



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

- Mestrado -

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE CHUVAS NA PARAÍBA
UTILIZANDO ESTIMATIVAS DO SATÉLITE TRMM**

por

Samir Gonçalves Fernandes Costa

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para
obtenção do grau de Mestre*



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

- Mestrado -

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE CHUVAS NA PARAÍBA
UTILIZANDO ESTIMATIVAS DO SATÉLITE TRMM**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Samir Gonçalves Fernandes Costa

Orientador: Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos

C837a Costa, Samir Gonçalves Fernandes.

Análise espaço-temporal de chuvas na Paraíba utilizando estimativas do satélite TRMM / Samir Gonçalves Fernandes Costa. - João Pessoa, 2017.
118 f. : il.

Orientação: Celso Augusto Guimarães Santos.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Engenharia Civil e Ambiental. 2. Recursos hídricos - Paraíba. 3. Chuvas - Paraíba. 4. Satélite TRMM. 5. Sensoriamento remoto. 6. Análise de Cluster. I. Santos, Celso Augusto Guimarães. II. Título.

UFPB/BC

**"ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE CHUVAS NA PARAÍBA UTILIZANDO
ESTIMATIVAS DO SATÉLITE TRMM"**

SAMIR GONÇALVES FERNANDES COSTA
Dissertação aprovada em 28 de setembro de 2017

Período Letivo: 2017.2



Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos – PPGECA/UEPB
(Orientador)



Prof. Dr. Richarde Marques da Silva - PPGECA/UEPB
(Membro Interno)



Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi – PPGRN/UFGG
(Membro Externo)

João Pessoa/PB
2017

EPÍGRAFE

“Desconfie do destino e acredite em você. Gaste mais horas realizando que sonhando, fazendo que planejando, vivendo que esperando... Porque, embora quem quase morre esteja vivo, quem quase vive, já morreu...”

Luiz Fernando Veríssimo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as vitórias na minha vida!

Aos meus pais Manoel de Almeida Costa e Saliene Fernandes Campelo Costa e irmãs Samira Gonçalves Queiroga da Costa e Samara Gonçalves Fernandes da Costa, que estão sempre ao meu lado, principalmente neste momento;

Quero expressar meu agradecimento em especial a minha avó e segunda mãe Marlene Ferreira Queiroga, que além de seu amor e carinho, me deu incentivo e motivação para ingressar no mestrado.

Aos meus amigos Dayanison Pinheiro Passos, Helliton de Souza Oliveira, Joabe Marques da Silva e Moisés Araújo Cardoso, que também me incentivaram e apoiaram a tomar nessa jornada, o que não poderia ser diferente quando se trata de amigos verdadeiros. O que hoje posso dizer que se estende a Fagner, Glauciene, Geraldo, Paloma, Eliamin, Ícaro, Lucila e Marie, os quais conheci como colegas e hoje posso dizer que esse vínculo se ampliou para uma linda amizade. Pessoas que se mostraram prestativas, companheiras e generosas em todo esse período e que eu não poderia deixar de agradecer nesse momento;

Ao meu orientador Celso Augusto Guimarães Santos, professor com vasto conhecimento acadêmico, que dedicou seu tempo a desenvolver este trabalho comigo, juntamente com seu aluno de iniciação científica Reginaldo Moura, que contribuiu ativamente nesse processo. Além da colaboração de suas orientandas Paula Karenina e Vanessa Negreiros.

Ao professor Richarde Marques da Silva, que desde meu egresso na graduação proporcionou a curiosidade de conhecer uma Geografia a qual me identifiquei e que teve papel determinante no início, meio e fim deste processo. Assim como sua equipe de alunos do Laboratório de Ensino, Pesquisa e Projetos em Análise Espacial – LEPPAN;

Gostaria de agradecer também ao professor Wilson Fadlo Curi pela sua participação na qualidade de membro da banca examinadora deste trabalho, bem como as contribuições feitas para esta redação final.

Por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental - PPGECAM pela oportunidade de obter essa qualificação profissional e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES pelo incentivo financeiro dado no período de 2015-2017.

RESUMO

Com o aprimoramento das técnicas de sensoriamento remoto o uso de satélite tem sido uma alternativa cada vez mais comum no monitoramento e análise espaço-temporal da precipitação frente a limitação espacial, erros de coleta e descontinuidades de dados que são comuns a metodologia de medição convencional. Levando isso em consideração e o fato de que nas duas últimas décadas a área de estudo tem sofrido uma grave crise hídrica. Este trabalho teve por objetivo analisar o comportamento espaço-temporal de chuvas sobre o estado da Paraíba no período de 1998 a 2015, com base nas estimativas diárias de precipitação do produto 3B42-v.7 do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). Para isso, os dados de precipitação foram submetidos a aplicação dos testes não-paramétricos Mann-Kendall e Sen, o método de análise de *clusters* Ligação Média e o interpolador espacial *Spline* regularizado. Ao realizar as análises dos resultados, verificou-se que em um terço dos anos os valores da precipitação anual estiveram abaixo da média do período e que a altimetria se mostrou influente em determinadas localidades da área de estudo. Na avaliação de tendências na precipitação não se verificou níveis de significância que pudessem confirmar a hipótese de tendências na precipitação anual e sazonal das estações verão e outono. No entanto, foi observado a presença de tendências significativas com confiança estatística de 90% na precipitação das estações inverno e primavera, revelando de acordo com a análise de *clusters* uma maior similaridade no comportamento da precipitação anual em pontos TRMM que formaram regiões na parte do Agreste Paraibano e Mata Paraibana, com as estações verão e outono indicando uma maior correlação nos valores de precipitação do que nas estações inverno e primavera. Em relação as análises do número máximo de Dias Secos Consecutivos (CDD) e de Dias úmidos Consecutivos (CWD), percebeu-se que apesar de o ano 2012 ter sido o mais seco no período analisado, ele não necessariamente apresentou o maior número de dias consecutivos secos, enquanto que o ano 2000, mesmo tendo sido o mais chuvoso não houve um menor número de dias consecutivos secos neste ano. Além disso, ficou evidenciado uma prevalência de eventos extremos de CDD e CWD na Mata Paraibana e Agreste, que de acordo com os níveis de significâncias verificados pode-se confirmar a hipótese de tendência com uma confiança estatística superior a 90% para um aumento no número de dias secos consecutivos e uma estabilidade no número de dias úmidos consecutivos nessas regiões. Quanto a análise de *clusters* realizada nos valores dos índices CDD e CWD, observou-se que embora os coeficientes de correlação tenham sido baixos, os resultados indicaram que houve uma maior semelhança na ocorrência de eventos de dias úmidos consecutivos do que de dias secos consecutivos entre os pontos TRMM da área de estudo, com uma diminuição da similaridade de comportamento de ambos de oeste para leste. Tendo em vista esses resultados, pode-se concluir que o satélite TRMM se mostrou eficaz na análise espaço-temporal da precipitação e as metodologias e informações produzidas neste trabalho podem ser utilizadas pelos órgãos gestores dos recursos hídricos para fins de monitoramento hídrico no estado da Paraíba.

Palavras-chave: chuva, sensoriamento remoto, tendência, *cluster*.

ABSTRACT

With the improvement of remote sensing techniques the use of satellite has been an increasingly common alternative in the monitoring and space-time analysis of precipitation against spatial limitation, collection errors and data discontinuities that are common to conventional measurement methodology. Taking this into account and the fact that in the last two decades the area of study has suffered a serious water crisis. The objective of this work was to analyse the spatial-temporal behavior of rainfall over the state of Paraíba from 1998 to 2015, based on the daily precipitation estimates of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite 3B42-v.7. For this, the precipitation data were submitted to the non-parametric tests Mann-Kendall and Sen, the method of analysis of clusters Average Linkage and the interpolator space Spline regularized. When analysing the results, it was verified that in a third of the years the values of the annual precipitation were below the average of the period and that the altimetry was shown to be influential in certain localities of the study area. In the evaluation of trends in precipitation there were no levels of significance that could confirm the hypothesis of trends in the annual and seasonal precipitation of the summer and fall seasons. However, it was observed the presence of significant trends with statistical confidence of 90% in the precipitation of the winter and spring seasons, revealing according to cluster analysis a greater similarity in the behavior of the annual precipitation in TRMM points that formed regions in the part of the Agreste Paraibano and Mata Paraibana, with the seasons summer and autumn indicating a greater correlation in the values of precipitation than in the winter seasons and spring. Regarding the analyses of the maximum number of Consecutive Dry Days (CDD) and Consecutive Wet Days (CWD), it was noticed that although the year 2012 was the driest in the analysed period, it did not necessarily present the highest number of days consecutive dry seasons, while the year 2000, even though it was the most rainy season, there were no fewer consecutive dry days this year. In addition, it was evidenced a prevalence of extreme events of CDD and CWD in Mata Paraibana and Agreste, which according to the verified levels of significance can confirm the trend hypothesis with a statistical confidence higher than 90% for an increase in the number of consecutive dry days and a stability in the number of consecutive wet days in these regions. Regarding the clusters analysis performed on the CDD and CWD index values, it was observed that although the correlation coefficients were low, the results indicated that there was a greater similarity in the occurrence of consecutive wet days events than of consecutive dry days between the TRMM points of the study area, with a decrease in the similarity of behavior of both from west to east. Considering these results, it can be concluded that the TRMM satellite proved to be effective in the space-time analysis of precipitation and the methodologies and information produced in this work can be used by the water resources management bodies for the purposes of water monitoring in the state of Paraíba.

Keywords: rainfall, remote sensing, trend, *cluster*.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Classificação dos tipos de precipitação..... | 20 |
| Figura 2 – Balanço Energético dos raios solares no planeta.. | 23 |
| Figura 3 – Mapa climatológico global da média de precipitação diária anual de 1979 até 2010. | 23 |
| Figura 4 – Iluminação solar nos trópicos durante o movimento de translação da Terra. | 24 |
| Figura 5 – Delimitação da Zona de Convergência Intertropical em relação ao Nordeste..... | 26 |
| Figura 6 – Variação da posição média da ZCIT em relação ao nordeste no ano de 2004 (a) e 2011 (b) para o mês de abril | 26 |
| Figura 7 – Ilustração da estrutura de um pluviômetro (a) e um pluviógrafo (b). | 28 |
| Figura 8 – Direção de propagação da radiação eletromagnética em função das oscilações dos campos Magnético (M) e Elétrico (E). | 30 |
| Figura 9 – Espectro Eletromagnético. | 31 |
| Figura 10 – Esquema de funcionamento de um radar meteorológico. | 32 |
| Figura 11 – Órbitas dos satélites..... | 34 |
| Figura 12 – Cobertura espacial realizada pelo plano orbitário do satélite TRMM. | 35 |
| Figura 13 – Detalhamento do posicionamento dos cinco sensores na plataforma do satélite TRMM..... | 36 |
| Figura 14 – Fluxograma de etapas para geração das estimativas de precipitação do satélite TRMM..... | 38 |
| Figura 15 – Imagem gerada pelo algoritmo 3B42-v.7 na data 28. 06. 2016. | 39 |
| Figura 16 – Localização do estado da Paraíba e suas divisões por mesorregião..... | 46 |
| Figura 17 – Tipos de clima na Paraíba segundo a classificação de Köppen. | 47 |
| Figura 18 – Variação da altitude com base no Modelo Digital de Elevação- MDE do projeto Topodata/INPE com a delimitação das mesorregiões do estado da paraíba. | 48 |
| Figura 19 – Distribuição espacial dos 187 pontos TRMM sobre o recorte espacial da Paraíba. | 49 |
| Figura 20 – Distribuição e variabilidade da precipitação mensal de 1998 a 2015..... | 53 |
| Figura 21 – Variabilidade da precipitação anual de 1998 a 2015. | 54 |
| Figura 22 – Distribuição espacial da precipitação média anual de 1998 a 2015 na área de estudo. | 55 |
| Figura 23 – Variabilidade sazonal da precipitação de 1998 a 2015. | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 24 – Distribuição espacial da precipitação sazonal por estações do ano de 1998 a 2015 na área de estudo..... | 57 |
| Figura 25 – (a) Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall, e (b) declividade do teste Sen para a indicação de tendências no comportamento da precipitação anual na área de estudo..... | 59 |
| Figura 26 – Distribuição espacial dos níveis de significâncias para o teste Mann-Kendall, e declividades do teste Sen para a indicação de tendências na precipitação das estações (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera na área de estudo. | 61 |
| Figura 27 – (a) Dendrograma de correlação e (b) distribuição espacial dos 187 pontos TRMM para o nível de sete <i>clusters</i> com base na precipitação anual..... | 62 |
| Figura 28 – Distribuição do percentual de pontos TRMM aglomerados por <i>clusters</i> para a precipitação anual. | 63 |
| Figura 29 – Hietogramas da precipitação anual por <i>clusters</i> | 64 |
| Figura 30 – Análise de <i>clusters</i> da precipitação sazonal para as estações (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera para o nível de sete <i>clusters</i> na área de estudo. | 65 |
| Figura 31 – Distribuição do percentual de pontos TRMM aglomerados por <i>clusters</i> para a precipitação sazonal das estações (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera. | 66 |
| Figura 32 – Hietogramas da média de precipitação das estações (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera por <i>clusters</i> | 67 |
| Figura 33 – (a) Ano de maior número de dias secos consecutivos e (b) menor número de dias secos consecutivos na área de estudo com base no índice CDD. | 68 |
| Figura 34 – (a) Ano de maior número de dias úmidos consecutivos e (b) menor número de dias úmidos consecutivos na área de estudo com base no índice CWD..... | 69 |
| Figura 35 – (a) Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall para indicação de tendências, e (b) declividades do teste Sen para a indicação de tendências do índice CDD na área de estudo. | 70 |
| Figura 36 – (a) Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall para indicação de tendências, e (b) declividades do teste Sen para a indicação de tendências do índice CWD na área de estudo. | 70 |
| Figura 37 – (a) Dendrograma de correlação e (b) distribuição espacial dos 187 pontos TRMM para o nível de sete <i>clusters</i> com base no índice CDD..... | 71 |
| Figura 38 – Distribuição do percentual de pontos TRMM aglomerados por <i>clusters</i> com base no índice CDD. | 72 |
| Figura 39 – Séries temporais dos valores do índice CDD médio por <i>cluster</i> | 72 |
| Figura 40 – (a) Dendrograma de correlação e (b) distribuição espacial dos 187 pontos TRMM para o nível de sete <i>clusters</i> com base no índice CWD..... | 73 |

| | |
|---|----|
| Figura 41 – Distribuição do percentual de pontos TRMM aglomerados por <i>clusters</i> com base no índice CWD..... | 74 |
| Figura 42 – Séries temporais dos valores do índice CWD médio por <i>cluster</i> | 74 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Algoritmos mais utilizados na determinação de agrupamentos. | 44 |
| Tabela 2 – Estatística descritiva da precipitação de 1998 a 2015. | 54 |
| Tabela 3 – Estatística descritiva da precipitação sazonal de 1998 a 2015. | 56 |

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

CAMS – Climate Assessment and Monitoring System

CDD – Consecutive Dry Days

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento de Alerta de Desastres Naturais

CERES – The Clouds and the Earth's Radiant Energy System

CNES – Centre National d'Études Spatiales

CWD – Consecutive Wet Days

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo

DMSP – Defense Meteorological Satellite Program

DJF – Dezembro, Janeiro, Fevereiro

ENOS – El Niño Oscilação Sul

ETCCDMI – Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices

EUMETSAT – European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites

GES-DISC – Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center

GMS – Geostationary Meteorological Satellite

GOES – Geostationary Operational Environmental Satellite

GPCP – Global Precipitation Climatology Project

GPM – Global Precipitation Measurement

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPMET Instituto de Pesquisas Meteorológicas

IR – Infravermelho

ISRO – Indian Space Research Organization

JAXA – Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial

LIS – Lightning Imaging Sensor

MAM - Março, Abril e Maio

METEOSAT – Meteorological Satellite

MW – Micro-ondas

NASA – Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

NEB – Nordeste do Brasil

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

PR – Precipitation Radar

RADAR – Radio Detection and Ranging

REM – Radiação Eletromagnética

RT – Real Time

SON- Setembro, Outubro e Novembro

SR – Sensoriamento Remoto

TIROS – 1 – Television Infrared Observation Satellite 1

TMI – Microwave Imager

TPMA – Multisatellite Precipitation Analysis

TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

VIRS – Visible and InfraRed Scanner

VIS – Visível

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 | 16 |
| 1. INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 Objetivos | 17 |
| 1.1.1 Geral..... | 17 |
| 1.1.2 Específicos..... | 17 |
| 1.2 Estrutura da dissertação | 18 |
| CAPÍTULO 2 | 19 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 19 |
| 2.1 O fenômeno da precipitação | 19 |
| 2.2 Classificação | 20 |
| 2.2.1 Convectivas..... | 20 |
| 2.2.2 Frontais ou ciclônicas..... | 21 |
| 2.2.3 Orográficas..... | 21 |
| 2.3 Aspectos gerais sobre a distribuição de chuvas | 22 |
| 2.4 Variabilidade das chuvas na região Nordeste | 25 |
| 2.5 Medição de chuvas..... | 27 |
| 2.5.1 Medição por instrumentos convencionais..... | 28 |
| 2.5.2 Estimativas por Sensoriamento Remoto (SR)..... | 29 |
| 2.6 O satélite <i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i> - TRMM..... | 35 |
| 2.6.1 Estudos avaliando o produto TRMM 3B42..... | 39 |
| 2.7 Análise de tendências da precipitação | 41 |
| 2.8 Análise de <i>clusters</i> da precipitação..... | 44 |
| CAPÍTULO 3 | 46 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 46 |
| 3.1 Localização e caracterização da área de estudo | 46 |
| 3.2 Obtenção e composição dos dados de precipitação | 48 |
| 3.3 Dados de altimetria | 49 |
| 3.4 Aplicação dos índices CDD e CWD | 49 |
| 3.5 Teste de Mann-Kendall..... | 50 |
| 3.6 Teste de Sen | 51 |
| 3.7 Análise de <i>clusters</i> por correlação | 52 |

| | |
|--|-----|
| 3.8 Interpolação | 52 |
| CAPÍTULO 4 | 53 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 53 |
| 4.1 Análise da precipitação de 1998 a 2015 | 53 |
| 4.2 Comportamento espaço-temporal da precipitação anual | 54 |
| 4.3 Comportamento espaço-temporal da precipitação sazonal..... | 56 |
| 4.4 Tendências da precipitação anual | 58 |
| 4.5 Tendências da precipitação sazonal | 60 |
| 4.5 Análise de <i>clusters</i> para a precipitação anual | 62 |
| 4.6 Análise de <i>clusters</i> para a precipitação sazonal..... | 64 |
| 4.7 Análise do número máximo de dias secos e úmidos consecutivos..... | 67 |
| 4.8 Tendências do número máximo de dias secos e úmidos consecutivos..... | 69 |
| 4.9 Análise de <i>clusters</i> do número máximo de dias secos e úmidos consecutivos..... | 71 |
| CAPÍTULO 5 | 75 |
| 5. CONCLUSÕES | 75 |
| 5.1 Recomendações | 76 |
| REFERÊNCIAS | 78 |
| APÊNDICE A | 86 |
| APÊNDICE B | 91 |
| APÊNDICE C | 97 |
| APÊNDICE D | 108 |
| APÊNDICE E | 111 |
| APÊNDICE F | 114 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Historicamente o monitoramento da precipitação tem sido realizado com base na coleta de dados obtidos de postos pluviométricos instalados na superfície terrestre. Todavia, essa metodologia convencional de medição da precipitação pode apresentar erros de registro e descontinuidade de dados. Além disso, em algumas regiões do Brasil a baixa densidade e má distribuição dos instrumentos são problemas comuns. Tais aspectos podem resultar numa baixa qualidade de dados ou até mesmo na impossibilidade de utilização na sua forma bruta.

