



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



ANÁLISE ESTATÍSTICA DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PARAÍBA

LINCOLN ELOI DE ARAÚJO

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2006

LINCOLN ELOI DE ARAÚJO

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PARAÍBA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Meteorologia da
Universidade Federal de Campina Grande,
em cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Meso escala

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2006

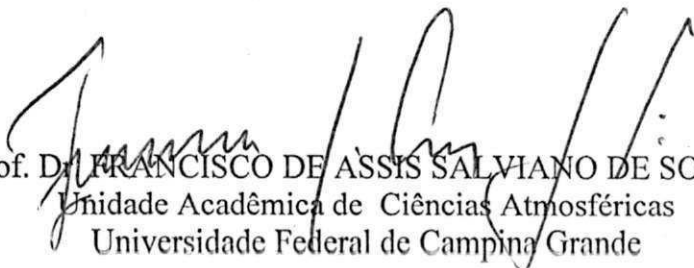
A663a	<p>Araújo, Lincoln Eloi de. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba / Lincoln Eloi de Araújo. - Campina Grande, 2006. 79 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2006. "Orientação : Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa". Referências.</p> <p>1. Chuvas Intensas. 2. Bacia Hidrográfica - Rio Paraíba. 3. Precipitação. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de. II. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). III. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 551.578.1(043)</p>
-------	--

LINCOLN ELOI DE ARAÚJO

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/02/2006

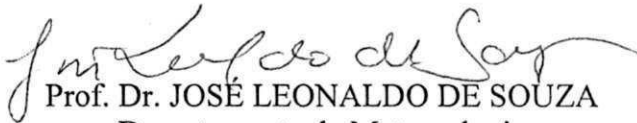
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOSÉ LEONALDO DE SOUZA
Departamento de Meteorologia
Universidade Federal de Alagoas

A meus pais, Severino Eloi de Araújo e
Maria Goreth da Silva Paulino, a minha
irmã, Lidiane Eloi Paulino, a minha vó,
Maria Eloi e a minha tia, Francisca Porto
Eloi (In Memoriam), DEDICO.

Aos meus amigos, a minha família e
professores, OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus nosso criador, por todas as graças alcançadas em minha vida.

A CAPES, pelo incentivo financeiro concedido através da bolsa.

Ao Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa, pela orientação e colaboração.

A Prof. Dra. Magaly de Fátima Corrêa pelo incentivo, sugestões, ensinamentos transmitidos, pelo exemplo de conduta profissional e principalmente por sua preciosa amizade e confiança, a Adriana, Arnaldo, Isaier, João Hugo, Djane, Wanderson, Hudson e Wendell pela amizade e ajuda profissional.

Aos amigos de sempre e conquistados no decorrer da caminhada universitária Fabrício, Alana, Cristina, Ligia, Walber, Bega, Marle, Mary, Rochelle, Marília, Weber, Clênia, Fernanda, Sâmara, Jair, Roberto, Rita, Michelyne, Priscila, Sheila, Cícera, Josyclêda, Ranieri, Gildarte, Janúncio, Kleber, Ana Cleide, Carlos, Bérqson, Rafael e a Alexandre (In Memoriam).

As secretárias Eyres, Miriam e principalmente a Divanete, por serem anjos na minha vida, durante o mestrado.

E por fim, aos meus iniciadores na profissão Prof. Dra. Célia Campos, Prof. Dr. Mário de Miranda Villas Boas Ramos Leitão e Prof. Dra. Tratavahi Venkata Ramana Rao, pela ajuda e incentivo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	12
RESUMO	14
ABSTRACT	15
	Pág.
1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Principais sistemas atuantes no NEB	18
2.1.1. Vórtices Ciclônicos de Ar Superior	18
2.1.2. Distúrbios de leste	20
2.1.3. Zona de Convergência Intertropical	22
2.1.4. Sistemas frontais	23
2.2. Chuvas intensas	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Dados	27
3.2. Métodos estatísticos	28

3.2.1 Distribuição de Gumbel	29
3.2.2. Teste Kolmogorov-Smirnov	32
3.2.3. Cluster analysis	33
3.3. Descrição da área de estudo	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. Análise estatística	42
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	85
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1. Função densidade de probabilidade da distribuição generalizada de valores extremos (GVE) para $\alpha = -0,3$ (Weibull), $\alpha = 0$ (Gumbel) e $\alpha = 0,3$ (Fréchet), com $a = 10$ e $\beta = 2,6$.	31
Figura 3.2. Mapa do estado da Paraíba com todas as suas sub-bacias.	38
Figura 3.3. Mapa das sub-bacias hidrográficas do rio Paraíba com a respectiva rede de drenagem.	39
Figura 3.4. Relevo da bacia do rio Paraíba.	41
Figura 4.1. Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de janeiro (a) e fevereiro (b).	43
Figura 4.1. Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de março (c) e abril (d).	44
Figura 4.1. Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de maio (e) e junho (f).	45
Figura 4.1. Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de julho (g) e agosto (h).	46
Figura 4.1. Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de setembro (i) e outubro (j).	47
Figura 4.1. Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de	48

novembro (l) e dezembro (m).

- Figura 4.2. Variação temporal da bacia do rio Paraíba para as chuvas de 1 dia (a) e 2 dias (b). 52
- Figura 4.2. Variação temporal da bacia do rio Paraíba para as chuvas de 3 dias (c) e 4 dias (d). 53
- Figura 4.2. Variação temporal da bacia do rio Paraíba para as chuvas de 5 dias (e). 54
- Figura 4.3. Variação espacial das chuvas para o mês de janeiro de 1 dia (a) e 2 dias (b) da bacia do rio Paraíba. 56
- Figura 4.3. Variação espacial das chuvas para o mês de janeiro de 3 dias (c) e 4 dias (d) da bacia do rio Paraíba.. 57
- Figura 4.3. Variação espacial das chuvas para o mês de janeiro de 5 dias (e) da bacia do rio Paraíba. 58
- Figura 4.4. Variação das chuvas para o mês de fevereiro de 1 dia (a) da bacia do rio Paraíba. 58
- Figura 4.4. Variação das chuvas para o mês de fevereiro de 2 dias (b) e 3 dias (c) da bacia do rio Paraíba. 59
- Figura 4.4. Variação das chuvas para o mês de fevereiro de 5 dias (e) da bacia do rio Paraíba. 60

- Figura 4.5. Variação das chuvas para o mês de março de 1 dia (a) da bacia do rio Paraíba. 60
- Figura 4.5. Variação das chuvas para o mês de março de 2 dias (b) e 3 dias (c) da bacia do rio Paraíba. 61
- Figura 4.5. Variação das chuvas para o mês de março de 4 dias (d) e 5 dias (e) da bacia do rio Paraíba. 62
- Figura 4.6. Variação das chuvas para o mês de abril de 1 dia (a) e 2 dias (b) da bacia do rio Paraíba. 63
- Figura 4.6. Variação das chuvas para o mês de abril de 3 dias (c) e 4 dias (d) da bacia do rio Paraíba. 64
- Figura 4.6. Variação das chuvas para o mês de abril de 5 dias (e) da bacia do rio Paraíba. 65
- Figura 4.7. Variação espacial anual das chuvas intensas da bacia do rio Paraíba de 1 dia (a) e 2 dias (b). 67
- Figura 4.7. Variação espacial anual das chuvas intensas da bacia do rio Paraíba de 3 dias (c) e 4 dias (d). 68
- Figura 4.7. Variação espacial anual das chuvas intensas da bacia do rio Paraíba de 5 dias (e). 69
- Figura 4.8. Histogramas de frequência das chuvas intensas de 1 dia (a) e 2 dias da bacia do rio Paraíba. 70

- Figura 4.8. Histogramas de frequência das chuvas intensas de 3 dias (c) e 4 dias (d) da bacia do rio Paraíba. 71
- Figura 4.8. Histogramas de frequência das chuvas intensas de 5 dias (e) da bacia do rio Paraíba. 72
- Figura 4.9. Teste Kolmogorov-Smirnov das chuvas de 1 dia (a) e 2 dias (b) da bacia do rio Paraíba. 73
- Figura 4.9. Teste Kolmogorov-Smirnov das chuvas de 3 dias (c) e 4 dias (d) da bacia do rio Paraíba. 74
- Figura 4.9. Teste Kolmogorov-Smirnov das chuvas de 5 dias (e) da bacia do rio Paraíba. 75
- Figura 4.10. Cluster análise das chuvas intensas de 1 dia (a) e 2 dias (b) para a bacia do rio Paraíba. 77
- Figura 4.10. Cluster análise das chuvas intensas de 3 dias (c) e 4 dias (d) para a bacia do rio Paraíba. 78
- Figura 4.10. Cluster análise das chuvas intensas de 5 dias (e) para a bacia do rio Paraíba. 79

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 3.1. Valores críticos de D para o teste de Kolmogorov-Smirnov.	32
Tabela 3.2. Amostra dos 33 postos utilizados na identificação das chuvas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias para a bacia do rio Paraíba.	34
Tabela 3.3. Relação dos 64 postos de coleta de dados de precipitação da bacia do rio Paraíba	35
Tabela 4.1. Porcentagem das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias em relação à climatologia dos municípios que compõem a bacia do rio Paraíba.	50
Tabela 4.2. Contribuição percentual da variação temporal das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias da bacia do rio Paraíba para os meses de janeiro a abril.	54
Tabela 4.3. Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas intensas de 1 dia para a bacia do rio Paraíba.	80
Tabela 4.4. Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas intensas de 2 dias para a bacia do rio Paraíba.	81
Tabela 4.5. Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas intensas de 3 dias para a bacia do rio Paraíba.	82
Tabela 4.6. Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas	83

intensas de 4 dias para a bacia do rio Paraíba.

Tabela 4.7. Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas 84

intensas de 5 dias para a bacia do rio Paraíba.

RESUMO

A pesquisa foi realizada no âmbito da bacia do rio Paraíba, para identificar a variação espacial e temporal das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias. Foram utilizados 33 postos utilizados, bem distribuídos e cobrindo as sub-bacias do Paraíba. A partir dos dados dos postos citados anteriormente, foi calculada a climatologia mensal para a região, mostrado em mapas, relevo da região, verificado a tendência e o quanto cada chuva intensa de 1, 2, 3, 4 e 5 dias representa em relação a média climatológica. Os resultados obtidos também mostraram concentração dos valores máximos da variação espacial das chuvas intensas no leste da sub-bacia do baixo Paraíba, sul da sub-bacia do Taperoá e centro/norte da sub-bacia do alto Paraíba e na variação espacial os meses de maiores ocorrências de chuvas intensas na bacia do rio Paraíba foram os meses de janeiro, fevereiro, março e abril. Esses resultados sugerem que os VCAS e ZCIT são os principais sistemas responsáveis pela precipitação na região nessa determinada época. Logo após essa etapa, utilizou-se a “cluster analysis” para identificar grupos de chuvas intensas homogêneas para a bacia do rio Paraíba, para então calcular a precipitação baseada em um período de retorno de 100 anos. Em seguida, a Distribuição de Probabilidade de Gumbel foi ajustada às chuvas intensas e usado o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar o ajustamento, comprovando-se que a distribuição Gumbel é realmente apropriada para valores extremos de precipitação para os postos da área estudada.

ABSTRACT

The research was carried through in the scope of the basin of the river Paraíba, to identify the space and secular variation of intense rains of 1, 2, 3, 4 and 5 days. 33 used ranks had been used, distributed well and covering the sub-basins of the Paraíba. From the data of the cited ranks previously, the monthly climatology for the region, shown in maps, relief of the region, verified was calculated the trend and how much each intense rain of 1, 2, 3, 4 and 5 days represents in relation the climatologically average. The results also gotten had shown concentration of the maximum values of the space variation of intense rains in the east of the sub-basin of the low Paraíba, south of the sub-basin of the Taperoá and center/north of the sub-basin of the high Paraíba and in the space variation the months of bigger intense rain occurrences in the basin of the river Paraíba had been the months of January, February, March and April. These results suggest that VCAS and ZCIT are the main responsible systems for the precipitation in the region at this determined time. Soon after this stage, was used "to cluster it analysis" to identify groups of homogeneous intense rains for the basin of the river Paraíba, for then calculating the precipitation based on a period of return of 100 years. After that, the Distribution of Probability of Gumbel was adjusted to intense rains and used the test of Kolmogorov-Smirnov to verify the adjustment, proving that the Gumbel distribution is really appropriate for extreme values of precipitation for the ranks of the studied area.

1 – INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro (NEB) tem como característica grande irregularidade na precipitação, cujo comportamento é decorrente de um conjunto de fatores, como: suas características fisiográficas e influência de vários sistemas atmosféricos, fenômenos estes transientes. Estes fenômenos são caracterizados pela grande variabilidade espacial e temporal das chuvas na região, tornando-se um fator prejudicial às localidades atingidas, pois tanto podem provocar enchentes como também secas.

Entretanto, é pouco conhecido que a Paraíba é o Estado do Nordeste que apresenta uma das maiores variabilidades espacial nas chuvas, vez que o agreste/litoral apresenta precipitações médias anuais acima de 1083,4 mm/ano, em média, seguido do sertão, com valores médios de 821,9 mm/ano e por fim a região do Cariri/Curimataú com média alcançando até 516,1 mm/ano. A localidade de Cabaceiras, localizada no Cariri paraibano, registra média anual em torno de 300 mm enquanto que na faixa litorânea, distante aproximadamente 150 km, o total médio anual de precipitação é superior a 1500 mm, Araújo et al. (2003).

A bacia do rio Paraíba é de grande importância para o estado, pois nela estão contidas grandes cidades, com grandes necessidades, que dependem, direta ou indiretamente, das reservas hídricas do Estado, como Monteiro e Campina Grande. É relevante analisar o quanto à bacia do Rio Paraíba contribui em termos de quantidade de água para a região e o quanto cada sub-bacia faz parte dessas contribuições. Desta forma será mais fácil o gerenciamento dos recursos hídricos da região, pois com a falta deste, surgiram problemas no abastecimento d'água local, para a indústria e o comércio, prejudicando a população no geral, diminuindo a quantidade de empregos e recursos na região do rio Paraíba.

Portanto, é de grande importância o estudo da precipitação na região da bacia do rio Paraíba, principalmente as chuvas intensas, pois nesta, está contida todas as informações importantes de sua frequência. Com esse conhecimento pode-se evitar problemas como: erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, agricultura, prejudicar projetos de obras hidráulicas, danificar sistemas de drenagem, dentre outros.

Assim, o objetivo desta pesquisa é o de estudar a distribuição espaço-temporal das chuvas intensas de um a cinco dias de duração no âmbito da bacia hidrográfica do rio Paraíba e associá-las aos sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste do Brasil.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como a região Nordeste tem uma grande variabilidade e irregularidade na distribuição de chuvas e suas atividades econômicas são duramente afetadas, um ótimo gerenciamento hídrico e uma boa previsão serão bem vindos pela população da região. Dentre os principais sistemas atuantes no Nordeste encontram-se os sistemas frontais (Kousky, 1979), a zona de convergência intertropical (Uvo, 1989), os vórtices ciclônicos de ar superior (Kousky e Gan, 1981) e os distúrbios de leste (Espinoza, 1996).

2.1 – Principais sistemas atuantes no NEB

2.1.1 - Vórtices Ciclônicos de Ar Superior

São sistemas que atuam nos meses de novembro a fevereiro, ocorrem de forma muito irregular em termo de seu posicionamento, produzem tanto chuvas intensas como estiagem. As

chuvas ocorrem nas bandas de nebulosidade que residem na sua periferia, enquanto que no centro, o movimento subsidente inibe a formação de nuvens, podendo atuar durante meses. Seu aparecimento está relacionado com a circulação geral da atmosfera, com a Alta da Bolívia (AB), com a posição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a penetração de Frentes Frias do sul.

Inicialmente, os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) foram estudados no Hemisfério Norte (HN), chamados de “bacia fria”, por causa da sua temperatura fria em seu interior e um pouco mais quente em sua periferia; sua duração pode variar de algumas horas a algumas semanas (Palmer, 1951).

Um dos primeiros estudos abordando os VCAS na América do Sul (AS) foi feito por Aragão (1975), que observou uma circulação ciclônica fria próxima à costa leste do Nordeste do Brasil.

Vários estudos têm mostrado que a formação dos VCAS ocorre devido à intensificação da Alta da Bolívia (AB), associada à precipitação de sistemas frontais vindos das altas latitudes (Kousky e Gan, 1981; Rao e Bonatti, 1987) e como provável mecanismo dissipador, o aquecimento do continente sobre a área de atuação dos VCAS.

Kousky e Gan (1981) também observaram maior atuação dos VCAS nos meses de verão, por causa do padrão do escoamento nesta estação estar predominantemente associado a uma fonte de aquecimento no continente, mas precisamente na região amazônica. Já no caso dos meses de inverno não foi observado, pois a circulação em altos níveis torna-se um padrão zonal, por causa da falta da fonte de aquecimento. Notaram a existência de uma nebulosidade em forma de S associada à circulação em altos níveis sobre o Nordeste do Brasil e Ramirez (1996) explicou que

o deslocamento dos VCAS pode ser regular e irregular, regular no sentido leste-oeste e irregular no caso contrário.

Para a sua manutenção, os VCAS, de acordo com Kousky e Gan (1981), transformam energia potencial em energia cinética, através do movimento descendente no centro frio e ascendente na sua periferia.

De acordo com o mecanismo de formação os VCAS, podem ter quatro mecanismos: a formação clássica, que foi sugerida por Kousky e Gan (1981), a formação alta, gerada pela intensificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), causando a formação da Alta da Bolívia (AB), a formação África I, gerada pela intensificação da convecção na África e a formação África II e em certos casos encontra-se um mecanismo de formação atuando logo após o outro.

2.1.2 – Distúrbios de leste

São sistemas que atuam desde o norte do Rio Grande do Norte até a Bahia, no período de maio a agosto. Seu deslocamento se dá de leste para oeste até atingir o continente adentro. São comuns na maioria dos anos, só que sua intensidade depende da temperatura da superfície do Mar (TSM), do cisalhamento do vento e dos efeitos da orografia e da circulação de brisa marítima e terrestre, de forma que intensificam ou dissipam esse tipo de sistema.

Um dos primeiros autores a diagnosticar o distúrbio de leste foi Visher (1925).

A atuação dos distúrbios de leste tem duas regiões distintas no oceano Atlântico, uma no Atlântico Norte (ATN) e outro no Atlântico Sul (ATS). Apesar de centrados em latitudes

distintas, os distúrbios ocorrem com maior amplitude na mesma época do ano nessas duas regiões, ou seja, em maio, junho, julho e agosto.

Segundo Ratisbona (1976) os distúrbios de leste têm o seu máximo em junho, atuando sobre o litoral Leste do NEB, que vai do Rio Grande do Norte até o estado da Bahia. Essas massas de ar atuantes são instáveis, profundas e úmidas, por causa da atuação dos ventos alísios de sudeste.

Yamazaki e Rao (1977) utilizando imagens de satélites para o período de junho a agosto de 1967 observaram aglomerados de nuvens deslocando-se de leste para oeste sobre o ATS. A partir da observação de cerca de 20 linhas de aglomerados ocorridas nos três meses de análise, eles verificaram que elas apresentam, em média, velocidade de propagação de 10 m/s e comprimento de onda de 4000 km.

Mota (1997) verificou que ocorre acoplamento com brisas marítimas e terrestres e de vale-montanha, dependendo da hora e local, o que gera convecção e precipitação. Reis et al (2000) observaram um acoplamento entre um vórtice ciclônico de ar superior (VCAS) e um distúrbio de leste que influenciou o nordeste naquele período de estudo analisado.

Paiva Neto (2003) observou que no Atlântico, em particular, as temperaturas da superfície do mar (TSM) podem influenciar diretamente o desenvolvimento dos distúrbios, já que anomalias de TSM positivas, aliadas a outros fatores, podem propiciar maior evaporação e, conseqüentemente, áreas de nebulosidade mais extensas e com nuvens mais profundas. Ele afirmou também que os distúrbios de leste afetam a estrutura termodinâmica da atmosfera, em geral, com aumento na umidade e na espessura da camada. Por outro lado, a magnitude desse aumento depende das condições reinantes no ambiente por ocasião da chegada do distúrbio. A existência de convergência de umidade nos baixos níveis, associada ao escoamento médio

(alísios) parece ser um fator decisivo para a ocorrência de totais pluviométricos acima da média no leste do estado da Paraíba.

2.1.3 – Zona de Convergência Intertropical

É formada pela junção dos ventos alísios de nordeste e os ventos alísios de sudeste, resultando em movimento ascendente do ar com alto teor de vapor d'água. Ao subir, o ar se resfria, dando origem às nuvens. É considerado o principal sistema produtor de chuva no norte do NEB, atuando de fevereiro a maio. É um fenômeno tipicamente climático que acompanha o deslocamento aparente do sol com um atraso de aproximadamente de dois meses, em média. Sua posição mais ao sul é de 2° sul, atingindo essa latitude.

A Zona de Convergência Intertropical é um dos principais sistemas a influenciar a área mais ao norte do NEB, principalmente o estado do Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e interior da Paraíba e Pernambuco. Atuando nos meses de fevereiro a maio.

Chung (1982) e Hastenrath (1984) sugeriram que o aumento da TSM do Atlântico Sul e o enfraquecimento dos alísios de sudeste permitem o deslocamento mais para sul da ZCIT, causando chuvas mais intensas no Norte do NEB. Segundo Aceituno (1989) durante episódios de El Niño há o deslocamento da ZCIT para o norte, por causa do enfraquecimento da Alta Subtropical do Atlântico Norte.

2.1.4 – Sistemas frontais

É um importante sistema produtor de precipitação, atuando basicamente na região sul do NEB. Atuam nos meses de novembro a fevereiro e em o seu máximo de precipitação em novembro e janeiro, atuando principalmente na parte sul da Bahia, decrescendo para o norte.

A penetração de frentes frias no NEB constitui o segundo principal mecanismo da produção de chuvas, bem como no sul e sudeste do Brasil, Minas Gerais e sul da Bahia. Esse mecanismo foi documentado por Kousky (1979). A frequência desses sistemas é de aproximadamente um a cada cinco dias no Sul e Sudeste do Brasil. Mas, somente alguns desses sistemas ou parte deles penetram mais ao norte. Dessa maneira, são poucos os Sistemas Frontais que influenciam a produção das chuvas na parte central, norte e leste da região do NEB, durante todo o ano, porque eles não possuem o gradiente térmico característico da região Sul e Sudeste do Brasil.

Kousky (1979) observou que o maior número de passagens de sistemas frontais pelo Sul da Bahia corresponde a uma maior precipitação nas áreas Sul e Oeste do NEB. Chu (1983) notou que o pico da estação chuvosa no Sul do NEB é em dezembro e está associado com a penetração de sistemas frontais.

Por causa da interação dos sistemas atuantes no NEB, tornando-se, então, clara a necessidade de um levantamento mais apurado com relação às características dos VCAS, da ZCIT, dos Distúrbios de Leste e dos Sistemas Frontais, visto que existem vários aspectos a serem esclarecidos entre os quais o mecanismo de formação, estrutura vertical e o comportamento do sistema.

2.2 – Chuvas intensas

As chuvas intensas, ou chuvas extremas são também conhecidas por chuvas máximas e tem distribuição irregular tanto temporalmente quanto espacialmente. Esse tipo de evento causa grande prejuízo, causando erosão no solo, inundações, prejuízos a agricultura e problemas em reservatórios, perda de colheitas etc.

Osborn et al. (1980) utilizaram a distribuição de Gumbel para séries de valores máximos anuais de chuva, obtendo melhor ajuste. De acordo com Nemeç (1987) chuvas intensas de 3-6 horas em certas regiões permitem o aumento de riscos de enchentes.

Buzzi et al. (1995) afirmaram que eventos de chuvas intensas são favorecidos pelas condições meteorológica de meso e grande escala, atuando na intensificação e tempo de duração dos sistemas.

Brath (1995) observa que para ocorrer uma boa previsão de chuvas intensas, é necessário levar em conta a extensão da área inundada, o número de habitantes, a densidade da população e principalmente a topografia da região afetada. Também destacou que com modelos de circulação geral (GCM) que tem limitação na resolução espacial, porém, obtêm-se melhores resultados na previsão de chuvas intensas do que com modelos de escalas menores (Limited Area Model – LAM), pois na sua composição leva mais em consideração a topografia da região e a atuação de sistemas de escalas maiores.

Adamowski et al. (1996) destacaram que com a utilização das curvas de intensidade-duração-freqüência a única desvantagem em utilizá-las seriam as características de espaço-tempo e na extrapolação da chuva pontual. Desta forma, identificaram áreas homogêneas e heterogêneas em relação à precipitação.

Gershunov (1998) mostra que, para os Estados Unidos, há significativa diferença entre as probabilidades de ocorrência de eventos severos de precipitação durante episódios de El Niño e La Niña, o que representa um potencial de previsibilidade do aumento ou diminuição destes eventos durante aqueles episódios.

Salvador (2002) estudou a atuação de grande quantidade de chuvas intensas no Estado de Alagoas por causa da atuação da VCAS, gerando um aumento na precipitação entre 500 a 900%. Park et al. (2002) afirmaram que a modelagem de chuvas extremas é essencial, pois com a mesma pode-se minimizar custo em relação à agricultura e principalmente ter um bom entendimento em relação às modificações do clima e do tempo.

Clarke et al. (2004) sugeriu que as séries de dados têm que ser suficientemente longas e representativas do local de estudo, pois só assim pode-se observar a variabilidade do comportamento climático de uma região, principalmente em relação a chuvas intensas. Grimm et al. (2004) observaram que eventos como El Niño e La Niña têm uma grande influência na ocorrência de chuvas extremas no Brasil, principalmente na região Nordeste.

Barbosa et al. (2004) analisaram o alto teor de umidade em baixos níveis associada com a estrutura termodinâmica instável e convergência em baixo em grande escala, explicam a ocorrência de sistemas profundos, formadores de chuvas intensas. E que o cisalhamento do vento contribui para a formação de correntes ascendentes e descendentes, que fazem a manutenção dos sistemas precipitantes causadores de chuvas máximas na região do semi-árido nordestino.

Salvador (2004) destacou o aumento de 1000% na precipitação de Alagoas em 2004, por causa da atuação em conjunto da ZCIT, Frentes Frias e VCAS, gerando desta forma chuvas intensas em todo o estado. Interação também observada no estudo de Moscati et al. (2004), para o Estado de Pernambuco.

Reis et al. (2004) afirmaram que as chuvas extremas na região de Belo Horizonte, têm grande influência da orografia da Serra do Curral, mostrando que áreas acidentadas apresentam maior potencial de chuvas extremas.

Araújo et al. (2005) observaram que as chuvas extremas na bacia do rio Paraíba se concentraram nos meses de janeiro e fevereiro, no ano de 2004. Ultrapassando os extremos da categoria de precipitação máxima de 1, 2, 3, 4 e 5 dias.

Com base nesses estudos será verificado a distribuição espaço-temporal das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias na área da bacia do rio Paraíba, associando aos sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste do Brasil

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Dados

Os dados de precipitação pluviométrica utilizados na pesquisa foram obtidos da SUDENE e complementos oriundos do LMRS (Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto do estado da Paraíba), adquiridos através do DCA (Departamento de Ciências Atmosféricas – UFCG). O conjunto de dados de precipitação diária representa uma amostra de 33 postos (Tabela 3.2). Dos 84 municípios que compõem a bacia do rio Paraíba, apenas 64 possuem postos de coleta de dados de precipitação (Tabela 3.3), que devido à falta de dados que compõem uma série contínua nos demais postos, apenas essa amostra de 33 postos foi utilizada, o que não compromete o estudo, uma vez que cada série possui 30 anos de dados, tendo início em janeiro de 1974 e término em dezembro de 2004.

