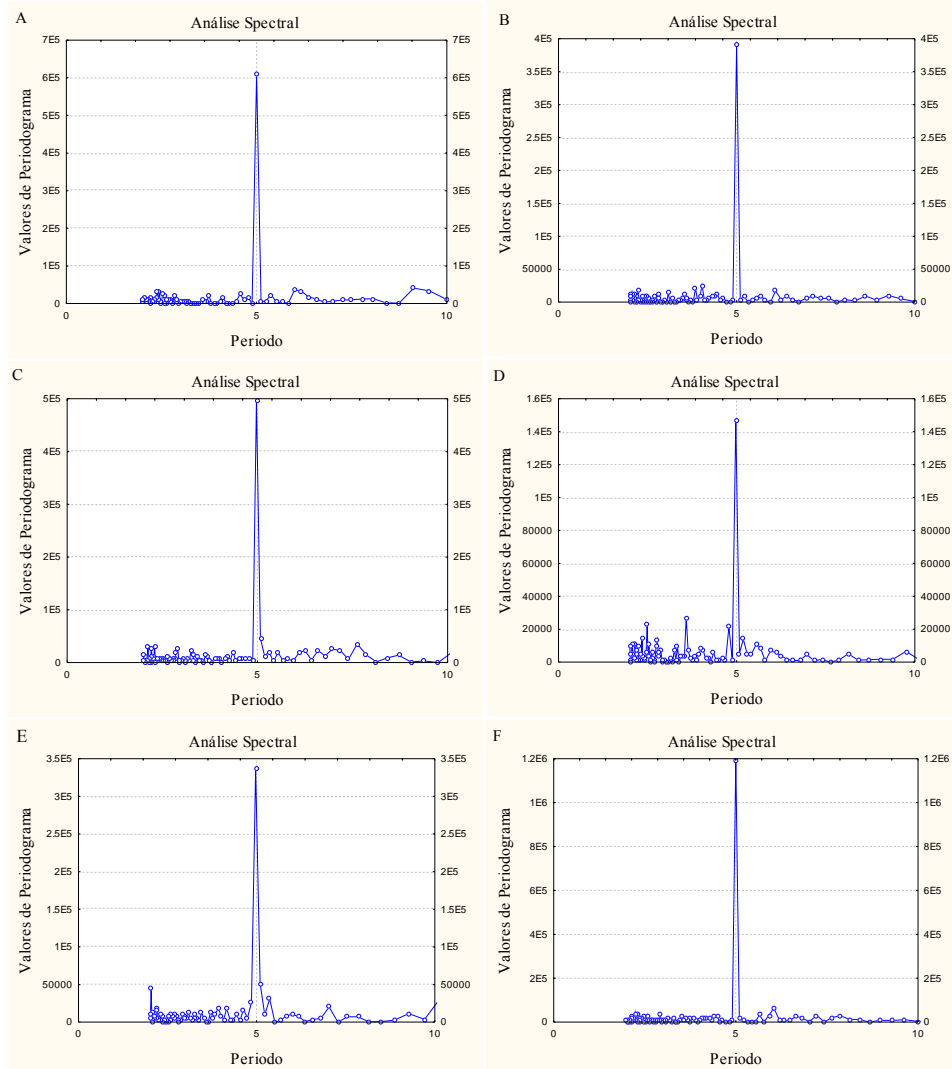


FIGURA 25 Gráficos de periodograma da série temporal original de precipitações decenal de Bissau observatório (A), Bissorã (B), Buba (C), Gabu(d), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 3º decêndio

Após confirmação da presença de uma componente sazonal de período 5, foi tomada uma diferença de “lag” igual a 5 na série, com o objetivo de torná-la estacionária, verificando a possibilidades em estudos futuros de estimar o modelo SARIMA, segundo Box & Jenkins (1976). Tomada essa diferença, analisando novamente a função de autocorrelação (fac) e função de autocorrelação parcial (facp) na série diferenciada, verificou-se, graficamente (Figuras 22 a 31), que a componente senoidal havia sido eliminada, no entanto, ainda existiam “lags” múltiplos de 5 significativos. Conclui-se, dessa forma, que seria necessário, nos estudos futuros, incluir nos modelos de previsão uma componente sazonal que considere a existência de sazonalidade estocástica.

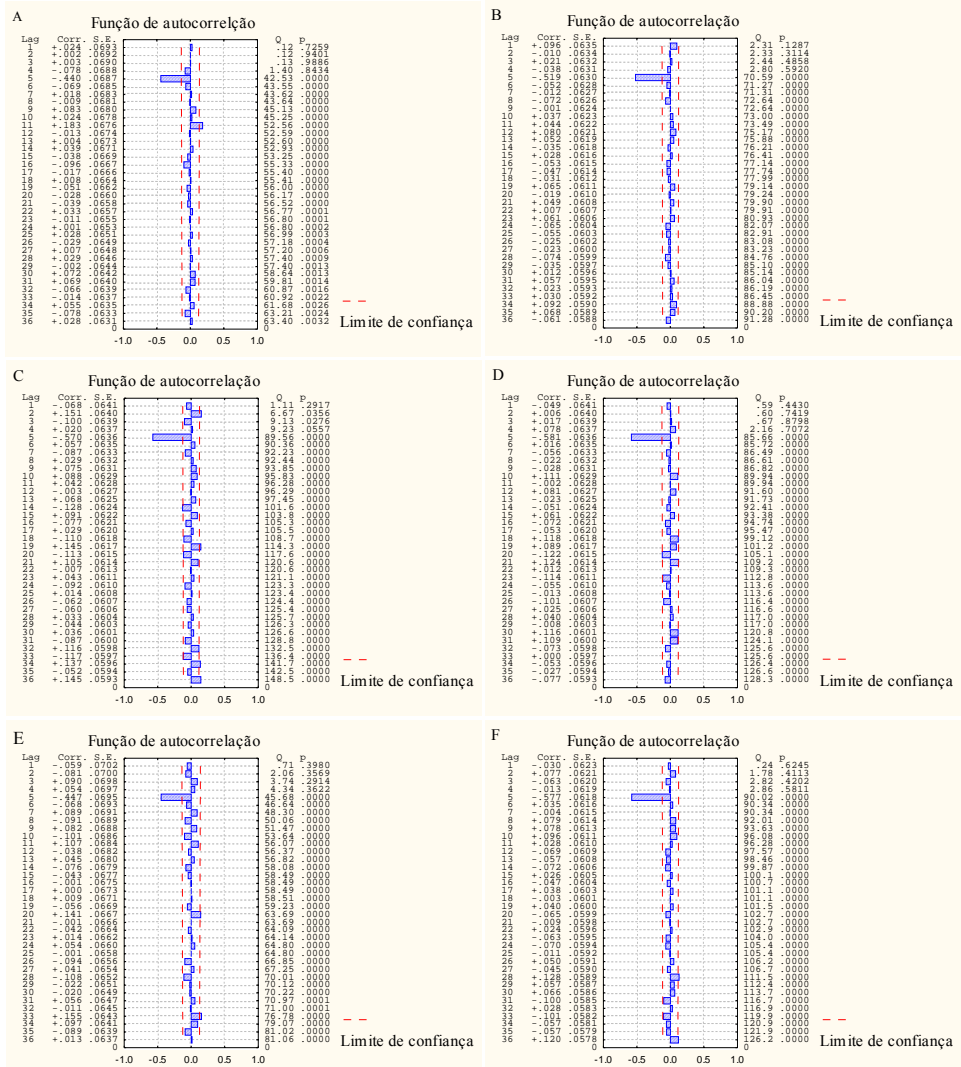


FIGURA 26 Gráficos de funções de autocorrelação (fac) da diferença na série temporal original de precipitações decennial de Bissau observatório (A), Bissorã (B), Buba (C), Gabu (D), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 1º decêndio