Com a chegada da década de 1960 e o avanço das técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), a tarefa de monitoramento e análise espaço-temporal da precipitação ganhou um novo rumo, adquirindo na década de 1980 uma extraordinária evolução na utilização de radares e satélites.

Tendo em vista que os satélites possuem uma capacidade de cobertura maior de áreas em comparação com os radares e as estações pluviométricas na superfície terrestre, várias missões aeroespaciais surgiram afim de realizar o monitoramento da precipitação. Dentre as principais, a que resultou no satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) tem produzido nas duas últimas décadas bons resultados no monitoramento de chuvas na região dos trópicos, além de contribuir com informações sobre o comportamento do clima global (CHEN *et al.*, 2013; KUMMEROW, 2000).

Na literatura existem diferentes trabalhos avaliando os produtos do satélite TRMM, tanto em nível global quanto local. No que tange sua utilização no Brasil, estudos como de Soares, Paz e Piccilli (2016), Pereira *et al.* (2013), Franchito *et al.* (2009), Nóbrega *et al.* (2008) e Collischonn (2007) são alguns exemplos que demonstraram que o satélite pode ser uma alternativa confiável na observação e análise da precipitação, demonstrando capacidade de suprir boa parte dos problemas que a medição convencional possui. No estudo realizado por Soares, Paz e Piccilli (2016) o satélite apresentou desempenho satisfatório para reprodução espaço-temporal da precipitação na Paraíba em comparação com a quantidade de postos convencionais de coleta de chuva.

Apesar dos bons resultados que o satélite TRMM tem demonstrado, a metodologia de monitoramento da precipitação por satélite é relativamente recente. Portanto, torna-se necessário ampliar ainda mais as pesquisas em torno do seu uso, principalmente em relação à

aplicação de métodos estatísticos nos dados estimados pelo satélite afim de realizar análises espaço-temporais.

Sendo a estatística uma ferramenta importante na análise de variáveis aleatórias e na atenuação das incertezas em torno do fenômeno da precipitação (MELLO e OLIVEIRA, 2016; NAGHETTINI e PINTO, 2007; LANNA, 2001), sua aplicação tem minimizado não só as inconsistências comuns em dados pluviométricos na superfície terrestre, mas também auxiliado em tomadas de decisão.

Sabendo-se que atualmente o estado da Paraíba passa por uma grave escassez hídrica, com vários municípios apresentando problemas de insuficiência em seus sistemas de abastecimento de água, a realização de um monitoramento da precipitação com dados mais consistentes e análises que envolvam a aplicação de métodos estatísticos robustos são fundamentais a gestão e planejamento do uso dos recursos hídricos em um cenário como este.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise espaço-temporal das chuvas no estado da Paraíba nos últimos dezoito anos (1998 a 2015), utilizando as estimativas de precipitação do satélite TRMM e aplicando métodos estatísticos voltados à análise de tendências e de agrupamento de regiões com comportamento semelhantes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Analisar o comportamento espaço-temporal das chuvas no estado da Paraíba no período de 1998 a 2015 a partir das estimativas geradas pelo satélite TRMM.

1.1.2 Específicos

- Caracterizar o comportamento da precipitação da Paraíba para o período analisado, utilizando as escalas anual, mensal e sazonal;
- Verificar o comportamento da precipitação estimada pelo satélite TRMM frente à altimetria da Paraíba;
- Quantificar e espacializar o número máximo de dias secos e úmidos consecutivos obtidos para cada ponto da grade utilizada;
- Analisar tendências de comportamento da precipitação e do número máximo de dias

secos e úmidos consecutivos;

- Aplicar o método de análise de *clusters* para analisar a similaridade no comportamento da precipitação e na quantidade de dias secos e úmidos consecutivos na Paraíba.

1.2 Estrutura da dissertação

Visando uma melhor organização e apreensão textual, esta dissertação foi estruturada em uma sequência de cinco capítulos, abordados da visão geral sobre o problema de pesquisa, fundamentação teórica, metodologia utilizada, resultados obtidos e considerações finais. No capítulo 1 foi apresentada uma perspectiva global acerca do problema vivido pela escassez de chuvas na região do Nordeste e no estado da Paraíba. Foram abordadas a importância da adoção de métodos estatísticos e o uso do Sensoriamento Remoto (SR) por meio do satélite TRMM no monitoramento dessa variável, expondo a relevância e os objetivos deste trabalho.

Em seguida, no capítulo 2, foi descrita a fundamentação teórica do trabalho levantando em consideração os métodos de registro e estimativas convencionais e por sensoriamento remoto; índices climáticos de monitoramento da precipitação; a aplicação da análise de *clusters* no agrupamento de regiões semelhantes; a inferência probabilística de tendências para análise hidrológica e a apresentação de estudos correlatos com a temática proposta neste trabalho.

No conteúdo do capítulo 3 tem-se a descrição das metodologias adotadas no trabalho, enfatizando a obtenção dos dados e as aplicações estatísticas realizadas, com uma breve caracterização da área de estudo. Já no capítulo 4 foram discutidos os resultados obtidos por meio das técnicas aplicadas e dos mapeamentos realizados sobre o comportamento das chuvas para a série de dados estudada.

Por fim, no capítulo 5, foram suscitadas as considerações finais a respeito do que foi realizado bem como as conclusões sobre os resultados e recomendações para pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O fenômeno da precipitação

A denominação precipitação é utilizada na literatura para se referir a chuva, que é a sua forma líquida. É comum nos estudos hidrológicos a utilização de ambos para se referirem a chuva. Assim é entendida na hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (BERTONI e TUCCI, 2001), visto que faz parte de um estágio, dentro de uma série de processos físicos e químicos que integram o ciclo hidrológico.

É preciso superar os estágios de sua formação para que de fato a precipitação chegue até a superfície. Para tanto, é necessário que haja o desprendimento da umidade suspensa na atmosfera, provocado pela força gravitacional que a mantém, culminando com sua chegada ao solo em forma líquida (chuva ou chuveiro/garofa) ou sólida (granizo, saraiva e neve) (TORRES e MACHADO, 2008).

A chuva é a forma mais frequente da precipitação e apresenta uma contribuição significativa para os totais pluviométricos na região dos trópicos (AYOADE, 1996). Para a ocorrência do fenômeno, Varejão-Silva (2006) explica que há fatores influenciadores da instabilidade atmosférica e o movimento das massas de ar, pois caso não existissem esses mecanismos, a nuvem, que é o meio pelo qual é transportada, certamente não conseguiria precipitar ou ocorreria em quantidades insignificantes, tampouco haveria precipitação abundante na ausência de um suprimento adequado de vapor d'água.

A respeito da estrutura da nuvem, Vianello (2000) explica que no caso das tropicais, em geral, não ocorrerá chuvas se sua extensão vertical for menor que cerca de 2 km. Já se a extensão vertical for elevada (da ordem de 10 km), poderá ocorrer à formação de granizos, como resultado do referido movimento cíclico dos constituintes no interior da nuvem. Como as nuvens são caracterizadas por assumirem uma infinidade de formas, estas não serão aqui levantadas e nem esmiuçadas. Entretanto, é fundamental contextualizar sua atuação já que influenciam diretamente nas diferentes intensidades de classes de chuva.

2.2 Classificação

Tendo em vista que o movimento das correntes de ar e a umidade nas nuvens constituem mecanismos importantes no processo da precipitação, o fenômeno das chuvas é classificado em três tipos básicos: convectivas, frontais ou ciclônicas e orográficas, conforme Figura 1 (BARRY e CHORLEY, 2013; VAREJÃO-SILVA, 2006; AYOADE, 1996; VILLELA e MATTOS, 1975).

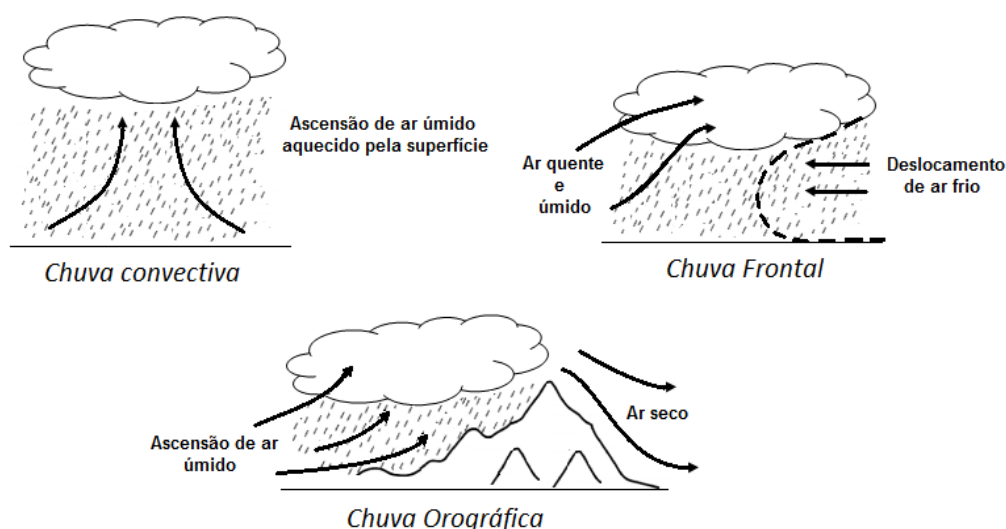


Figura 1 – Classificação dos tipos de precipitação. (Fonte: Adaptado de Collischonn e Tassi, 2008, p.16).

2.2.1 Convectivas

As chuvas convectivas são as de menor duração, porém maior intensidade, e estão associadas ao movimento vertical de uma massa de ar ascendente mais quente do que o meio ambiente por nuvens do tipo *cumulus* e *cumulonimbus* (TORRES e MACHADO, 2008; AYOADE, 1996; VILLELA e MATTOS, 1975).

Com maior frequência na faixa equatorial, elas são o tipo mais comum no Brasil e no Nordeste, geralmente atuando no verão devido às presenças constantes e intensas de zonas de baixa pressão e de evaporação provocadas pelas elevadas temperaturas (TORRES e MACHADO, 2008; BERTONNI e TUCCI, 2001; AYOADE, 1996).

Também em referência a seu comportamento no verão, Torres e Machado (2008) ressaltam, ainda, que esse tipo de chuva tem por característica promover fortes aguaceiros, que na maioria das vezes chegam acompanhados de raios, relâmpagos e trovões.

2.2.2 Frontais ou ciclônicas

Consideradas o tipo de chuva mais comuns nas áreas de médias latitudes, segundo Torres e Machado (2008), as chuvas frontais ou ciclônicas têm como característica principal a instabilidade causada pelo encontro de duas massas de ar de propriedades térmicas diferentes (uma massa de ar quente e outra de ar frio).

Desse encontro das massas de ar ocorre o processo de convergência, com o ar mais quente, que é mais leve e, normalmente, mais úmido, sendo empurrado para cima e adquirindo temperaturas mais baixas, resultando assim na condensação do vapor e produzindo chuvas (COLLISCHONN e TASSI 2008; BERTONI e TUCCI, 2001).

Vale destacar ainda que, diferentemente das convectivas, as massas de ar que formam as chuvas frontais têm na maioria das vezes, centenas de quilômetros de extensão e movimentam-se de forma relativamente lenta, provocando chuvas de longa duração e atingindo grandes extensões de áreas. Esse tipo é mais corriqueiro na região Sul do Brasil, atingindo também as regiões Sudeste, Centro-Oeste e, por vezes, o Nordeste (COLLISCHONN e TASSI, 2008).

2.2.3 Orográficas

Mais frequente em nuvens dos gêneros *altocumulus*, *estratocumulos* e *cumulus* (VIANNELO, 2000, p. 353), as chuvas do tipo orográficas se caracterizam, sobretudo, por apresentarem a altitude como agente condicionante (BARRY e CHORLEY, 2013; AYOADE, 1996; VILLELA e MATTOS, 1975).

Para que ocorra esse tipo de chuvas, o ar úmido que se elevar sobre o terreno é trazido pelos ventos que conseguem ultrapassar a barreira montanhosa, que do lado oposto, projeta-se a sombra pluviométrica, dando lugar a áreas secas ou semiáridas causadas pelo ar seco, já que a umidade foi descarregada na encosta oposta (BERTONI e TUCCI, 2001).

Sobre esse efeito gerado pela projeção da chuva para o lado oposto da montanha, Ayoade (1996) esclarece que as vertentes a barlavento recebem mais precipitação do que as vertentes a sotavento, sofrendo então o efeito "sombra de chuva" das vertentes a barlavento. Contudo, é importante destacar que:

Em uma atmosfera estável, a influência orográfica restringe-se à proximidade da montanha ou da escarpa, de maneira que a ação principal do terreno elevado é apenas redistribuir a precipitação. Por outro lado, quando a atmosfera é

instável, a orografia tende a aumentar o volume de precipitação bem como distribuí-la por sobre uma área maior (AYOADE, 1996, p. 163).

De acordo com Torres e Machado (2008), a região brasileira que mais sofre influência da altitude com um conjunto de terras mais elevadas do país é a Sudeste. Contudo, em áreas com baixos regimes pluviométricos, como o Nordeste, estudos mostram que existe relação em áreas com altitudes bastante elevadas.

2.3 Aspectos gerais sobre a distribuição de chuvas

Além das suas diferentes formas e tipos, outro aspecto relevante da precipitação é a sua distribuição no planeta. Algo que, segundo Cavalcanti (2009), é complexo devido à interação e dependência de inúmeros fatores, tanto de influência local como de lugares remotos nas diversas fases do ciclo hidrológico e compreendendo escalas de tempo e espaço distintas.

Partindo desse ponto de vista, os esforços no campo científico para a compreensão da distribuição das chuvas são inúmeros perante a dinâmica global. Em se tratando da região dos trópicos, autores como Barry e Chorley (2013), Reboita *et al.* (2012), Cavalcanti (2009), Grodsky e Carton (2003), Ayoade (1996), Nimer (1989), têm ressaltado uma reconhecida particularidade, já que o fluxo de calor incidente na superfície terrestre atinge a região equatorial e suas proximidades quase que perpendicularmente, enquanto que nas regiões próximas aos polos a incidência é oblíqua.

De acordo com Cavalcanti (2009) logo que a radiação solar é recebida pela atmosfera, parte dela volta para o espaço e a outra é reenviada para superfície terrestre. Para garantir um equilíbrio no fluxo de radiação que entra e sai entre o sistema Terra-Atmosfera ocorre um balanço de energia (VIANELLO, 2000; AYOADE, 1996).

Sobre esse efeito, Varejão-Silva (2006) explica que na maior parte do ano ocorre um saldo positivo durante o dia e negativo a noite, de modo que na região dos polos haja um déficit energético mais acentuado e um excesso de energia na faixa equatorial entre as latitudes de 30°S e 40°N, como é possível visualizar na Figura 2.

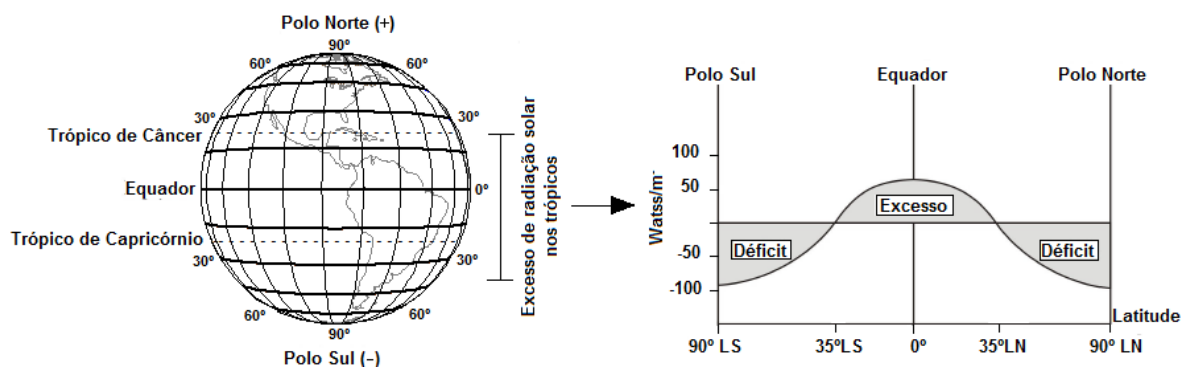


Figura 2 – Balanço Energético dos raios solares no planeta. (Fonte: Adaptado de Ayoade, 1996).