A partir desse conjunto de dados foram extraídas as chuvas intensas para cada município. Considerou-se como chuva intensa, o maior valor diário registrado na série. Dessa forma, foi

extraída a chuva intensa para 1, 2, 3, 4 e 5 dias, sendo que a partir do segundo dia é considerado o somatório dos dois dias consecutivos de maior valor na série, processo análogo foi efetuado para 3, 4 e 5 dias de chuvas intensas.

3.2 – Métodos estatísticos

Os sistemas dinâmicos são responsáveis pelos processos geradores de eventos de chuva na bacia do rio Paraíba. Desta forma:

Foi gerada uma climatologia da bacia do rio Paraíba, para os meses de janeiro a dezembro, com base nas séries de dados descritas. A partir da climatologia gerada, foi calculada a porcentagem da chuva intensa em relação à climatologia, em todos os postos pluviométricos da bacia do rio Paraíba para as chuvas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias (Tabela 4.1).

A distribuição temporal identificou os meses mais significativos das chuvas intensas na bacia do rio Paraíba, como sendo janeiro, fevereiro, março e abril (Tabela 4.2). A partir destas análises foi necessário estabelecer a distribuição espacial das chuvas intensas, durante esse período. Como também para as chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias.

A análise estatística foi realizada utilizando três técnicas distintas, Análise de Agrupamento (Cluster Analysis), Distribuição de Probabilidade de Gumbel, e o Teste de Kolmogorov-Smirnov.

3.2.1 - Distribuição de Gumbel

A distribuição de probabilidade Gumbel é a que melhor se ajusta aos eventos extremos ocorridos na natureza. É conhecida, também, como distribuição de valores extremos ou distribuição tipo I de Fisher-Tippett. Essa distribuição apresenta como casos particulares, os três tipos de distribuição de valores extremos, e tem função de distribuição acumulada de probabilidade dada por:

$$F(x) = \{ - [1 + ? (x - a / \beta)]^{-1/?} \}, \quad (1)$$

definida em, $-\infty < x < a - \beta/?$ para $? < 0$, $-\infty < x < +\infty$ para $? \rightarrow 0$, $a - \beta/? < x < +\infty$ para $? > 0$, sendo a , β e $?$ os parâmetros de localização, escala e de forma respectivamente, com $\beta > 0$. As distribuições de valores extremos de Frèchet e de Weibull correspondem aos casos particulares de (1) em que $? > 0$ e $? < 0$, respectivamente. Com limite de $F(x)$ com $? \rightarrow 0$ tem-se que:

$$F(x) = \exp \{ - \exp [- (x - a) / \beta] \}, \quad (2)$$

que é a função de distribuição acumulada de Gumbel com parâmetros de localização (a) e de escala (β), com $\beta > 0$.

Derivando-se (1) em relação a x , obtém-se a função densidade de probabilidade da distribuição GVE, dada por:

$$f(x) = 1 / \beta [1 + ? (x - a / \beta)]^{-(1+?/?)} \exp \{ - [1 + ? (x - a / \beta)]^{1/?} \}, \quad (3)$$

definida em, $- \infty < x < a - \beta/\eta$ para $\eta < 0$ para $\eta < 0$ e $a - \beta/\eta < x < + \infty$ para $\eta > 0$, cujo limite para η tendendo a zero, é:

$$f(x) = 1/\beta \exp \{ - \exp [x - a / \beta] - [x - a / \beta] \} \quad (4)$$

definida em $- \infty < x < + \infty$.

Estimativa dos parâmetros (método dos momentos):

$$\beta = S \sqrt{6} / p \quad (5)$$

$$a = X(\text{médio}) - \eta \beta \quad (6)$$

Sendo $\eta = 0,5772$ (constante de Euler).

A Figura 1 apresenta os gráficos da função densidade de probabilidade para $\eta = - 0,30$ (Weibull), η tendendo a zero (Gumbel) e $\eta = 0,30$ (Fréchet), com $a = 2,6$, a partir de onde pode se observar que o parâmetro η determina a natureza das caudas da distribuição, ou seja, a velocidade com que as caudas se aproximam de zero. Nota-se que, quanto maior o parâmetro η , mais lenta é essa velocidade (Coronado, 2000).

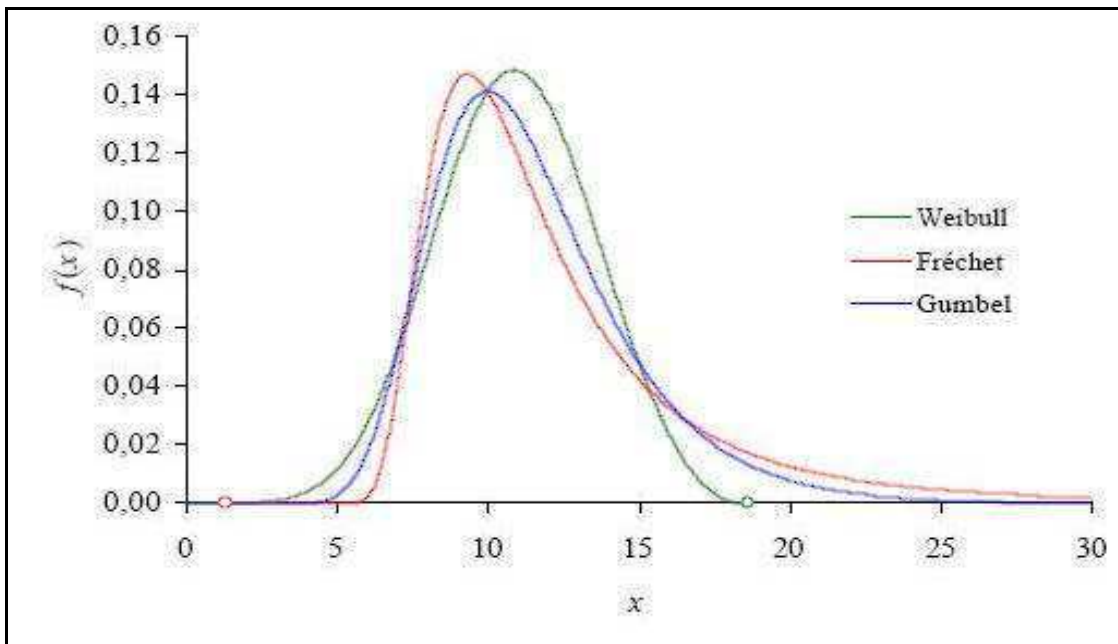


Figura 3.1 – Função densidade de probabilidade da distribuição generalizada de valores extremos (GVE) para $\eta = -0,3$ (Weibull), $\eta = 0$ (Gumbel) e $\eta = 0,3$ (Fréchet), com $a = 10$ e $\beta = 2,6$.

Através da Figura 3.1 e da função (3) observa-se, ainda, que a distribuição de Fréchet corresponde a um modelo com cauda inferior finita ($x > 1,33$) e cauda superior infinita. Por outro lado, no caso da distribuição de Weibull, a cauda superior é finita ($x < 18,67$), motivo pelo qual, segundo Holmes & Moriarty (1999), esta distribuição é mais apropriada para estudar variáveis que têm limitações em magnitude por razões geofísicas como o caso de variáveis associadas a certos fenômenos naturais.

3.2.2. - Teste Kolmogorov-Smirnov

O Teste Kolmogorov-Smirnov mede a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os valores associados à distribuição hipoteticamente verdadeira. A estatística do teste é dada por D, representando a diferença máxima entre as funções acumuladas de probabilidade teórica (F(x)) e empírica (F(a)), segundo Pinto et. al. (1976) o teste apresenta a seguinte forma:

$$D = \max | F(x) - F(a) | \quad (5)$$

A aceitação do ajuste dos dados à função pretendida será exigente, visto que será considerado o nível de significância de 20%. A Tabela 2 exibe os valores de D em função dos níveis de significância e do tamanho da amostra (N). Para caso particular em que N=34 utilizado nessa pesquisa o valor adequado do teste corresponde a valores = 0,18.

Tabela 3.1 – Valores críticos de D para o teste de Kolmogorov-Smirnov. (Fonte: Pinto et. al. (1976)).

N	Nível de Significância			
	0,20	0,10	0,5	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
>50	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

3.2.3 – Cluster analysis

Os métodos de agrupamentos têm por objetivo agrupar indivíduos em número restrito de classes, de maneira que os indivíduos pertencentes a essas classes sejam semelhantes em algum aspecto.

Essas classes são obtidas por meios de algoritmos formalizados. Esta técnica evidencia os grupos homogêneos e heterogêneos de uma população. Através do software SPSS.

O método utilizado nesta pesquisa foi o hierárquico, que consiste no número de classes gerado pelo critério de agrupamento de Ward. Visto a seguir:

A soma dos erros quadráticos (SEQ) é dada por:

$$SEQ = \sum X^2 - 1/n (\sum x_i)^2 \quad (1)$$

A distância Euclidiana é dada por:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum (x_{iq} - x_{iq})^2} \quad (2)$$

Tabela 3.2 - Amostra dos 33 postos utilizados na identificação das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias para a bacia do rio Paraíba.

Municípios	Chuva de 1 dia (mm)	Chuva de 2 dias (mm)	Chuva de 3 dias (mm)	Chuva de 4 dias (mm)	Chuva de 5 dias (mm)
Boa Vista	136,6	83,0	108,6	114,8	134,8
Cabaceiras	172,0	128,0	182,0	123,1	127,7
Desterro	130,0	142,9	192,9	196,9	227,6
Gurjao	130,5	146,6	186,8	189,1	219,4
Juazeirinho	108,0	126,0	126,0	126,0	126,0
Olivedos	130,0	107,5	140,8	148,9	149,5
S. J. Cariri	122,0	98,0	112,0	148,4	121,4
S. Branca	176,1	178,7	170,0	213,6	220,5
Soledade	110,2	147,7	176,3	197,1	202,3
Taperoa	119,2	157,0	184,0	203,6	233,6
B. S. Miguel	128,1	145,0	109,6	135,9	143,8
Camalau	172,4	234,4	256,8	347,0	357,0
Caraubas	146,2	200,1	214,4	231,6	144,1
Congo	160,4	180,3	232,8	208,0	195,0
Coxixola	135,4	203,0	199,2	240,8	243,8
Monteiro	120,0	131,2	185,6	227,0	237,6
Pocinhos	151,4	120,1	144,1	159,3	182,2
Prata	147,6	215,1	167,2	183,2	216,8
S. J. Tigre	120,2	188,6	215,5	303,7	330,2
S. S. Umbuzeiro	134,8	189,8	216,0	252,0	258,0
Sume	118,4	133,3	163,7	185,1	178,0
Aroeiras	104,4	141,4	162,4	194,6	198,8
Campina grande	105,0	133,1	144,2	143,2	152,6
R.S. Antonio	115,6	131,5	173,0	112,0	101,6
Umbuzeiro	102,6	140,2	154,6	166,2	216,7
Boqueirao	107,2	165,0	184,1	193,1	211,1
C. E. Santo	125,6	156,0	181,3	191,0	212,6
Fagundes	118,2	139,0	157,0	220,2	245,2
Inga	113,0	124,5	140,2	181,4	185,4
Itabaiana	150,2	162,6	159,5	161,5	130,5
Mogero	123,2	136,3	148,4	143,1	106,8
Pilar	175,0	175,8	176,2	144,6	128,0
Sape	154,2	194,6	243,8	251,6	256,1

Tabela 3.3 – Relação dos 64 postos de coleta de dados de precipitação da bacia do rio Paraíba

(Fonte: LMRS).

MUNICÍPIO	POSTOS	LATITUDE (°)	LONGITUDE (°)	ALTITUDE (m)
Amparo	Amparo	-7,56972	-37,06389	635
Alcantil	Alcantil	-7,74220	-36,05720	500
Aroeiras	Aroeiras	-7,54583	-35,71111	340
Boqueirão	Boqueirão, Ac. (A)	-7,49083	-36,13583	380
Boa Vista	Boa Vista	-7,25750	-36,23750	490
Barra de Santana	Barra de Santana	-7,52167	-36,00083	350
Barra de São Miguel	Barra de São Miguel	-7,75167	-36,31806	520
Cabedelo	Cabedelo	-6,97139	-34,83250	3
Congo	Congo	-7,80222	-36,65861	500
Coxixola	Coxixola	-7,62861	-36,60556	465
Camalaú	Camalaú	-7,89000	-36,82556	565
Cabaceiras	Cabaceiras	-7,49222	-36,28694	390
Caldas Brandão	Caldas Brandão	-7,10250	-35,32444	75
Cruz do Esp. Santo	Cruz do Esp. Santo	-7,14083	-35,09111	20
Caturité	Campo de Emas	-7,38722	-36,06472	405
Caraúbas	Caraúbas	-7,72528	-36,49028	460
Fagundes	Fagundes	-7,35861	-35,78444	520
Gado Bravo	Lagoa dos Marcos,	-7,59861	-35,83222	-
Gurjão	Gurjão	-7,24778	-36,48917	480
Gurinhém	Gurinhém	-7,12611	-35,42500	104
Juazeirinho	Juazeirinho	-7,06833	-36,58000	570
Ingá	Ingá	-7,29250	-35,61194	144
Itatuba	Itatuba	-7,37778	-35,62972	117
Itabaiana	Itabaiana	-7,32500	-35,33750	45
Juarez Távora	Juarez Távora	-7,16278	-35,59306	145
Junco do Seridó	Junco do Seridó	-6,99500	-36,71306	590
Marí	Marí	-7,05361	-35,32000	143
Sapé	Sapé	-7,09250	-35,22333	125
Puxinanã	Puxinanã	-7,14722	-35,95944	657
Parari	Parari	-7,31780	-36,65310	-
Serra Branca	Serra Branca	-7,48194	-36,66000	450
Prata	Prata	-7,69500	-37,08417	600
Ouro Velho	Ouro Velho	-7,62056	-37,15083	591
Tenório	Tenório	-6,94083	-36,62944	600
Natuba	Natuba	-7,64139	-35,55333	331
Mogeiro	Mogeiro	-7,30750	-35,47639	110
Pilar	Pilar	-7,26750	-35,26083	35
Bayeux	Bayeux	-7,13361	-34,93833	11
Pocinhos	Pocinhos	-7,07778	-36,05917	624
Desterro	Desterro	-7,29028	-37,08806	590
Santa Cecília	Santa Cecília	-7,74030	-35,88080	-
Serra Redonda	Serra Redonda	-7,18611	-35,67972	391
Juripiranga	Juripiranga	-7,37167	-35,24083	119
Olivedos	Olivedos (PVG)	-6,98861	-36,24361	545
Taperoá	Taperoá (PVG)	-7,21639	-36,82806	500

Tabela 3.3 – Relação dos 64 postos de coleta de dados de precipitação da bacia do rio Paraíba
(Fonte: LMRS). (continuação)

Umbuzeiro	Umbuzeiro	-7,69583	-35,66417	553
Queimadas	Queimadas	-7,36056	-35,88972	450
Massaranduba	Massaranduba	-7,18083	-35,73444	541
Santa Rita	Santa Rita	-7,14056	-34,98278	16
São S. Umbuzeiro	São Seb. Umbuzeiro	-8,15167	-37,00972	600
São João do Tigre	São João do Tigre	-8,08000	-36,84722	616
São João do Cariri	São João do Cariri	-7,38250	-36,52860	445
São D. do Cariri	São D. do Cariri	-7,63306	-36,43111	432
São J. dos Cordeiros	São J. dos Cordeiros	-7,39083	-36,80583	610
São José dos Ramos	São José dos Ramos	-7,24750	-35,37278	100
Salgado de S. Félix	Salgado de S. Félix	-7,35583	-35,43444	58
São Miguel de Taipú	São Miguel de Taipú	-7,24583	-35,20583	45
R. do Bacamarte	R. do Bacamarte	-7,24722	-35,66306	-
R. de Santo Antonio	R. de Santo Antonio	-7,69417	-36,15611	455
Lagoa Seca	Lagoa Seca	-7,15556	-35,85722	634
Soledade	Soledade (PVG)	-7,06083	-36,36194	560
Campina Grande	Embrapa	-7,22556	-35,90417	508
Monteiro	Embrapa	-7,88500	-37,12694	596

3.3 – Descrição da área de estudo

A bacia do rio Paraíba possui área de 20000 km², que corresponde a um terço da área total do estado, a aproximadamente 32% da área territorial, totalmente inserida no Estado do mesmo nome. Localiza-se na parte sudeste do estado da Paraíba, entre 6° 51' 15'' e 8° 17' 57'' sul de latitude e 34° 48' 05'' e 37° 21' 08'' oeste de longitude. Tendo suas nascentes, a oeste, nas Serras dos Cariris Velhos e da Borborema, mais ao sul suas nascentes se desenvolvem a partir das Serras dos Campos, da Barriguda, das Umburanas e da Jararaca, vindo à região central, que é o curso principal da bacia do Rio Paraíba, até desembocar no Atlântico Sul, no porto de Cabedelo (Figura 3.1). Na Figura 3.2, pode-se observar todas as bacias existentes no estado da Paraíba. Seus principais afluentes são os rios Taperoá e Sucrui; um drena o setor noroeste e o outro drena

o setor sudoeste, respectivamente (SEMARH). A região é basicamente dividida nas Sub-bacias do Taperoá, Alto Paraíba, Médio Paraíba e Baixo Paraíba, como visto na Figura 3.3.

Os principais reservatórios da bacia do rio Paraíba são: Epitácio Pessoa, Sumé, Poções e Camalaú. A rede pluviométrica da bacia do rio Paraíba passou, nos anos 90, por sucessivas crises, causando o fechamento de vários postos, causando desta forma grande prejuízo na malha pluviométrica da região, por causa do fechamento da SUDENE. Porém, nessa mesma época foi implementado o projeto denominado “Projeto Nordeste”, que começava a aparelhar os estados da região nos setores da Meteorologia e dos Recursos hídricos, financiados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, instalando centros Estaduais de Meteorologia e de Recursos Hídricos, que no passar do tempo ocuparam o espaço da SUDENE.

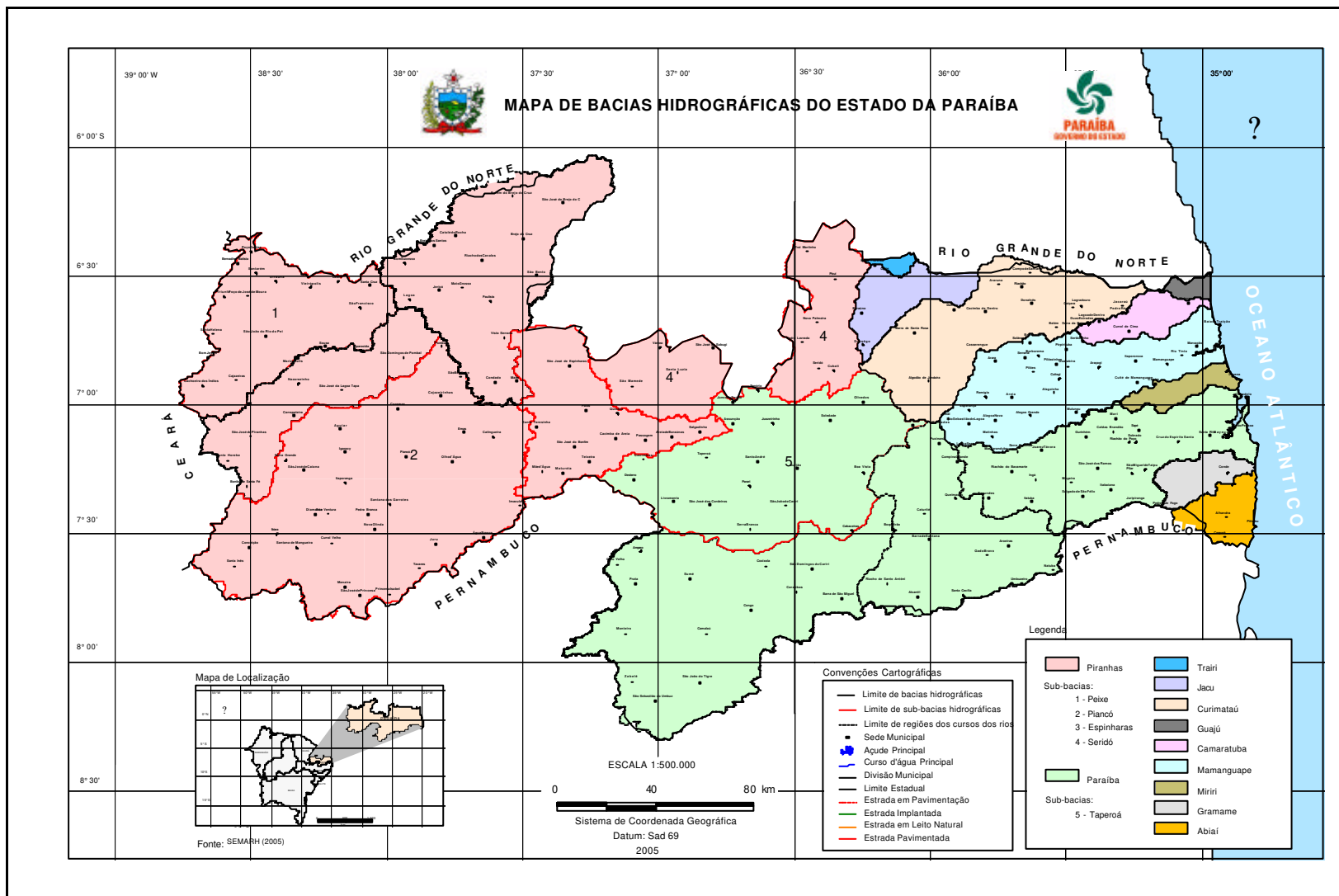


Figura 3.2 – Mapa do estado da Paraíba com todas as suas sub-bacias. Fonte: LMRS.

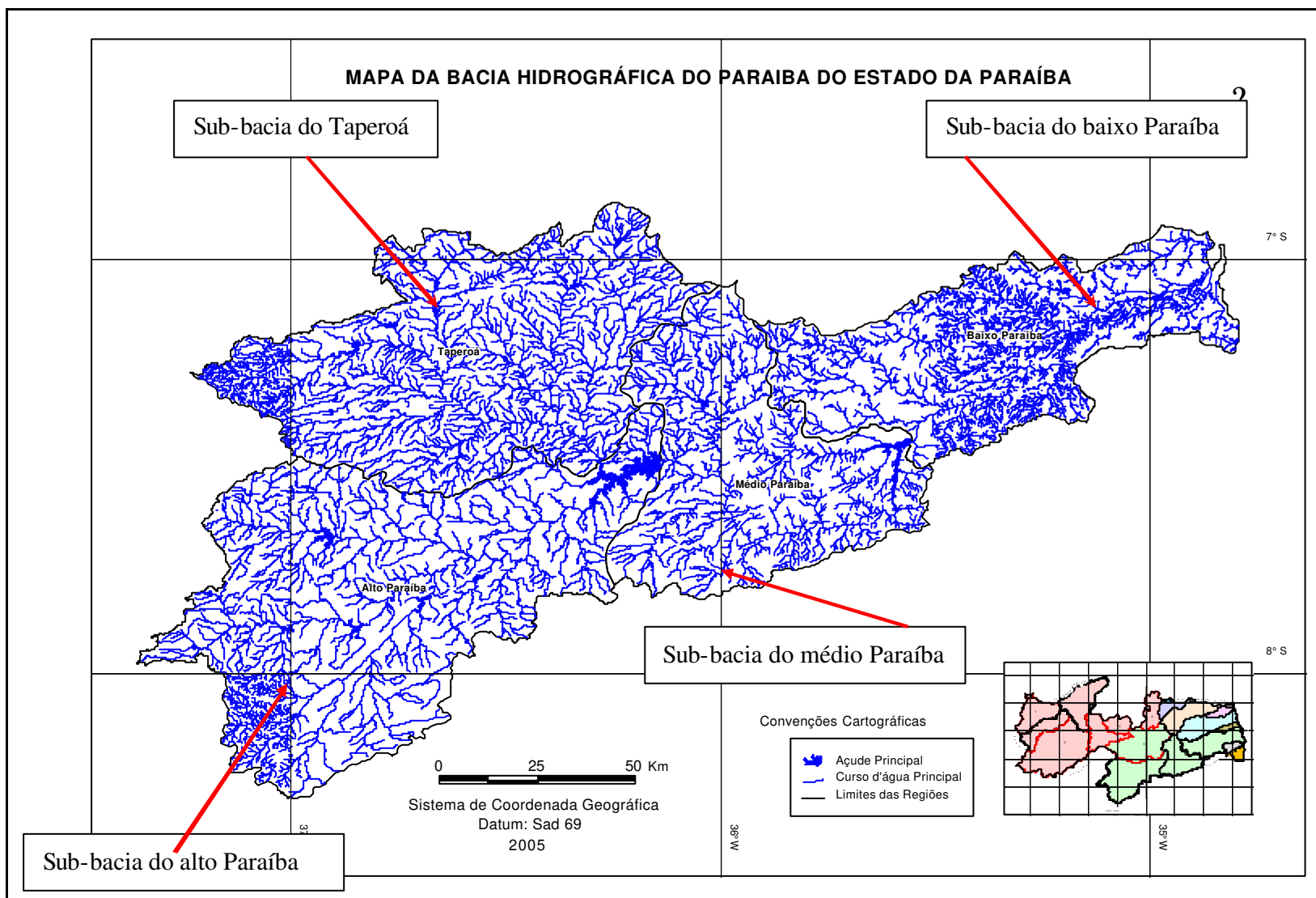


Figura 3.3 – Mapa das sub-bacias hidrográficas do rio Paraíba com a respectiva rede de drenagem. Fonte: LMRS.

A população total é de 1.734.470 habitantes em toda a Bacia do Rio Paraíba, de acordo com o IBGE (1996), correspondendo a 52,5% da população do Estado da Paraíba, distribuída em 84 municípios.

O regime pluviométrico é bastante irregular na região da bacia, tanto em níveis mensal como anual. É basicamente regido por dois sistemas de chuvas, um que vai de fevereiro a maio, atuando no Cariri e Curimataú e o outro que vai de abril a julho, que atua no Agreste, Brejo e Litoral, no qual as chuvas ocorridas em janeiro são de grande importância para o armazenamento de água na bacia do rio Paraíba de acordo com Pontes et al (2004).

De acordo com a classificação climática de Köppen a bacia do Paraíba é do tipo Bsh com duas zonas climáticas. Uma com clima quente e úmido a leste, com chuvas de outono – inverno (S') e a outra com clima quente e seco a oeste (W'), com chuvas de verão – outono, SEMARH (2000).

Em algumas áreas da bacia podem ocorrer grandes variações regionais por causa do relevo, como na área do Planalto da Borborema (Figura 3.4). A altitude da bacia do rio Paraíba tem variação de 3 até 600 m, aproximadamente.