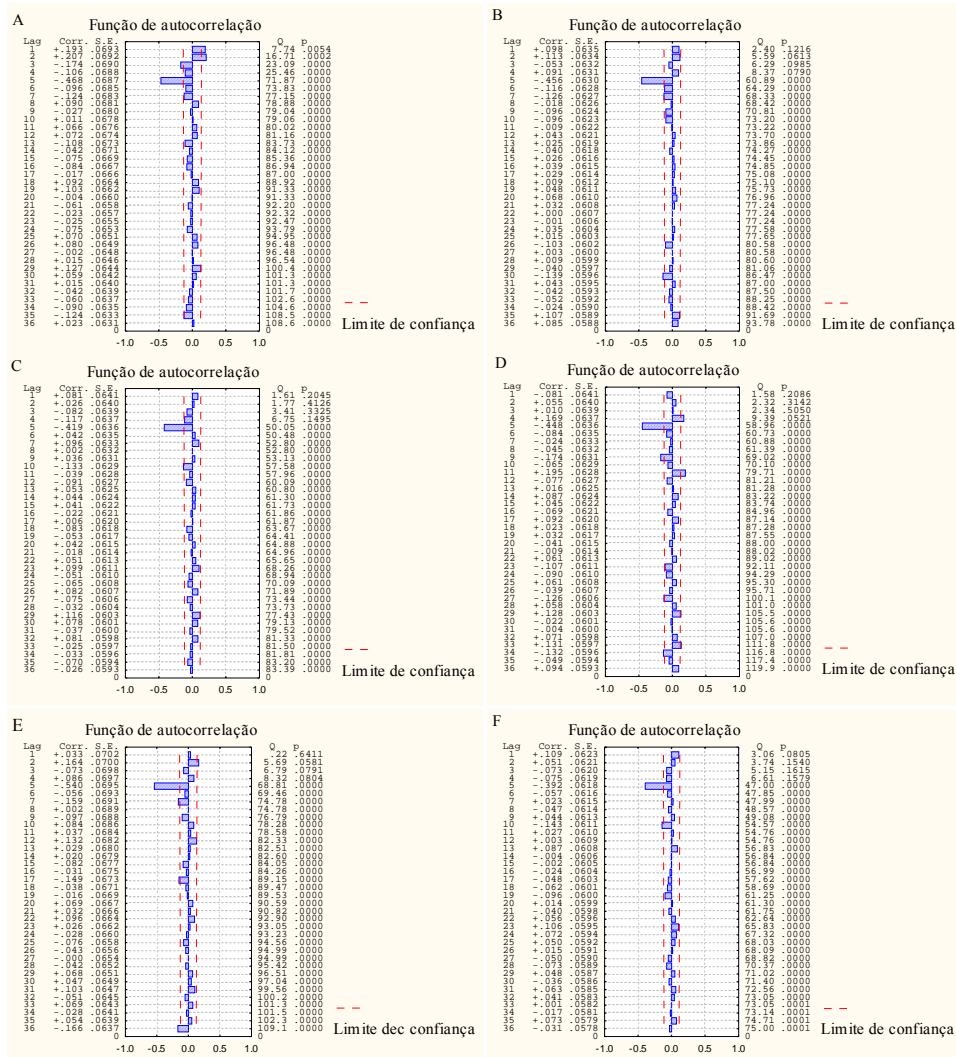


FIGURA 28 Gráficos de funções de autocorrelação (fác) da diferença na série temporal original de precipitação decendial de Bissau observatório (A), Bissorã (B), Buba (C), Gabu (D), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 3º decêndio



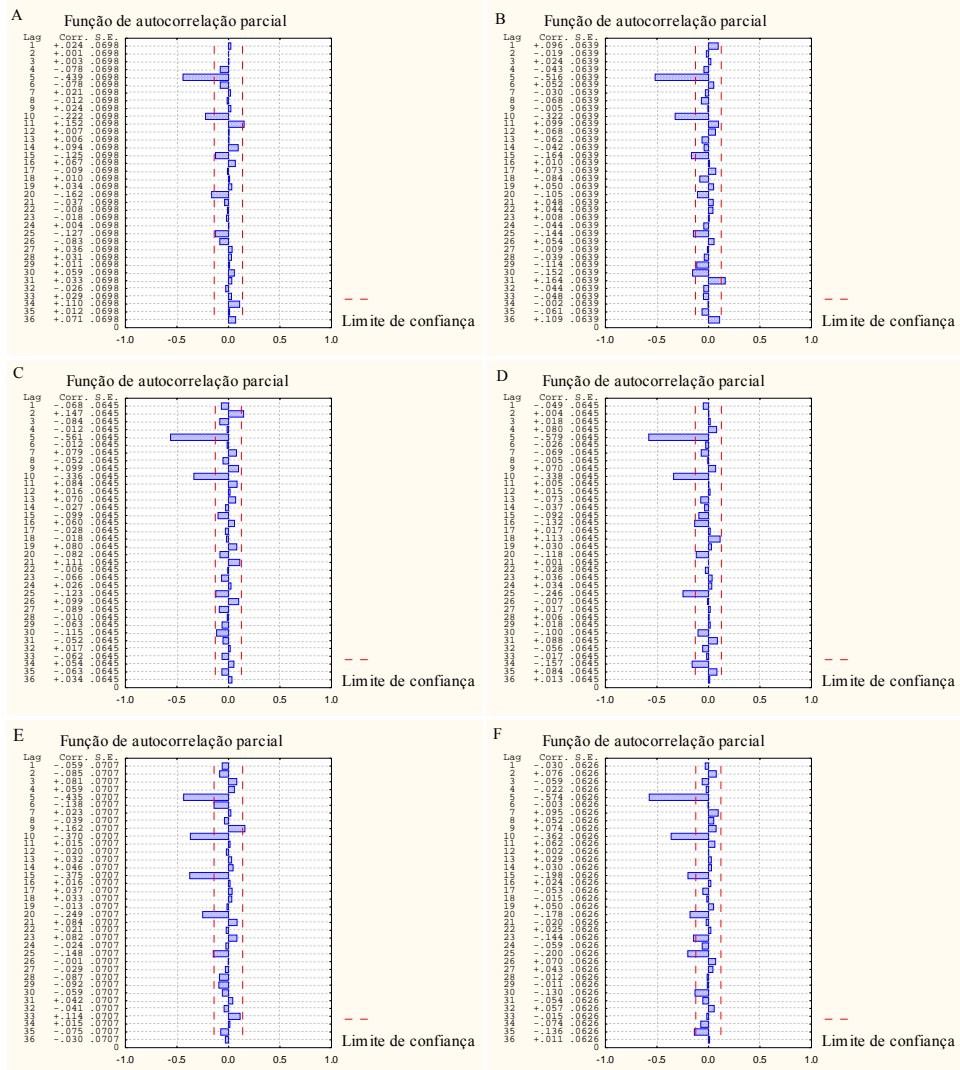


FIGURA 29 Gráficos de funções de autocorrelação parcial (facp) da diferença na série temporal original de precipitação decendial de Bissau observatório (A), Bissorã (C), Buba (C), Gabu (D), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 1º decêndio