Como a região tropical não consegue emitir para o espaço toda a energia que recebe do sol, em parte devido à quantidade de nuvens existente nesta região do planeta (REBOITA *et al.*, 2012), isso gera uma concentração de umidade associada a energia solar incidente na região, favorecendo uma maior incidência de chuvas na faixa equatorial do que nas demais regiões do planeta, assim como mostra o mapa da Figura 3, o qual representa a média global da precipitação diária de 1979 a 2010 no planeta.

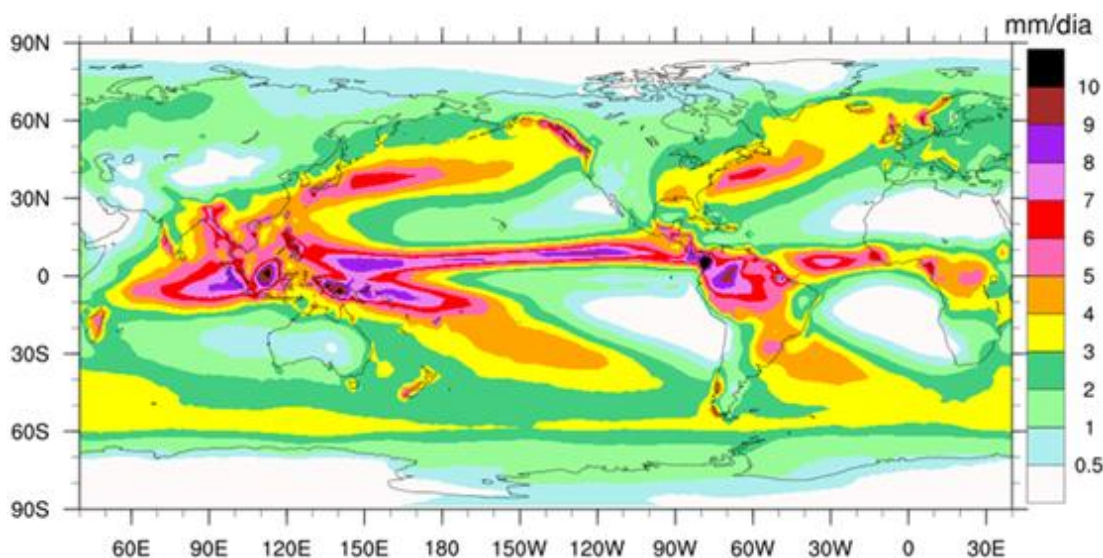


Figura 3 – Mapa climatológico global da média de precipitação diária anual de 1979 até 2010 (Fonte: NCAR, 2016).

No entanto, a distribuição de chuvas não se dá de forma homogênea nos trópicos, tanto em termos de escala temporal quanto espacial. Ela apresenta áreas oceânicas que recebem mais precipitação durante o ano do que as áreas continentais. Sobre isso, Ayoade (1996) explica que a sazonalidade exerce um efeito importante nesse processo devido à variação da luz incidente recebida na atmosfera durante o ano, promovendo assim o ciclo das estações como representado na Figura 4.

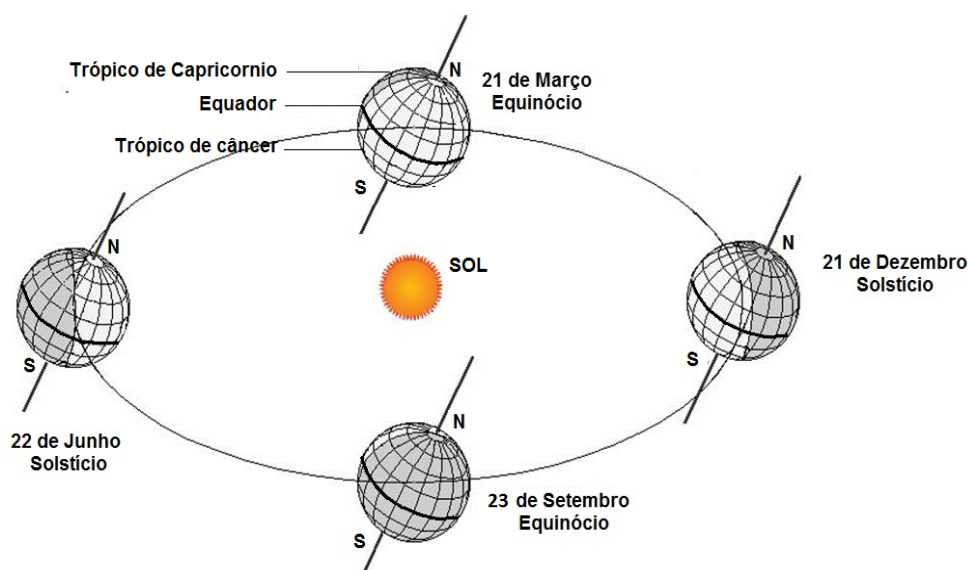


Figura 4 – Iluminação solar nos trópicos durante o movimento de translação da Terra (Fonte: adaptado de Varejão-Silva, 2006).

Nesse ciclo promovido pelas estações do ano existe um período de maior grau de afastamento angular do equador (solstícios) e outro de uniformidade na quantidade de luz e calor recebidos pelos hemisférios Norte e Sul (equinócios). A partir dessa variação, o ciclo das estações se apresenta da seguinte forma:

Os dias de solstício são 22 de junho e 22 de dezembro, e os dias de equinócio, 21 de março e 23 de setembro, podendo haver ligeiras variações. No equinócio, o Sol incide perpendicularmente sobre um ponto do equador; no solstício, o Sol incide perpendicularmente sobre um ponto situado no trópico, e tangencia pontos situados nos círculos polares Ártico e Antártico. Para o Hemisfério Sul o VERÃO se inicia no dia 22 de dezembro (dia de solstício de verão); o OUTONO no dia 21 de março (dia de equinócio de outono); o INVERNO no dia 22 de junho (dia de solstício de inverno); e a PRIMAVERA se inicia no dia 23 de setembro (dia de equinócio de primavera). Note-se que para o Hemisfério Norte as estações ocorrem em épocas opostas, ou seja, o verão se inicia no dia 22 de junho (dia de solstício de verão no Hemisfério Norte); o outono se inicia no dia 23 de setembro (dia de equinócio de outono para o Hemisfério Norte) etc. (VIANNELO, 2000, p.140).

Essa sazonalidade faz com que em muitas partes dos trópicos a precipitação ocorra, principalmente durante o verão, abrangendo metade do ano, sendo a outra parte com estações relativamente secas. Como a temperatura e outros elementos climáticos são muito mais uniformes nessa região do planeta, a distribuição sazonal da precipitação pluvial constitui a base para a maioria das classificações ou subdivisões dos climas tropicais. Existem também fatores climáticos que podem estar associados a distribuição de chuvas, a exemplo da altitude (AYOADE, 1996).

Sobre o fator altitude, é importante destacar que, embora no Brasil haja um predomínio de baixas altitudes, ocorrem diferenciações sensíveis em termos de temperaturas e, conseqüentemente, na circulação atmosférica de algumas regiões, assim como é o caso do Nordeste. A respeito disso, Cavalcanti *et al.* (2009) ressalta que na região Nordeste do Brasil (NEB), o relevo é basicamente constituído pela influência de dois extensos planaltos (Borborema e Parnaíba), e ambos tendem a exercer influência na incursão das massas do litoral, normalmente impedindo a passagem dessas formações para as áreas do interior.

2.4 Variabilidade das chuvas na região Nordeste

O Nordeste do Brasil (NEB) é caracterizado por ser uma região de baixos índices pluviométricos (CAVALCANTI *et al.*, 2009; VIANELLO, 2000; AYOADE, 1996). ao analisar a variabilidade de chuvas no NEB os autores Molion e Bernado (2002) explicam que existem diferentes mecanismos que influenciam para sua ocorrência, sendo que os de grande escala (Zona de Convergência Intertropical, Vórtice Ciclônico em Altos Níveis, Distúrbio Ondulatório de Leste, Sistema Frontal e Linha de Instabilidade) são responsáveis por cerca de 30% a 80% da precipitação observada dependendo do local, sendo o restante complementado pelos mecanismos de mesoescala (perturbações ondulatórias no campo dos ventos alísios, complexos convectivos e brisas marítima e terrestre) e de microescalas (circulações orográficas e pequenas células convectivas).

Devido a sua atuação estar diretamente ligada a convergência e divergência de vapor d'água na região dos trópicos pelo encontro dos ventos alísios do Hemisfério Norte e Hemisfério Sul, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Figura 5) é considerado um dos mais influentes mecanismos da distribuição de chuvas nos trópicos (REBOITA *et al.*, 2012; MOLION e BERNARDO, 2002; AYOADE, 1996; UVO, 1989). Contudo, Cavalcanti (2009) destaca que tanto os mecanismos de grande escala como os de meso e microescalas podem acentuar ou inibir o desempenho de sistemas principais como a ZCIT, uma vez que tais mecanismos contribuem para a configuração da circulação geral da atmosfera.

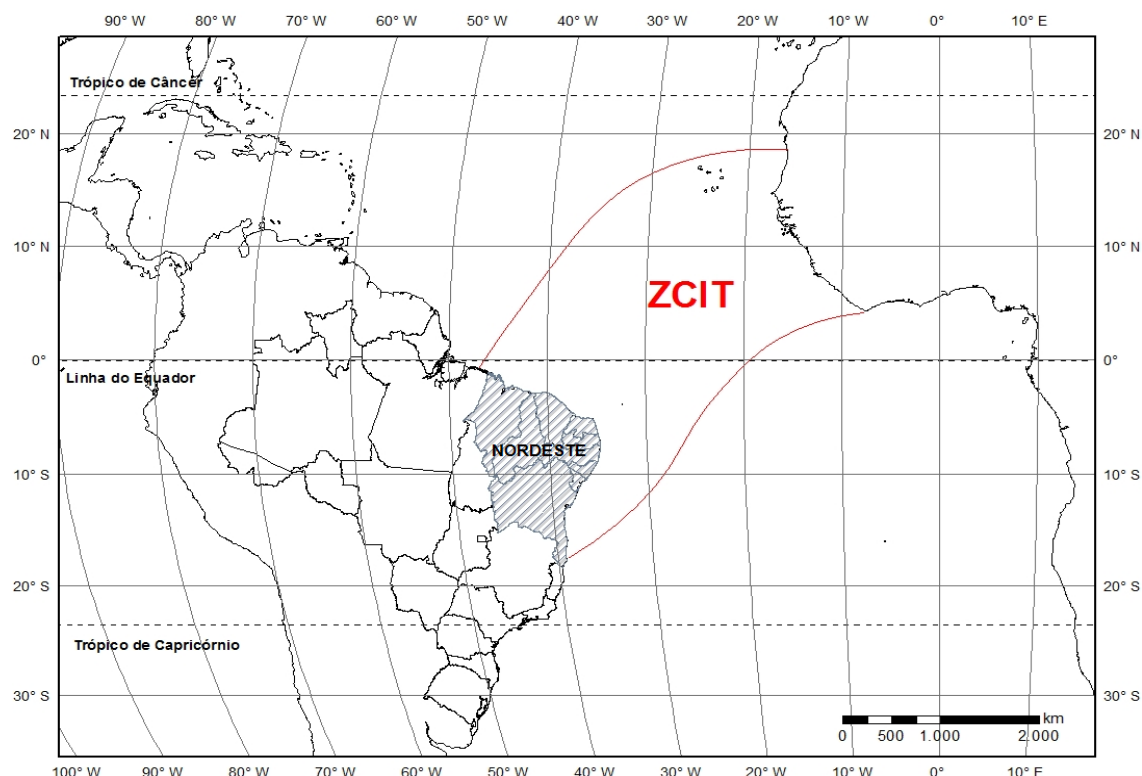


Figura 5 – Delimitação da Zona de Convergência Intertropical em relação ao Nordeste (Fonte: Autor, 2017).

Segundo Cavalcanti (2009), a migração e instabilidade de aglomerados de nuvens na ZCIT contribuem fortemente para a qualidade chuvosa em regiões como a costa noroeste da África, normalmente resultando em um ano mais chuvoso, quando na costa litorânea do Nordeste do Brasil, assim como ilustram as Figura 6 (a e b):

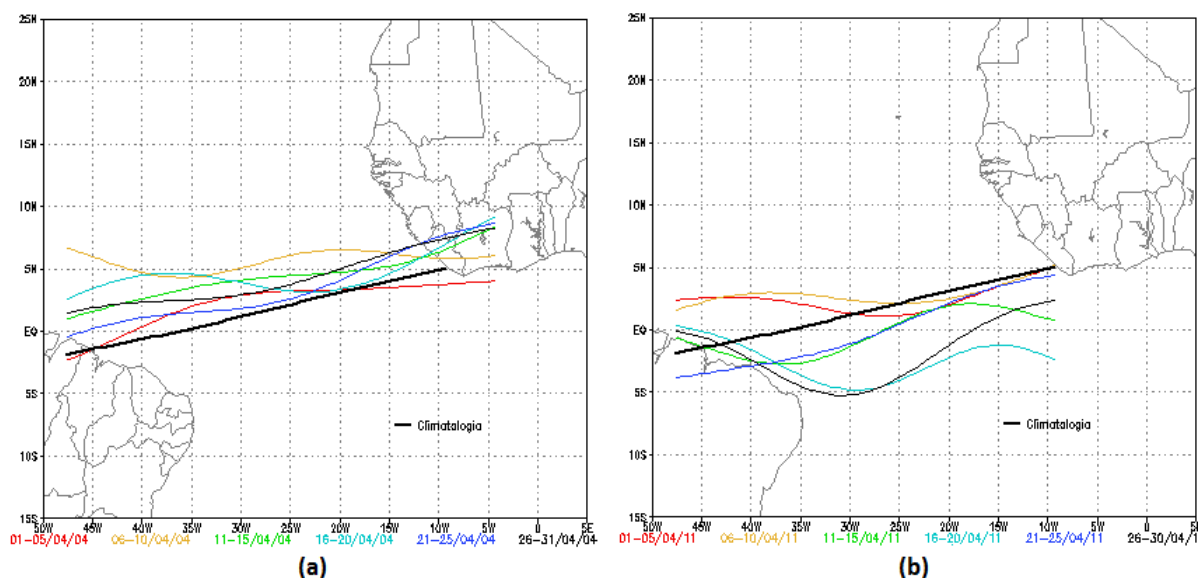


Figura 5 – Variação da posição média da ZCIT em relação ao nordeste no ano de 2004 (a) e 2011 (b) para o mês de abril (Fonte: CPTEC/INPE, 2015).

Modulando esse comportamento atmosférico, a temperatura oceânica também tem grande influência no regime de chuvas do Nordeste. Segundo Menezes *et al.* (2008), quando ocorrem alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), tem-se a atuação do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), que na sua fase quente (negativa) resulta na inibição ou diminuição de chuvas devido o deslocamento da umidade na ZCIT para o norte. Contudo, em anos de fase fria ou também chamada de positiva do ENOS, ou ainda referida por *La Niña*, o efeito do Pacífico Equatorial é de favorecimento ao aumento da precipitação no Nordeste.

Como esses mecanismos e fenômenos atuam de formas diversas, a existência de disparidades pluviométricas do ponto de vista de sua distribuição é bastante comum na região Nordeste, resultando em dessemelhanças internas. A exemplo do próprio estado da Paraíba, que tem aproximadamente quase todo seu território inserido na porção norte do semiárido nordestino e sua porção leste em contato com o Oceano Atlântico.

Portanto, ao levar em consideração essa quantidade de condicionantes meteorológicos e as disparidades pluviométricas, é possível compreender o quão complexo é uma análise do comportamento e distribuição da precipitação. Fato este que enfatizada a importância de um monitoramento eficaz na região, advindo de procedimentos que envolvam a minimização de inconsistências na medição dos eventos pluviométricos.

2.5 Medição de chuvas

As medições de chuva se constituem como uma fonte basilar de informação hidrológica. Perante essa importância, o procedimento que possibilita a quantificação do acumulado de um dia é chamado de pluviometria (VAREJÃO-SILVA, 2006; BERTONI e TUCCI, 2001).

Um ramo da hidrologia que segundo Collischonn e Tassi (2008) e Tucci (2001) apresenta como propósito de observação e quantificação as seguintes grandezas ou variáveis:

- Duração: período de tempo durante o qual a chuva cai e, normalmente, é medida em minutos ou horas;
- Altura Pluviométrica: espessura média da lâmina de água que cobriria a região atingida se esta região fosse plana e impermeável. A unidade de medição da altura de chuva é o milímetro de chuva. Um milímetro de chuva corresponde a 1 litro de água distribuído em um metro quadrado;
- Intensidade: altura precipitada dividida pela duração da chuva, e é expressa, normalmente, em mm/hora^{-1} ;

- **Frequência:** é a quantidade de ocorrências de eventos iguais ou superiores ao evento de chuva considerado.

Contudo, para obter essas informações é fundamental a realização da coleta e registro dos eventos, podendo ser realizados por instrumentos instalados na superfície terrestre ou em altitudes elevadas próximas a órbita da Terra.

2.5.1 Medição por instrumentos convencionais

A fim de captar informações pluviométricas a coleta e mensuração na forma direta e pontual da precipitação têm sido tradicionalmente realizadas por meio de pluviômetros e pluviógrafos instalados na superfície terrestre (Figura 7).