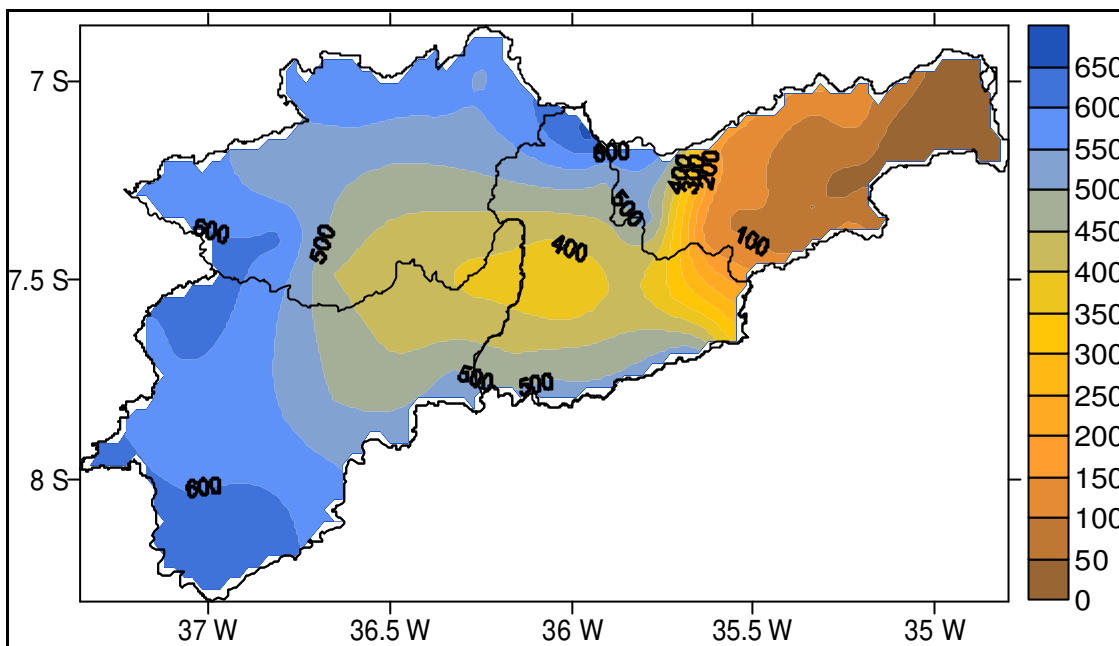


Figura 3.4 – Relevo da bacia do rio Paraíba.

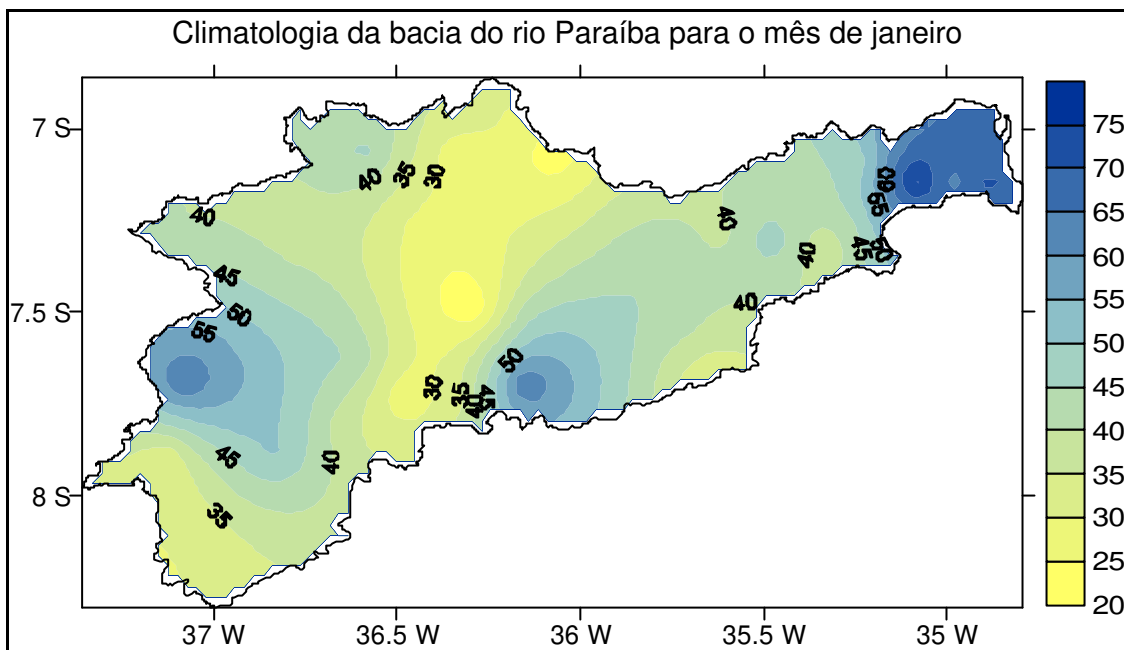
A temperatura média mensal varia de 20 a 25° em Campina Grande e de 21,5 a 25,5° em Monteiro, com valores mínimos bem visto no semestre chuvoso no caso de Campina Grande e Monteiro. A umidade relativa média de toda a bacia do rio Paraíba oscila entre 60 e 90%, com valores entre 60 e 78% em Monteiro e de 72 a 91% em Campina Grande.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

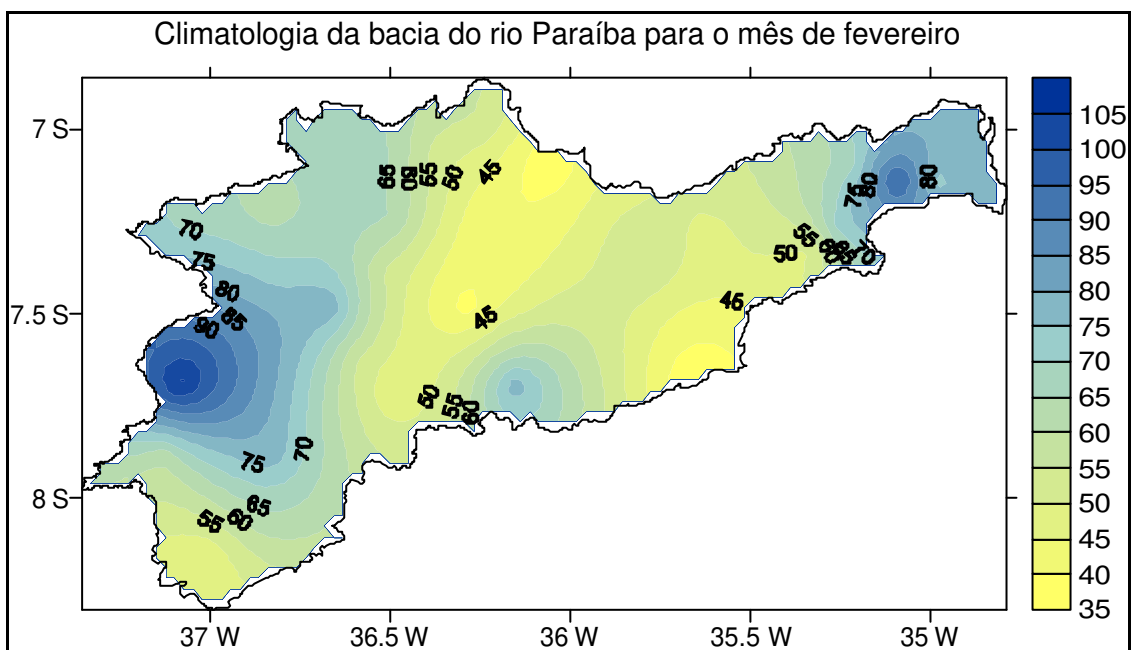
Os resultados obtidos se concentram na análise estatística das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias na bacia do rio Paraíba.

4.1 – Análise estatística

A partir da série de 30 anos de dados diários, foi gerada uma climatologia mensal da precipitação, ou seja, precipitações pluviométricas médias mensais, para a bacia do rio Paraíba, com o objetivo de identificar as áreas de maior concentração pluvial, ilustrado na Figura 4.1.

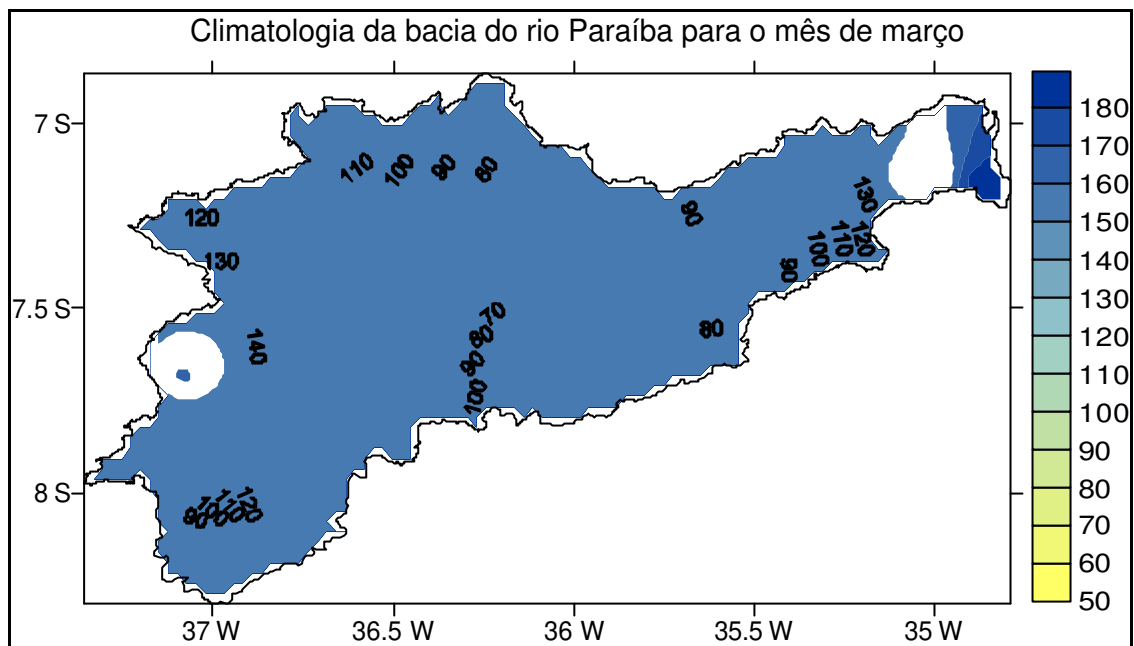


(a)

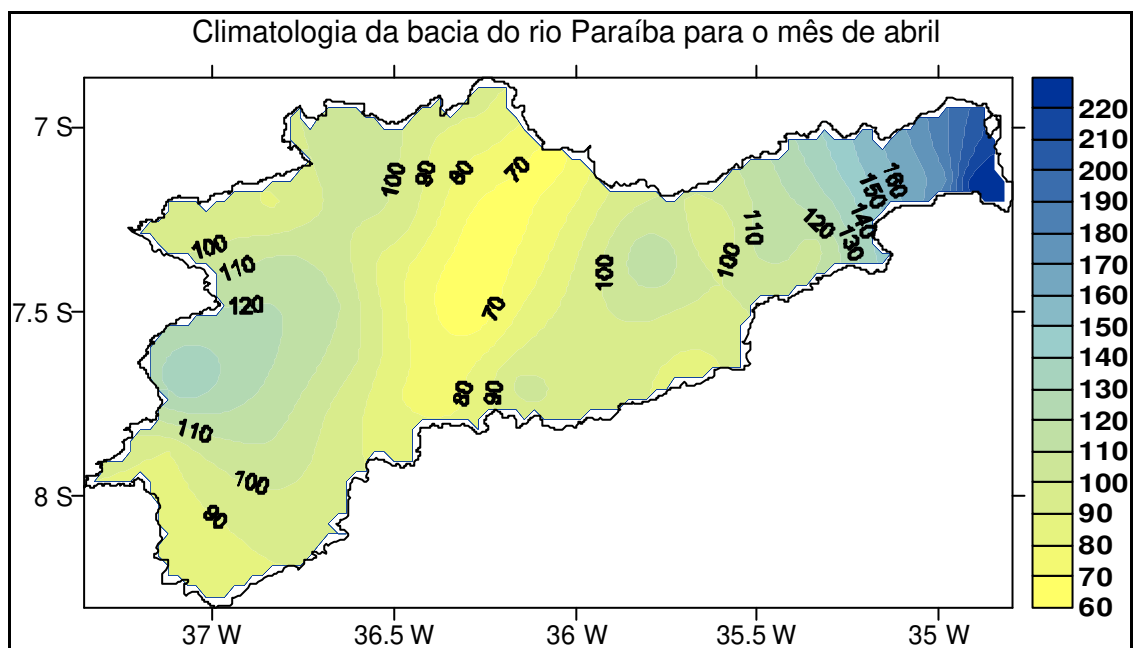


(b)

Figura 4.1 - Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de janeiro (a) e fevereiro (b).

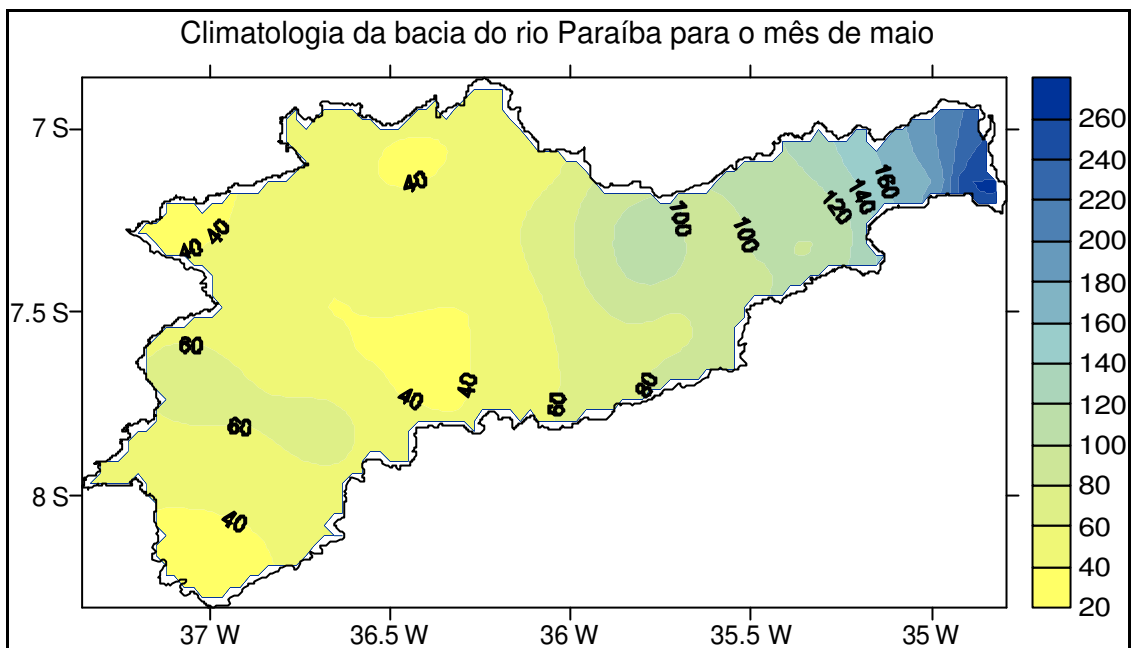


(c)

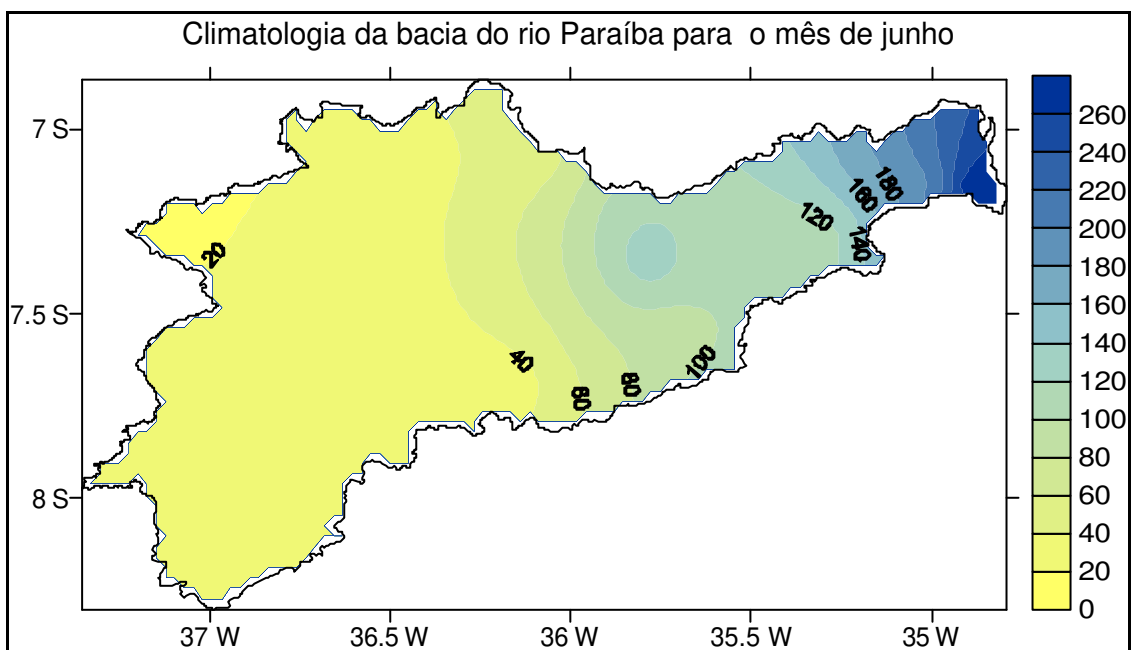


(d)

Figura 4.1 - Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de março (c) e abril (d).

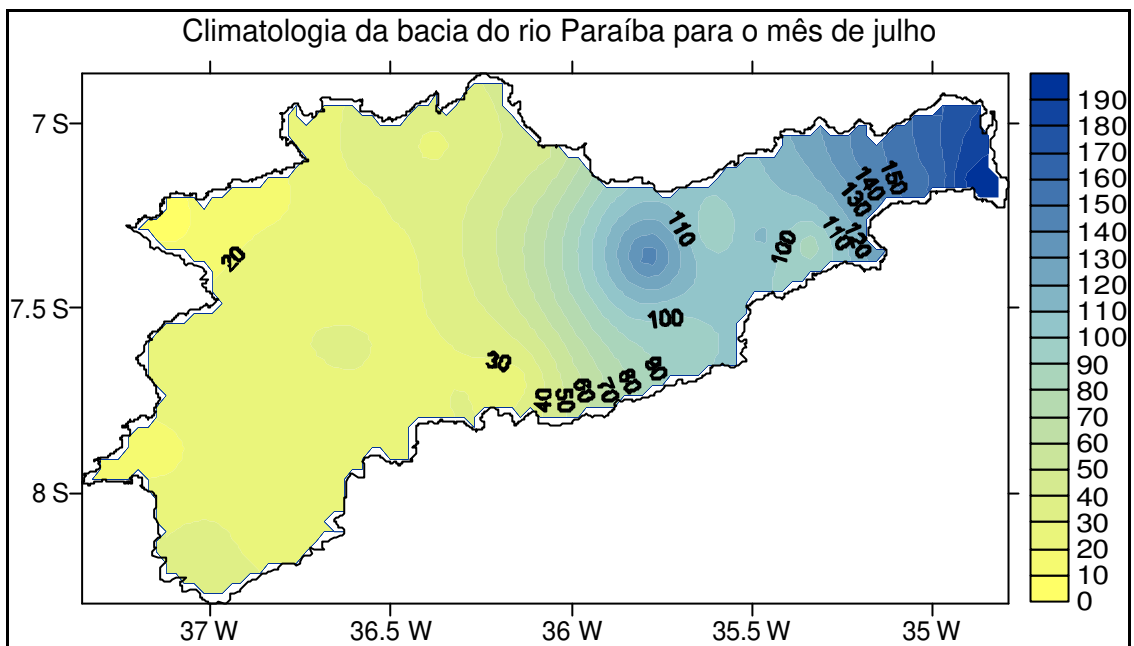


(e)

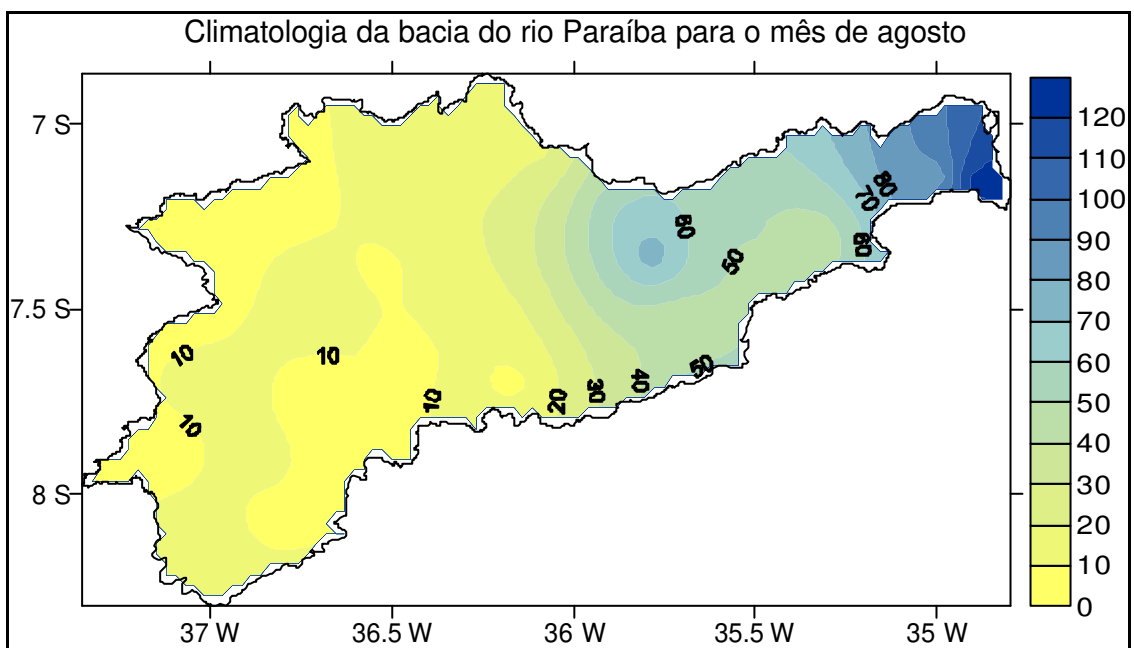


(f)

Figura 4.1 - Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de maio (e) e junho (f).

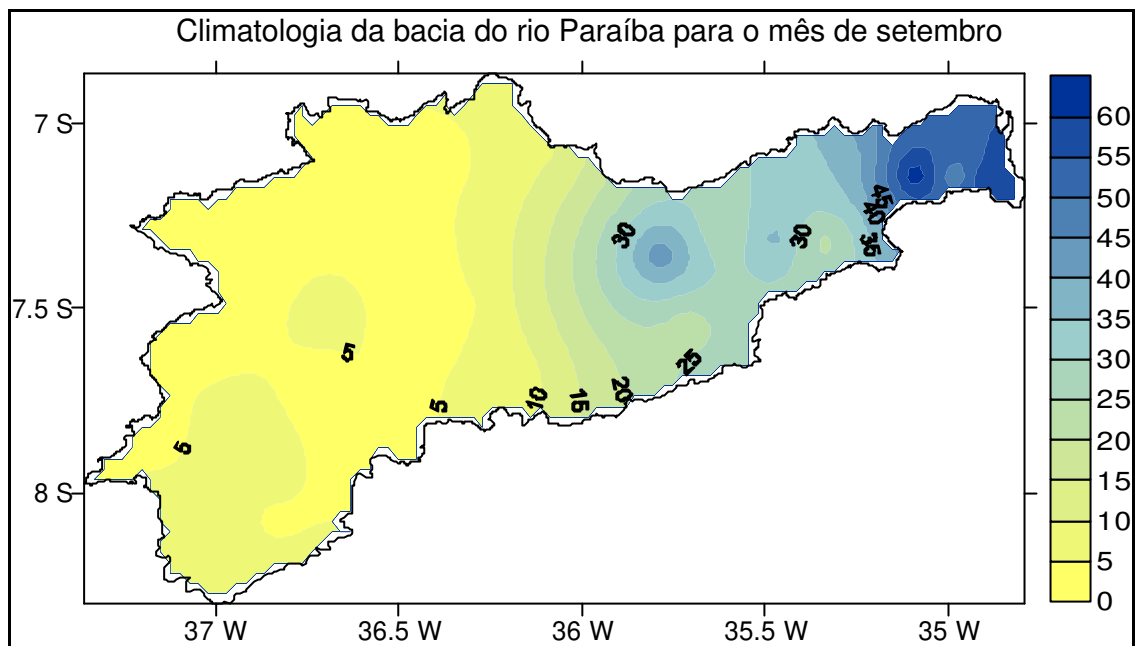


(g)

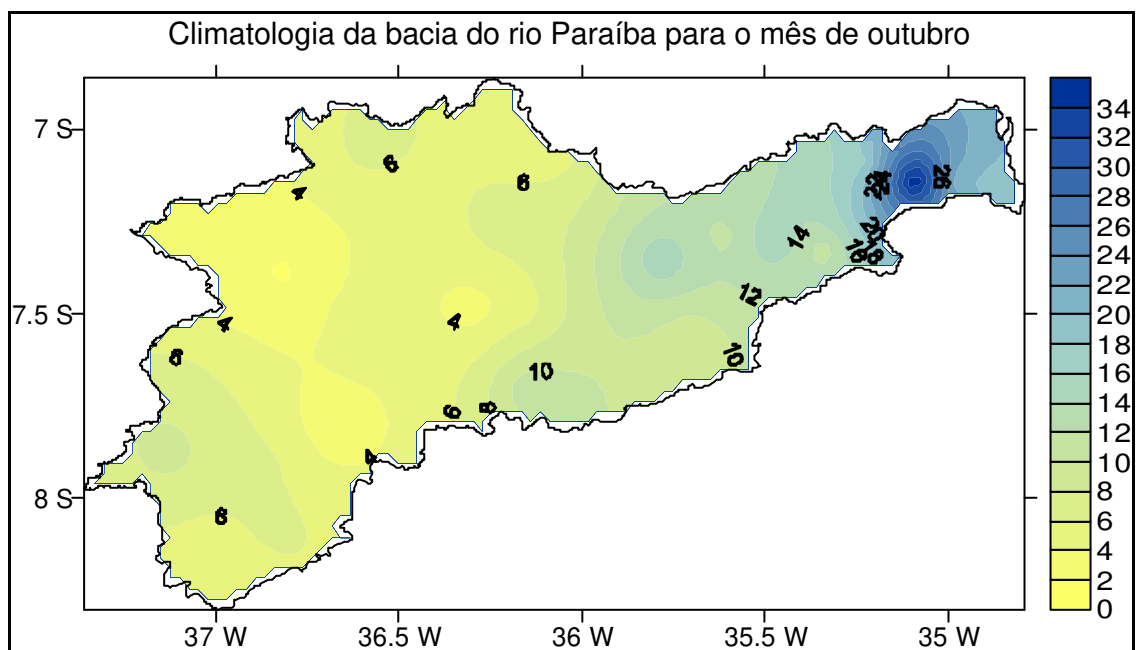


(h)

Figura 4.1 - Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de julho (g) e agosto (h).