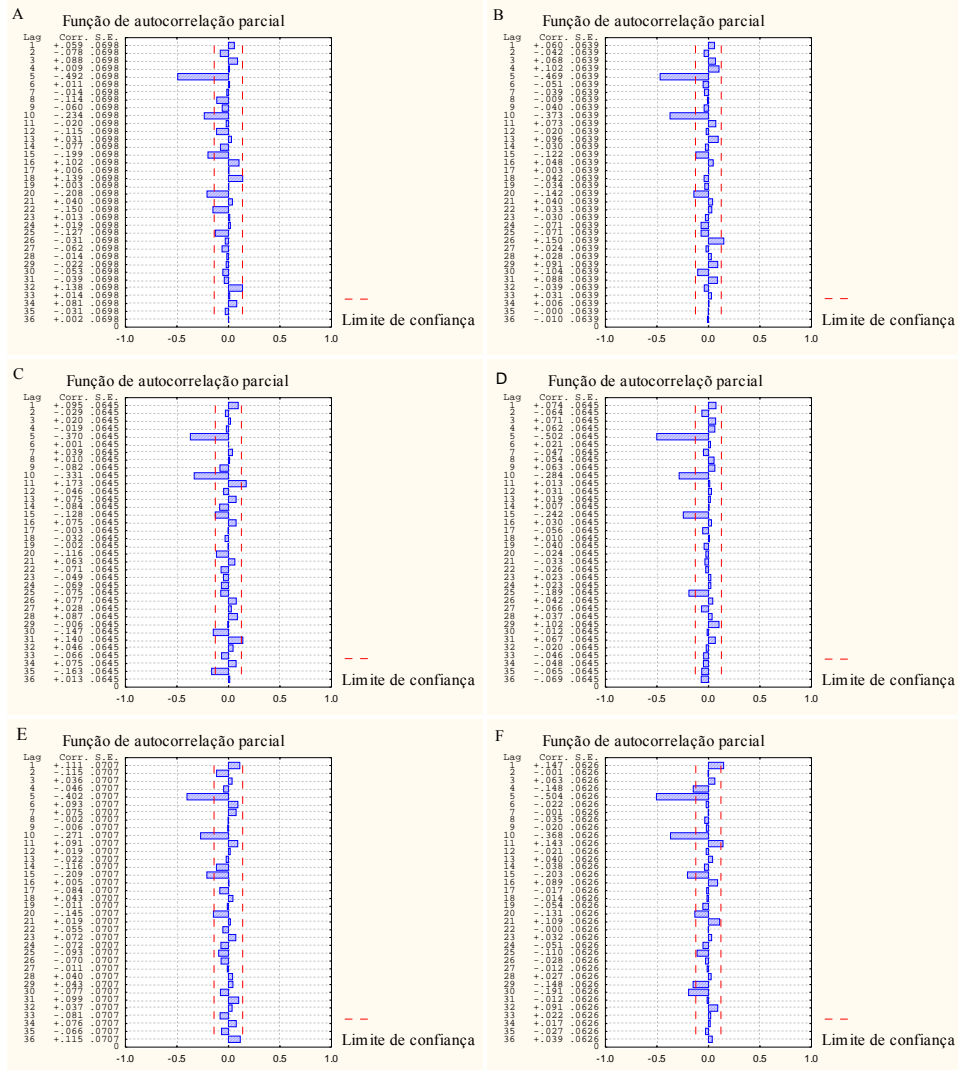


FIGURA 30 Gráficos de funções de autocorrelação parcial (facp) da diferença na série temporal original de precipitação decendial de Bissau observatório (A), Bissorã (C), Buba (C), Gabu (D), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 2º decêndio

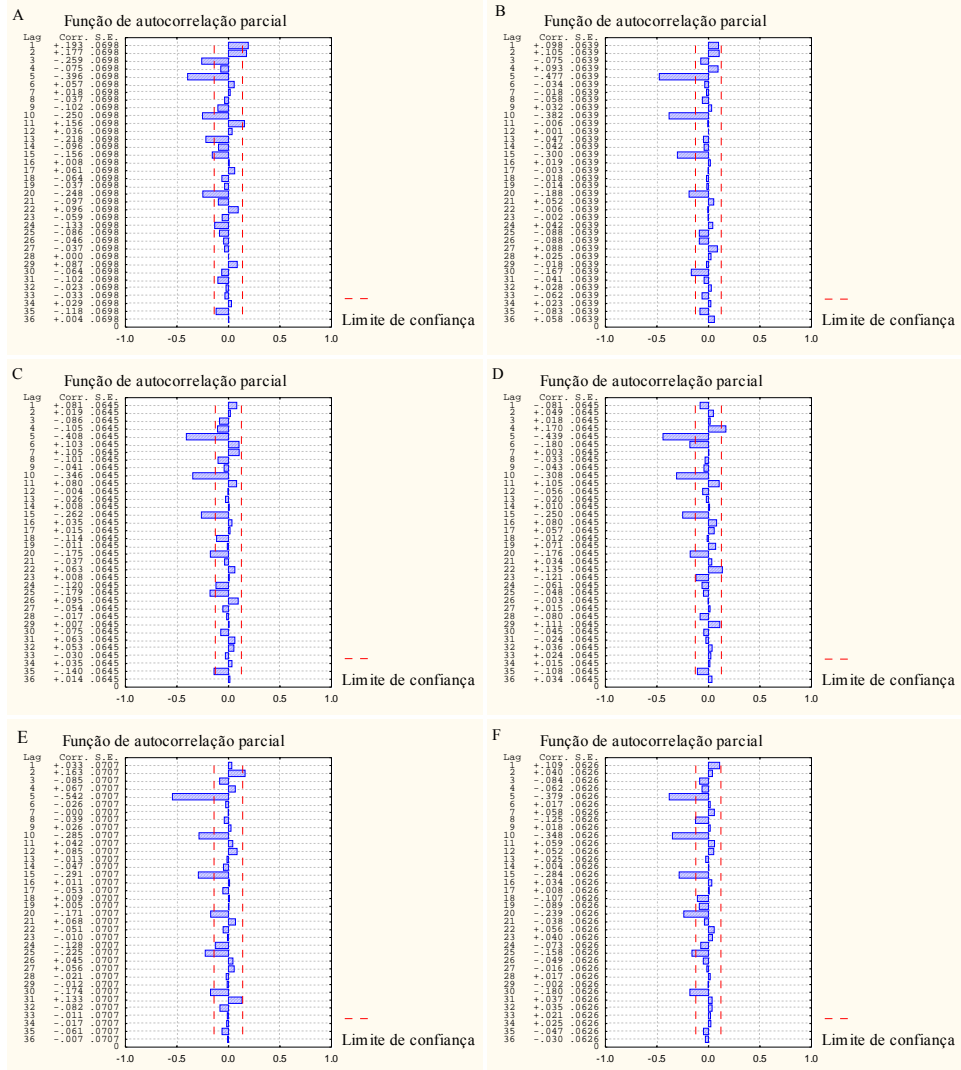


FIGURA 31 Gráficos de funções de autocorrelação parcial (facp) da diferença na série temporal original de precipitação decendial de Bissau observatório (A), Bissorã (B), Buba (C), Gabu (D), Cacheu (E) e Bolama (F), referente aos meses de junho a outubro de cada ano, no 3º decêndio.

#### 4.4 Intensidade média máxima de chuvas

Na Figura 32 apresentam-se as retas de precipitações máximas desagregadas com durações de 24 horas, 1 hora e 6 minutos, para os períodos de retorno correspondentes. Pode-se observar o bom ajuste das retas das precipitações máximas para diferentes tempos e períodos de retorno, comportamento este verificado também para as demais estações estudadas, permitindo a determinação das precipitações máximas para diferentes durações e período de retorno no país.

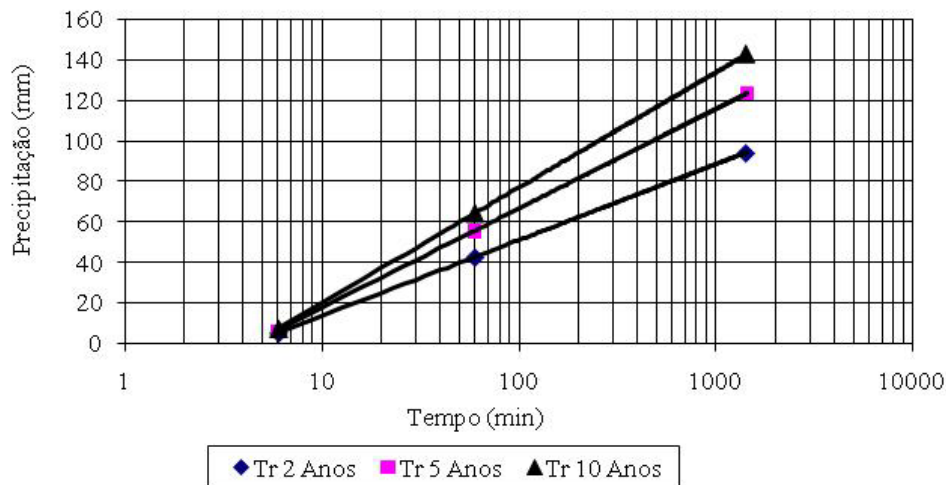


FIGURA 32 Gráfico das relações entre alturas máximas precipitadas em diferentes tempos de duração e períodos de retorno, obtidas pelo método das isozonas para Guiné-Bissau.

Equações gerais para duração de 6 min até 24 h (1.440 min) foram ajustadas para tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. A lâmina que relaciona alturas máximas precipitadas em diferentes tempos de duração e período de retorno foi calculada pela equação 14, nos tempos de durações maiores ou iguais a 6 até 1.440 minutos para todas as estações.

Na Tabela 6 encontram-se os parâmetros das equações que relacionam alturas máximas de chuvas precipitadas em diferentes tempos de duração. Todas as equações apresentam alto coeficiente de determinação, aproximadamente igual a 1 para diferentes períodos de retorno permitindo, assim, boa confiabilidade nos resultados, podendo ser aplicadas para a determinação de lâminas máximas de chuvas precipitadas para estimativa de intensidade média máxima de chuvas, desde que sejam obedecidos os limites nos intervalos de tempo de durações e período de retorno estabelecido.