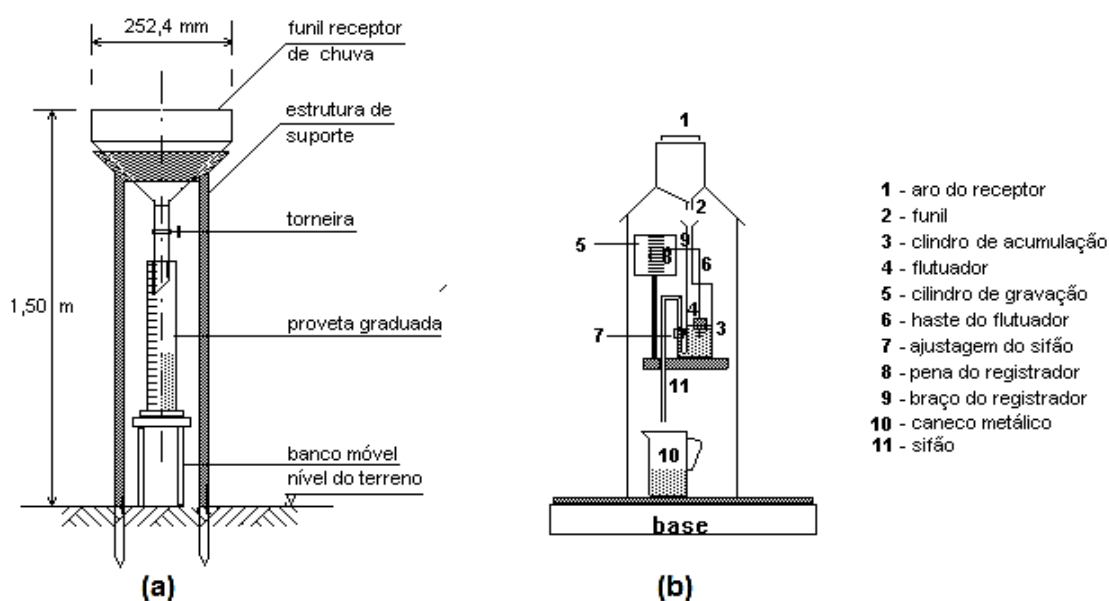


Figura 6 – Ilustração da estrutura de um pluviômetro (a) e um pluviógrafo (b) (Fonte: Fernandes, 2002).

Com dimensões padronizadas, os pluviômetros possuem uma forma cilíndrica com uma área superior de captação e são instalados em uma altura padrão de 1,50 m do solo, com certa distância de residências e outros obstáculos que podem interferir na quantidade de chuva captada.

Já os pluviógrafos, que originalmente eram mecânicos e atualmente possuem eletrônicos com memória (*data-logger*), permitem analisar detalhadamente os eventos de chuva e sua

variação ao longo do dia, que pode armazenar dados e transmiti-los via rádio ou telefone celular (COLLISCHONN e TASSI 2008).

Segundo dados da Agência Nacional das Águas (ANA), no ano de 2016, cerca de 14.822 estações no Brasil utilizam instrumentos de medição convencional. Desse total, estão em atividade 8.760 estações, com cerca de 4.543 sendo monitoradas pela própria agência (ANA, 2016). Um quantitativo considerado insuficiente diante da grande extensão territorial do país.

Além da insuficiência de instrumentos de medição em superfície, outro aspecto que prejudica o monitoramento de chuvas no país são as falhas encontradas nos registros dos dados. Sobre isso, Bertoni e Tucci (2001, p. 182) citam os erros de anotação dos registros; soma incorreta do número de provetas, quando a soma é alta; valor estimado pelo observador, por não se encontrar no local no dia da amostragem; crescimento de vegetação ou outra obstrução próxima ao posto de observação; danificação do aparelho; problemas mecânicos no registro gráfico.

Para contornar essas dificuldades são aplicados métodos de tratamento estatísticos, com base em dados mais consistentes de postos ou estações próximas aplicando equações de ponderação. Contudo, os diferentes métodos empregados para isso não resolvem as lacunas deixadas no processo de monitoramento, apenas minimizam as inconsistências.

Na busca de novas formas de se resolver esses problemas ou amenizar ainda mais a influência dos erros em torno das medições pluviométricas. O uso do SR tem propiciado um novo rumo ao monitoramento de chuva, viabilizando análises globais, regionais e/ou locais com relativa facilidade na aquisição dos registros, em função dos acervos disponibilizados por agências e órgãos governamentais, minimizando o tempo de resposta na observação fenômenos meteorológicos e ambientais.

2.5.2 Estimativas por Sensoriamento Remoto (SR)

Definido por Florenzano (2007) como a técnica que permite a aquisição de informações sobre a natureza de objetos sem contato físico com os mesmos, o SR teve início por volta de 1860 e era realizado por meio de registros fotográficos aéreos com equipamentos fixados em balões, além de aviões e até pombos.

Na década de 1960, com a ascensão das tecnologias aeroespaciais, o Sensoriamento evoluiu consideravelmente viabilizando a investigação e obtenção de informações ambientais dos fenômenos e/ou objetos terrestres em camadas muito superiores a atmosfera. Conforme Mendes e Cirilo (2013, p. 198) a base física do SR está no princípio da interação da Radiação

Eletromagnética (REM) entre a fonte geradora e o alvo, a partir de oscilações dos campos elétrico (E) e magnético (M) (Figura 8), se propagando na velocidade da luz e assumindo uma trajetória sequencial e harmônica de modo que a frequência é diretamente proporcional à velocidade de propagação e inversamente proporcional ao comprimento de onda.

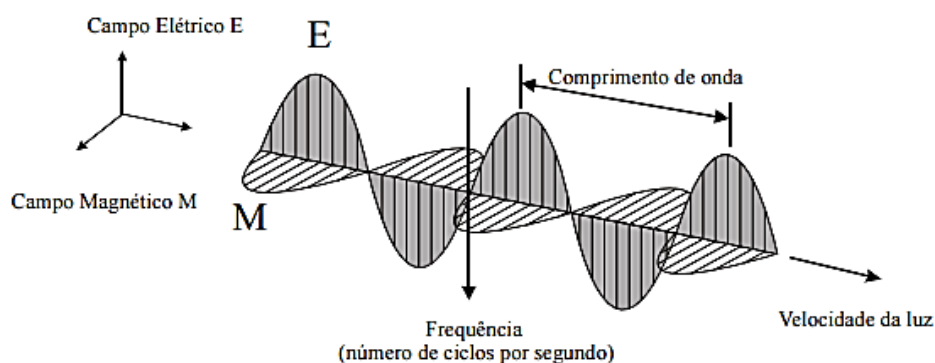


Figura 7 – Direção de propagação da radiação eletromagnética em função das oscilações dos campos Magnético (M) e Elétrico (E) (Fonte: Meneses e Almeida, 2012, p. 5).

Todavia, para que haja uma interação entre a fonte geradora e o alvo, os sensores têm papel fundamental, pois possibilitam o registro de imagens dos alvos e a extração de informações dos mesmos, e tem basicamente dois tipos de dispositivos: os que são ativos e passivos (NOVO, 2009; FITZ, 2008).

Quando ativos, a fonte de radiação é própria e a energia produzida interage com os alvos. Sendo uma forma de interação da REM realizada atualmente por radares e satélites. Já quando são passivos, a fonte de energia não é própria, captando a radiação solar refletida ou transmitida ou a radiação emitida naturalmente pelo alvo. Caso dos sistemas fotográficos e satélites com sensores multiespectrais.

De acordo com Florenzano (2007) tanto os sensores ativos como passivos são equipamentos que têm como tarefa realizar a captação e o registro da energia refletida ou emitida dos alvos através de imagens, que ao serem convertidas em uma estrutura matricial composta por células (*pixels*) são realçadas em uma escala de tons de cinzas e em valores numéricos que variam de 0 a 255. Este processo, segundo Meneses e Almeida (2012), concede a imagem elementos que podem ser medidos e avaliados de acordo com os parâmetros de resolução que os produtos dos sensores apresentam, sendo estes:

- Resolução espacial: define a área mínima imageada pelo sensor;

- Resolução temporal: refere-se à periodicidade (frequência) da revisita/varredura que o sensor realiza em determinada área;
- Resolução radiométrica: refere-se à quantidade de níveis de cinza que o sensor é capaz;
- Resolução espectral: medida referente à largura das faixas espectrais e da obtenção simultânea de imagens em múltiplas bandas.

Como cada alvo apresenta uma resposta específica a interação da REM, devido as diferentes composições físico-químicas haverá também uma assinatura espectral específica. Propriedade esta que pode ser representada por regiões da REM em uma escala definida pelos comprimentos de onda e frequência que é denominada de espectro eletromagnético (Figura 9).

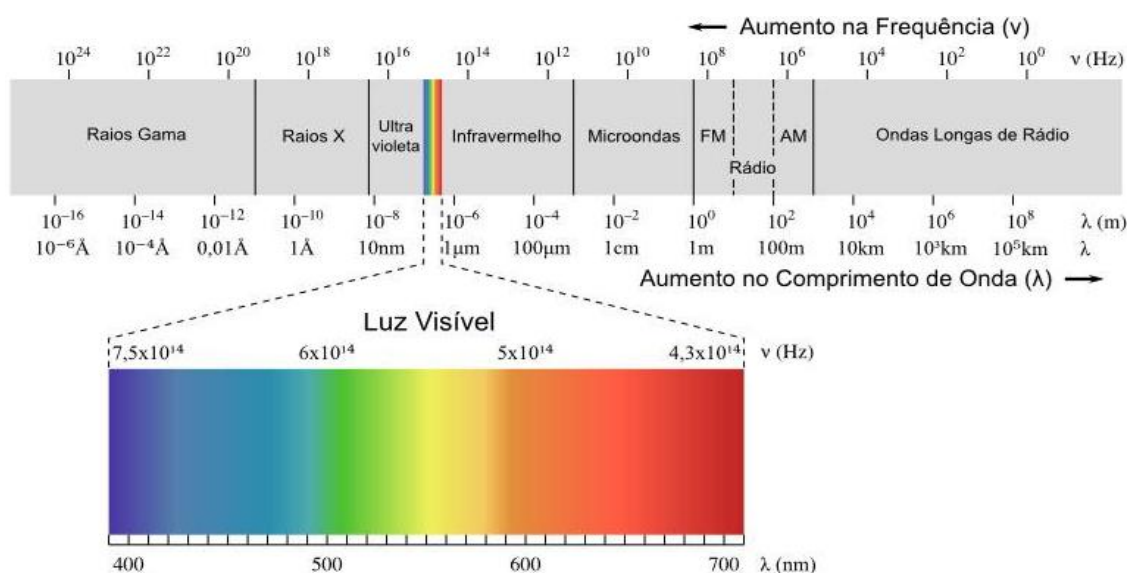


Figura 8 – Espectro Eletromagnético (Fonte: Adaptado de Mendes e Cirilo, 2013).

Esse arranjo das faixas (bandas) em intervalos no espectro eletromagnético compreende desde os curtos comprimentos de onda, como os raios cósmicos e os raios gama (γ), caracterizados por serem de alta frequência, até longos comprimentos de onda como as de rádio e TV, sendo estas de baixa frequência.

Todavia, para as aplicações do SR é utilizado um intervalo específico espectro eletromagnético que envolve as bandas do Visível (VIS), Infravermelho (IR) e sua subdivisão em infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas, infravermelho médio e infravermelho termal, e por fim, a micro-ondas (MW).

2.5.2.1 Radares em superfície

Derivado da expressão *Radio Detection And Ranging* (RADAR), que pode ser entendido como o uso de ondas de rádio para detecção e medição de alvos à distância, inicialmente era um instrumento destinado somente para fins militares. Uso este que posteriormente a segunda guerra mundial foi ampliado para as observações meteorológicas.

Operando na faixa de ondas de alta frequência (micro-ondas), de acordo com Pessoa (2001) e Vianello (2000), os radares utilizam a energia do próprio equipamento para emitir pulsos de radiação eletromagnética em direção as partículas de água na atmosfera. Deste modo, através de uma antena, esses sinais emitidos retornam para um comutador automático, que o repassa as informações para os indicadores e então se obtém eletronicamente a intensidade pluviométrica (Figura 10).

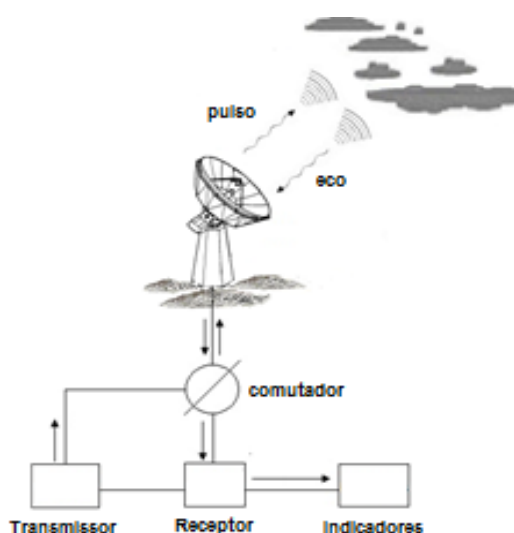


Figura 9 – Esquema de funcionamento de um radar meteorológico (Fonte: Adaptado de Vianello, 2000).

Uma relação que é conhecida como Z-R (Refletividade-Intensidade) e que para a maioria dos radares meteorológicos o limite inferior da taxa de precipitação é de 1 mm/h, a uma distância de 190 km (INPE, 2016). No entanto, por ser uma forma indireta de obtenção das estimativas de chuva e, que assim como os instrumentos convencionais, também produz incertezas, por isso existem algumas desvantagens no uso de radares nas estimativas de precipitação.

Pessoa (2001) destaca as interferências provocadas por obstáculos como residências e montanhas, a relação distância-alvo, pois quanto mais afastado menor é a refletividade e,

consequentemente, a precisão da estimativa diminui. A manifestação de outros fenômenos meteorológicos, que juntamente com os efeitos de refração podem resultar em informações distorcidas, incorretas ou mesmo falsas.

Além desses, outro aspecto que torna desvantajosa sua utilização é que no Brasil existem aproximadamente 26 Radares Meteorológicos, dentre os quais 14 têm suas atividades vinculadas ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dos quais oito são mantidos em parceria com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), sete com o Centro Nacional de Monitoramento de Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) e dois com o Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET).

São poucos os radares de uso meteorológico no país, com exceção das regiões sul e sudeste, que concentram a maioria dos radares ativos no Brasil. Algo já observado por Collischonn e Tassi (2008) e que em países como os EUA, a Inglaterra e a Alemanha já existem uma cobertura completa com sensores de radar para estimativa de chuva.

Logo, a inexistência de uma rede de estações e radares meteorológicos suficientes para a representação da variabilidade espacial das chuvas no país, bem como as inconsistências e falhas que são encontradas nos instrumentos convencionais geram lacunas no processo de monitoramento da precipitação. Por isso, a estimativa de precipitação por satélite tem se tornado uma alternativa representativa nos estudos dessa variável, servindo como uma ferramenta de grande relevância e potencial para a gestão dos recursos hídricos.

2.5.2.2 Satélites

Na década de 1960, as pesquisas e estudos ambientais deram um grande salto de conhecimento com o advento dos satélites. Responsável por gerar as primeiras imagens de topos de nuvem, o *Television Infrared Observation Satellite* (TIROS-1) é considerado o primeiro satélite meteorológico a transmitir informações e imagens da Terra (ROSA, 2009; NOVO, 2008; FLORENZANO, 2007).

Fundamentados no registro de alvos em altitudes muito elevadas, os satélites possuem trajetórias realizadas em função da órbita da Terra, sendo estas classificadas em três tipos básicos: geoestacionária, polar e heliosíncrona (Figura 11). Embora a grande maioria dos satélites apresente uma órbita geoestacionária, a utilização das órbitas polares mais baixas tem permitido com que os sensores dos satélites explorem melhor as diferentes faixas do espectro eletromagnético para estimativa da precipitação.

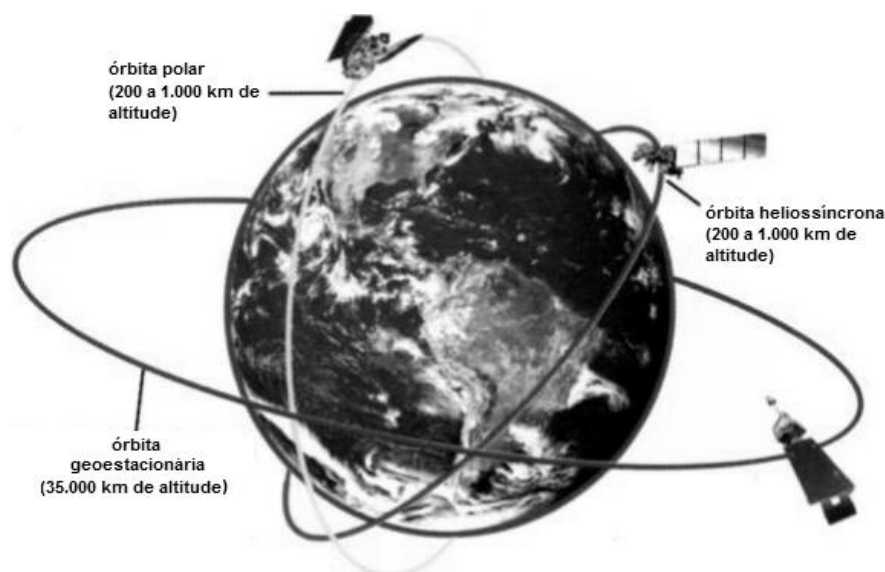


Figura 10 – Órbitas dos satélites (Fonte: Adaptado de Florenzano, 2007, p. 25).

Nas bandas do visível ou infravermelho, as estimativas de precipitação são obtidas da refletividade ou baixo valor da temperatura de brilho da nuvem, sendo essa informação posteriormente convertida para uma taxa de precipitação. Contudo, existem limitações nessa técnica, uma vez que a radiação detectada pelos sensores vem do topo de nuvens e não abaixo destas, onde são produzidas as precipitações. Dificilmente são apresentados bons desempenhos em tempo real e na escala do *pixel*.

Segundo Kidd e Lavisanni (2011) isso vem sendo superado através do uso da faixa de micro-ondas, devido sua maior eficiência e aptidão para medir a energia emitida e refletida (efeitos integrados da absorção/emissão e espalhamento eletromagnético), e é produzida na detecção das gotas de chuva com tamanho precipitável (mm), sobretudo na presença de moléculas de O_2 e H_2O . Além disso, Jiménez e Collischonn (2015) explicam ainda que a abrangência de sua frequência (de 10 a 50 Ghz) tem melhorado ainda mais o campo de detecção dessas moléculas nas nuvens.