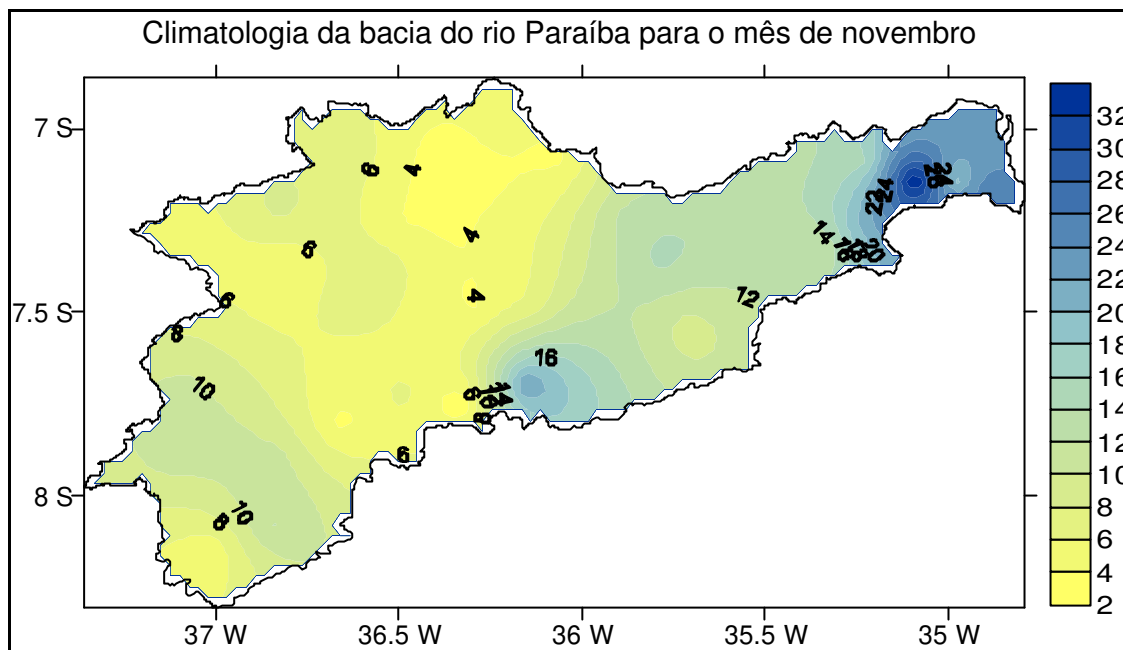


(i)

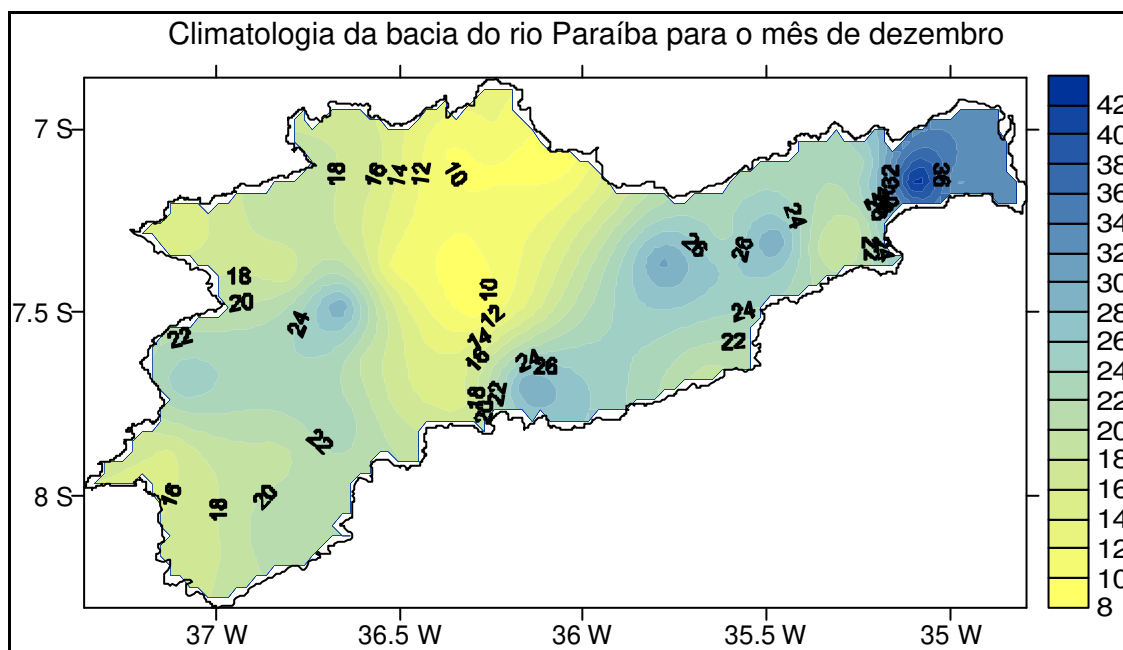


(j)

Figura 4.1 - Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de setembro (i) e outubro (j).



(l)



(m)

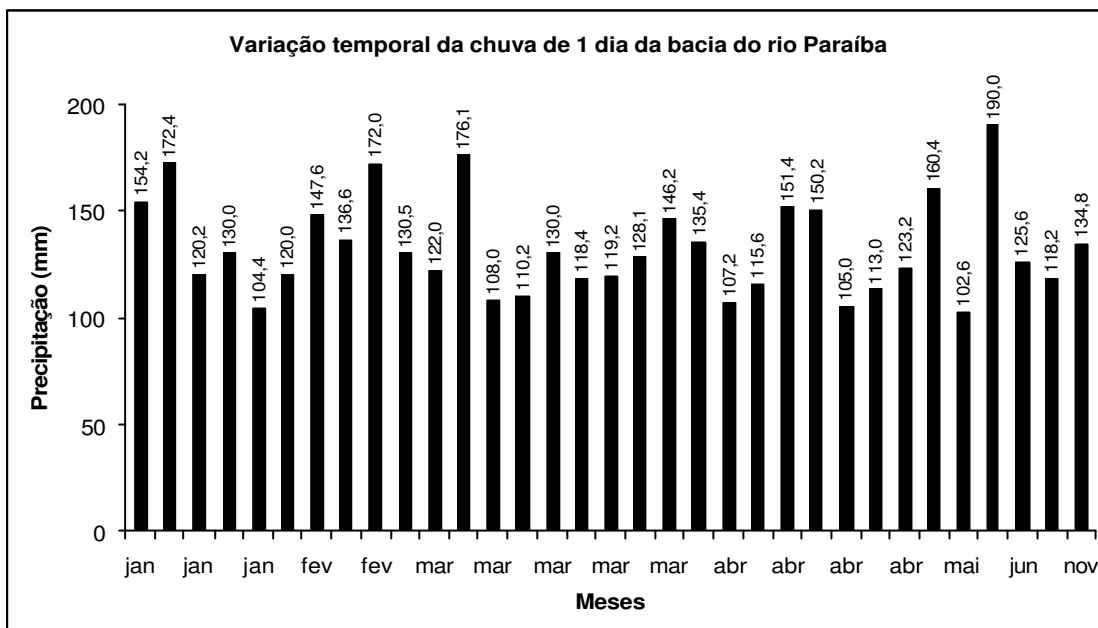
Figura 4.1 - Isoietas médias mensais da bacia do rio Paraíba para os meses de novembro (l) e dezembro (m).

No primeiro quadrimestre do ano (janeiro, fevereiro, março e abril), as chuvas se concentraram nos setores leste, oeste e centro-sul da bacia, tendo como os principais sistemas atuantes nesses meses os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sendo que o período de maior atuação dos VCAS, segundo Kousky e Gan (1981), ocorre nos meses de verão, enquanto que a atuação da ZCIT acontece nos meses de março e abril, de acordo com Uvo (1989). Em contra partida, no segundo quadrimestre (maio, junho, julho e agosto), os maiores valores de precipitação são observados no setor leste, devido a atuação dos Distúrbios de Leste (DL), como visto por Yamazaki e Rao (1977). Já o terceiro quadrimestre (setembro, outubro, novembro e dezembro) é marcado por características como observados no segundo quadrimestre, chuvas mais intensas no setor leste, para os meses de setembro e outubro, enquanto para os meses de novembro e dezembro os maiores valores de precipitação são observados nos setores leste, oeste e centro-sul, assim como no primeiro quadrimestre. Na Tabela 4.1 está contida a porcentagem das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias em relação a climatologia da bacia do rio Paraíba, gerada anteriormente.

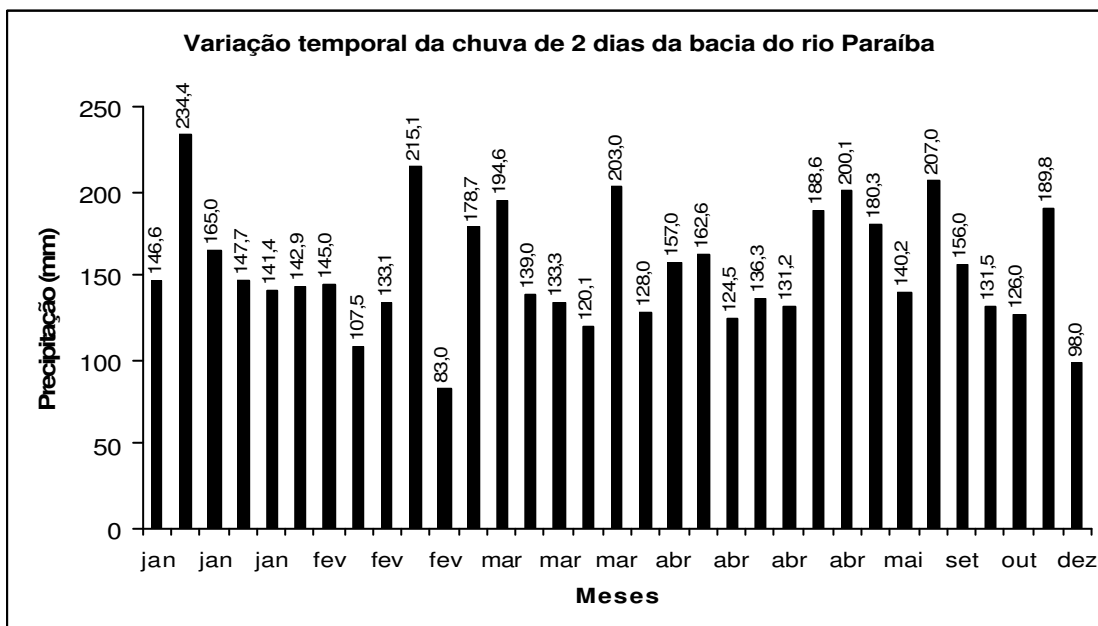
Tabela 4.1 – Porcentagem anual das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias em relação à climatologia dos municípios que compõem a bacia do rio Paraíba.

Municípios	Chuva 1 dia	Chuva 2 dias	Chuva 3 dias	Chuva 4 dias	Chuva 5 dias
Aroeiras	16,5 %	22,4 %	25,7 %	30,8 %	31,5 %
B.S. Miguel	27,6 %	31,3 %	23,6 %	29,3 %	31,0 %
Boa vista	33,1 %	20,1 %	26,3 %	27,8 %	32,7 %
Boqueirão	20,3 %	31,3 %	34,9 %	36,6 %	40,0 %
Cabaceiras	51,6 %	38,4 %	54,6 %	36,9 %	38,3 %
Camalaú	25,9 %	35,2 %	38,6 %	52,1 %	53,6 %
Campina grande	13,7 %	17,4 %	18,9 %	18,7 %	20,0 %
Caraúbas	40,0 %	54,7 %	58,6 %	63,3 %	39,4 %
Congo	25,3 %	28,4 %	36,7 %	32,8 %	30,7 %
Coxixola	27,8 %	41,7 %	40,9 %	49,5 %	50,1 %
C. E. Santo	9,4 %	11,7 %	13,6 %	14,3 %	15,9 %
Desterro	26,1 %	28,6 %	38,7 %	39,5 %	45,6 %
Fagundes	12,0 %	14,2 %	16,0 %	22,4 %	25,0 %
Gurjão	26,9 %	30,2 %	38,5 %	38,9 %	45,2 %
Ingá	17,1 %	18,8 %	21,2 %	27,4 %	28,0 %
Itabaiana	19,5 %	21,1 %	20,7 %	21,0 %	16,9 %
Juazeirinho	20,7 %	24,1 %	31,5 %	37,3 %	39,2 %
Mogeiro	15,9 %	17,5 %	19,1 %	18,4 %	13,7 %
Monteiro	19,3 %	21,1 %	29,9 %	36,6 %	38,3 %
Olivedos	27,6 %	22,8 %	29,9 %	31,6 %	31,7 %
Pilar	19,0 %	19,1 %	19,1 %	15,7 %	13,9 %
Pocinhos	39,6 %	31,4 %	37,7 %	41,7 %	47,7 %
Prata	19,7 %	28,7 %	22,3 %	24,5 %	29,0 %
R. S. Antonio	30,0 %	34,1 %	44,8 %	29,0 %	26,3 %
S. J. Cariri	32,0 %	25,7 %	29,4 %	38,9 %	31,8 %
S. J. Tigre	25,5 %	40,1 %	45,8 %	64,5 %	70,1 %
S. S. Umbuzeiro	21,6 %	30,4 %	34,6 %	40,3 %	41,3 %
Sape	15,0 %	18,9 %	23,7 %	24,4 %	24,9 %
Serra branca	33,1 %	33,5 %	31,9 %	40,1 %	41,4 %
Soledade	28,2 %	37,8 %	45,1 %	50,4 %	51,7 %
Sumé	20,2 %	22,8 %	28,0 %	31,6 %	30,4 %
Taperoá	23,6 %	31,1 %	36,4 %	40,3 %	46,2 %
Umbuzeiro	13,6 %	18,6 %	20,5 %	22,0 %	28,7 %
Salgadinho	36,6 %	39,6 %	53,9 %	54,6 %	72,9 %

Na Figura 4.2 que apresenta a variação temporal das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias, foi identificado que estas se concentraram predominantemente nos meses janeiro a abril. A contribuição percentual das chuvas para os referidos meses encontra-se apresentado na tabela 4.2. Esse comportamento sugere que durante esses meses os sistemas que podem estar relacionados com as chuvas intensas na bacia são os VCAS e ZCIT, como visto por Buzzi et al. (1995), que afirmou que chuvas intensas estão relacionadas, principalmente, por sistemas de meso e de grande escala.



(a)



(b)

Figura 4.2 – Variação temporal da bacia do rio Paraíba para as chuvas de 1 dia (a) e 2 dias (b).

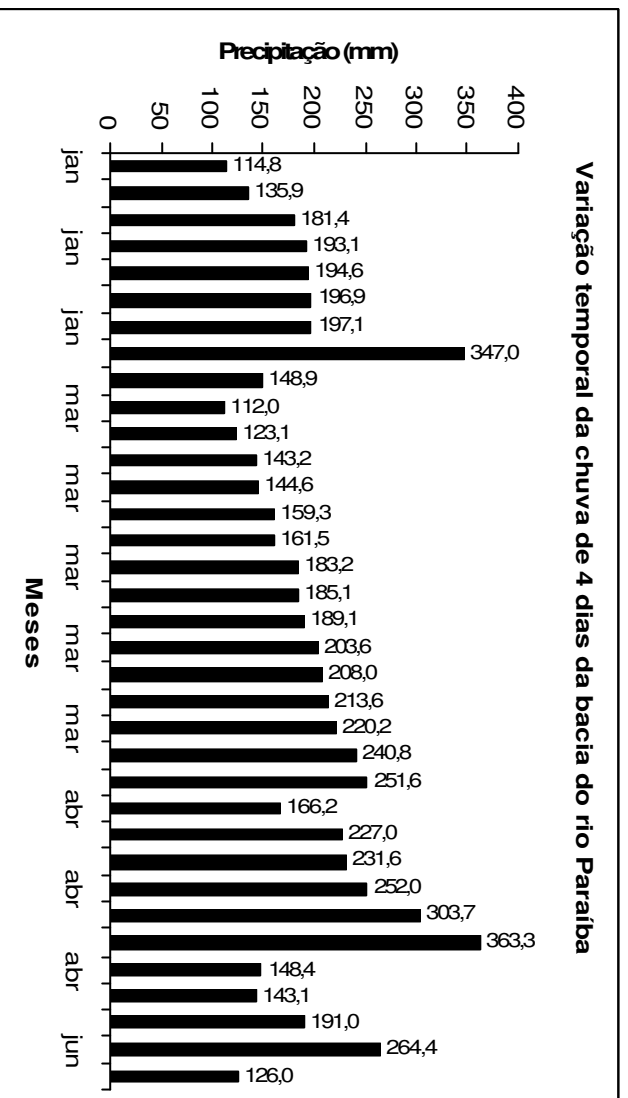
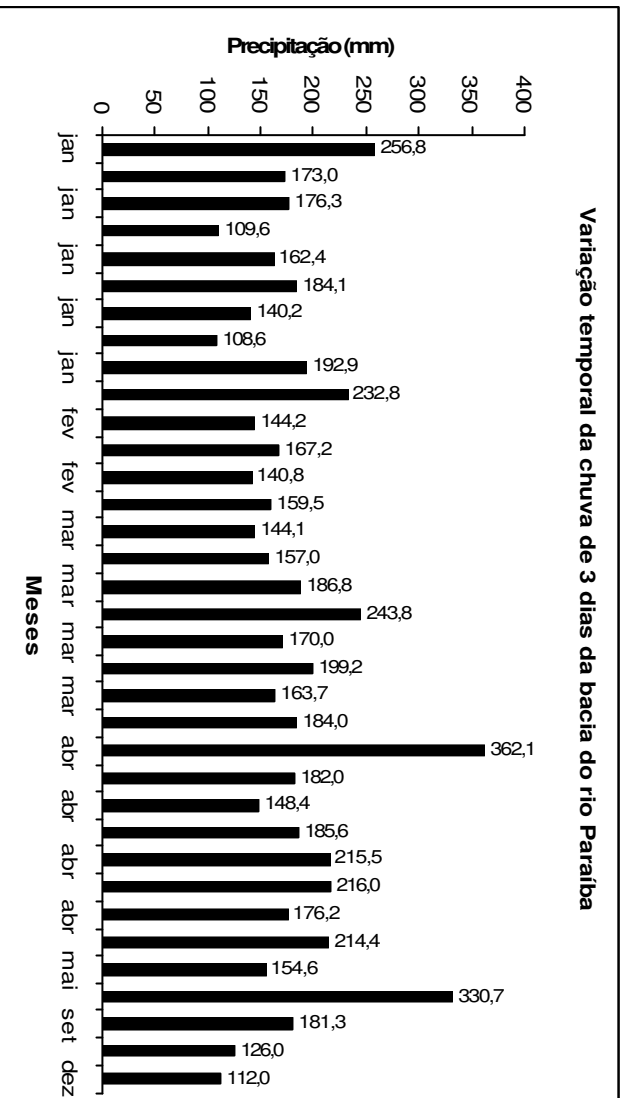
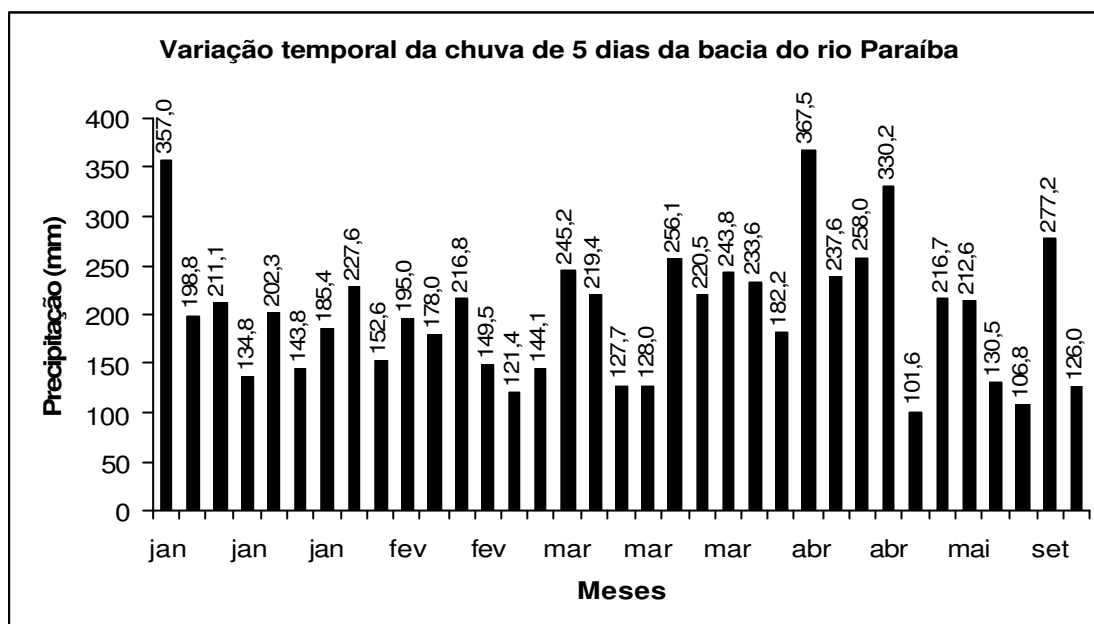


Figura 4.2 – Variação temporal da bacia do rio Paraíba para as chuvas de 3 dias (c) e 4 dias (d).



(e)

Figura 4.2 – Variação temporal da bacia do rio Paraíba para as chuvas de 5 dias (e).

Tabela 4.2 – Contribuição percentual da variação temporal das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias da bacia do rio Paraíba para os meses de janeiro a abril.

Variação temporal da chuva	Contribuição (%)	Meses
Chuva de 1 dia	82,9	jan – fev – mar - abr
Chuva de 2 dias	77,1	jan – fev – mar - abr
Chuva de 3 dias	88,6	jan – fev – mar - abr
Chuva de 4 dias	88,6	jan – mar - abr
Chuva de 5 dias	88,6	jan – fev – mar - abr

Como observado na Tabela 4.2 os meses mais significativos foram janeiro, fevereiro, março e abril. A partir desta averiguação foram plotados os mapas referente a esses meses para as chuvas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias (Figuras 4.3 a 4.6).

A região sudoeste da sub-bacia do Alto Paraíba teve a maior concentração das chuvas intensas no mês de janeiro, para as cinco categorias analisadas (Figura 4.3). Pontes et al. (2004) afirmaram que o mês de janeiro é o de maior contribuição de chuvas intensas para a bacia do rio Paraíba. Diferentemente do mês de janeiro, o mês de fevereiro apresentou variação em toda a bacia, indicando uma possível transição ou de junção de sistemas que se agrava com os efeitos locais da região. Mostrando que esses dois primeiros meses tiveram grande influência na precipitação intensa, como visto por Araújo (2005), que constatou uma maior concentração de chuvas intensas nos meses de janeiro e fevereiro para o ano de 2004. Para o mês de março verificou-se que as áreas preferenciais foram o leste da sub-bacia do baixo Paraíba, sul da sub-bacia do Taperoá e centro/sul da sub-bacia do alto Paraíba, com exceção da chuva de 1 dia, com concentração apenas no sul da sub-bacia do Taperoá. Finalmente, a variação da chuva intensas para o mês de abril, observou-se grande variabilidade nas sub-bacias do Taperoá, alto e baixo Paraíba, sendo a menor variabilidade para o médio Paraíba. Com isso pode-se perceber a grande variabilidade das chuvas na parte oeste da bacia do rio Paraíba, sugerindo assim a atuação da ZCIT, como sistema atuante nesta época e fornecedor de chuva para a região, como visto por Pontes et al. (2004), afirmou que as chuvas intensas ocorridas na bacia do rio Paraíba são de sistemas de meso ou grande escala, com evidência também a esse sistema.

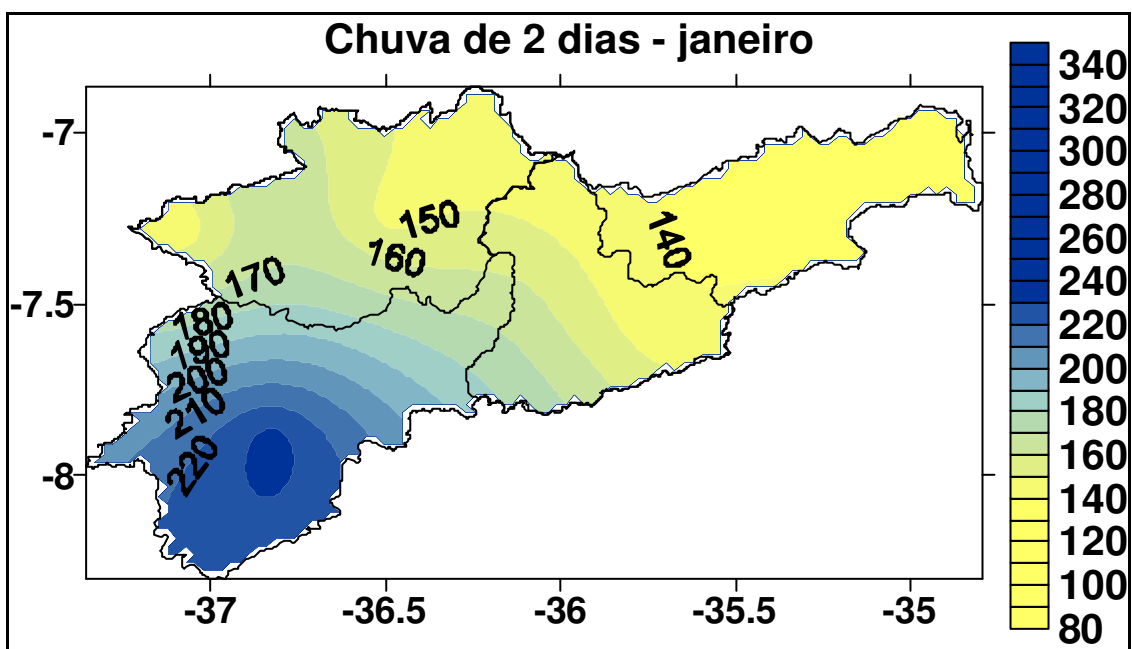
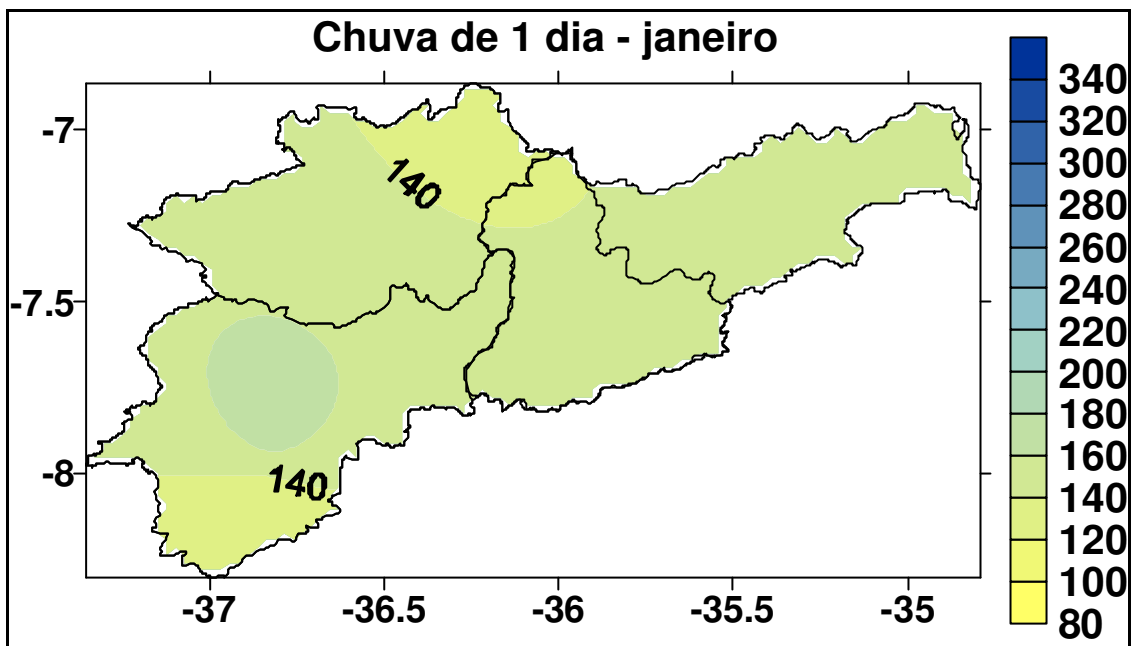


Figura 4.3 – Variação espacial das chuvas para o mês de janeiro de 1 dia (a) e 2 dias (b).