TABELA 6 Parâmetros da equação ( $Lp = a * \ln(T) - b$ ) que relaciona as alturas máximas de chuvas com tempos de duração entre 6 a 1.440 minutos, em Guiné-Bissau, para TR de 2; 5 e 10 anos.

Estações	Lat	Long	TR (anos)						R <sup>2</sup>
			2		5		10		
			a	b	a	b	a	b	
Bafata	12°10'	14°40'	16,41	25,97	21,36	32,04	24,72	37,07	0,9996
Banbadinca	12°3'	14°50'	16,48	24,71	24,59	36,87	29,95	44,92	0,9996
Bissorã	12°14'	15°27'	24,58	36,86	34,35	51,51	40,82	61,21	0,9996
Bolama	11°36'	15°29'	17,15	25,72	21,95	32,92	25,13	37,68	0,9996
Buba	11°36'	15°05'	24,59	36,88	32,01	47,99	36,91	55,35	0,9996
Bubaque	11°04'	16°02'	19,40	29,09	24,49	36,73	27,87	41,79	0,9996
Bula	12°03'	15°44'	25,04	37,54	34,33	51,48	40,48	60,70	0,9996
Cacheu	12°12'	15°52'	25,04	37,54	25,17	37,75	29,33	43,98	0,9996
Cacine	11°08'	15°01'	16,01	24,01	20,48	30,17	23,44	35,14	0,9996
Caió	11°50'	16°19'	18,43	27,65	26,16	39,22	31,26	46,88	0,9996
Canchungo	12°2'	15°58'	28,05	42,05	38,63	57,92	45,63	68,42	0,9996
Catio	11°17'	15°16'	21,86	32,8	29,07	43,59	40,18	60,7	0,9996
Farim	12°29'	15°30'	19,36	29,03	24,88	37,31	28,54	42,79	0,9996
Fulacunda	11°48'	15°8'	25,15	37,71	32,39	48,58	37,19	55,77	0,9996
Gabu	12°17'	14°14'	16,02	24,01	20,47	30,69	23,43	35,13	0,9996
Boe	11°48'	14°12'	20,39	30,58	28,01	42	33,05	49,56	0,9996
Mansaba	12°17'	15°07'	17,46	26,18	20,36	30,53	22,29	33,42	0,9996
Pirada	11°40'	14°10'	15,71	23,56	19,14	28,69	21,41	32,10	0,9996
Pitche	12°19'	13°57'	16,05	24,07	21,08	31,61	24,40	36,59	0,9996
Porto Gole	12°17'	14°14'	17,08	25,62	23,42	35,11	27,61	41,39	0,9996
Xitole	11°46'	14°48'	17,08	25,62	23,42	35,11	27,61	41,39	0,9996
Bissau Obs	11°51'	15°36'	15,31	22,95	18,37	27,55	20,41	30,59	0,9996

É possível observar que, para todas as estações estudadas, os valores estimados para intensidades médias máximas com duração de 30 minutos são superiores a 59,61 mm/h (Tabela 7), sendo, portanto, todas erosivas pelo critério de Maria (1994). As estações de Cacine, no extremo sul do país, apresentam intensidade média máxima superior a 100 mm/h.

TABELA 7 Intensidade média máxima para tempo de duração de 30 minutos para os períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos.

Estações	TR (anos)		
	2	5	10
	$I_{30\text{min}}$ (mm/h)		
Bafata	59,71	81,27	94,0
Banbadinca	62,70	93,5	113,9
Bissorã	65,26	83,51	95,60
Bolama	93,56	121,74	140,40
Buba	73,80	93,18	106,02
Bubaque	95,21	130,58	153,98
Bula	95,21	95,75	111,57
Cacheu	70,13	99,48	118,92
Cacine	106,68	146,93	173,57
Caio	83,21	110,56	153,98
Canchungo	73,65	94,64	108,54
Catio	95,65	123,22	141,48
Farim	60,92	77,87	89,10
Fulacunda	77,58	106,54	125,71
Gabu	60,90	77,90	89,15
Boe	66,41	77,46	84,77
Mansaba	59,75	72,80	81,44
Pirada	61,07	80,17	92,82
Pitche	58,21	69,89	77,61
Porto Gole	64,99	89,06	105,00
Xitole	64,99	89,06	105,00
Bissau Obs	93,50	130,66	155,27

Na Tabela 8 apresentam-se os parâmetros de ajuste do modelo de semivariograma exponencial para precipitação média máxima diária anual, para tempo de duração de 30 minutos e períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos e na Figura 33, o semivariograma ajustado. Observa-se bom ajuste do modelo com



grau de dependência espacial superior a 75%, caracterizando-se uma forte estrutura de dependência espacial, conforme relatado também por Mello et al., (2008), que trabalharam com chuvas intensas no estado de Minas Gerais.

O alcance do modelo ajustado descreve as características de continuidade espacial de chuvas intensas, especialmente as de natureza convectivas, uma vez que os alcances variam de 60,3 a 114,39 km.

TABELA 8 Parâmetro do modelo de semivariograma ( $C_0$ : efeito pepita;  $C_0+C_1$ : patamar; A: alcance), GD: grau de dependência espacial para intensidade média máxima de chuvas, para Guiné-Bissau.

Parâmetros	$C_0$	$C_0+C_1$	A (m)	GD(%)
$I_{30min}$	TR 2 anos			
	0	99,523	38125,017	100
	TR 5 anos			
	0	133,6334	20540,4416	100
	TR 10 anos			
	0	539,3848	37369,0698	100

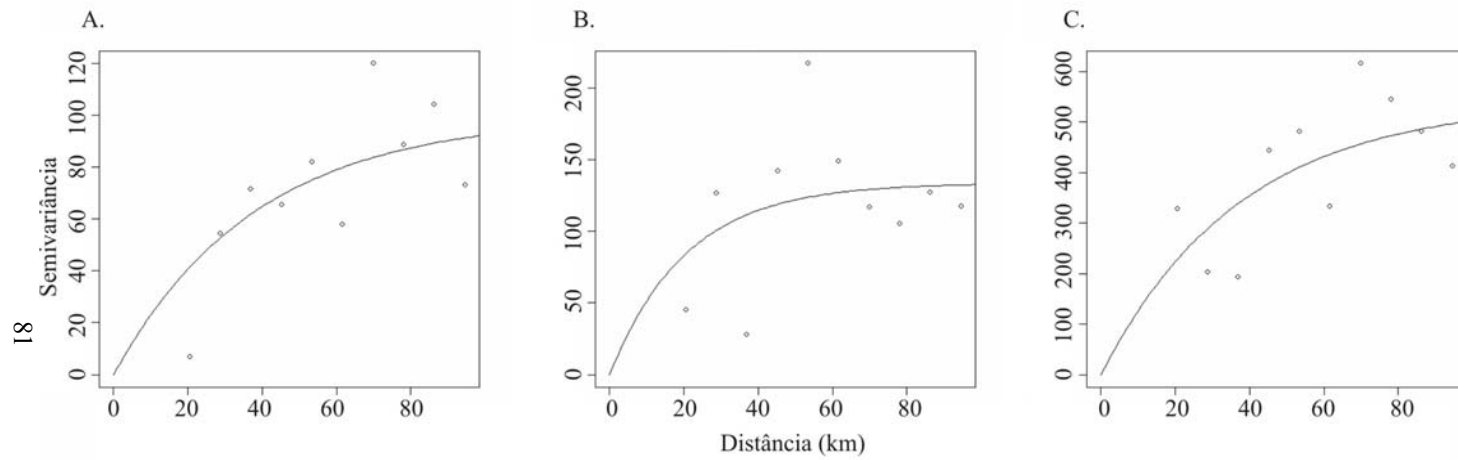


FIGURA 33 Semivariograma exponencial ajustado para precipitação média máxima anual com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 2 (A), 5 (B) e 10 (C) anos.

Os valores de intensidades média máxima em 30 minutos para Guiné-Bissau (Figura 34) comportam-se espacialmente com valores variados, porém, com tendência de aumento forte no sentido Norte-Sul, com amplitudes variando de 59,7 a 106,7 mm/h, para tempo de retorno de dois anos e de 81,3 a 146,9 mm/h para tempos de retorno de cinco anos e 77,6 a 173,6 mm/h para tempos de retorno de dez anos.