Tendo em vista que a grande parte dos satélites utilizam as faixas de VIS e IR, caso do *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), *Meteorological Satellite* (METEOSAT), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Geostationary Meteorological Satellite* (GMS), *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP). O TRMM tem sido nos últimos dezoito anos o principal satélite a utilizar de forma eficiente às faixas de VIS, IR e MW para geração de estimativas de precipitação.

2.6 O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* - TRMM

Lançado em 27 de novembro de 1997, o satélite TRMM é resultado de uma parceria entre a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) com objetivo de monitorar as regiões tropicais e subtropicais, além de verificar a precipitação em áreas oceânicas do planeta (KUMMEROW *et al.*, 2000).

Inicialmente o satélite TRMM possuía uma altitude de 350 km, com movimento de translação considerado rápido (92 minutos), que devido a uma manobra de impulso orbital aumentou para 402 km, lhe permitindo visitar um mesmo ponto do planeta 16 vezes por dia.

Diferentemente dos satélites que possuem uma órbita geoestacionária, o TRMM apresenta uma órbita polar com trajetória oblíqua e inclinação relativamente baixa (35° graus) ao redor do globo (Figura 12).

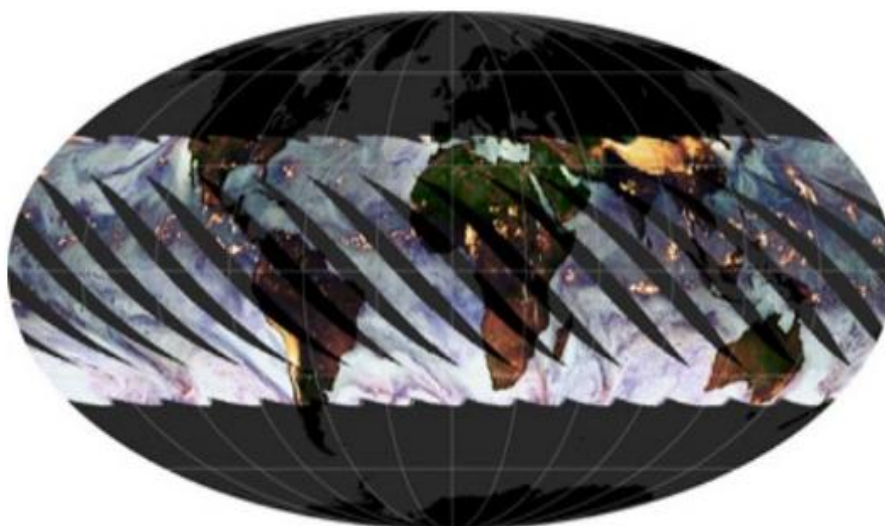


Figura 11 – Cobertura espacial realizada pelo plano orbitário do satélite TRMM (Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/page2.php>).

Na plataforma do satélite TRMM existem cinco sensores capazes de captar sinais eletromagnéticos nas faixas do visível, infravermelho, micro-ondas passivo (radiômetro) e ativo (radar) (Figura 13).

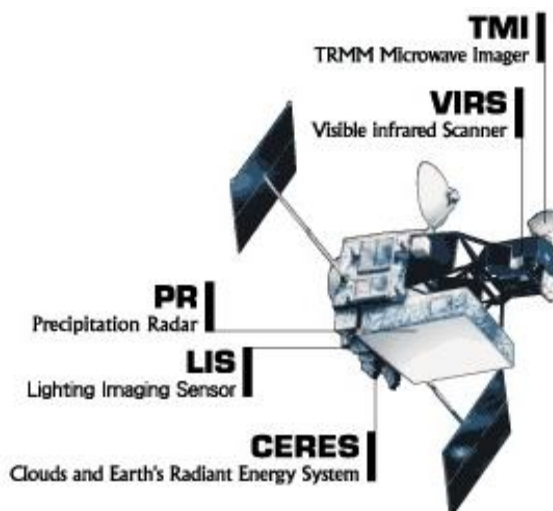


Figura 12 – Detalhamento do posicionamento dos cinco sensores na plataforma do satélite TRMM (Fonte: <https://pmm.nasa.gov/trmm/trmm-instruments>).

Nesse sistema de sensores do satélite, cada um possui funções específicas para a captação e transmissão de dados, sendo estas descritas a seguir:

- *TRMM Microwave Imager (TMI)*: Imageador de Micro-ondas passivo multicanal que opera em cinco frequências: 10,65, 19,35, 37,0 e 85,5 GHz em polarização dupla e 22,235 GHz em polarização única. Mede a intensidade de radiação (temperatura e brilho) para estimativa do vapor de água, água precipitável e intensidade da chuva;
- *Visible and InfraRed Scanner (VIRS)*: Radiômetro no visível e infravermelho, cobre uma área na superfície da Terra de 2,4 km (largura do feixe) e uma zona de cobertura de aproximadamente 247 km capazes de medir a radiação que retorna do planeta em cinco regiões espectrais nas faixas do visível e infravermelho (0,63 a 12 μm) por meio da correlação do brilho (visível e infravermelho próximo) e da temperatura (infravermelho) refletida do topo das nuvens para captar e estimar chuvas;
- *Precipitation Radar (PR)*: primeiro radar meteorológico lançado a bordo de um satélite. Possui sensor de micro-ondas ativo que opera em uma frequência de 13,8 GHz e cobre uma área de vista na superfície da Terra de 5 km (resolução horizontal) e resolução vertical de 250 m, capaz de produzir imagens tridimensionais da estrutura vertical das nuvens com vistas a classificar o tipo de chuva e obter mensurações de sua intensidade e distribuição tanto na superfície quanto no oceano;
- *Lightning Imaging Sensor (LIS)*: Sensor para imageamento de relâmpagos, capaz de identificar descargas elétricas e detectar o início de eventos pluviométricos extremos;

- *The Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)*: Sistema de energia radiante da Terra e Nuvens, utilizado para mensurar e estudar o balanço de energia entre o Sol, a atmosfera, a superfície, as nuvens e o espaço sideral. Porém, esse instrumento operou apenas entre janeiro a agosto de 1998 e em março de 2000.

Vale ressaltar que, embora o satélite opere com cinco sensores, os principais para estimativa da precipitação são o PR, TMI e VIRS. No entanto, os pesquisadores têm utilizado diferentes algoritmos para combinação desses sensores com os de outros satélites e dados obtidos na superfície com o objetivo de melhorar a acurácia, cobertura e a resolução no processamento dos dados de precipitação.

Através do *Multisatellite Precipitation Analysis (TPMA)*, essa combinação passa por inter-calibrações das estimativas de micro-ondas e VIRS de outros satélites e em seguida são integradas e relacionadas com os dados observados em pluviômetros e pluviógrafos oriundos do *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)* e *Climate Assessment and Monitoring System (CAMS)*, atribuindo-se maior peso aos dados provenientes dos sensores TRMM.

Tal processamento envolve um conjunto de etapas bem complexas devido a quantidade de algoritmos e dados que são levantados. Contudo, os produtos de Nível 3 são os mais refinados, pois possuem parâmetros geofísicos que foram espacial e/ou temporalmente reamostrados a partir de dados dos níveis 1 e 2, assim como pode ser visto na Figura 14, a qual apresenta um resumo esquemático das etapas de processamento dos dados TRMM e geração de seus produtos nesses níveis.

Nas etapas que compõem o processamento dos dados do satélite, o nível 1 se refere a intercalibração e combinação das estimativas de precipitação de micro-ondas; no nível 2 as estimativas de IR são criadas com ajuda de uma calibração baseada também nos resultados das estimativas de micro-ondas; e no nível 3 é feita a combinação de ambos os resultados obtidos nas etapas 1 e 2 e integração dos dados observados em pluviômetros e pluviógrafos.

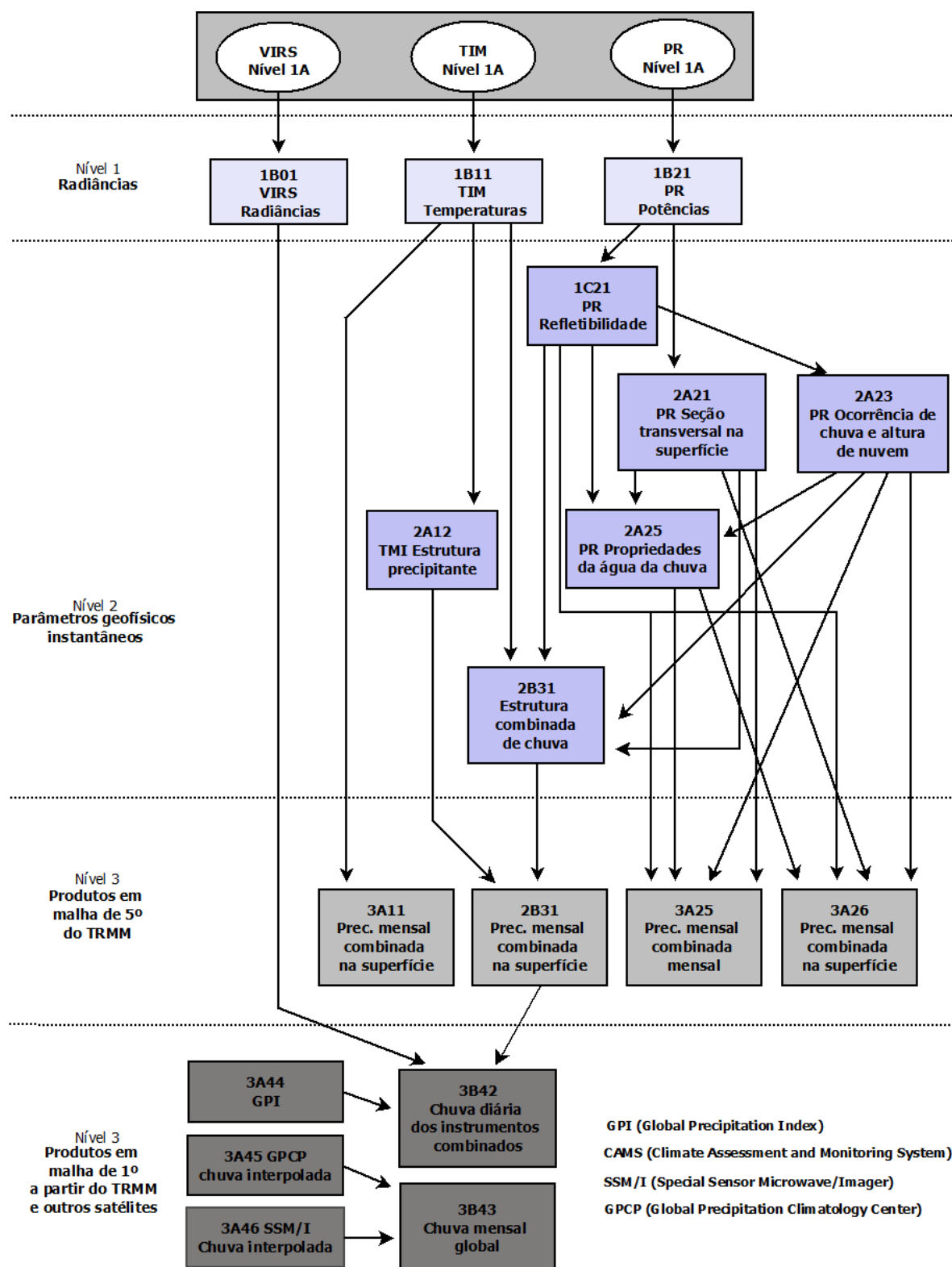


Figura 13 – Fluxograma de etapas para geração das estimativas de precipitação do satélite TRMM (Fonte: Collischonn, 2006, p. 31).

No que se refere especificamente ao nível 3, o 3B42 (diário) e 3B43 (mensal) se notabilizaram por serem os principais produtos do satélite TRMM para estimativas da precipitação.

Em relação ao produto utilizado neste trabalho, o TRMM 3B42, atualmente está na sua versão 7, a qual tem sido considerada como a última atualização dos algoritmos do satélite TRMM. Resultante de um processamento dos dados diários captados a cada 3 horas (padrão *Universal Times Coordinate-UTC*), o produto 3B42-v.7 disponibiliza imagens com uma resolução espacial de 0,25° entre as latitudes de 50° graus Norte e 50° graus Sul (Figura 15).

Segundo Huffman e Bolvin (2017) o produto 3B42-v.7 é uma fonte de dados altamente recomendável, especialmente quando há uma dificuldade de obtenção ou insuficiência de dados observados em superfície e que tem sido avaliada como fonte de dados em diferentes estudos hidrológicos.

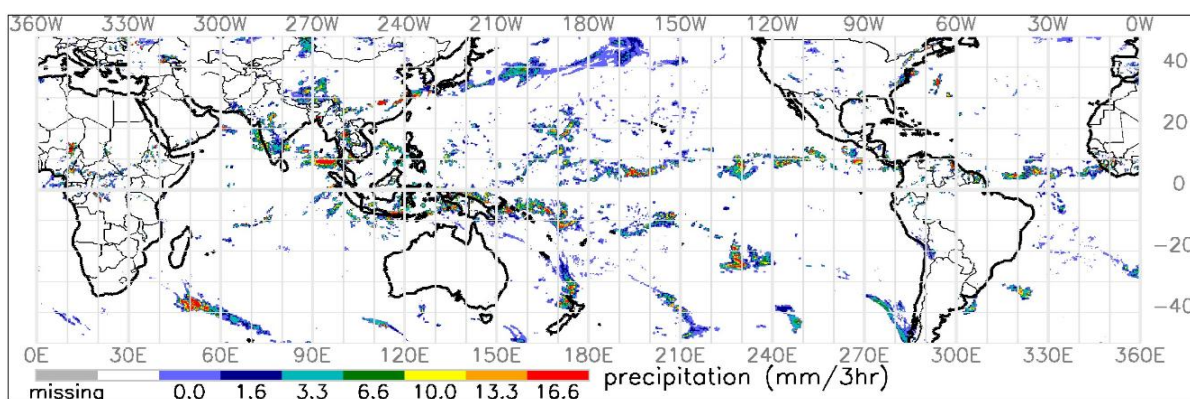


Figura 14 – Imagem gerada pelo algoritmo 3B42-v.7 na data 28. 06. 2016 (Fonte: https://disc.gsfc.nasa.gov/DATACOLLECTION/TRMM_3B42_7.html).

2.6.1 Estudos avaliando o produto TRMM 3B42

Chen *et al.* (2013) avaliaram o desempenho do produto 3B42 numa área do Pacífico Sul que envolve condições de superfície e oceano no período de 1998 a 2010. Os autores verificaram que o produto possui melhor habilidade na detecção de precipitação sobre o oceano do que sobre a terra e em locais com altitude elevada.

Analisando o aspecto da representatividade espacial, Kenawy *et al.* (2015) utilizaram os dados do produto 3B42 para estudo da região do nordeste da Península Ibérica, comparando as suas estimativas com dados em superfície de 656 estações a uma distância média de 5 km no período de 1998 a 2009. As análises estatísticas realizadas verificaram que as estimativas do produto são capazes de descrever as características sazonais na maior parte da área de estudo,

conseguindo representar melhor os dados observados em regiões continentais do que em regiões costeiras. Além disso, os autores observaram que houve um melhor desempenho em representar eventos moderados de precipitação (de 5 mm a 25 mm por dia). Todavia, quando analisados eventos com menos de 1 mm por dia ou com mais de 50 mm por dia, o desempenho das estimativas 3B42 é menor.

Em outro estudo Bodian *et al.* (2016) utilizaram os dados diários do produto do 3B42 do período de 1998-2004 para aplicação no modelo hidrológico GR4J na Bacia do Rio Senegal entre Guiné e Mali. Ao analisarem os hidrogramas baseados nas estimativas do produto e os observados em superfície, os autores verificaram que os resultados das simulações realizadas foram semelhantes, com sutil diferença entre os fluxos diários máximos estimados em comparação com os dados observados. Porém, os fluxos diários mínimos mostram erros, que a princípio não foram causados pela natureza dos dados de precipitação no modelo.

Com relação a sua aplicação no Brasil, Collischonn *et al.* (2007) utilizaram dados de precipitação do produto 3B42 na Bacia do Paraguai Superior e constataram um número insignificante de falhas nas séries temporais, que representavam apenas cerca de 0,1% da extensão total e por apenas 1 ou 2 intervalos de tempo, diferentemente das séries de pluviômetros, em que ocorrem às vezes por longos períodos. Os autores ainda concluem que essa metodologia pode servir de auxílio para identificar pluviômetros com problemas na Uma diferença leitura ou mal localizados.

Já Nóbrega, Souza e Souza (2008) utilizaram as estimativas do produto 3B42 como dados de entrada em um modelo hidrológico semidistribuído Slurp na Bacia do Rio Jamari (RO), obtendo boa adequação ao modelo na simulação da vazão na bacia, com coeficiente de determinação igual a 0,82, apresentando vazões média, máxima e mínima coerentes com a de outros autores que utilizaram precipitação na superfície.

Avaliando o desempenho do produto 3B42, juntamente com o *Real Time* (RT), Quirino *et al.* (2015) estudaram o balanço hídrico em três regiões do estado de Goiás e fizeram uma comparação com dados observados em solo. Foram constatadas que as estimativas dos produtos diários do satélite TRMM estiveram próximas dos dados medidos por pluviômetros, tendo ambos apresentaram um desempenho satisfatório no balanço hídrico da área de estudo.

Mais recentemente Soares, Paz e Piccilli (2016) avaliaram o potencial do satélite TRMM em representar a variabilidade espaço-temporal da precipitação no Estado da Paraíba de 1998 a 2011 considerando chuvas diárias, três dias, sete dias e mensais. Analisando as dos dados provenientes do produto 3B42 com uma malha espacial de 198 *pixels* e 212 postos pluviométricos, os autores verificaram que as estimativas do produto apresentaram maior

concordância entre estimativas do TRMM e as medições pluviométricas na região do Sertão Paraibano do Estado, com diferenciações entre os campos de chuva dos pluviômetros e a malha TRMM em regiões com maiores totais precipitados. O que segundo os autores poderia estar relacionada a sistemas de precipitação atuantes e as especificidades geográficas. Contudo, ao passo que se aumentava o intervalo da escala de tempo houve uma melhor correlação entre os dados TRMM e os pluviômetros.