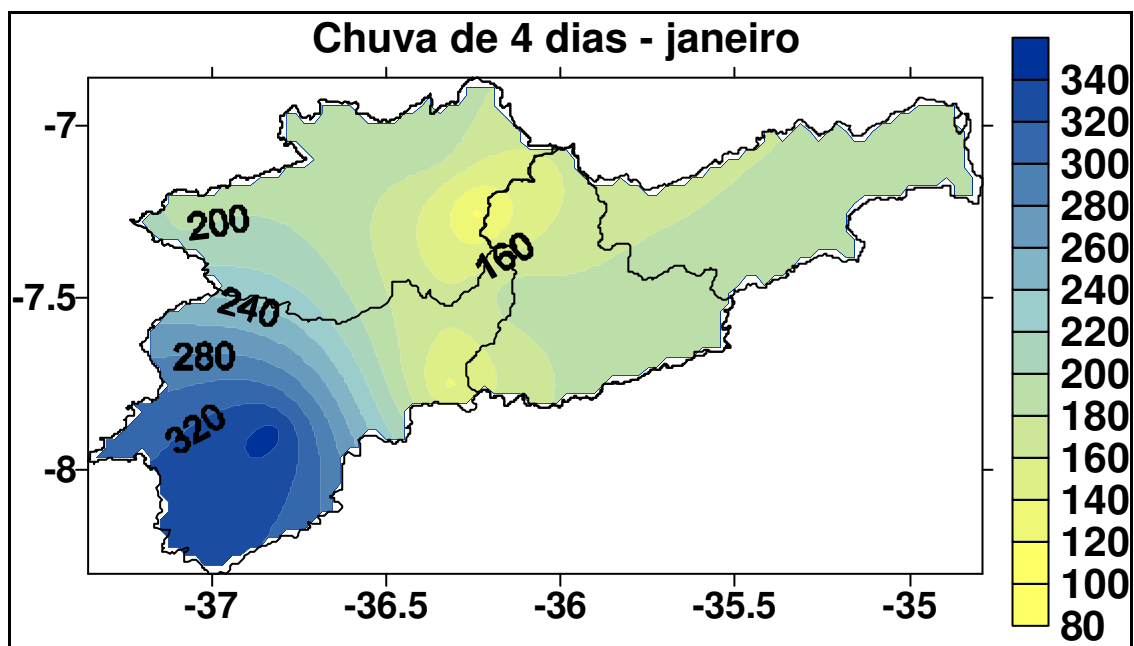
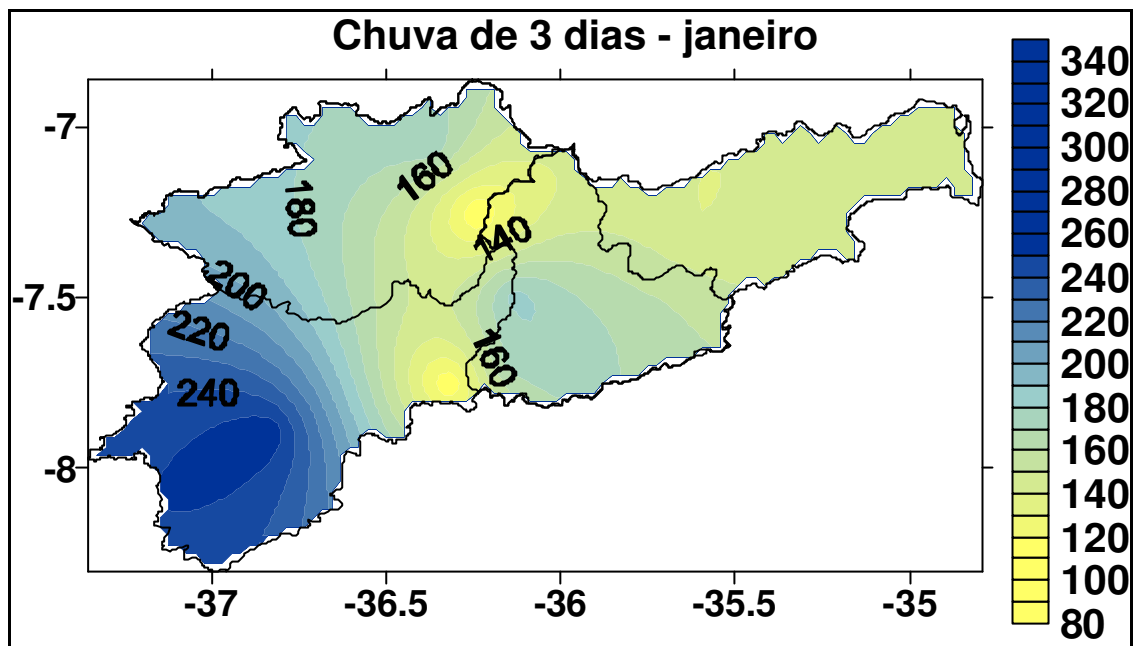


Figura 4.3 – Variação espacial das chuvas para o mês de janeiro de 3 dias (c) e 4 dias (d).

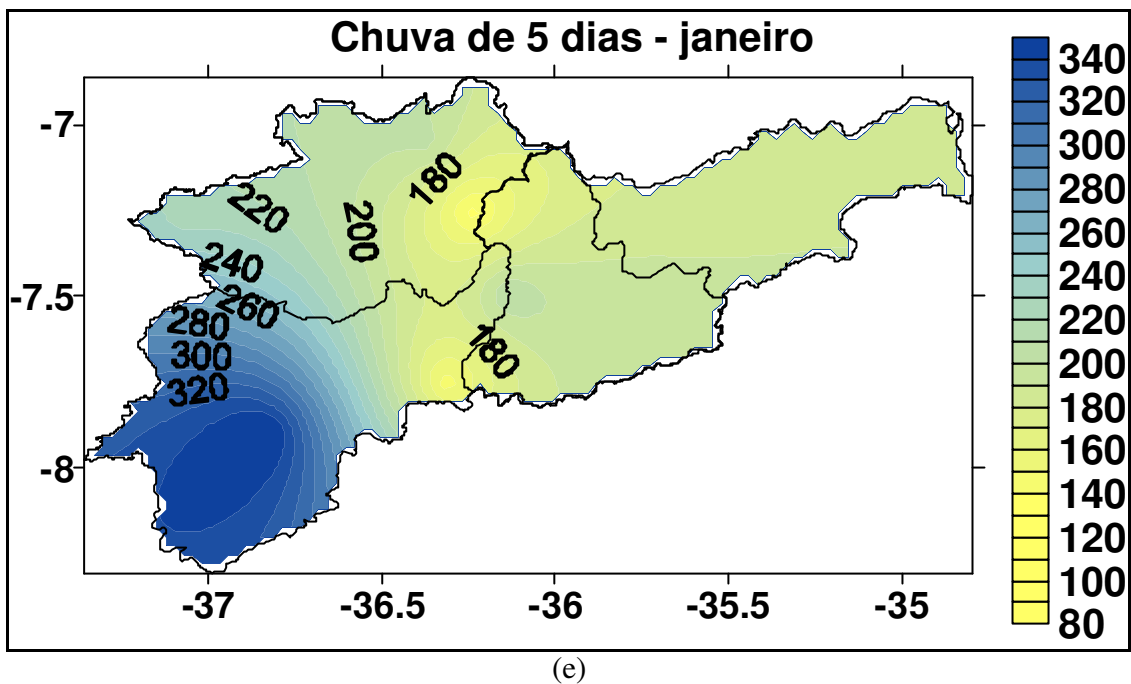


Figura 4.3 – Variação espacial das chuvas para o mês de janeiro de 5 dias (e).

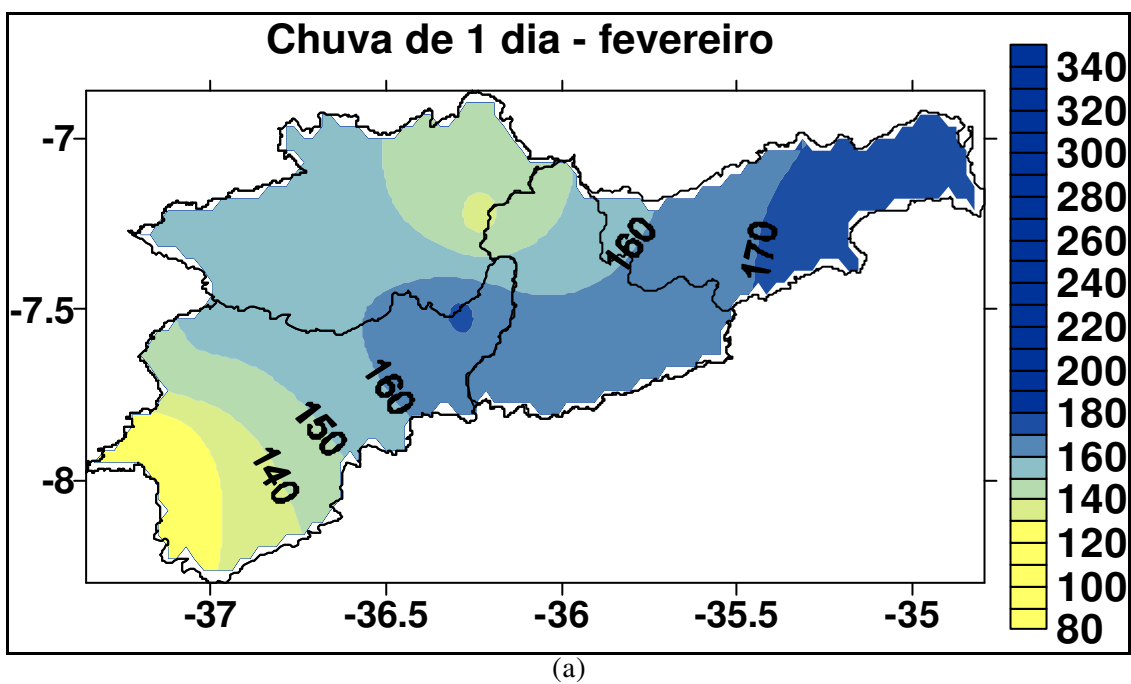


Figura 4.4 – Variação espacial das chuvas para o mês de fevereiro de 1 dia (a).

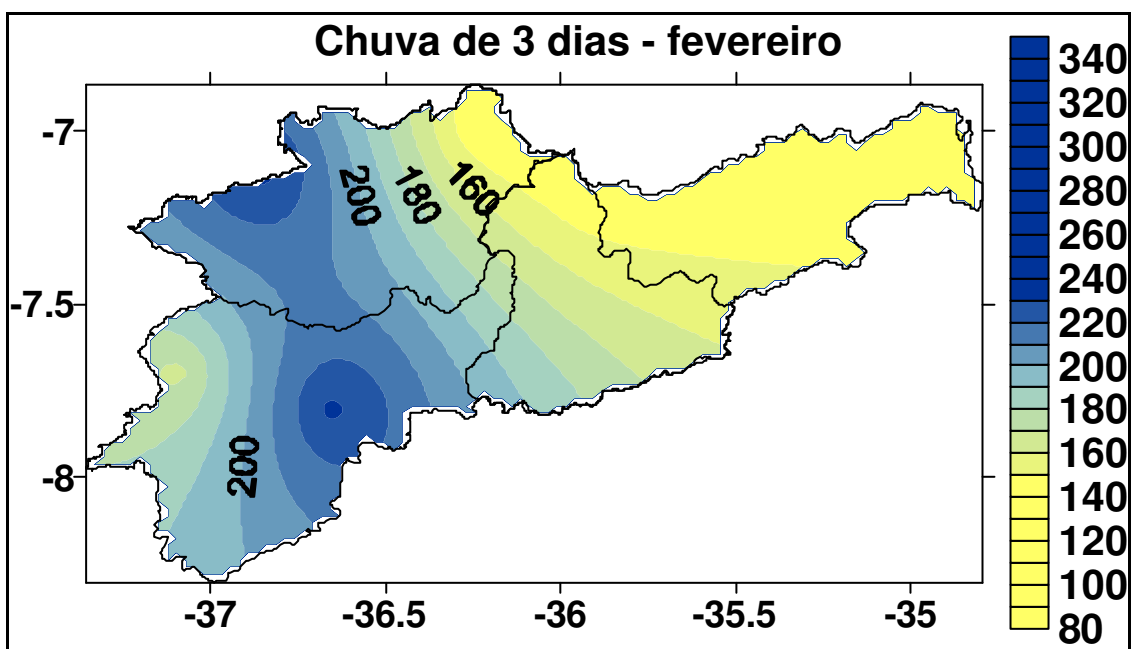
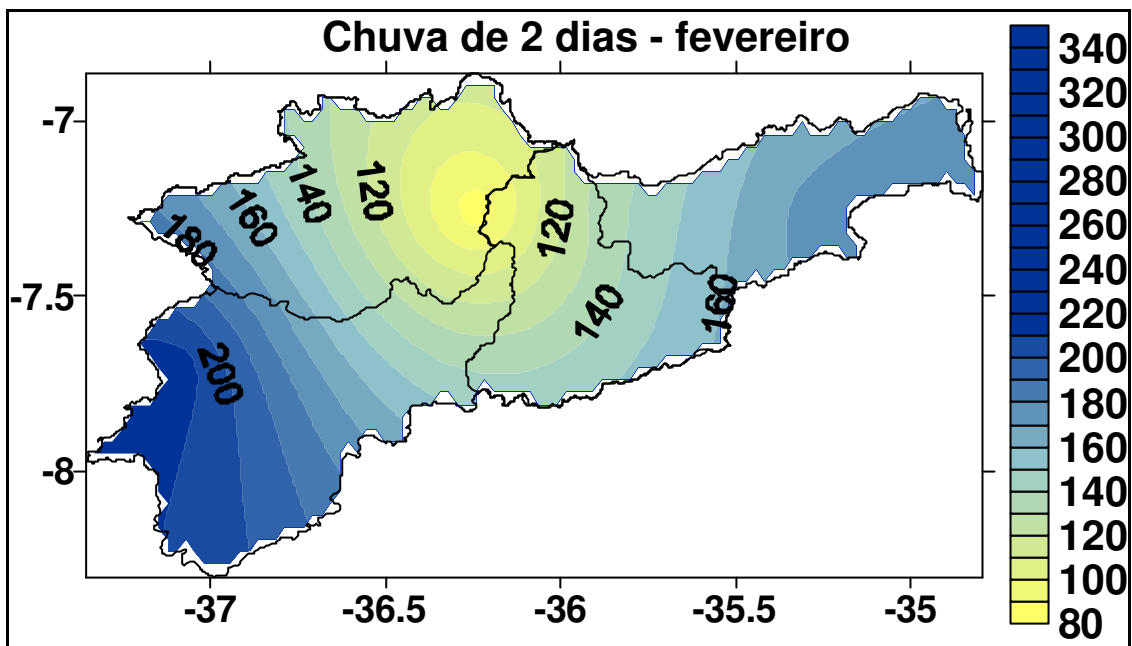


Figura 4.4 – Variação espacial das chuvas para o mês de fevereiro de 2 dias (b) e 3 dias (c).

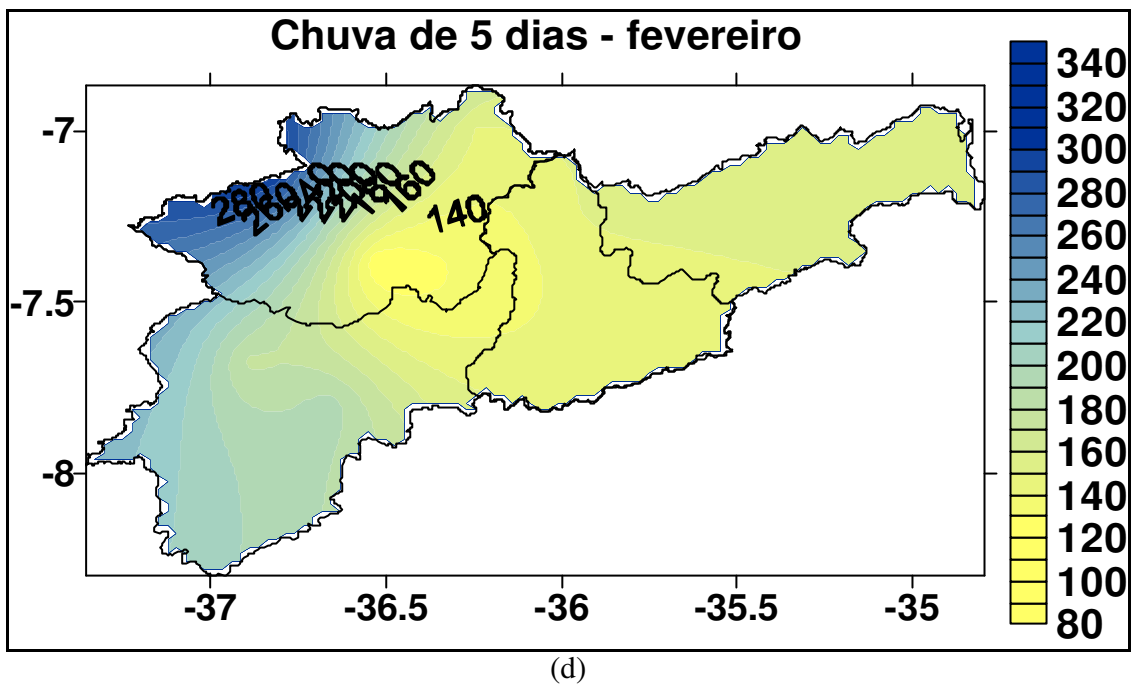


Figura 4.4 – Variação espacial das chuvas para o mês de fevereiro de 5 dias (d).

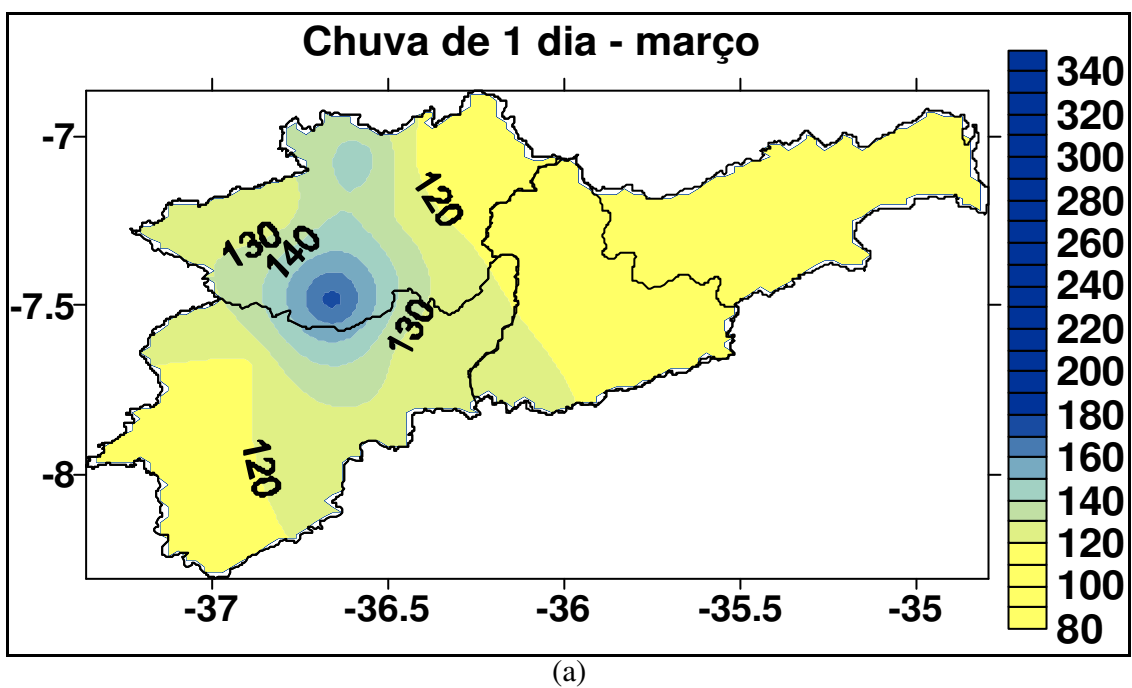
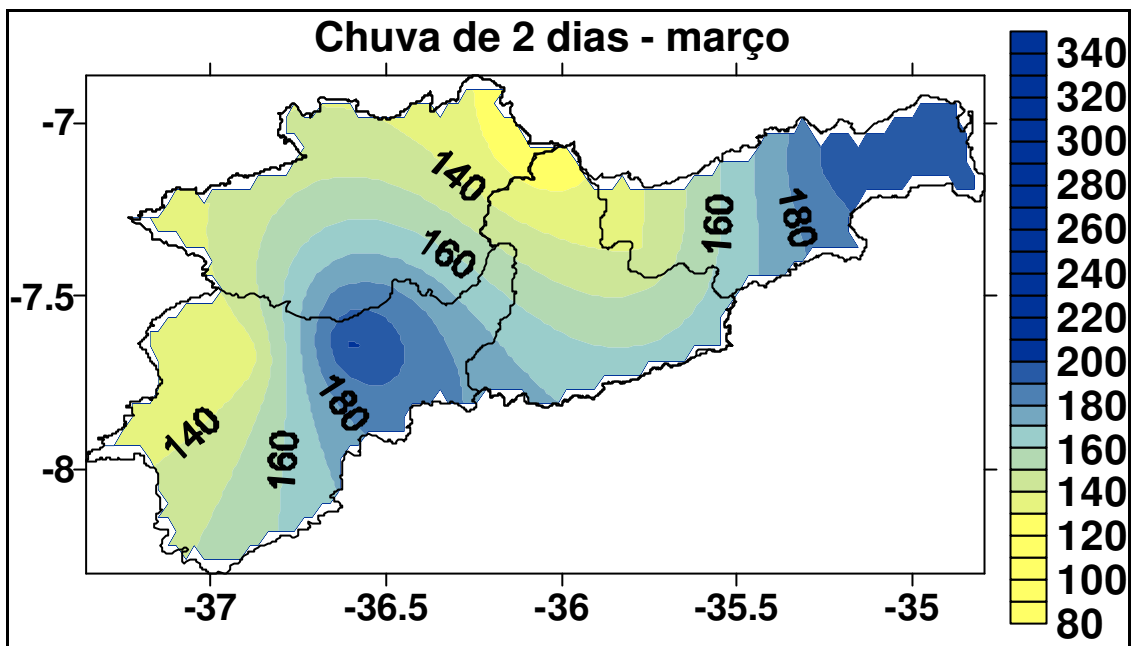
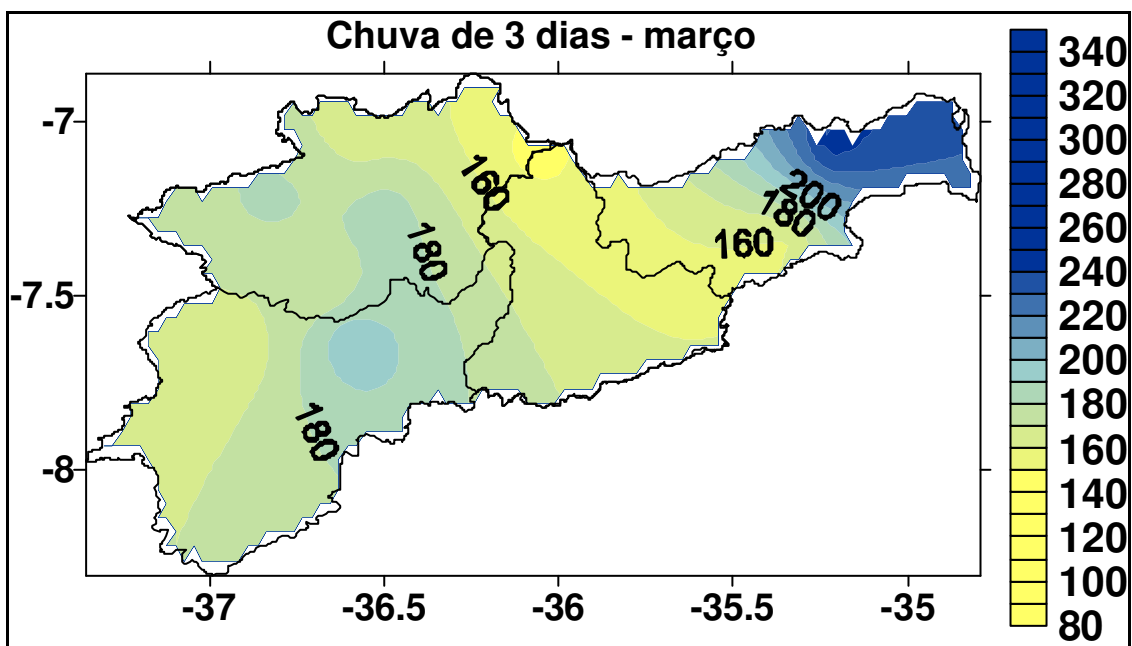


Figura 4.5 – Variação espacial das chuvas para o mês de março de 1 dia (a).