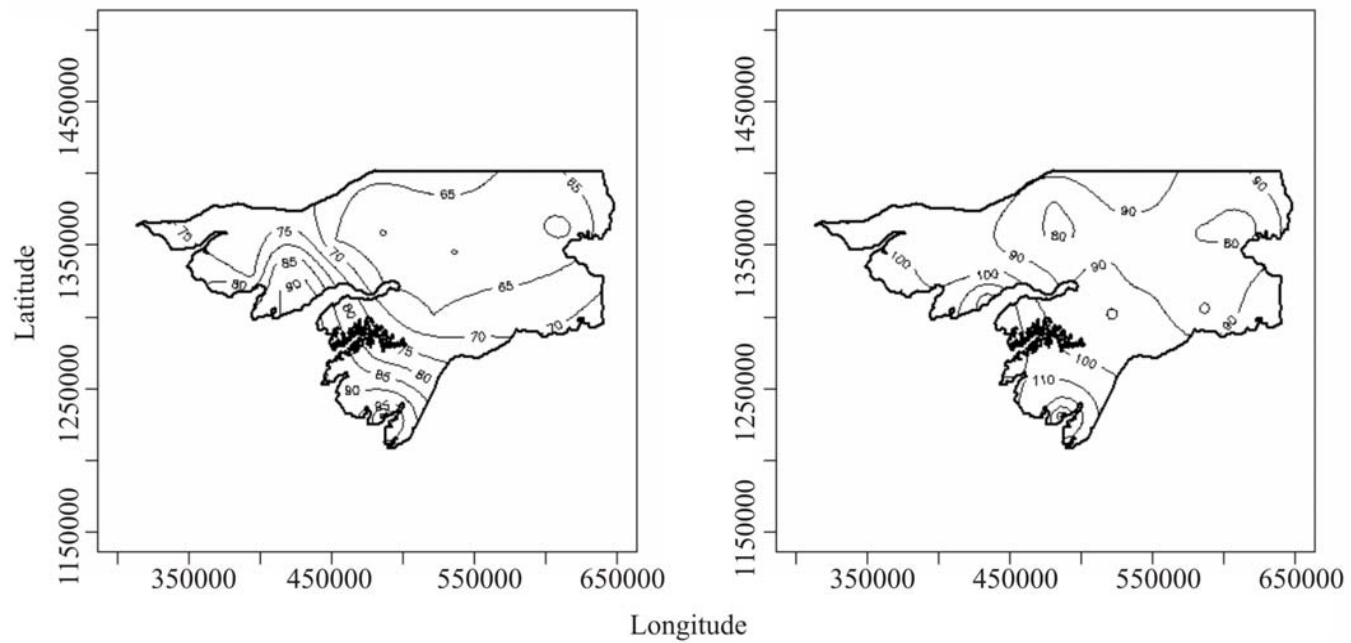


FIGURA 34 Mapa de intensidade média máxima anual com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 2 anos (a esquerda) e 5 anos (a direita), para Guiné-Bissau

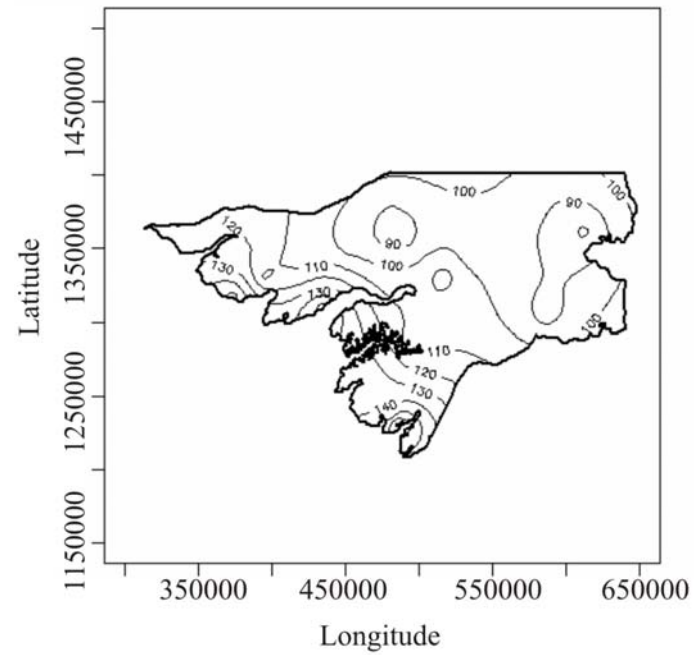


FIGURA 35 Mapa de intensidade média máxima anual com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 10 anos, para Guiné-Bissau.

Na Tabela 9 encontram-se os parâmetros das equações de intensidade duração-frequência. Verifica-se que os parâmetros  $C$  e  $t_0$  foram os que proporcionaram as maiores diferenças, sendo as mais sensíveis à metodologia de ajuste desta distribuição. Observa-se que os ajustes dos modelos proporcionaram coeficientes de determinação elevados ( $R^2$ ) e altamente significativos, refletindo a boa qualidade do ajuste; além disso, os erros médios (ERM) proporcionados são baixos.

TABELA 9 Parâmetros das equações de intensidade-duração-frequência; geradas com base nas metodologias desagregação e de isozonas, para cada uma das estações pluviométricas de Guiné-Bissau.

Localidade	C	m	n	$t_0$	R <sup>2</sup>	ERM (%)
Bafata	738,1035	0,258557	0,583719	121,8825	0,940738	8,7
Banbadinca	737,9572	0,373874	0,597845	121,7894	0,93898	10
Bissora	719,3429	0,257311	0,587566	102,765	0,9324	9,3
Bolama	719,3429	0,250488	0,509553	102,7649	0,935137	14
Buba	719,0007	0,223756	0,552931	102,0014	0,934533	10
Bubaque	708,9062	0,298395	0,509686	102,8229	0,935189	15
Bula	712,0095	0,273355	0,56298	102,0002	0,894796	12
Cacheu	712,0001	0,311021	0,578552	87,00001	0,933379	11
Cacine	724,6674	0,302389	0,493517	100,7037	0,934535	17
Caio	728,9501	0,362665	0,616356	60,00928	0,881592	15
Canchungo	723,4516	0,241682	0,548869	115,0078	0,936708	10
Catio	721,1523	0,241727	0,511209	92,25321	0,93307	14
Farim	719,935	0,235914	0,58771	108,9216	0,935556	8,5
Fulacunga	719,9347	0,29985	0,549194	108,9216	0,936506	11
Gabu	712,0001	0,216861	0,599287	87,00139	0,92994	8,8
Boe	720,9354	0,151671	0,566572	98,84056	0,932257	8,7
Mansaba	719,3126	0,200686	0,607143	81,94624	0,925059	8,2
Pirada	719,3264	0,337756	0,646595	82,52482	0,919132	9,3
Pitche	719,3126	0,237729	0,624656	81,94597	0,919241	8,2
Porto Gole	719,3264	0,298144	0,603336	82,52374	0,929157	10
Xitole	719,3264	0,298144	0,603336	82,52374	0,929157	10
Bissau Obs	719,4702	0,308082	0,530614	83,57641	0,932344	15

#### 4.5 Erosividade

Na Figura 35 observa-se que o comportamento dos dados nas direções E-W (longitude) têm boa distribuição espacial, ou seja, não se verifica tendência à medida que se desloca nesta direção, enquanto que na direção N-S (latitude),

há evidência de forte tendência para maioria dos meses analisados, o que precisa ser removido para não prejudicar a análise geoestatística. Constataram-se dados discrepantes “outliers” para Erosividade, em Junho, Julho Setembro e Anual, os quais foram removidos”.