Contudo, Collischonn (2007) adverte que as medições convencionais não podem ser supervalorizadas e nem consideradas como a “verdade de campo”, uma vez que representam geralmente uma análise pontual de uma rede esparsa de pluviômetros, e por vezes está associada a uma série de incertezas. Um entendimento compartilhado por Nóbrega, Souza e Sousa (2008), é o uso de dados do satélite TRMM como uma alternativa viável e menos onerosa, quando comparados a instrumentos como estações meteorológicas e pluviométricas que possuem custos mais elevados e necessitam de constante manutenção.

Na busca de um sucessor do satélite TRMM, desde 27 de fevereiro de 2014 o satélite *Global Precipitation Measurement* (GPM) está em operação e tem sido preparado para isto. Com uma abrangência maior e melhor resolução temporal que o TRMM, o GPM foi projetado por um grupo internacional de especialistas da NASA e a JAXA em conjunto com outras agências espaciais, incluindo o *Centre National d'Études Spatiales* (CNES), a *Indian Space Research Organization* (ISRO), a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), a *European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT).

Ao longo desses 20 anos do lançamento do satélite TRMM, além de superar as expectativas de sua vida útil, que inicialmente era de no máximo três anos após seu lançamento, o satélite demonstrou que o Sensoriamento Remoto além de ser uma alternativa confiável no estudo da precipitação, é uma ferramenta cada vez mais comum nas rotinas de monitoramento e observação desse fenômeno.

2.7 Análise de tendências da precipitação

Diante da discussão científica sobre as possíveis “mudanças climáticas” no planeta, a análise de tendências se tornou uma ferramenta muito útil nos estudos e pesquisas envolvendo variáveis climáticas. Através de modelos probabilísticos, esse tipo de apreciação estatística tem contribuído fortemente nas tomadas de decisão sobre o uso dos recursos hídricos e na implementação e adequação de obra de engenharia, devido ao seu alto potencial de inferência sobre o comportamento de variáveis como a precipitação.

Nesse campo de análise existe uma gama de modelos matemáticos que permitem avaliar tendências de comportamento da precipitação, a exemplo da regressão linear (Brasil NETO *et al.*, 2016; RIVERA *et al.*, 2013) e os testes de hipóteses (SHARMA E SAHA, 2017; MOREIRA e NAGHETTINI, 2016; SILVA *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2007).

Naghettini e Pinto (2007) explicam que se o objetivo é realizar uma análise robusta sobre o comportamento de uma variável, os testes de hipóteses possibilitam avaliar de acordo de níveis de significância, conjecturas mais prováveis para a tomada de decisão de não rejeitar (ou de rejeitar) uma afirmação. A depender do tipo de procedimento, os testes de hipóteses podem ser classificados em dois tipos:

- Paramétricos: os dados amostrais contidos na série são extraídos de uma população normal ou de qualquer outra população, cujo modelo distributivo seja identificável na série ou previamente definido;
- Não-paramétricos: podem ser definidos como aqueles que não necessitam de prévia definição do modelo distributivo da população, os quais são estabelecidos de acordo com as particularidades da amostra.

Como os testes não-paramétricos apresentam uma menor dependência de suposições em torno da série de dados, simplificando o processo, os métodos que se enquadram nessa classificação são geralmente os mais utilizados, como é o caso do teste de teste Mann-Kendall.

Inicialmente proposto por Mann (1945) e alterado por Kendall (1975), o método Mann-Kendall (MK) tem sido recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) por ser um teste eficaz na análise de variáveis climáticas em diferentes regiões do planeta e com grande potencial de aplicação se utilizado com outros métodos de análise estatística.

Nesse contexto, Hasan, Akhter e Kabir *et al.* (2014) utilizaram o teste de MK na análise de tendências em dados de estações pluviométricas no Sudeste Bangladesh, entre os anos de 1980 a 2011, e concluíram que a quantidade de precipitação anual da região aumentou, embora esta tendência não seja estatisticamente significativa. Entretanto, ao analisar as chuvas sazonais os autores verificaram aumento significativo entre 8 e 9 mm/ano na estação pré-monsoão na maioria das áreas, mas durante o inverno está diminuindo e se tornando mais seco.

Em estudo realizado por Silva *et al.* (2015) os autores utilizaram o teste MK em dados de chuva e vazão de estações pluviométricas da bacia do Cobre em Portugal no período de 1960 a 2000, e constataram nos resultados que o fluxo de chuva na bacia variou amplamente, tanto na escala temporal quanto espacial, com sinais de redução significativa da precipitação anual.

No estudo de Yazid e Humphries (2015) na península da Indochina, o teste MK foi aplicado em dados diários obtidos do *Precipitation-Highly-Resolved Observational data Integration towards Evaluation of Water Resources* (APHRODITE) para o período de 1960 e 2007. Analisando os índices extremos de precipitação, os autores identificaram tendências contrastantes em chuvas extremas entre a parte leste e oeste da região, com tendências crescentes no número dias úmidos consecutivos (CWD) na região leste e decrescentes no oeste, com o índice de dias secos consecutivos (CDD), revelando que prevaleceram tendências não significativas.

Sharma e Saha (2017) utilizaram dados mensais do *British Atmospheric Data Center* (BADC) na grade de resolução espacial de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ no período de 1901 a 2013 para estudo da precipitação na bacia do rio Damodar e realizaram diferentes abordagens estatísticas com o teste MK. Conforme os resultados, os autores constataram a presença de tendências decrescentes significativas na precipitação anual e sazonal, tendo encontrado neste último efeito na fase de crescimento das culturas agrícolas no período de maio a outubro na bacia.

Na América do Sul, Haylock *et al.* (2006) analisaram tendências nos eventos extremos de precipitação para o período de 1960 a 2000 em 54 estações pluviométricas e dentre os resultados verificaram que no Brasil houve um aumento no total anual de chuva sobre a região Nordeste.

Já Dantas, Santos e Olinda (2015) verificaram em dados diários de precipitação para o período de 1975 a 2011 ausência de tendências com valor significativo para os índices anuais em Campina Grande-PB. No entanto, mesmo sem significância estatística, os autores afirmam que as chuvas intensas tendem a aumentar, ocorrendo em um período menor de tempo.

Aplicado também para análise em dados obtidos de satélites, Oliveira *et al.* (2014) utilizaram estimativas de precipitação do produto 3B42 do satélite TRMM para o período de 2003 a 2010 e utilizaram o teste MK. Nos resultados, os autores verificaram que ao nível de 0,05 (5%) não houve tendências significativas no escoamento anual durante o período de estudado. Em outro estudo com dados de precipitação do TRMM 3B42, Lu *et al.* (2016) utilizaram o teste MK para análise da precipitação de 1998 a 2015, em uma região do deserto da Namíbia. Apesar da variabilidade da chuva aumentar para o local mais seco, conforme indicado pelo coeficiente de variação, não foram reveladas tendências significativas a nível de significância de 5% em nenhum dos locais para a precipitação anual. Além disso, os resultados mostraram um aumento na precipitação extrema, com maior quantidade mensal de precipitação em fevereiro.

2.8 Análise de *clusters* da precipitação

Considerado por Hosking e Wallis (1997) como um dos métodos mais práticos no âmbito da análise multivariada, a análise de *clusters* ou de agrupamento é definida por Naghettini e Pinto (2007, p. 407) como o procedimento de aglomeração sequencial de indivíduos em grupos de acordo com algum critério, distância ou medida de dissimilaridade.

Classificados em hierárquicos e não-hierárquicos, diferentemente dos testes de hipóteses, a análise de *clusters* não avalia hipóteses sobre o comportamento de uma variável, mas sim, permite agrupar seus indivíduos conforme a relação de semelhança ou dissemelhança estabelecida entre eles. Quando hierárquicos, os indivíduos são classificados em grupos de modo ordenado e arranjados numa estrutura chamada de "dendrograma", na qual é possível realizar subdivisões em vários *clusters*. Já nos métodos não-hierárquicos, os *clusters* podem ser definidos antecipadamente ou determinados durante a execução dos procedimentos, gerando um perfil gráfico com as variáveis ao longo do eixo horizontal e os valores das variáveis ao longo do eixo vertical, no qual cada ponto do gráfico representa o valor da variável correspondente.

A depender do critério que se pretende estabelecer no agrupamento da variável, existem diferentes algoritmos que podem ser aplicados na análise de *clusters*. Conforme Badr, Zaitchik e Dezfuli (2015) e Hair *et al.* (2009) os mais comuns entre os métodos hierárquicos e não-hierárquicos (K-médias) são descritos na Tabela 1:

Tabela 1 – Algoritmos mais utilizados na determinação de agrupamentos.

| Métodos hierárquicos | Métodos não-hierárquicos |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Métodos de ligação disponíveis: | Métodos de designação disponíveis: |
| Ligação Simples | Referência sequencial |
| Ligação completa | Referência paralela |
| Ligação Média | Otimização |
| Método de Ward | Seleção de pontos sementes |
| Método centroide | |

Fonte: Hair *et al.* (2009).

Nos estudos envolvendo a precipitação, tanto os métodos hierárquicos como não-hierárquicos, têm sido empregados para análise de dados de precipitação (CORPORAL-

LODANGCO *et al.*, 2017; MOREIRA *et al.*, 2016; CHIERICE e LANDIM, 2014; JOHNSON, XUGUANG e XUE, 2011; LYRA *et al.*, 2006). No entanto, se o objetivo é avaliar a frequência de precipitação, vazões, qualidade de águas e outras variáveis, geralmente os hierárquicos são mais utilizados, pois possibilitam uma melhor classificação para delimitação de regiões homogêneas ou semelhantes (NAGHETTINI e PINTO, 2007). Contudo, segundo Hair *et. al* (2009, p. 454-455) cada abordagem tem distintas vantagens e desvantagens, de modo que a associação dos métodos hierárquicos e não-hierárquicos pode trazer benefícios, com a compensação das desvantagens de cada um.

CAPÍTULO 3

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

Com uma área de 56.469,744 km² a Paraíba é um estado da região Nordeste do Brasil localizado entre as coordenadas 6°00'S e 8°50'S e 38°75'W e 34°5'W, cujo território é banhado na sua porção leste pelo Oceano Atlântico e faz limites com estados do Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte (Figura 16).

Dentro de seus limites a Paraíba engloba um total de 223 municípios que estão distribuídos em quatro mesorregiões: Agreste Paraibano, Borborema, Mata Paraibana e Sertão Paraibano, sua população é estimada atualmente em 4.025.558 habitantes (IBGE, 2017).

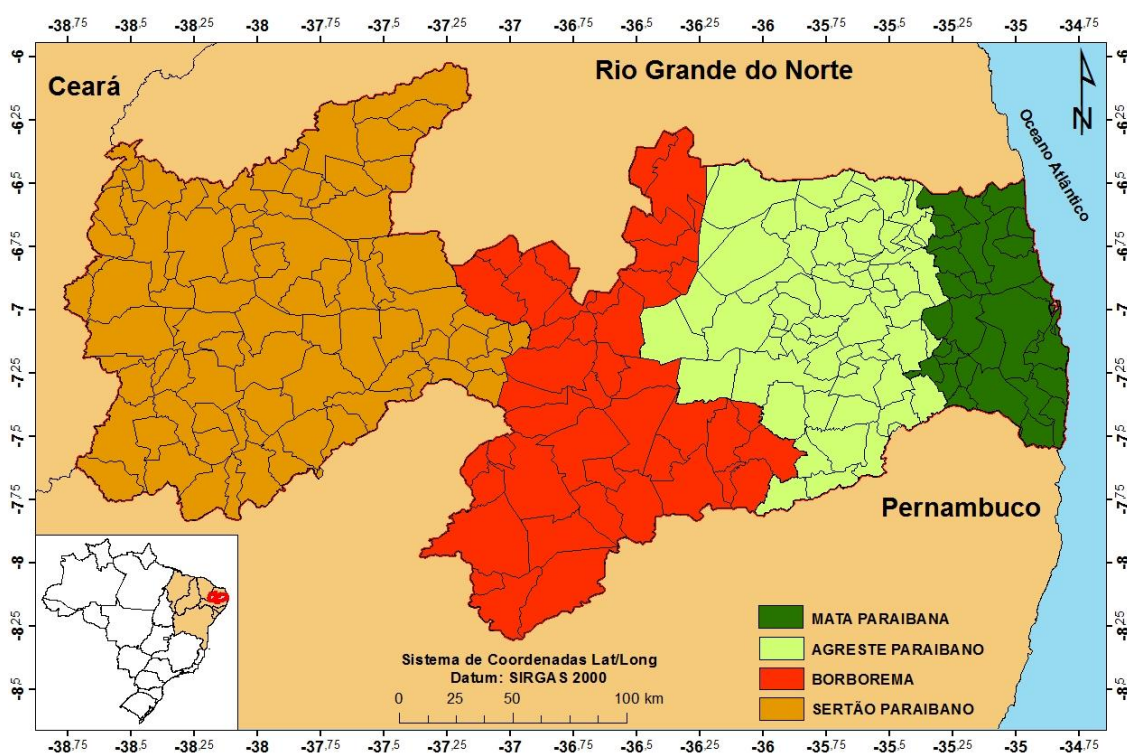


Figura 15 – Localização do estado da Paraíba e suas divisões por mesorregião (Fonte: Autor, 2017).

Inserida numa região de grande incidência solar e poucas variações de temperaturas durante o ano, geralmente em torno de 26° C (PEA-PB, 2011). A Paraíba apresenta um regime de chuvas com totais anuais em torno de 1.800 mm/ano na Mata Paraibana; entre 800 e 1.100

mm/ano no Agreste Paraibano; entre 200 e 600 mm/ano na Borborema; e entre 600 e 1.000 mm/ano no Sertão Paraibano, sendo que durante os meses de abril a junho ela se concentra na Mata Paraibana; de março a maio no Agreste Paraibano e Borborema; e de janeiro a março no Sertão Paraibano.

A respeito do clima da Paraíba (Figura 17), Alvares *et al.* (2013) e Lucena (2008) descrevem com base na classificação de Köppen a presença dos tipos A e B, de modo que na Mata Paraibana e Agreste Paraibano tem-se a presença dos subgrupos do tipo AS' (clima quente e úmido); na Borborema, parte do Agreste Paraibano e extremo norte do Sertão Paraibano, Bsh (clima semiárido); e na maior parte do Sertão Paraibano, Aw' (clima quente e semiúmido ou subúmido).

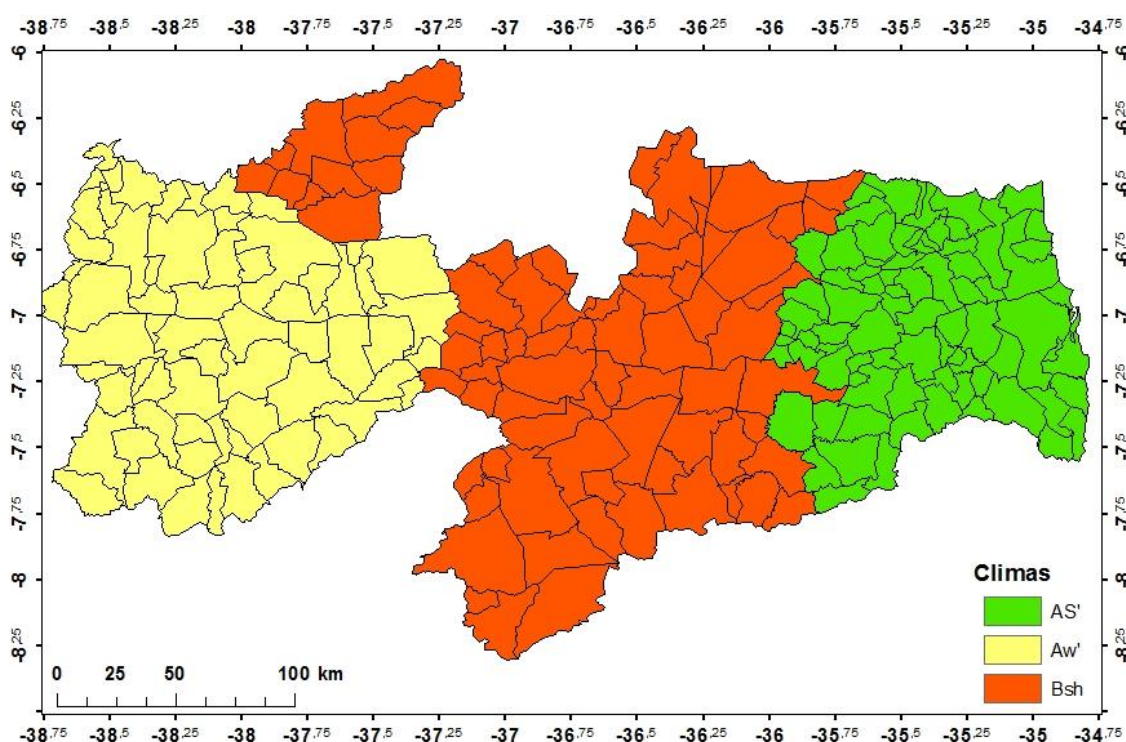


Figura 16- Tipos de clima na Paraíba segundo a classificação de Köppen (Fonte: Adaptado de Alvares *et al.*, 2013).

Na hidrografia, o Estado possui sob seus domínios onze bacias hidrográficas, sendo que a bacia do rio Piranhas (26.047,49 km²) e a bacia do rio Paraíba (20.071,83 km²) são as principais (AESAs, 2013). Sobre a vegetal, Moreira (1989) descreve que sua composição exhibe resquícios de mata atlântica na faixa litorânea, se alterando ao adentrar o interior, com a porção semiárida apresentando espécies vegetais de caatinga juntamente com solos rasos e pobres.