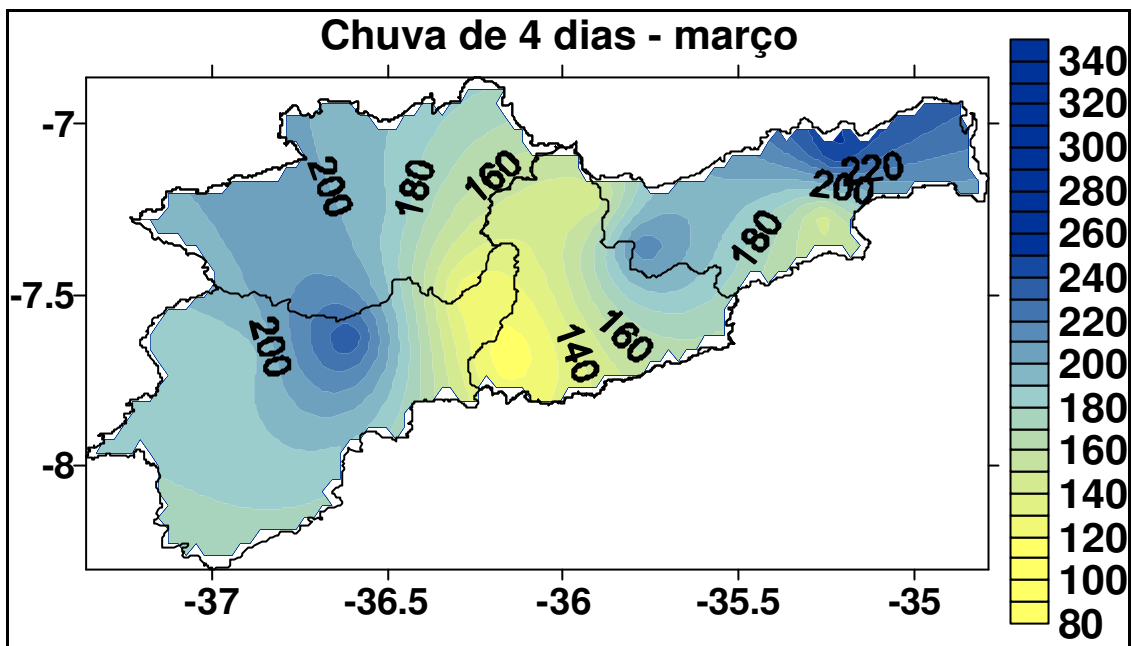


(b)

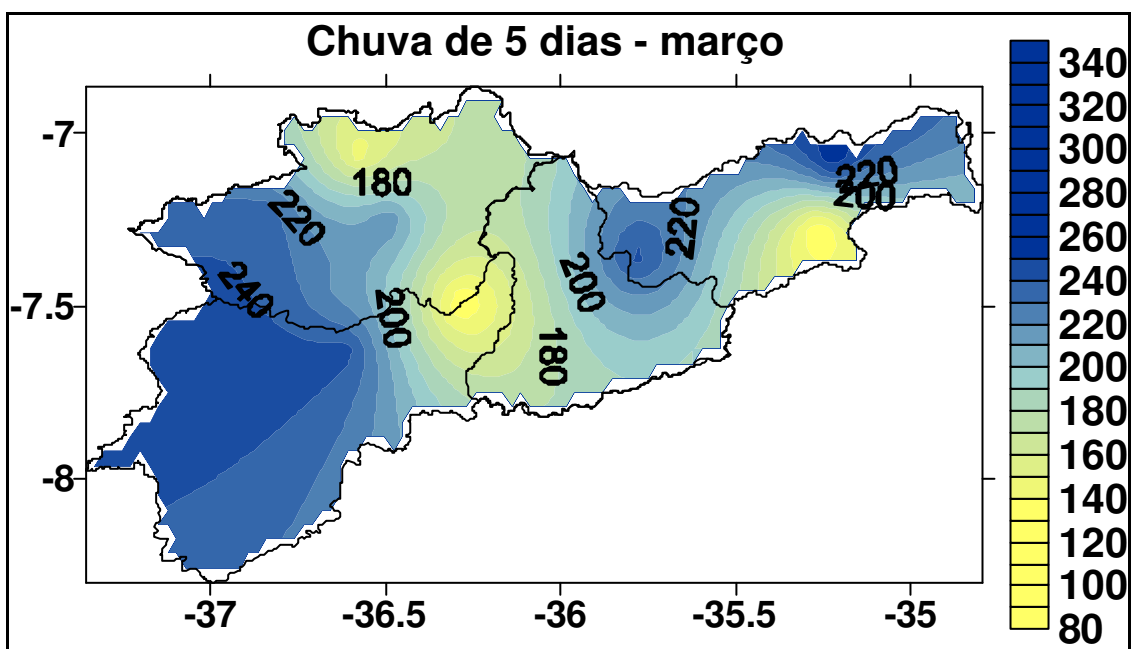


(c)

Figura 4.5 – Variação espacial das chuvas para o mês de março de 2 dias (b) e 3 dias (c).



(d)



(e)

Figura 4.5 – Variação espacial das chuvas para o mês de março de 4 dias (d) e 5 dias (e).

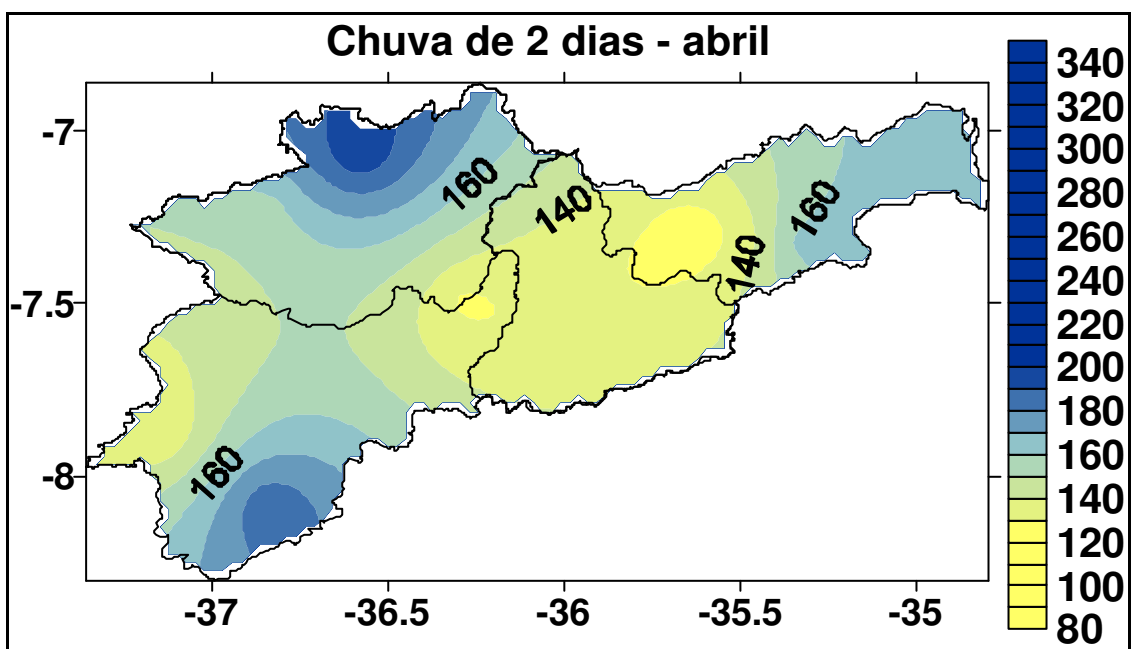
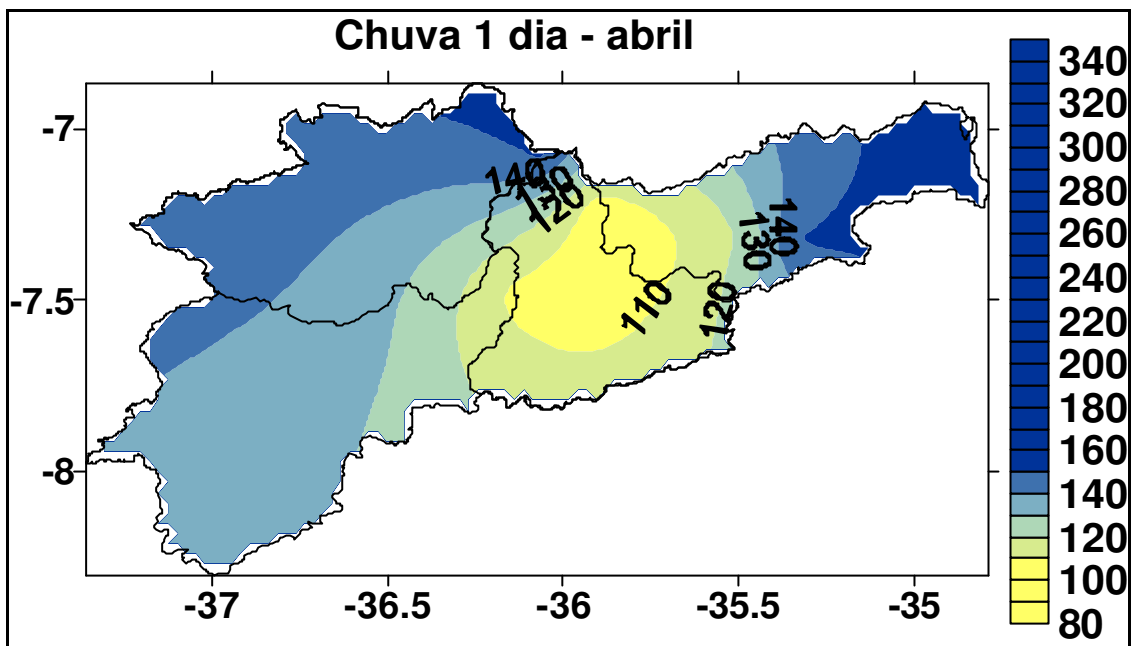
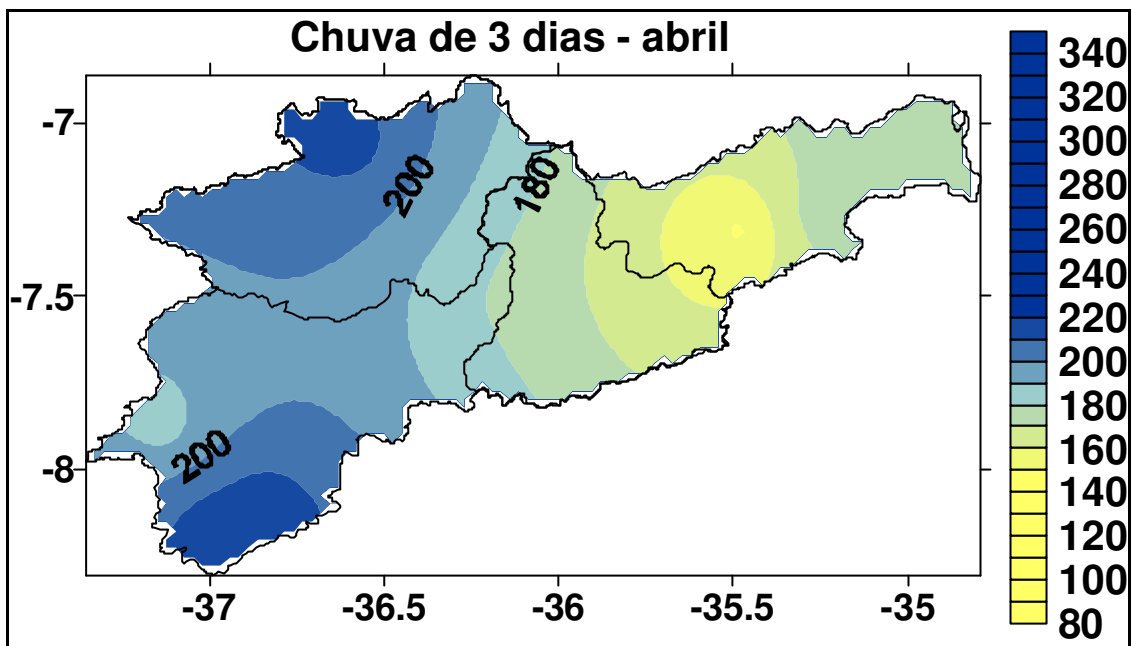
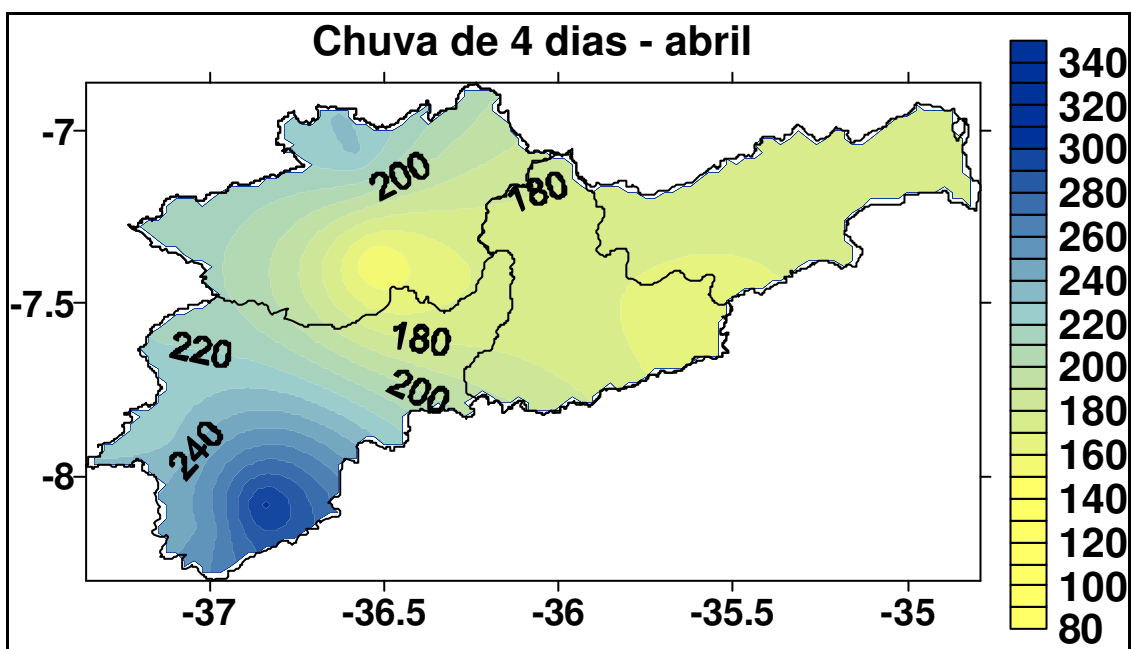


Figura 4.6 – Variação espacial das chuvas para o mês de abril de 1 dia (a) e 2 dias (b).



(c)



(d)

Figura 4.6 – Variação espacial das chuvas para o mês de abril de 3 dias (c) e 4 dias (d).

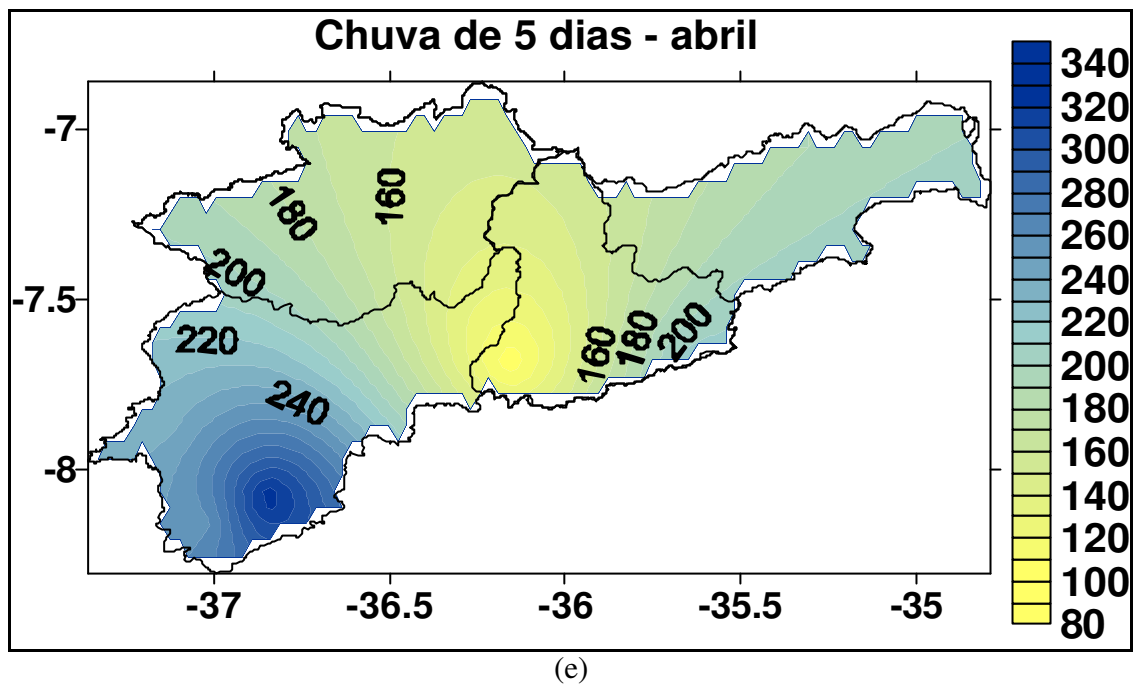
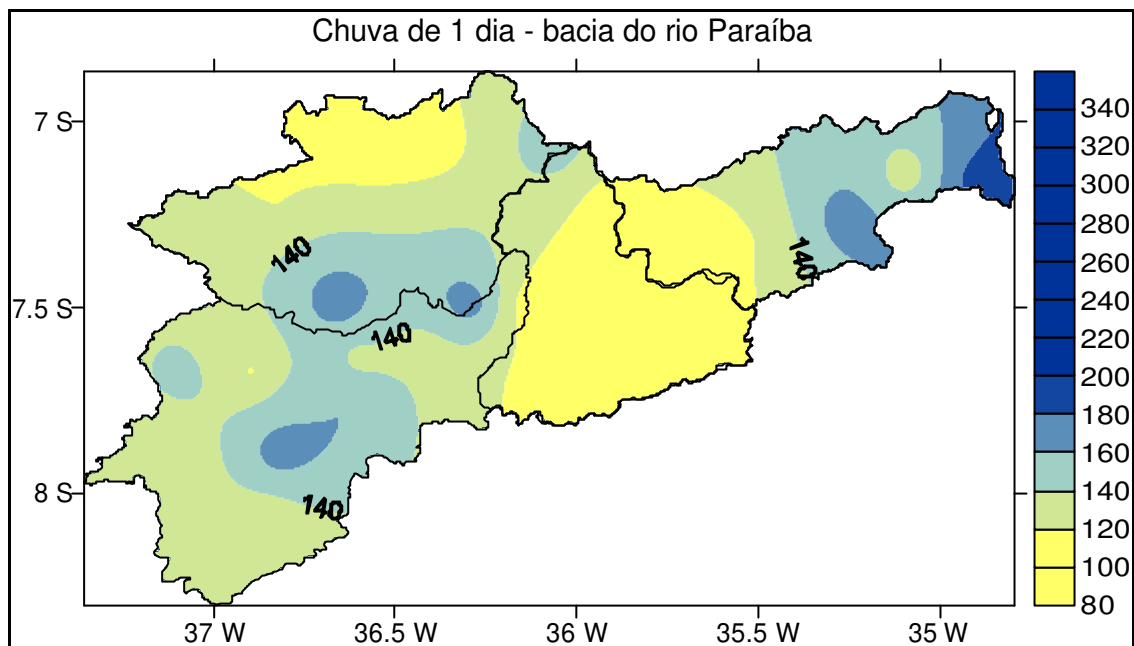
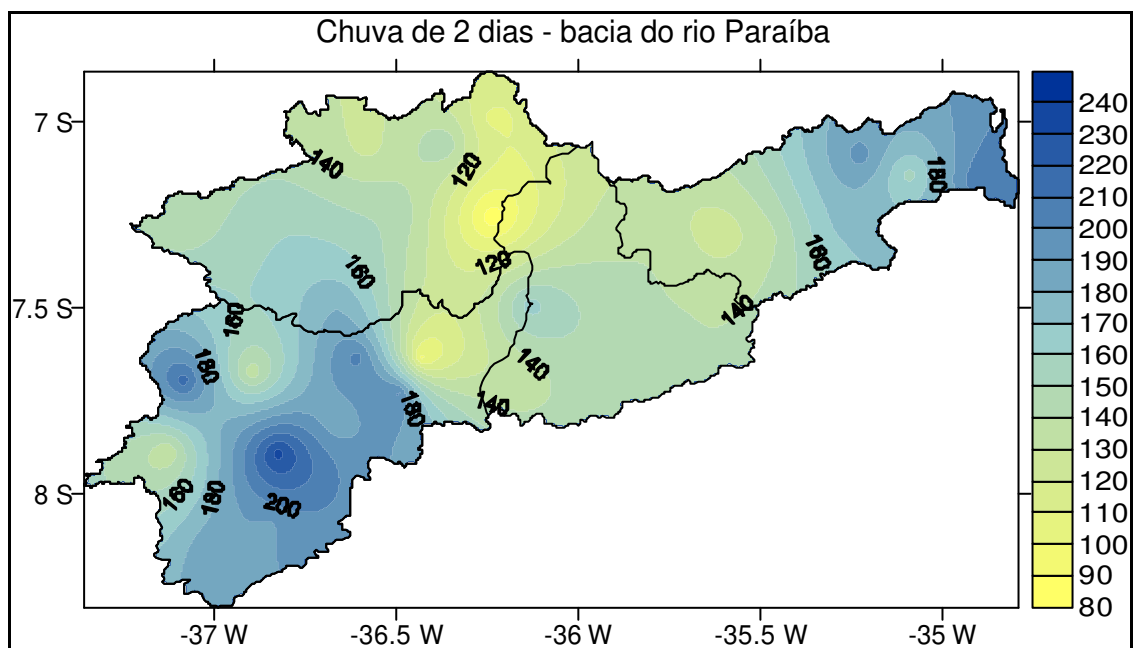


Figura 4.6 – Variação espacial das chuvas para o mês de abril de 5 dias (e).

A variação espacial das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias apresentado na Figura 4.7 mostra que para a chuva de 1 dia os maiores valores se concentraram nos setores leste da sub-bacia do baixo Paraíba, sul da sub-bacia do Taperoá e região central da sub-bacia do alto Paraíba. No caso da chuva de 2 dias, observa-se o mesmo comportamento, porém a área de abrangência se estendeu até o sul da sub-bacia do alto Paraíba. Para a chuva de 3 dias, os setores de maior concentração foram o leste da sub-bacia do baixo Paraíba e centro/sul da sub-bacia do alto Paraíba. Comportamento análogo ao da chuva de 3 dias é observado para as chuvas de 4 e 5 dias, com alguma ressalva a chuva de 4 dias, e a que preferencialmente não ocorreu no mês de fevereiro, Tabela 4.2. Em geral observa-se maior atuação das chuvas na região leste da sub-bacia do baixo Paraíba, sul da sub-bacia do Taperoá e centro/sul da sub-bacia do alto Paraíba. Com picos observados na região sudoeste da sub-bacia do alto Paraíba, sugere-se que esse máximo observado possa estar associado ao relevo local e/ou perturbações de frentes.

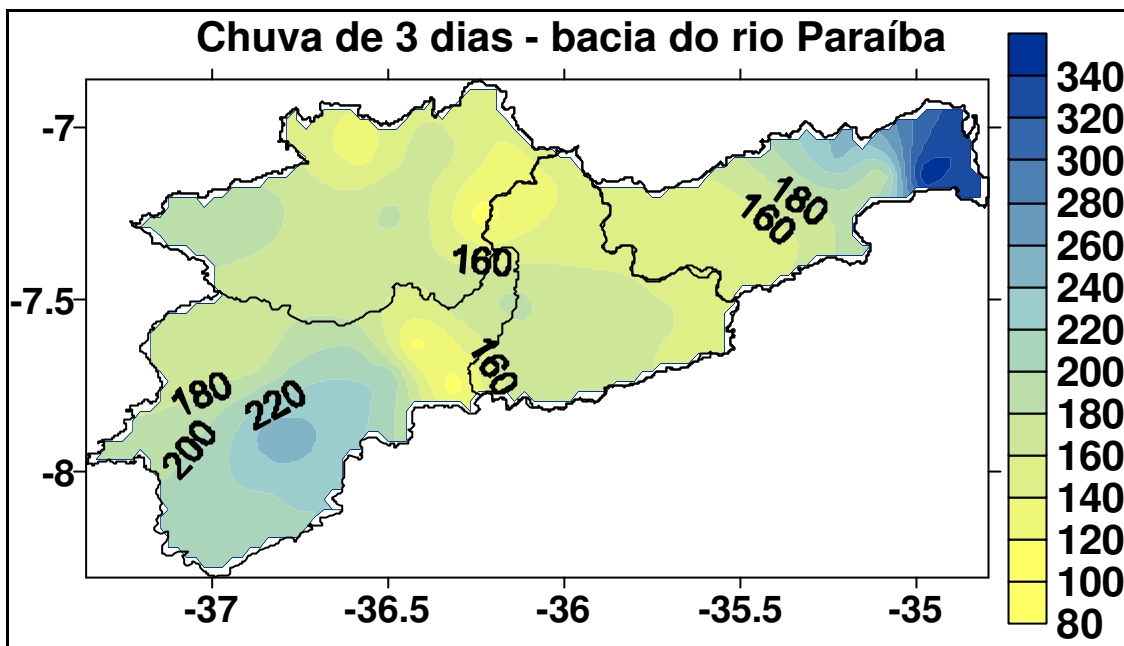


(a)

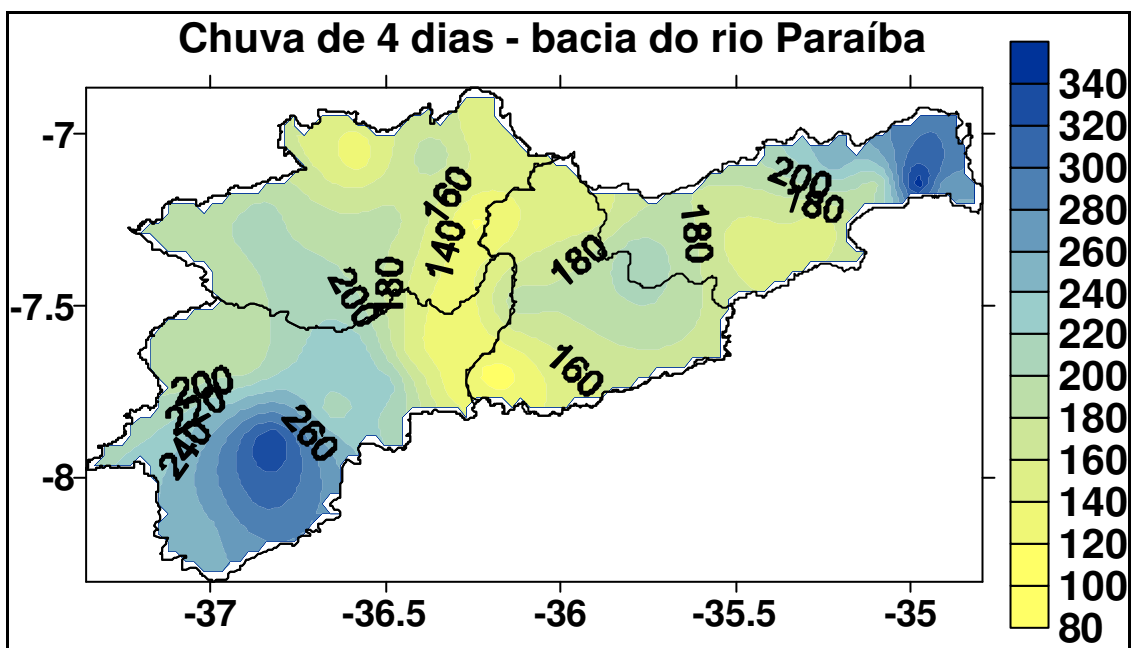


(b)

Figura 4.7 – Variação espacial anual das chuvas da bacia do rio Paraíba de 1 dia (a) e 2 dias (b).



(c)



(d)

Figura 4.7 – Variação espacial anual das chuvas da bacia do rio Paraíba de 3 dias (c) e 4 dias (d).