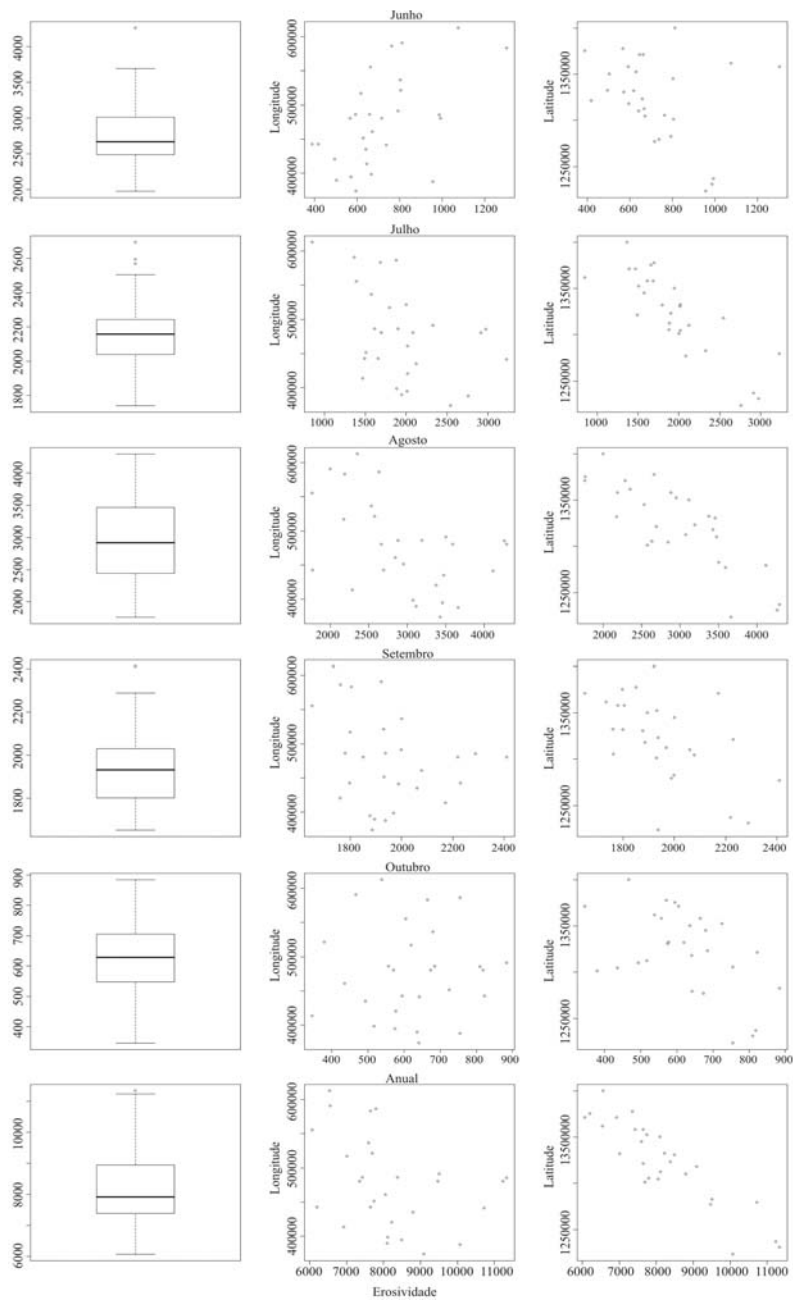


FIGURA 35 Análise exploratória do fator erosividade para Guiné- Bissau.

Na Tabela 10 encontram-se os parâmetros do modelo de semivariograma ajustado. Percebe-se forte estrutura espacial, permitindo inferir que a aplicação do interpolador geoestatístico produzirá resultados de boa qualidade, resultando em mapas representativos e sem tendência. O grau de dependência espacial superior a 75%, exceto para o mês de setembro, descreve satisfatoriamente a continuidade espacial do fenômeno erosividade.

TABELA 10 Parâmetro do modelo de semivariograma ( $C_0$ : efeito pepita;  $C_0+C_1$ : patamar; A: alcance), GD: grau de dependência espacial para erosividade mensal e anual, para Guiné-Bissau.

Parâmetros	$C_0$	$C_0+C_1$	A (m)	GD (%)
Junho	0,000	14583,92	13141,79	100
Julho	0,000	82109,78	10634,535	100
Agosto	0,000	137225,89	13019,22	100
Setembro	12223,58	12418,14	43384,66	50,39
Outubro	0,000	18380,65	13703,11	100
Anual	0,000	394840,38	20495,72	100

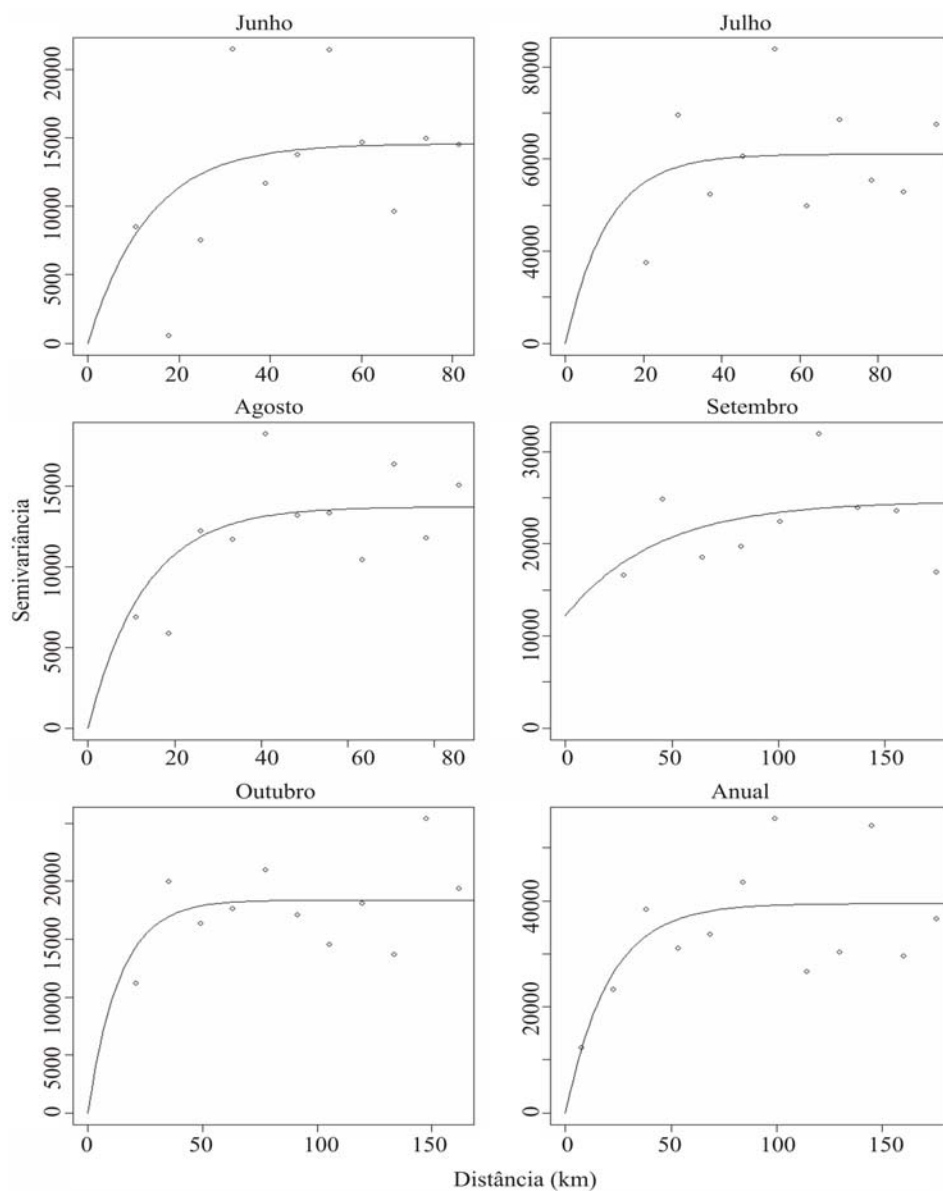


FIGURA 36 Modelo de semivariograma exponencial ajustado para fator erosividade, em Guiné-Bissau

Na Figura 37 observa-se a distribuição espacial de erosividade para Guiné-Bissau nos meses de junho a outubro e total anual. Pode-se constatar que

maiores valores de erosividade para o mês de junho ocorrem nas regiões nordeste e sul do país, variando de 900 a 1.300 MJ.mm/(ha.mês), ressaltando-se que o início do período chuvoso ocorre, em geral, nesse mês. Esse comportamento está associado à maior concentração de chuvas nesse mês, para essas regiões. Analisando-se o mês de julho, verificou-se homogeneidade na distribuição da erosividade para a região norte nordeste, cuja amplitude é de 1.600 a 1.800 MJ.mm/(ha.mês), exceto para o eixo sul-sudoeste, com maiores valores de erosividade, em torno de 2.000 a 3.000 MJ.mm/(ha.mês).

Portanto, em termos relativos, a erosividade foi maior no mês de agosto, representando 36% da média anual o que indica maior concentração das chuvas nesse mês, tendo a região sul-sudoeste apresentado os maiores índices.

No mês de setembro, houve homogeneidade nos valores da erosividade para a maior parte do país, exceto as regiões sul e extremo sudeste, com índices acima de 2.000 MJ.mm/(ha.mês). Outubro foi o mês com menores valores de erosividade em Guiné-Bissau e regularmente distribuída em toda região, com valores em torno de 700 a 800 MJ.mm/(ha.mês).