Em relação ao relevo (Figura 18), Lucena (2008) demonstra que o estado paraibano é composto por planície litorânea (0 a 100 m), depressão sublitorânea (100 a 150 m), planalto da Borborema (500 a 1.186 m) e depressão sertaneja (230 a 300 m).

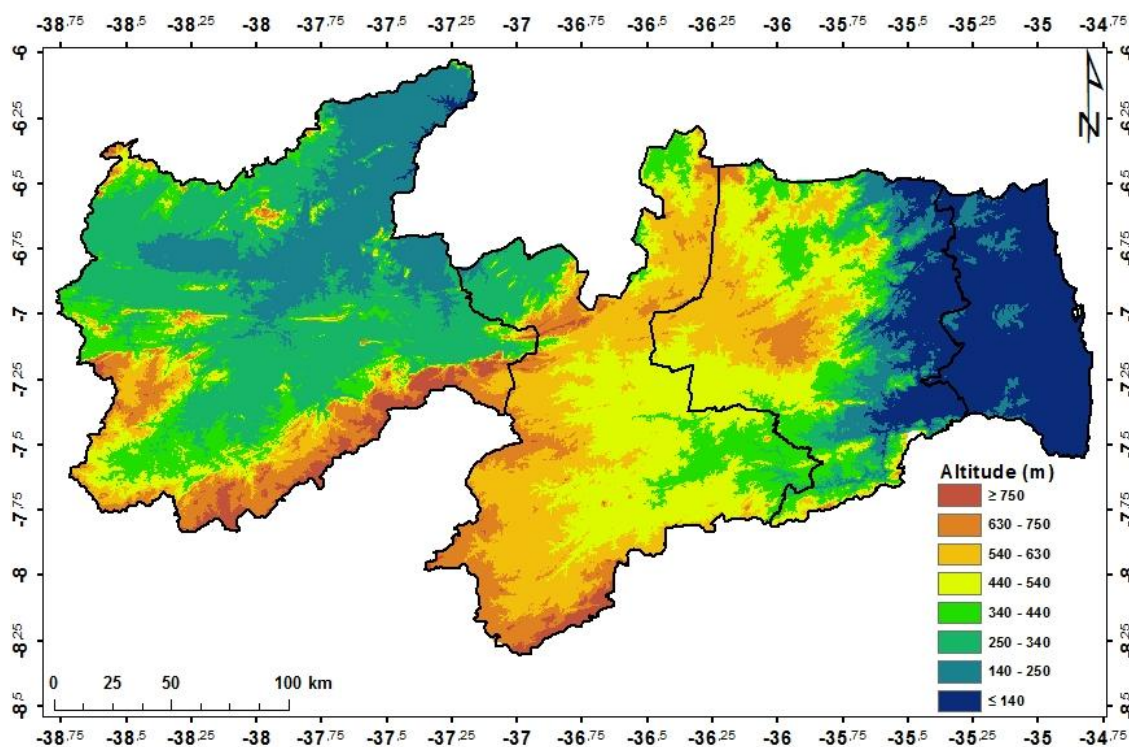


Figura 17 – Variação da altitude com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto Topodata/INPE com a delimitação das mesorregiões do estado da Paraíba.

3.2 Obtenção e composição dos dados de precipitação

Os dados de precipitação deste trabalho foram obtidos no ambiente on-line desenvolvido pelo GES DISC (*Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center*) da base dados eletrônicos Giovanni em: <https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/> e são estimativas diárias do produto 3B42 versão 7 do satélite TRMM, tendo como período de análise 01 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2015. Como as imagens do produto 3B42 possuem uma resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, a precipitação em cada *pixel* abrange aproximadamente $27 \text{ km} \times 27 \text{ km}$, o que resulta em uma área de 729 km^2 .

Partindo disso, para delimitação do recorte espacial do estado da Paraíba gerou-se uma grade com 187 quadrículas (*pixels*) no programa MATLAB e sua distribuição espacial realizada no ArcGIS por meio de seus centroides (pontos TRMM), assim como mostra a Figura 19.

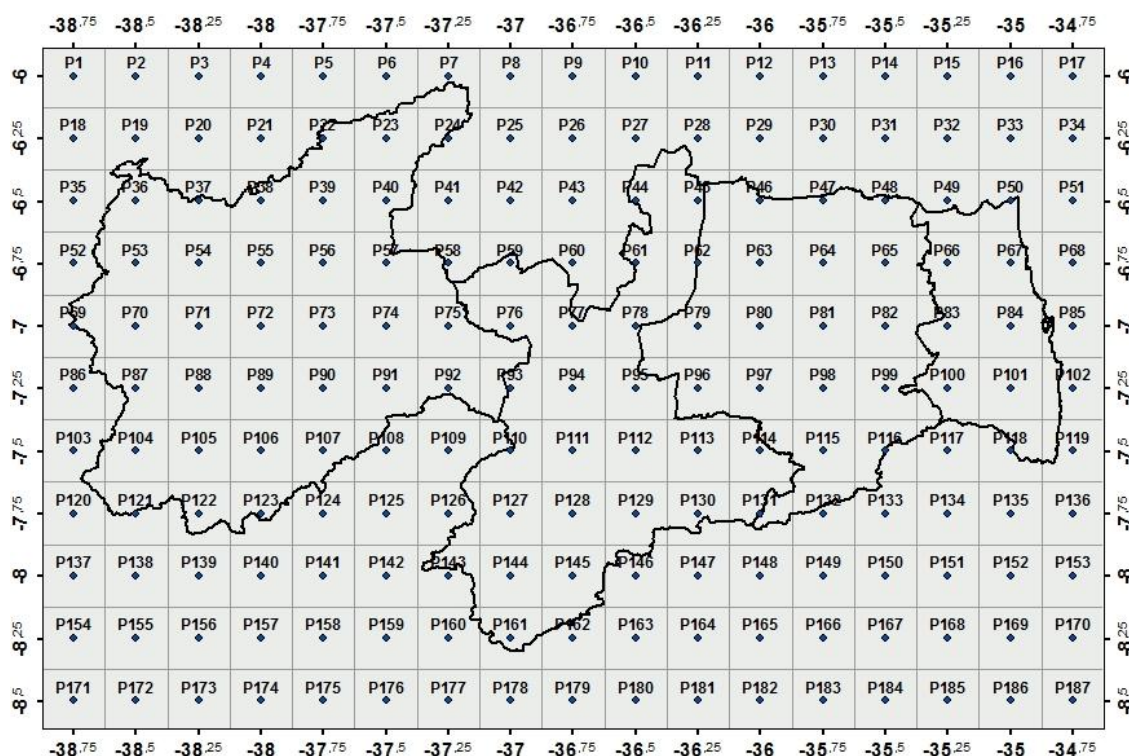


Figura 18 – Distribuição espacial dos 187 pontos TRMM sobre o recorte espacial da Paraíba.

3.3 Dados de altimetria

Para verificação do efeito topográfico no comportamento da precipitação do período de 1998 a 2015 na área de estudo, foram traçados perfis topográficos por faixas de latitude utilizando valores de altimetria gerados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), os quais foram obtidos no banco de dados do projeto TOPODATA gerenciado pelo INPE que é disponibilizado em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>.

3.4 Aplicação dos índices CDD e CWD

Como forma de verificar a variabilidade e irregularidade no número de dias secos e chuvosos na área de estudo, uma das metodologias utilizadas neste trabalho foi a aplicação de índices climáticos.

Dentre os 11 índices climáticos definidos pelo *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI) para o monitoramento da precipitação, foram selecionados dois índices, um referente a contagem do número máximo de dias secos consecutivos *Consecutive Dry Days* (CDD) e o outro para a contagem do número máximo de

dias úmidos consecutivos *Consecutive Wet Days* (CWD). Através desses índices, os valores diários de precipitação dos 187 pontos TRMM da área de estudo foram avaliados, de modo que um dia úmido seria quando a precipitação fosse superior a 1 mm, enquanto que os dias secos seriam aqueles cuja precipitação fosse inferior ou igual a 1 mm.

3.5 Teste de Mann-Kendall

Mediante a aplicação do teste não paramétrico Mann-Kendall os dados da série temporal de precipitação e do número de dias secos e úmidos consecutivos foram analisados testando-se a hipótese nula (H_0) de que não houve tendência, contra a hipótese alternativa (H_1) de que houve uma tendência de comportamento nos dados.

Considerando que X_1, X_2, \dots, X_n são os valores sequenciais da série temporal e n o tamanho do conjunto, a equação do teste Mann-Kendall assume a expressão:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

onde n o tamanho do conjunto de dados e sgn realizada a comparação par a par de x_j e x_k , compondo assim a seguinte função:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (2)$$

sendo o conjunto de dados $n \geq 10$, sob a hipótese nula (ausência de tendência), S apresenta média zero e sua variância fica expressa como:

$$\text{Var}[S] = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (3)$$

com q sendo o número de *clusters* vinculados e t_p a quantidade de repetições de uma extensão p .

Em seguida, ao tomar como base os valores da estatística Z , foi avaliado o nível de significância e definido qual seria a probabilidade de rejeitar a hipótese nula a favor da hipótese

alternativa. Havendo nesta última a indicação se a tendência foi crescente ($z > 0$) ou decrescente ($z < 0$). Cálculo este realizado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Buscando avaliar diferentes probabilidades na utilização do teste MK, foram aplicados valores de significância com α sendo igual a 0,001; 0,01; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,999. Todavia, para efeito de se rejeitar a hipótese nula foi considerado que α poderia ser igual à no mínimo 0,1. Ou seja, com uma confiabilidade de 90% a hipótese alternativa é a mais provável e que, portanto, houve tendência.

3.6 Teste de Sen

Como o teste de Mann-Kendall não possui a propriedade de revelar a declividade verdadeira na detecção de tendências. Através da equação proposta por Sen (1968) foi realizado o cálculo do coeficiente angular da reta, avaliando com isso o grau de acréscimo ou decréscimo em função do tempo através da estatística Q , cuja equação é expressa por:

$$Q_{ij} = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad \text{com } i > j \quad (5)$$

onde x_j e x_i representam os valores da variável em estudo nos tempos i e j . Podendo ser positivo ou negativo para Q e com n sendo os valores da série analisada. Então, para o número de pares estimados por Q utilizou-se a seguinte equação:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (6)$$

de modo que o valor da mediana dos n valores de Q_{ij} é a declividade calculada pelo teste Sen.

3.7 Análise de *clusters* por correlação

Para formação das regiões de comportamento semelhante foi realizada uma análise de *clusters* nos dados dos 187 pontos TRMM da área de estudo através do algoritmo hierárquico *Average Linkage* (Ligação Média). Segundo Hair *et al.* (2009) esse método de agrupamento hierárquico tem a similaridade como a distância média entre todos os objetos em um agrupamento e todos os objetos de outro, combinando os que tiverem menores variâncias. Ainda segundo os autores, a ligação média se destaca por ser menos afetada por observações atípicas do que outros métodos de agrupamento.

Partindo disso, a geração de *clusters* por meio da correlação entre as distâncias dos indivíduos aglomerados é estabelecida pela seguinte equação:

$$d_{(UV)} = \frac{(N_u \cdot d_{UW} + N_v \cdot d_{VW})}{N_u + N_v} \quad (7)$$

onde, N_u e N_v correspondem ao número de elementos contidos nos *clusters* U e V , respectivamente, e d_{UW} e d_{VW} as distâncias respectivas dos elementos UW e VW .

Ao aplicar o algoritmo ligação média foi estabelecido inicialmente a formação de 30 *clusters*, para obter uma melhor representação dos *clusters* dos 187 pontos da grade TRMM Paraíba nos dendrogramas e mapas das regiões semelhantes para área de estudo. Contudo, no intervalo de 2 a 15 *clusters* se considerou a formação com 7 *clusters* a mais adequada para as análises deste trabalho.

3.8 Interpolação

A fim de analisar a distribuição espacial da precipitação e dos valores gerados com as análises estatísticas para os 187 pontos TRMM da área de estudo, foi utilizado como método de interpolação o *Spline* regularizado. Considerado por Amorim *et al.* (2008) como o melhor para superfícies que representam tendências gradativas. Esse método consiste no ajuste espacial dos valores dos dados de entrada gerando-se uma superfície de “curvatura mínima”.

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da precipitação de 1998 a 2015

Ao realizar uma análise sobre a dinâmica da precipitação dos dezoito anos do período de 1998 a 2015, os dados de precipitação dos 187 pontos TRMM da área de estudo foram quantificados para valores anuais e mensais e plotados em um único gráfico na Figura 20. A partir disso, observou-se no hietograma anual (Figura 20a) que os anos de 2000 e 2011 foram chuvosos, com destaque para o ano de 2000, que apresentou uma média superior a 1.400 mm. Por outro lado, nos anos de 1988 e 2012 foram observados baixos valores de precipitação, tendo neste último menor média de precipitação, indicando valor próximo a 500 mm.

Em relação ao comportamento mensal, pode-se notar pela distribuição do total de precipitação mensal (Figura 20b), que os meses úmidos se concentraram no primeiro semestre, tendo de acordo com o hietograma mensal (Figura 20c) médias próximas de 150 mm, enquanto que no segundo semestre os valores tiveram um decréscimo, com os meses de outubro e novembro, apresentando valores inferiores a 50 mm. Além disso, observa-se que nos meses de agosto e setembro que, no geral foram secos, a precipitação foi mais elevados no ano de 2000, enquanto que nos meses considerados chuvosos (março e abril) os valores de precipitação no ano de 2012 foram muito inferiores aos demais anos da série temporal.

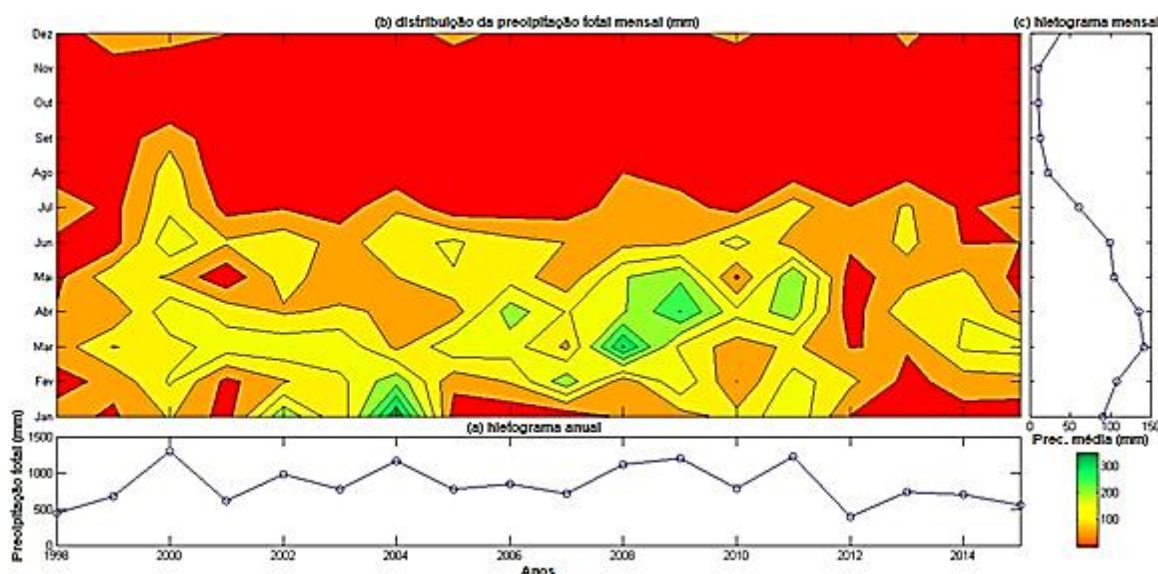


Figura 19 – Distribuição e variabilidade da precipitação mensal de 1998 a 2015.

4.2 Comportamento espaço-temporal da precipitação anual

Para observar o comportamento da precipitação anual do período de 1998 a 2015 foi realizado uma quantificação do total de precipitação dos 187 pontos da grade TRMM Paraíba em cada um dos dezoito anos da série temporal. Nessa análise estatística, verificou-se que a média da precipitação foi de 832 mm, com máxima de 1.474 mm e mínima de 513 mm, tendo um desvio padrão de 197 mm e mediana de 835 mm. Ao gerar o gráfico de *box-plot* da Figura 21, foi possível perceber que a maioria dos valores de precipitação no período estiveram no 1º quartil e que os valores mais próximos da média e mediana pertenceram ao conjunto do 3º quartil.

Tabela 2 – Estatística descritiva da precipitação de 1998 a 2015.

| Estatística | Precipitação (mm) |
|---------------|-------------------|
| Média | 832 |
| Mediana | 835 |
| Desvio-padrão | 197 |
| Máxima | 1.474 |
| Mínima | 513 |
| 1º Quartil | 674 |
| 3º Quartil | 936 |

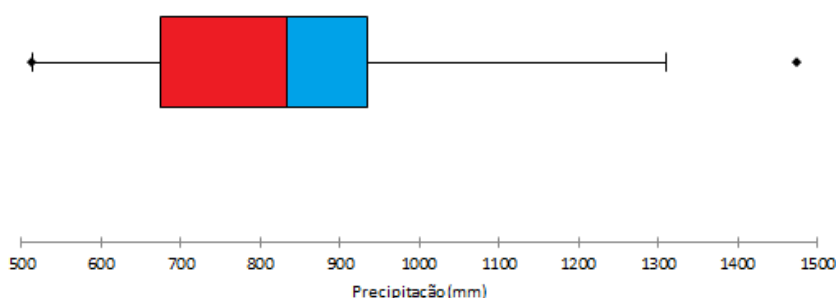


Figura 20 – Variabilidade da precipitação anual de 1998 a 2015.

Realizando uma análise da distribuição espacial dos 187 pontos TRMM do período de 1998 a 2015 na área de estudo, os valores de precipitação para cada um dos anos dezoito anos foram espacializados (Apêndice A-1) e a partir da média de precipitação acumulada de toda a série temporal foi elaborado também o mapa da média de precipitação do período, o qual é exibido na Figura 22.