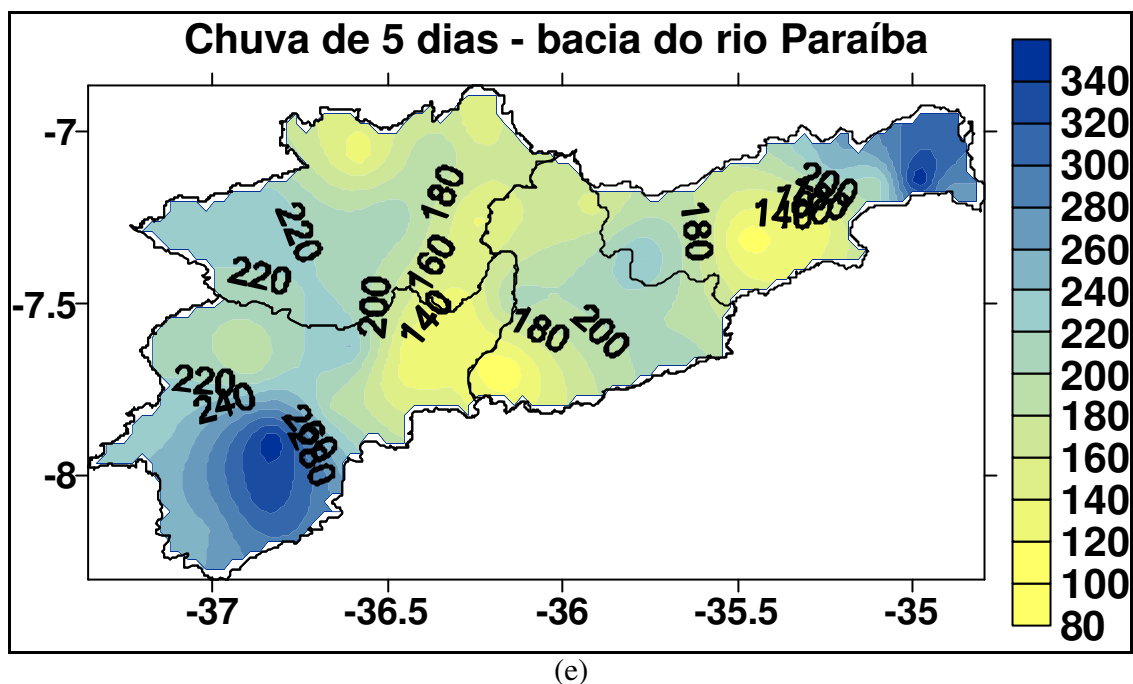
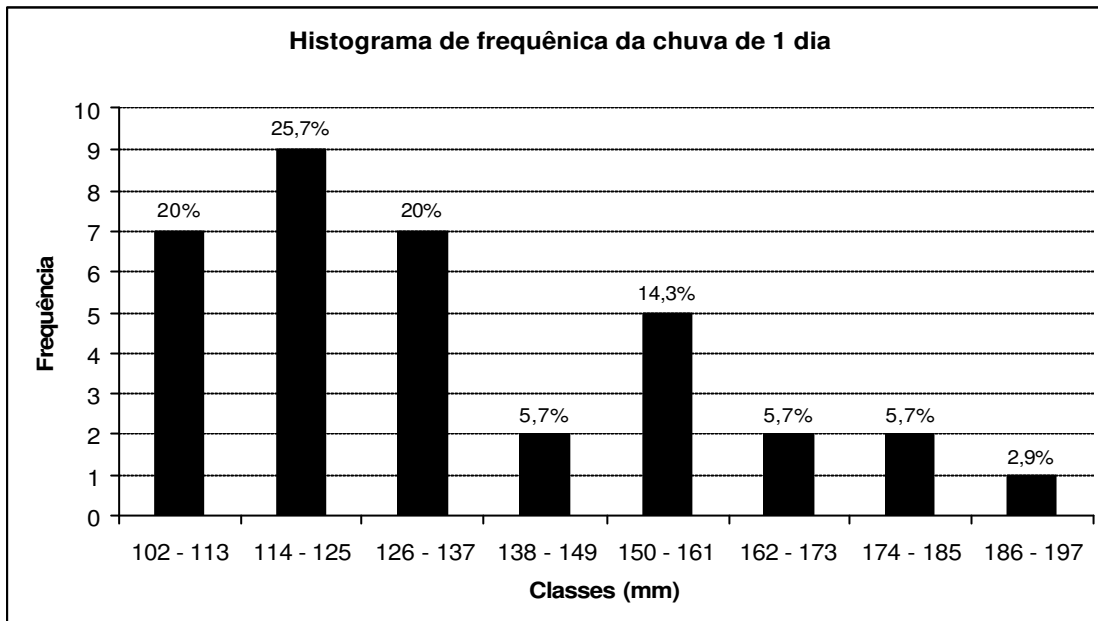
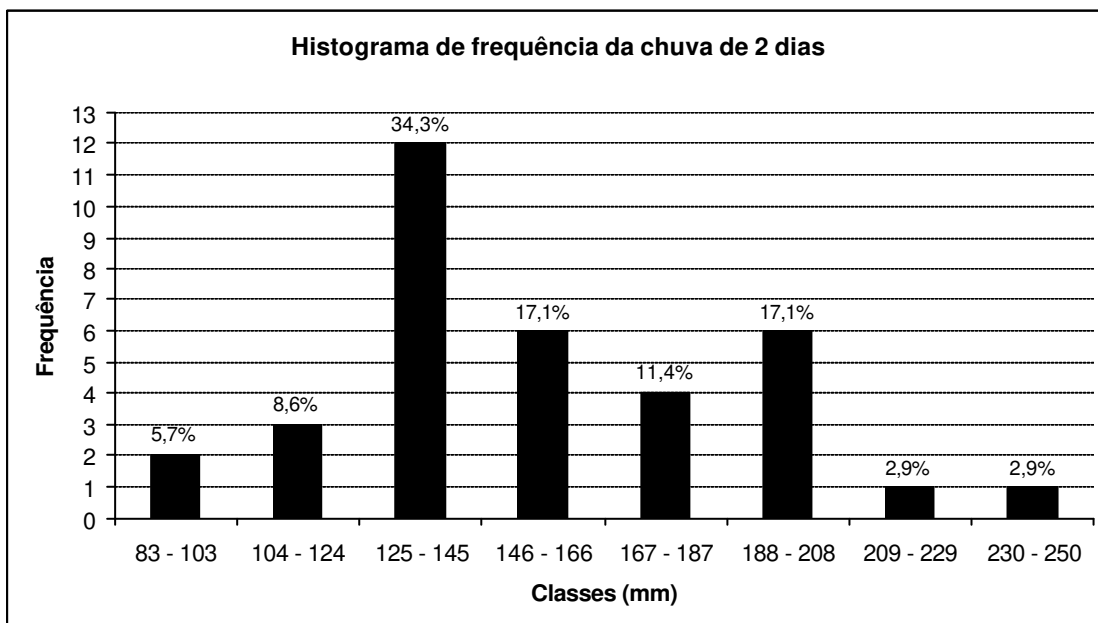


Figura 4.7 – Variação espacial anual das chuvas da bacia do rio Paraíba de 5 dias (e).

A partir dos dados de chuvas intensas da bacia do rio Paraíba foram gerados histogramas de frequência para as chuvas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias, distribuídas por classes, Figura 4.8. Em seguida, ajustou-se essas chuvas à Distribuição de Gumbel, como visto por Osbon et al. (1980). O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para averiguar a adequação dos dados utilizados à distribuição de probabilidade. Os resultados indicam que a distribuição de probabilidade é adequada, pois o teste indica valores entre 0,12 e 0,18, coerente com o tamanho da amostra de dados (N=33) e nível de significância de 20%, citados em Material e Métodos. A Figura 4.9 resume o ajuste das chuvas intensas da bacia do rio Paraíba à FDP de Gumbel.

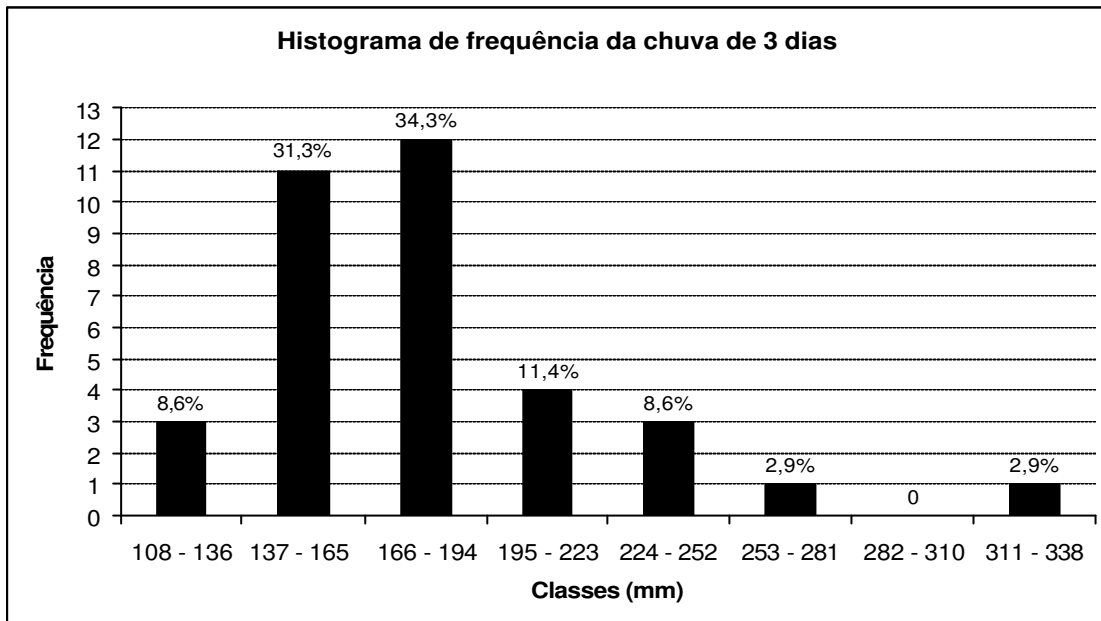


(a)

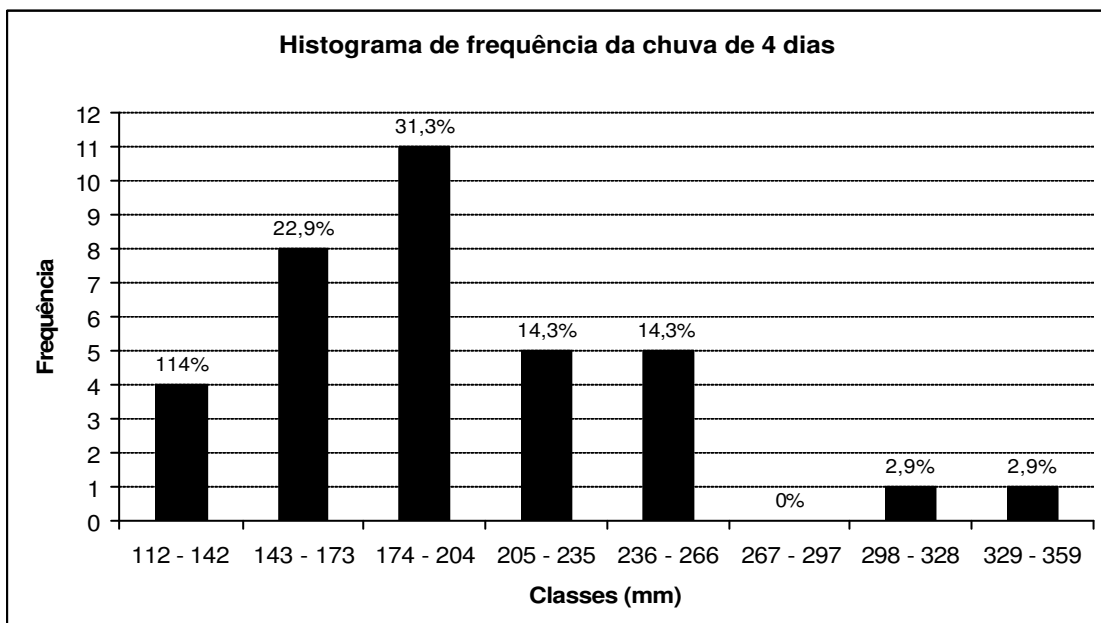


(b)

Figura 4.8 – Histograma de frequências das chuvas intensas de 1 dia (a) e 2 dias (b).

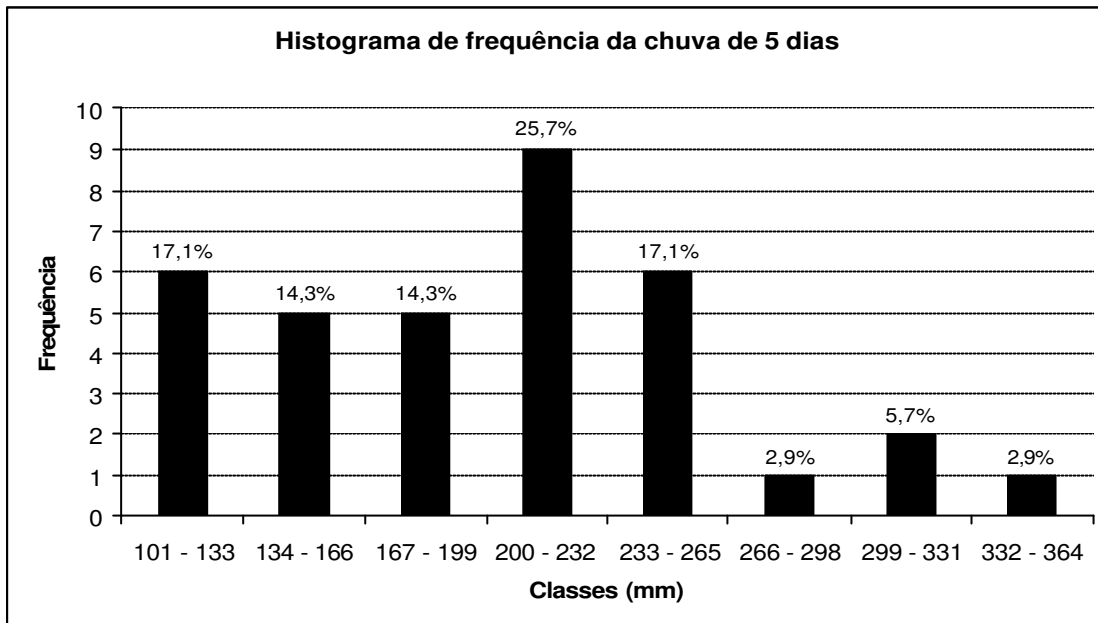


(c)



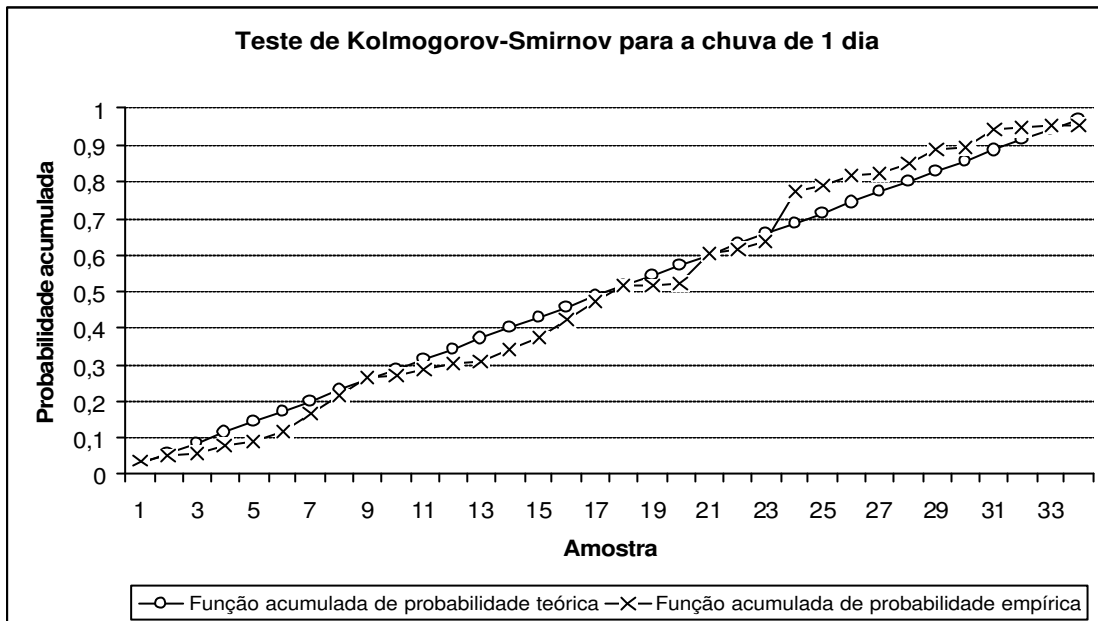
(d)

Figura 4.8 – Histograma de frequências das chuvas intensas de 3 dias (c) e 4 dias (d).

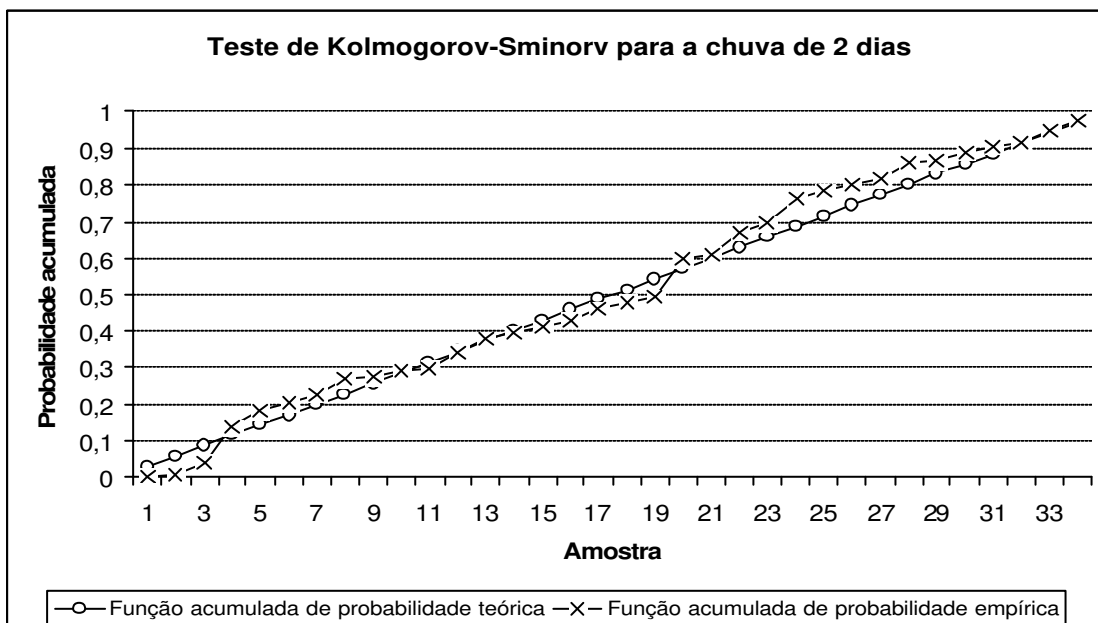


(e)

Figura 4.8 – Histograma de frequências das chuvas intensas de 5 dias (e).

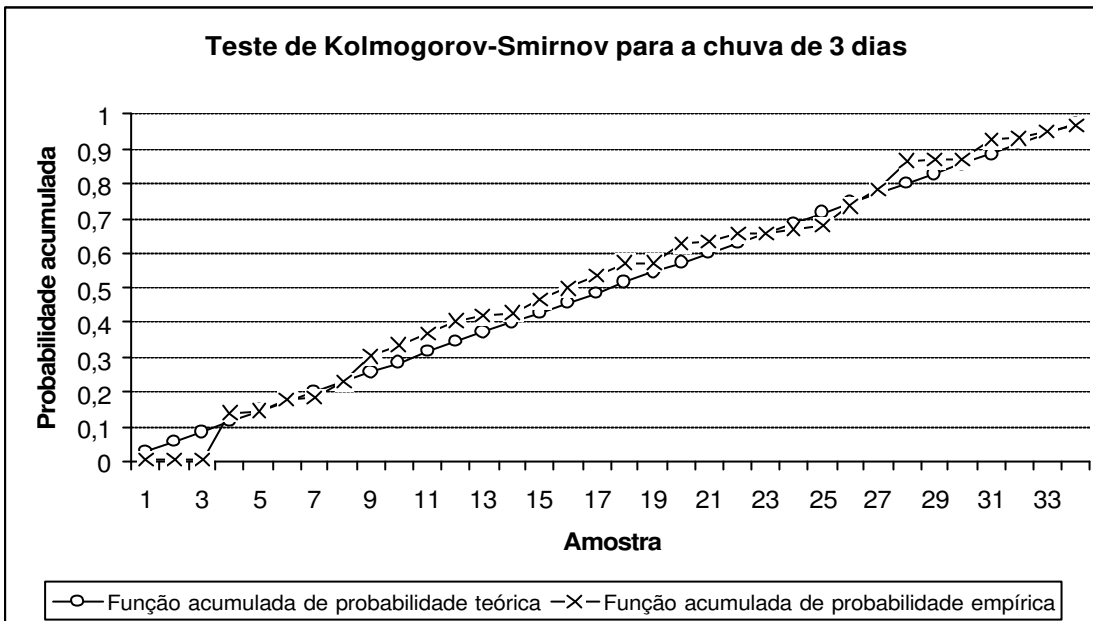


(a)

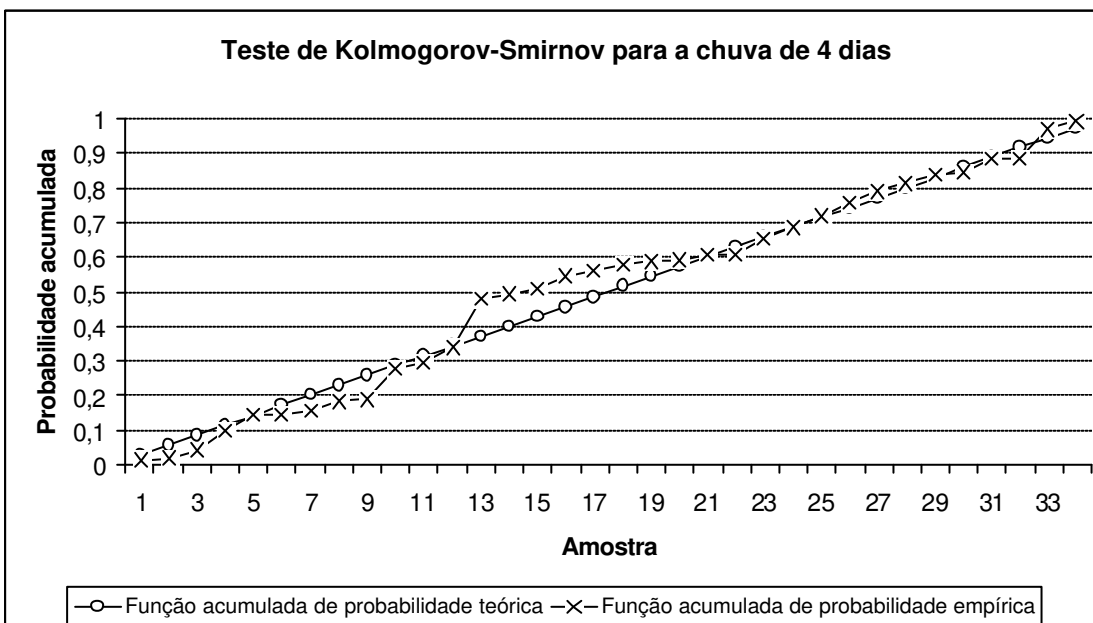


(b)

Figura 4.9 - Teste Kolmogorov-Smirnov das chuvas de 1 dia (a) e 2 dias (b).

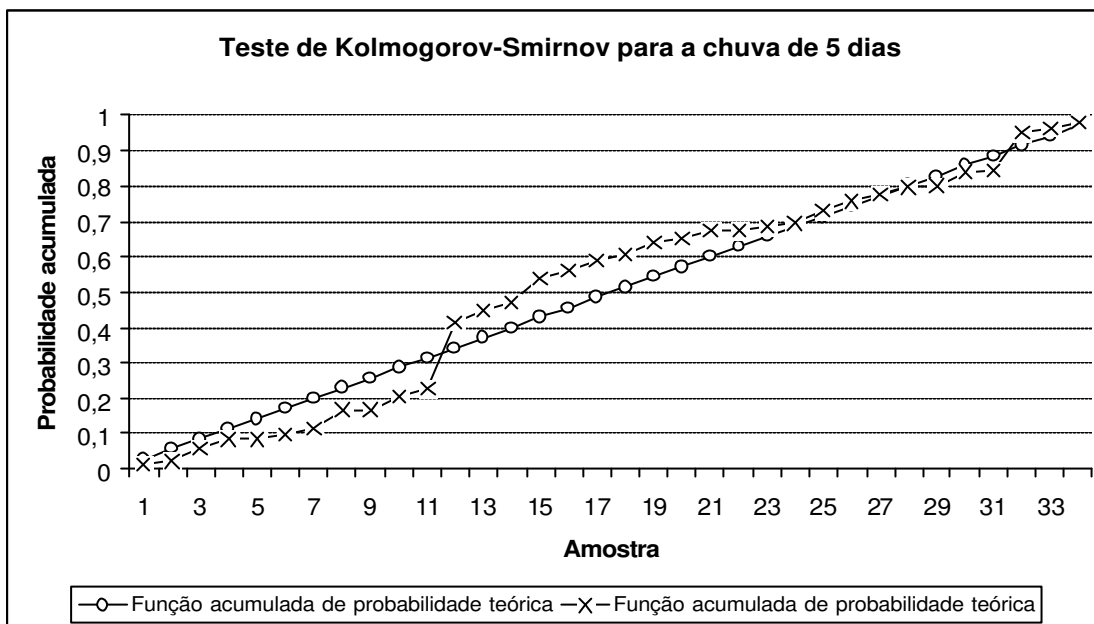


(c)



(d)

Figura 4.9 - Teste Kolmogorov-Smirnov das chuvas de 3 dias (c) e 4 dias (d).



(e)

Figura 4.9 - Teste Kolmogorov-Smirnov das chuvas de 5 dias (e).

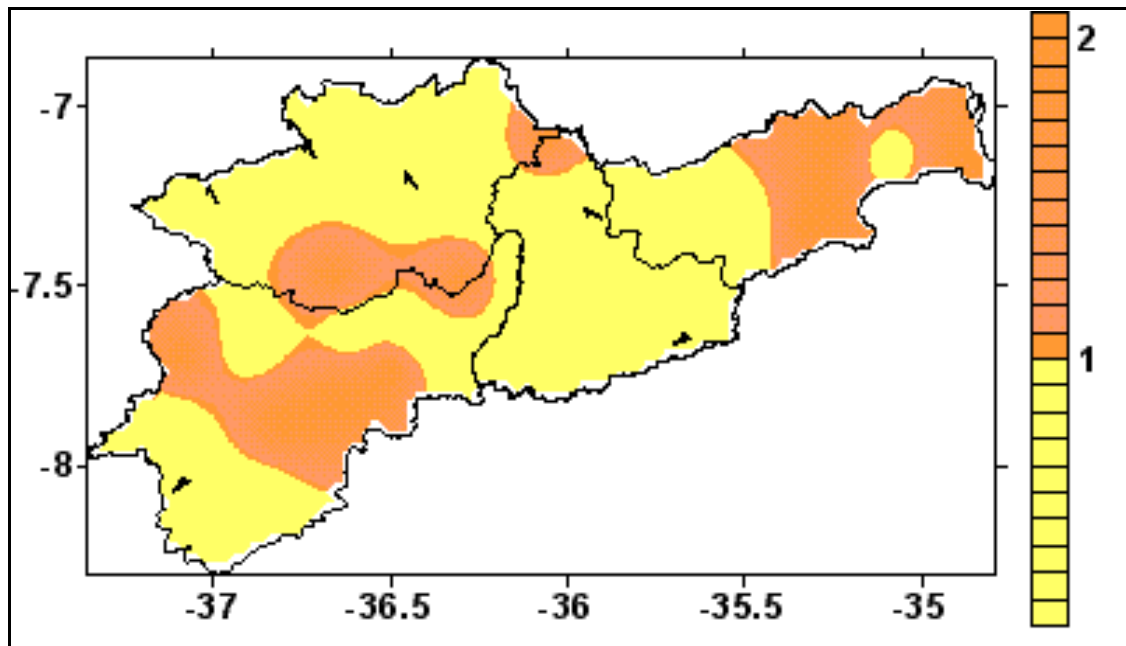
Utilizando a mesma série de dados das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias para a bacia do rio Paraíba, utilizou-se a “cluster analysis” para identificar as regiões de maior ocorrência para cada categoria de chuva intensa, Figura 4.10.