O país apresenta valores de erosividade muito acentuados e a região norte-nordeste apresenta índices anuais referentes ao período chuvoso de 7.500 a 8.000 MJ.mm/(ha.ano), enquanto a região sul-sudoeste com valores de erosividade em torno de 8.000 a 11.200 MJ.mm/(ha.ano).

De maneira geral, a maior parte do país apresenta risco severo à erosão, no tocante à erosividade de chuvas, demonstrando que são necessários cuidados técnicos com as atividades agrícolas e pecuárias, visando minimizar os impactos negativos de chuvas com alto poder erosivo, haja vista a susceptibilidade natural do país à erosão provocada pela chuva concentrada, especialmente na sua porção sul.

Dessa forma, vale realçar que a concentração de valores elevados de erosividade ocorre num período curto, junho a outubro, tornando imperativas as

práticas conservacionistas que minimizem tendências erosivas do impacto de gotas de chuvas.

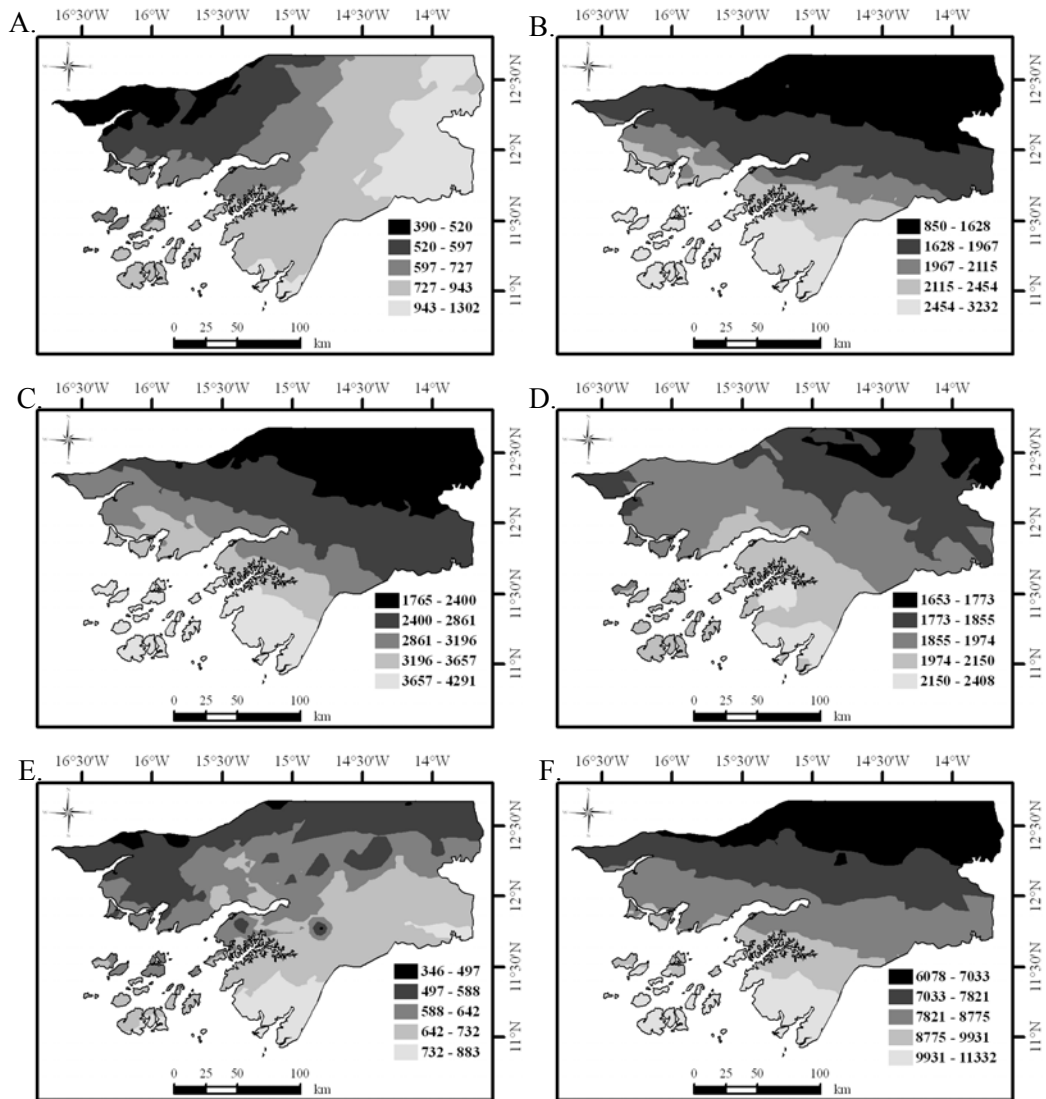


FIGURA 37 Mapa de erosividade de chuvas para Guiné-Bissau nos meses de junho (A), julho(B), agosto (C), setembro (D), outubro (E) e anual (F).

## 5 CONCLUSÕES

1. O regime de precipitações pluviais de Guiné-Bissau mostra uma variabilidade espacial com evidente decréscimo dos índices pluviométricos do eixo sul-sudoeste para norte-nordeste. Há importante variabilidade anual de precipitação que varia de 2.381 mm, na região sul até 1.200 mm no extremo norte, fronteira com o Senegal.

2. Foi possível verificar uma elevada concentração das precipitações entre os meses de junho a outubro com participação mais expressiva do mês de agosto acumulando 1/3 do total anual.

3. A alta variabilidade no comportamento da distribuição temporal de precipitações decendiais no país descreve tendências das situações atmosféricas responsáveis pelo excesso de eventos extremos de chuvas que é associada à ZCIT com ciclos anuais bem marcados. Em visto disso os modelos SARIMA podem ser ajustados para prever precipitações pluviais no país.

4. Em média pode-se esperar em 3 de cada 4 anos, pelo menos 100 mm de chuvas para períodos quinzenais, dentro do período chuvoso, excetuando-se a 1ª quinzena de junho e a 2ª quinzena de outubro, que representam o início e o final do período de chuvas. Para estas duas quinzenas, com a mesma probabilidade de ocorrência, as estimativas de chuvas estão abaixo de 50 mm, necessitando portanto, de uso de irrigação suplementar para não comprometer os períodos de semeadura (junho) e minimizar prejuízos na colheita (outubro, novembro) para culturas de ciclo longo.

5. Existe relação de dependência entre a distribuição da erosividade e das chuvas em Guiné-Bissau, ficando evidente que o ambiente guineense é muito sujeito à erosão natural causada pela chuva, sobretudo no mês de agosto. Em vista disso, o processo produtivo intensivo envolve grandes riscos de

degradação ambiental, requerendo em contrapartida, a adoção de práticas de conservação de solo.

6. As maiores intensidades médias máximas anuais de chuvas foram observadas para regiões sul-sudoeste, proporcionando diferenças expressivas dos índices de erosividade, sendo o eixo sul-sudoeste o que apresenta os maiores valores, em torno de 11.200 MJ.mm/(ha.ano) e a região norte-nordeste, os menores valores na ordem de 8.000 MJ.mm/(ha.ano).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-AAL, R. E.; AL-GARNI, Z. Forecasting monthly electric energy consumption in eastern Saudi Arabia using univariate time-series analysis. **Fuel and Energy Abstracts**, London, v. 22, n. 11, p. 1059-1069, Nov. 1997.

ANDRIOTTI, S. L. J. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2005. 165 p.

ARAÚJO, F. W.; ANDRADE, S. A.; MEDEIROS, D. R.; SAMPAIO, A. R. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 563-567, set. 2001.

BACK, A. J. Application of statistical analysis for identification of climatic tendency. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, maio 2001.

BELL, F. C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. **Journal of the Hydraulics Division**, New York, v. 95, n. 1, p. 311-327, 1969.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV/Imprensa Universitária, 2005. 611p.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO, N.P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 455-464, maio 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Icone, 1990. 355 p.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Ed.). **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1993. cap. 5, p. 177-241.

BOTELHO, V. A.; MORAIS, A. R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos no município de Lavras, Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 697-706, jul. 1999.



BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time series analysis, forecasting and control**. San Francisco: Holden-Day, 1976. 375 p.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. **Times series analysis, forecasting and control**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994. 598 p.

BOX, G. E. P.; PIERCE, D. A. Distribution of residual autocorrelations in autoregressive-integrated moving average time series models. **Journal of the American Statistical Association**, New York, v. 65, n. 332, p. 1509-1526, Dec. 1970.

BROOKS, K. N.; FFOLVIOTT, P. F.; GREGERSEN, H. M.; DEBANO, L. F. **Hydrology and the management of watersheds**. 2. ed. Ames: State University, 1997. 502 p.

CANO, W.; BRANDÃO, C. A. (Coord.). **A região metropolitana de Campinas: urbanização, finanças e meio ambiente**. Campinas: Unicamp, 2002. 439 p.

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, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CARVALHO, M. P.; CHUEIRE, F. B.; PISSARRA, T. C. T. Erosividade da chuva de Pereira Barreto (SP): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., Ilhéus, 2000. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 1 CDROM.

CASTRO, P. N.; MUNIZ, J. A.; BEIJO, A. L. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 657-667, maio 2005.

CHOW, V. T. A general for hydrologic frequency analysis. **Transactions - American Geophysical Union**, Washington, v. 32, n. 2, p. 231-237, 1951.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Drenagem urbana: manual de projecto**. São Paulo, 1979.

CONTI, G. N. **Estimativa de precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: estudo de caso para estado do Rio Grande de Sul**. 2002. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre.

COSTA, C.; REZENDE, M. **Guiné Bissau ambiente agrícola homem e uso da terra**. Viçosa, MG: Ed. Agropecuária, 1994. 290 p.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. São Paulo: Nobel, 1986. 337 p.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Model based geostatistics**. New York: Springer, 2007. 230 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **ArcGIS 9: getting started with ArcGIS**. Redlands, 2004. 265 p.

FIETZ, C. R. Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos na região de Dourados, MS. **Irriga**, Botucatu, v. 3, n. 1, p. 16-22, mar. 1998.

GUMBEL, E. J. **Statistics of extremes**. Columbia: Columbia University, 1958. 357 p.

GUY, B. T.; DICKINSON, W. T.; RUDRA, R. P. The roles of rainfall and runoff in the sediment transporte capacity of interril flow. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 30, n. 5, p. 1378-1385, Sept./Oct. 1987.

HUDSON, N. **Soil conservation**. 3. ed. Ames: Iowa State University, 1995. 391p.

ISAAK, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geoestatistic: an introduction**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. 5. ed. New Jersey: Blackburn, 1991. 600 p.

JOURNEL, A. C.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic, 1978. 600 p.

KNOESEN, D. M.; SMITHERS, J. C. The development and assessment of a regionalized daily rainfall disaggregation model for Suth Africa. **Water S.A.**, Pretoria, v. 34, n. 3, p. 323-330, July 2008. Disponível em <http://www.wtc.org.za>. Acesso em: 12 jul. 2009.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: UNESP/FEU, 2003. 253 p.

MACHADO, M.; SOUZA, J. S. Balanço hídrico da província da Guiné Portuguesa. **Boletim Cultural da Guine Portuguesa**, Bissau, v. 27, n. 108, p. 754-799, out. 1972.

MANAFÁ, B.; SEMEDO, S.; VIEIRA, R.; SILVA, V. B.; COSTA, M. C. **Guiné Bissau em números**. Bissau: Nova Gráfica, 2005. 43 p.

MARIA, I. C. de. Cálculo da erosividade da chuva. In: MANUAL de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação de solo. Campinas: IAC/SCS, 1994. Não paginado.

MARQUES, J. J. G. de S. M. **Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil**. 1996. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MARQUÍNEZ, J.; LASTRA, J.; GARCIA, P. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 270, n. 1/2, p. 1-11, Jan. 2003.

MARTINEZ-FÉRNANDEZ, J.; CEBALLOS, A. Temporal stability of soil in a large-field experiment in Spain. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, n. 6, p. 1647-1956, Nov./Dec. 2003.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semivariograms and fitting them to sampling estimates. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 617-639, Dec. 1986.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, abr. 2007.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 68-64, jan./fev. 2008.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 532-539, mar. 2008.

MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MELLO, J. M. de; BATISTIA, J. L. F.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; OLIVEIRA, M. S. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 69, p. 25-37, dez. 2005.

MONTENEGRO, L. G. S. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do Rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 29 n. 2, p. 174-185, dez. 2008.

MOOLMAN, J. H.; HUYSSTEEN, L. van. A geostatistical analysis of the penetrometer soil strength of a deep loughed soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 11-24, 1989.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 2006. 538 p.

NAGHETTIN, M.; PINTO, A. J. E. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 235-239, jun. 1990.

OLIVIER, M. A.; WEBSTER, R. How geostatistics can help you. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 7, n. 4, p. 206-217, Dec. 1991.

OYEBANDE, L. Deriving rainfall intensity - duration - frequency relationships and estimates for regions with inadequate data. **Journal des Sciences Hydrologiques**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 353-367, Sept. 1982.

PANNATIER, Y. **Variowin**: software for spatial data analysis in 2D. New York: Springer-Verlag, 1996. 90 p.

PEREIRA, R. A.; ANGELOCCI, R. L.; SENTELHAS, C. P. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações**. Cuiába: Agropecuária, 2002. 478 p.

RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology**, v. 157, n. 1/4, p. 287-306, May 1994.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.

RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. P. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-News**, Rockester, v. 1/2, p. 15-18, June 2001.

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M.; PRADO, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 147-156, fev. 2001.

SAMBÚ, B. F.; ALBUQUERQUE, F. I. C. Variabilidade climática da precipitação na região de Guiné Bissau - a situação sinóptica e a influência dos sistemas convectivos. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA TERRA, CLIMA E ESPAÇO DA UNIVERSIDADE DE ÉVORA, 2003, Portugal. **Resumos...** Portugal: Universitária, 2003. p. 67-69.

SAMPAIO, C. S.; CORRÊA, M. M.; SOUZA, R. M.; GUIMARÃES, C. J. Precipitação provável para o município de Lavras-MG, utilizando a distribuição log-normal. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 382-389, abr./jun. 1999.

SERVIÇO Nacional de Meteorologia de Guiné-Bissau (Bissau): Disponível em: <<http://www.Meteo.guinebissau.gw>>. Acesso em: 20 jun. 2007.

SILVA, C. R. J.; DIAS, S. A. A erosividade das chuvas em Fortaleza, CE. II: correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 347-354, mar./abr. 2003.

SILVA, E. M. **Impactos da implementação da parametrização de convecção rasa em um modelo de mesoescala**. 2001. 78 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILVA, J. W.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 3, p. 665-674, maio/jun. 2003.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 10, p. 977-985, out. 1997.

SILVA, V. M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: Ministério da Agricultura/Instituto Nacional de Meteorologia, 2001. 515 p.

SMITH, J. A. Precipitation. In: MAIDMENT, D. **Handbook of hidrology**. New York: McGraw-Hill Professional, 1993. p. 1-3.

STATISTICA for windows, realese, 7.0. 2004. Disponível em: <<http://www.statsoft.com/>>. Acesso em: 20 jun. 2009.

TABORGA, J. T. **Práticas hidrológicas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Transcon, 1975. 120 p.

THIAM, I. E.; SINGH, V. P. Space-time-frequency analysis of rainfall, runoff and temperature in the casamance river basin, southern Senegal, West Africa. **Water S.A.**, Pretoria, v. 28, n. 3, p. 1-12, July 2002.

TRAGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 38, p. 45-94, June 1985.

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

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, June 1983.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, S.; BURROWS, I. T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 93-98, fev. 1991.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p.

## ANEXOS

### ANEXO A

TABELA 1A Adequabilidade da distribuição Log-Normal 2 Parâmetros por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de significância.

Adequabilidade da distribuição Log-Normal 2 Parâmetros						
Estações	Período	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Bafatá	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	NA
Bambadinca	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Bissorã	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Bolama	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Buba	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Bubaque	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Bula	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Cacheu	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Cacine	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Caió	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	NA



Cacine	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Canchungo	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Catio	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Farim	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Fulacunda	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Gabu	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Boé	1ª	A	A	A	A	NA
	2ª	NA	A	A	A	A
Mansaba	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	NA	A
Pirada	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A
Pitche	1ª	A	A	A	NA	NA
	2ª	A	A	NA	A	NA
Xitole	1ª	A	A	NA	A	NA
	2ª	A	A	A	A	NA
Bissau Observatório	1ª	A	A	A	A	A
	2ª	A	A	A	A	A