A variação da chuva de 1 dia foi dividida em dois grupos. No grupo 1, que os valores concentram-se no oeste da sub-bacia do baixo Paraíba, em quase toda sub-bacia do médio Paraíba, excerto no setor norte da mesma, setores norte e oeste da sub-bacia do Taperoá e setores nordeste e sudoeste da sub-bacia do alto Paraíba. O grupo 2 os setores tem o mesmo comportamento da Figura 4.7. (a), que mostra a variabilidade espacial da chuva de 1 dia para toda a bacia do rio Paraíba, no entanto para os valores de maior valor da chuva intensa na região.

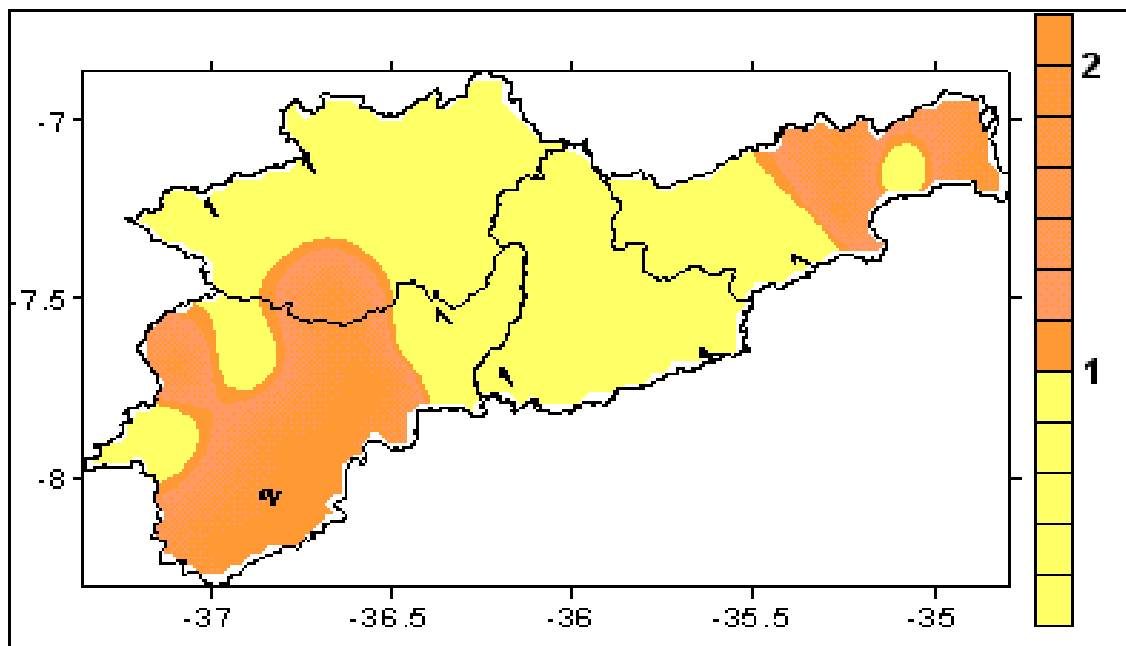
No caso da chuva de 2 dias, a “cluster analysis” dividiu em dois grupos também, porém com maior abrangência nos setores da sub-bacia do alto Paraíba e diminuição no setor norte da sub-bacia do médio Paraíba. Para a chuva de 3 dias, dividiu-se a bacia em 4 grupos, com o grupo 1 mais abrangente, atuando nos setores sul da sub-bacia do baixo Paraíba, setor centro/sul da sub-bacia do médio Paraíba, setores oeste/norte da sub-bacia do Tapeorá e setores norte/oeste da sub-bacia do alto Paraíba. E os demais Grupos, ou seja, grupo 2, 3 e 4 atuando na parte leste da sub-bacia do baixo Paraíba e região centro/sul da sub-bacia do alto Paraíba, excerto uma maior espacialização do grupo 2, que atua até o norte da sub-bacia do médio Paraíba.

Com maior quantidades de grupos, a chuva de 4 dias, dividiu-se em 5 grupos, grupo 1 setor sul da sub-bacia do baixo Paraíba, norte da sub-bacia do médio Paraíba e leste da sub-bacia do alto Paraíba. Os demais grupos nas regiões mais ao leste da sub-bacia do baixo Paraíba, centro da sub-bacia do médio Paraíba, e leste das sub-bacias do Taperoá e alto Paraíba, com valores bem concentrados do grupo 5 no oeste destas.

Finalmente, para a chuva de 5 dias, a divisão foi de 4 grupos, grupos estes divididos em grupo 1, setores, leste da sub-bacia do baixo Paraíba, centro/leste da sub-bacia do médio Paraíba, e setores oeste das sub-bacias do Taperoá e alto Paraíba. Os grupos restantes distribuiu-se no centro da sub-bacia do baixo Paraíba, norte da sub-bacia do médio Paraíba e setores leste das sub-bacias do Taperoá e alto Paraíba, com maior espacialização do grupo 2, estendendo-se até o sul da sub-bacia do alto Paraíba. E a partir de cada grupo de cada chuva intensa, foi determinada a chuva intensa para um período de retorno de 100 anos, com os seus respectivos municípios Tabelas (4.3 a 4.7).

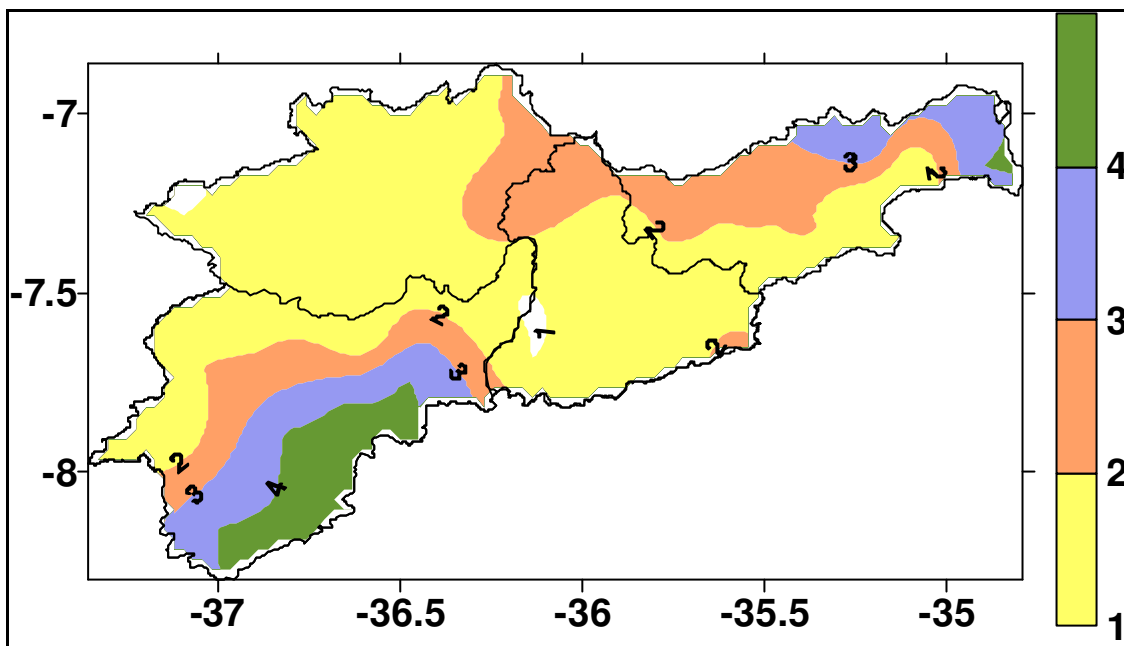


(a)

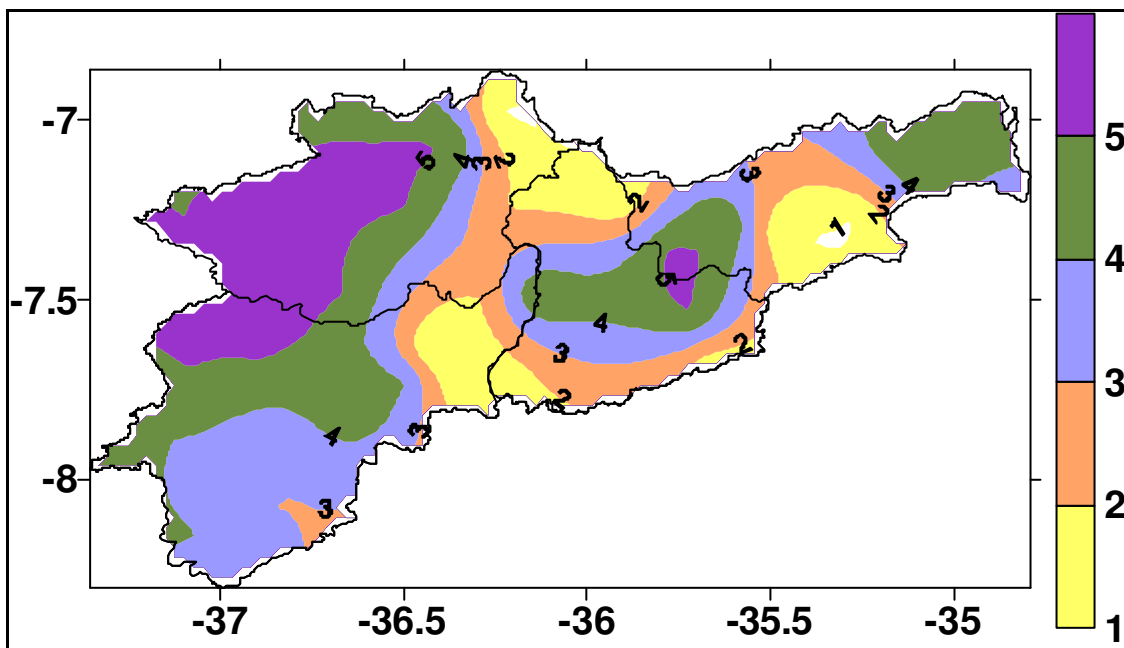


(b)

Figura 4.10 - Cluster análise das chuvas intensas de 1 dia (a) e 2 dias (b) para a bacia do rio Paraíba.



(c)



(d)

Figura 4.10 - Cluster análise das chuvas intensas de 3 dias (c) e 4 dias (d) para a bacia do rio Paraíba.

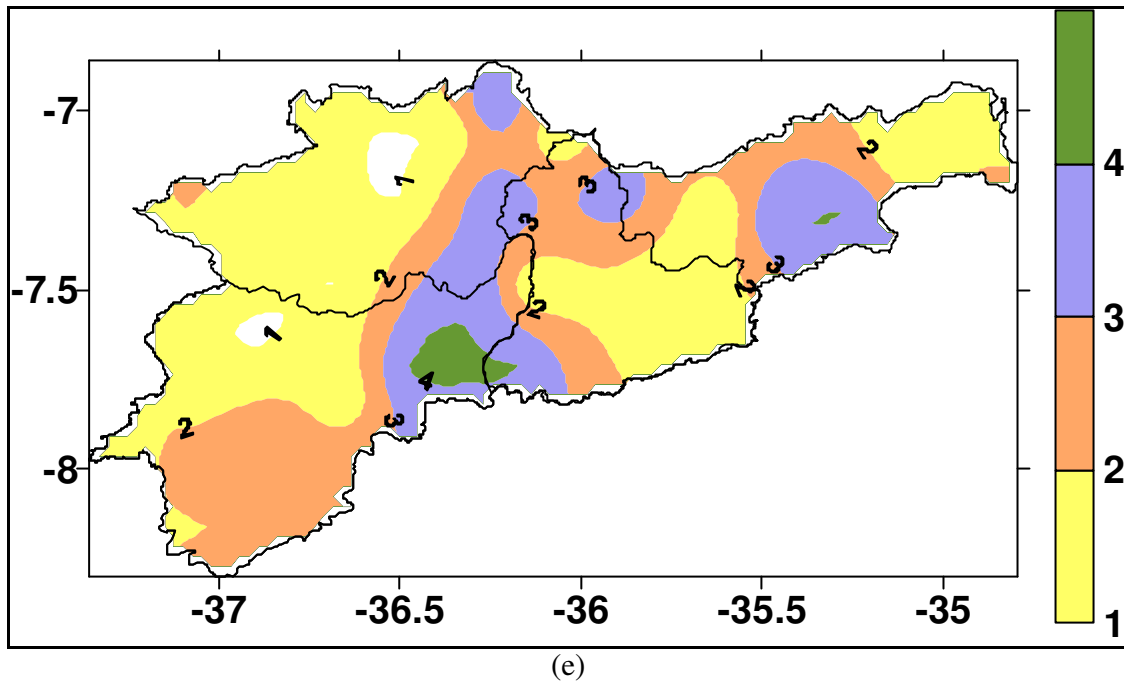


Figura 4.10 – Cluster análise das chuvas intensas de 5 dias (e).

Grupos	Municípios	P₁₀₀ anos (mm)
1	Aroeiras	152,8
	Boa Vista	
	Barra de São Miguel	
	Boqueirão	
	Campina Grande	
	Coxixola	
	Cruz do Espírito Santo	
	Desterro	
	Fagundes	
	Gurjão	
	Ingá	
	Juazeirinho	
	Mogéiro	
	Monteiro	
	Olivedos	
	Riacho de Santo Antônio	
	São João do Cariri	
	São João do Tigre	
São Sebastião do Umbuzeiro		
Soledade		
Sumé		
Taperoá		
Umbuzeiro		
2	Cabaceiras	208,7
	Camalaú	
	Caraúbas	
	Congo	
	Itabaiana	
	Pilar	
	Pocinhos	
	Prata	
	Sapé	
	Serra Branca	

Tabela 4.3 - Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas intensas de 1 dia da a bacia do rio Paraíba.

Grupos	Municípios	P₁₀₀ anos (mm)
1	Aroeiras	196,1
	Boa Vista	
	Barra de São Miguel	
	Boqueirão	
	Cabaceiras	
	Campina Grande	
	Cruz do Espírito Santo	
	Desterro	
	Fagundes	
	Gurjão	
	Ingá	
	Itabaiana	
	Juazeirinho	
	Mogéiro	
	Monteiro	
	Olivedos	
	Pocinhos	
Riacho de Santo Antônio		
São João do Cariri		
Soledade		
Sumé		
Taperoá		
Umbuzeiro		
2	Camalaú	251,9
	Caraúbas	
	Congo	
	Coxixola	
	Pilar	
	Prata	
	São João do Tigre	
	São Sebastião do Umbuzeiro	
	Sapé	
	Serra Branca	

Tabela 4.4 - Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas intensas de 2 dias da a bacia do rio Paraíba.

Grupos	Municípios	P₁₀₀ anos (mm)
1	Boqueirão Cabaceiras Coxixola Cruz do Espírito Santo Desterro Gurjão Monteiro Pilar Riacho de Santo Antônio Soledade Taperoá	207,6
2	Aroeiras Campina Grande Fagundes Ingá Itabaiana Juazeirinho Mogeirol Olivedos Pocinhos Prata Serra Branca Sumé Umbuzeiro	192,3
3	Boa Vista Barra de São Miguel São João do Cariri	115,4
4	Camalaú Caraúbas Congo São João do Tigre São Sebastião do Umbuzeiro Sapé	374,2

Tabela 4.5 - Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas intensas de 3 dias da a bacia do rio Paraíba.

Grupos	Municípios	P₁₀₀ anos (mm)
1	Barra de São Miguel	181,5
	Campina Grande	
	Itabaiana	
	Mogeiro	
	Olivedos	
	Pilar	
	Pocinhos	
	São João do Cariri	
Umbuzeiro		
2	Boa Vista	134,8
	Cabaceiras	
	Riacho de Santo Antônio	
3	Camalaú	421,4
	São João do Tigre	
4	Caraúbas	288,8
	Coxixola	
	Monteiro	
	São Sebastião do Umbuzeiro	
	Sapé	
5	Aroeiras	260,6
	Boqueirão	
	Congo	
	Cruz do Espírito Santo	
	Desterro	
	Fagundes	
	Gurjão	
	Ingá	
	Juazeirinho	
	Prata	
	Serra Branca	
	Soledade	
	Sumé	
Taperoá		

Tabela 4.6 - Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas intensas de 4 dias da a bacia do rio Paraíba.

Grupos	Municípios	P₁₀₀ anos (mm)
1	Aroeiras	278,5
	Boqueirão	
	Congo	
	Cruz do Espírito Santo	
	Gurjão	
	Ingá	
	Juazeirinho	
	Pocinhos	
	Prata	
	Serra Branca	
	Soledade	
Sumé		
Umbuzeiro		
2	Coxixola	297,3
	Fagundes	
	Desterro	
	Monteiro	
	São Sebastião do Umbuzeiro	
	Sapé	
Taperoá		
3	Camalaú	403,2
	São João do Tigre	
4	Boa Vista	182,8
	Barra de São Miguel	
	Cabaceiras	
	Campina Grande	
	Caraúbas	
	Itabaiana	
	Mogeirol	
	Olivedos	
	Pilar	
	Riacho de Santo Antônio	
São João do Cariri		

Tabela 4.7 - Precipitação para o período de retorno de 100 anos para as chuvas intensas de 5 dias da a bacia do rio Paraíba.

5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os municípios de Cabaceiras, Camalaú, Caraúbas, Coxixola, Gurjão, Pocinhos, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Serra Branca, Soledade, Taperoá e Salgadinho, foram os que apresentaram maior contribuição das chuvas intensas em relação à média climatológica;

Os meses de maiores contribuições das chuvas intensas de 1, 2, 3, 4 e 5 dias para a bacia do rio Paraíba, foram janeiro, fevereiro, março e abril, que variou de 77,1 a 88,6%. Com maiores ocorrências nos meses de janeiro e março;

Os sistemas que podem estar associados a esses meses, que correspondem ao primeiro quadrimestre do ano, são os VCAS e a ZCIT, de meso e grande escalas. Esses sistemas podem ser intensificados por efeitos locais, principalmente no litoral e transição do agreste para a região central da bacia do rio Paraíba;

A sub-bacia que menos contribuiu em termos de chuvas intensas para a bacia do rio Paraíba foi a sub-bacia do médio Paraíba, pode-se sugerir que o motivo para essa situação é a sua localidade, pois é uma área de transição de altitudes amenas para áreas mais elevadas;

A distribuição espacial das chuvas de 1 e 2 dias, obtida por “Cluster Analysis”, se concentram nos setores leste da sub-bacia do baixo Paraíba, sul da sub-bacia do Taperoá e em quase toda sub-bacia do alto Paraíba. Nas demais chuvas, ou seja, de 3, 4 e 5 dias essa distribuição foi mais evidenciada na parte leste da sub-bacia do baixo Paraíba e parte sudoeste da sub-bacia do alto Taperoá. Isso pode sugerir a atuação do contraste térmico entre oceano-continente e efeito local, respectivamente, como possíveis moduladores da atuação e distribuição das chuvas nestes setores.

Os resultados obtidos pela distribuição de probabilidade de Gumbel e ajustada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, mostraram que a distribuição é realmente apropriada para valores extremos de precipitação.

Os resultados obtidos permitem sugerir em estudos futuros:

Aplicar a metodologia em uma série de dados maior, com distribuição espacial mais abrangente e mais específica para cada sub-bacia do rio Paraíba;

Evidenciar outros tipos de sistemas causadores de chuvas intensa na região da bacia do rio Paraíba, fenômenos esses de escalas menores, como brisa marítima, vale de montanha e a influência mais elaborada do efeito local.

Analisar a climatologia dinâmica das chuvas de 1 a 5 dias de duração com o auxílio de imagens de satélite afim de identificar o sistema gerador desses eventos e estudar casos particulares.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEITUNO, P. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Parte II: Upper-air Circulation. *Journal of Climate*, 4 (2): 341-355, 1989.

ADAMOWSKI, K.; ALILA, T.; PILON, P. J. Regional rainfall distribution for Canada. *Atmospheric Research*, 42, 75-88, 1996.

ARAÚJO, L. E.; BECKER, C. T.; PONTES, A. L. Periodicidade da precipitação pluviométrica no estado da Paraíba. XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2003.

ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F.; FREITAS, A.; COSTA, A. M. N. Variabilidade espaço-temporal das chuvas extremas na bacia do rio Paraíba no ano de 2004. Simpósio Internacional de Climatologia. CD Rom. 2005.

ARAGÃO, J. O. Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do nordeste do Brasil. Tese de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1975.

BARBOSA, T. F.; CORREIA, M. F. Sistemas convectivos de mesoescala e precipitação intensa no semi-árido brasileiro. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CD Rom. 2004.

BUZZI, A., N. Tartaglione, C. Cacciamani, T. Paccagnella e P. Patruno. Preliminary meteorological analysis of the Piedmont fold of November 1994. Mesoscale Alpine Programme Newsletter. 1995.

BRATH, A. Hydrometeorological aspect of the 1994 flooding in the upper Po river basin: frequency characteristics and real-time predictability. University of Bologna. U.S.- Italy Reseach Worshop on the Hydrometeorology, ImpaCTS AND Management of Extreme Floods. 1995.

CLARKE, R. T.; SILVA, B. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.3, 265-272, 2004.

CHUNG, J. C. Correlations between the tropical Atlantic trade winds and precipitation in Northeastern Brazil. Journal of Climatology of Northeast Brazil. Journal of climatology, 2: 35-46, 1982.

CHU, P. S. Diagnostic studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 111: 1655-1664, 1983.

CORONADO, M. Extreme value theory (EVT) for risk managers pitfall and opportunities in the use of EVT in measuring EVT. [Http: //www.gloriamundi.org/var/pub/coronadoEVT.pdf](http://www.gloriamundi.org/var/pub/coronadoEVT.pdf) (10 dez 2000).

ESPINOZA, E. S. Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 1996.

FRANK, N. L. On the energetics of cold lows, proceeding symposium on tropical Meteorology. American Meteorological Society. EIV I-EIV 6.

GERSHUNOV, A., ENSO influence on intraseasonal extreme rainfall and temperature frequencies in the contiguous United States: implications for long-range predictability. *Journal Climate*, 11, 3192-3203. 1998.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R.G. Influência de eventos el niño e la niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CD rom. 2004.

HOLMES, J. D.; MORIARTY, W. W. Application of the generalized Pareto distribution to extreme value analysis in wind engineering. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 83, p. 1-10, 1999.

HASTENRATH, S. Predictability of Northeast Brazil Drought. *Nature*, 307: 531-533, 1984.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107: 1140-1153. 1979.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1996.

KOUSKY, V. E.; GAN M.A. Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical south atlantic. *Tellus*, 33: 538-551. 1981.

LMRS – Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto do estado da Paraíba.

MOTA, G. V; GANDU, A. W. Analise de distúrbios ondulatórios de leste que afetam o nordeste brasileiro: Um estudo de caso. *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Campos do Jordão, 1996.

MOTA, G. V. Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro. *Dissertação de Mestrado*. São Paulo, USP, 1997.

NEMEC, J. *Hydrological forecasting*. Dordrecht. 1987.

OSBORN, H. B.; LANE, L. J.; MYERS, V. A. Rainfall watershed relationships for southwestern thunderstorms. *Transactions of the ASAE*, v. 23, n. 1, p. 82-87, 1980.

PAIVA NETO, A. C. Distúrbios de leste: Diagnóstico e relação com a precipitação no estado da Paraíba em períodos de contraste. Dissertação de Mestrado. Campina Grande, Paraíba, 2003.

PALMER, C. E. On high-level cyclones originating in the tropics. Transaction of American Geophysics Union, 32 (5), 683-695, 1951.

PARK, J. S.; JUNG, H. S. Modeling Korean extreme rainfall using a Kappa distribution and maximum likelihood estimate. Theoretical and Applied Climatology. 72, 55-64. 2002.

PETRUCCI, O.; POLEMIO, M. Natural Hazards and Earth Syatem Sciences, 3: 17-30. 2003.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. Hidrologia Básica. Editora Edgard Blucher Ltda. 1976.

PONTES, A. L.; BRITO, J. I. B.; SILVA, F. D. S. Monitoramento das chuvas máximas na bacia do rio Paraíba do norte. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CD Rom. 2004.

PINHEIRO, M. M. G.; NAGHETTINI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, n. 4, p. 73-87, 1998.

SALVADOR, M. A. Anomalia de chuvas no mês de janeiro de 2002 em Alagoas. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CR Rom. 2004.

SALVADOR. M. A. Chuvas extremas em alagoas durante janeiro de 2004. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CR Rom. 2004.

SEMARH. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. 2000.

SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. 1985.

RATISBONA, C. R. The climate of Brazil. In: *Climates of Central and South America*. World Survey of Climatology, Elsevier, 12: 219-293, 1976.

RAO, V. B.; BONATTI, J. P. On the origin of upper tropospheric cyclonic vórtice in the south atlantic ocean and adjoining Brazil during the summer. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 37, 11-16, 1987.

RAMIREZ, M.C.V. Padrões dos vórtices ciclônicos em altos níveis no nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

REIS, A. S.; PONTES, E. G. S.; ARAÚJO, E. J. R.; ABREU, R. A. Ocorrência de um vórtice ciclônico acoplado a uma onda de leste sobre o leste do NEB no período de 13 a 16 de 2000. In: *Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Rio de Janeiro, CD Rom, 2000.

REIS, R. J.; GUIMARÃES, D. P.; COELHO, C.W.G.A.; PAIXÃO, G. M.; NASCIMENTO, J.S.; THATIANA KARINA DE S. L. SIMÕES, T. K.S.L.

Determinação das áreas de potencial de riscos de precipitações intensas em belo horizonte. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CD Rom. 2004.

UVO, C. R. B. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE. São José dos Campos, 1989.

UVO, B. C.; REPELLI, C. C. A study on the Pacific and Atlantic SST on the northeast Brazil monthly precipitation using singular value decomposition, participant report of the first international training course on practical and theoretical aspects of short term climate predictions. IRICP Pilot Project, 49, 1995.

VALVERDE, A. E. L.; LEITE, H. G.; SILVA, D. D. PRUSSKI, F. F. Momentos-L: Teoria e Aplicação em hidrologia. Universidade Federal de Viçosa. 2000.

VISHER, S. S. Tropical cyclones of the Pacific. Honolulu, Bernice T. Bissop Museum. Bulletin nº 20, 163, 1925.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness south Atlantic ocean. Journal of Meteorological Society of Japan, 55: 205-207, 1977.