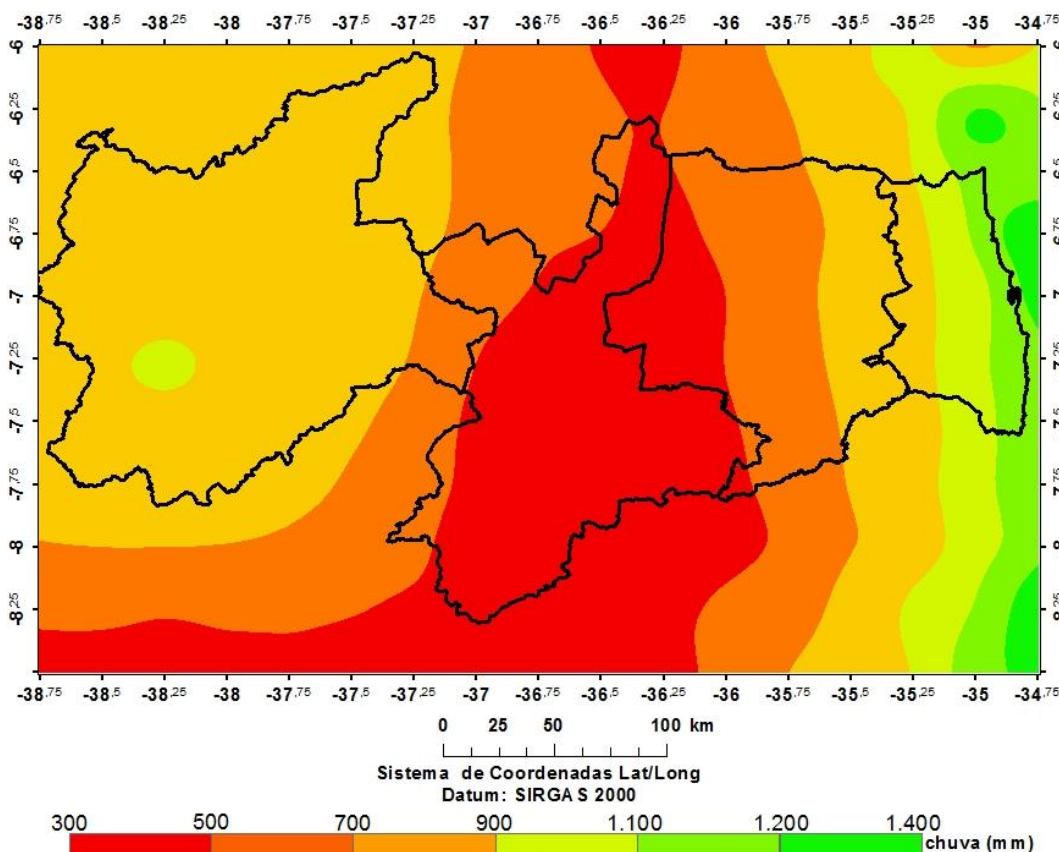


Figura 21 – Distribuição espacial da precipitação média anual de 1998 a 2015 na área de estudo.

De acordo com o mapa, os valores de precipitação da faixa litorânea ficaram entre as classes de 1.200 a 1.400 mm, com algumas localidades na porção sul apresentando valores próximos a 1.500 mm. Houve um comportamento bem variado na mesorregião do Agreste Paraibano, indicando classes de valores entre 600 a 900 mm, decrescendo na Borborema para valores próximos de 500 mm. A mesorregião do Sertão Paraibano apresentou uma distribuição mais homogênea, tendo classes de precipitação superiores até a uma parte do Agreste Paraibano, cuja precipitação se situou entre 700 e 900 mm, com uma pequena porção a sudoeste apresentando valores próximos a 1.000 mm.

Sabendo-se que o fator altitude tem um papel importante na distribuição de chuvas, foi analisado o comportamento da média do acumulado da precipitação anual de 1998 a 2015. Frente a topografia da área de estudo, os perfis latitudinais elaborados no Apêndice A-2 evidenciaram que houve um declínio da precipitação nas de latitudes medianas da Paraíba, sobretudo na Borborema, onde se encontra a região do Cariri Paraibano, cuja precipitação foi inferior a 500 mm.

4.3 Comportamento espaço-temporal da precipitação sazonal

Na verificação do comportamento da precipitação sazonal de 1998 a 2015, foram primeiramente calculados os valores dos acumulados mensais dos 187 pontos TRMM da área de estudo e espacializados, resultando nos mapas do Apêndice A-3. Desse modo, ao observar a distribuição das chuvas mensais ficou evidenciado que de janeiro a meados de abril se concentraram no Sertão Paraibano; de abril a julho na Mata Paraibana; no Agraste Paraibano de abril a julho e na mesorregião da Borborema de março a maio.

Em seguida, os valores dos acumulados mensais foram ajustados para acumulados trimestrais de modo que: Dezembro, Janeiro e Fevereiro-DJF (estação verão); Março, Abril e Maio-MAM (estação outono); Junho, Julho e Agosto-JJA (estação inverno) e Setembro, Outubro e Novembro-SON (estação primavera). A partir disso, os valores do acumulado sazonal, foram analisados com base nos parâmetros mostrados na Tabela 3 e a representação da variabilidade dos dados verificada pelo gráfico de *box-plot* da Figura 23.

Tabela 3 – Estatística descritiva da precipitação sazonal de 1998 a 2015.

| Estatística | Verão (mm) | Outono (mm) | Inverno (mm) | Primavera (mm) |
|---------------|---------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Média | 233 | 381 | 182 | 34 |
| Mediana | 178 | 354 | 167 | 24 |
| Desvio-padrão | 149 | 167 | 84 | 26 |
| Máximo | 653 | 746 | 454 | 94 |
| Mínimo | 81 | 98 | 76 | 6 |
| 1º Quartil | 124 | 279 | 134 | 15 |
| 3º Quartil | 293 | 419 | 211 | 50 |

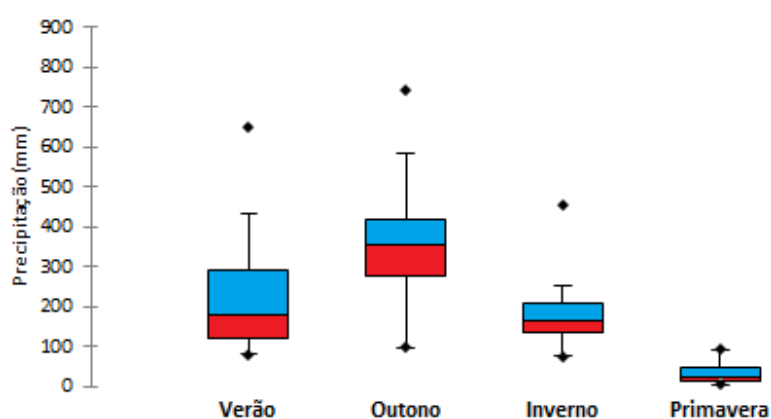


Figura 22 – Variabilidade sazonal da precipitação de 1998 a 2015.

Ao observar os resultados de cada parâmetro e a variação dos valores de precipitação demonstrada pelo gráfico de *box-plot*, ficou evidenciado que a maior variabilidade dos valores de precipitação ocorreu em MAM, apresentando um desvio padrão de 167 mm, tendo em sua maioria se concentrado no 1º quartil. Por outro lado, em SON, houve uma menor variabilidade na distribuição dos valores de precipitação, com a maioria se concentrando no 3º quartil.

Ao fazer a espacialização dos valores da precipitação sazonal calculada para os 187 pontos TRMM da área de estudo, foram gerados os mapas das estações do ano mostrados através da Figura 24.

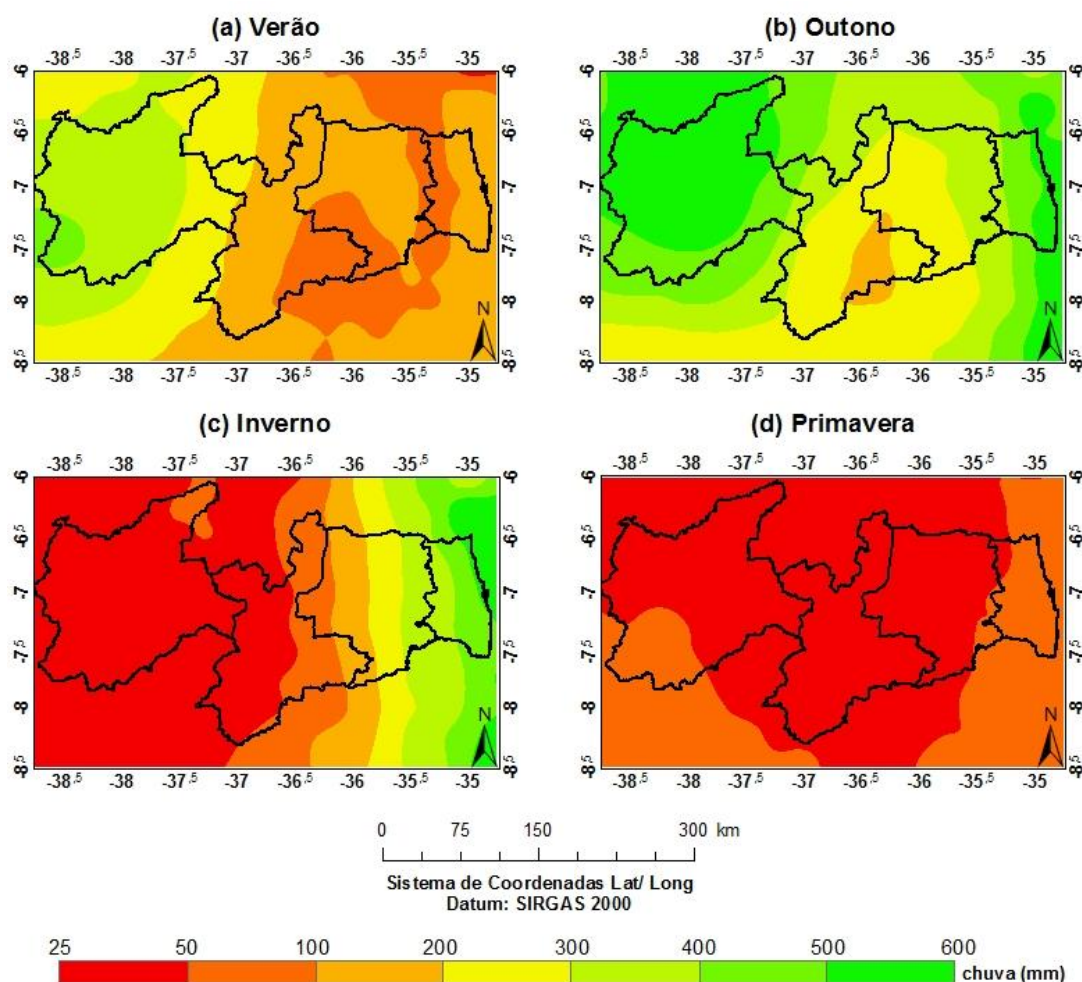


Figura 23 – Distribuição espacial da precipitação sazonal por estações do ano de 1998 a 2015 na área de estudo.

Conforme ilustram os mapas, percebeu-se que nos trimestres da estação verão (Figura 24a) e da estação outono (Figura 24b) os maiores valores das classes de precipitação se concentram na parte onde se insere a mesorregião do Sertão Paraibano, indicando médias

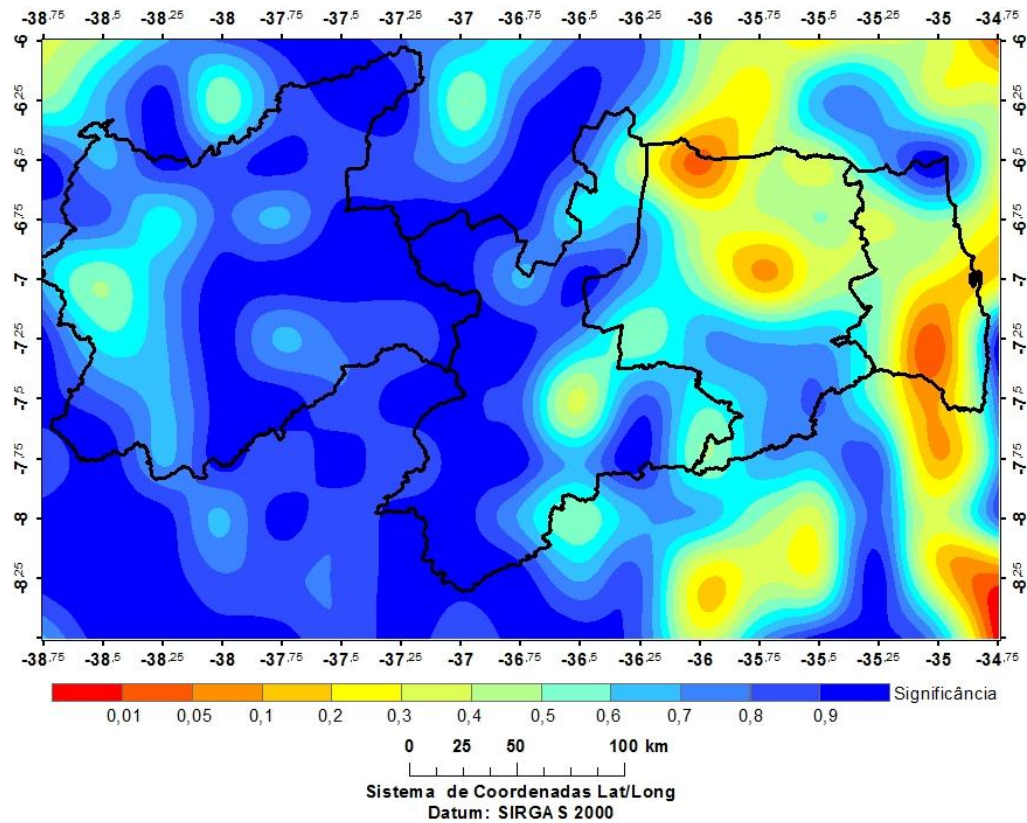
entre 300 a 600 mm. Já no período que engloba os meses da estação inverno (Figura 24c) e primavera (Figura 24d), grande parte da área de estudo teve a precipitação reduzida, com a mesorregião da Borborema apresentando os menores valores, variando entre 20 a 100 mm. Contudo, em JJA a faixa litorânea da Mata Paraibana e parte do Agreste Paraibano foi teve um comportamento diferenciado em algumas áreas, indicando classes de precipitação entre 300 a 600 mm.

4.4 Tendências da precipitação anual

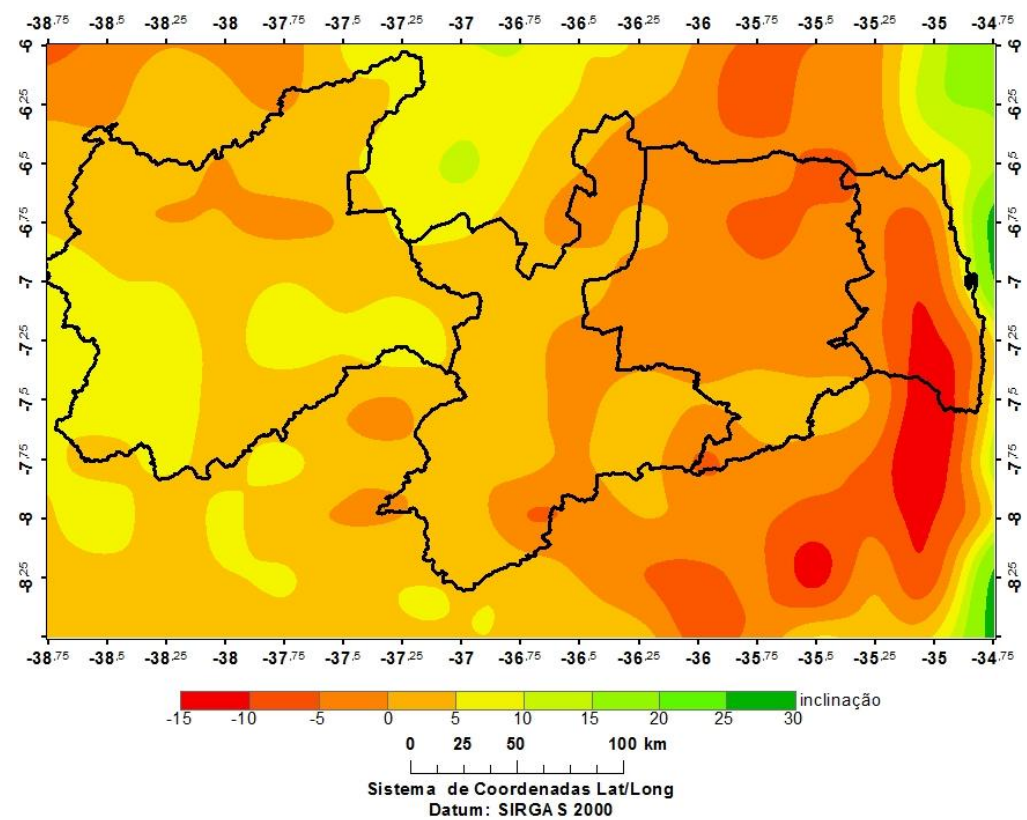
Para analisar as tendências no comportamento da precipitação anual de 1998 a 2015 as aplicações estatísticas não-paramétricas realizadas nos 187 pontos TRMM da área de estudo permitiram gerar como resultados o Apêndice B1, que apresenta a distribuição dos valores de significância estatística avaliados com a aplicação do teste Mann-Kendall e no Apêndice B-2 a variação da declividade pelo teste Sen.

Posteriormente a isso, os valores obtidos na aplicação dos testes foram espacializados, resultando na elaboração do mapa da variação dos níveis de significâncias das tendências (Figura 25a) e de declividades (Figura 25b). Observando o comportamento retratado pelos mapas, pode-se constatar que o nível de significância das tendências apresentaram uma diminuição de confiança de leste para oeste, com predominância de declividades com inclinação negativas. Apresentando na maioria dos pontos TRMM que se inserem na parte da Borborema e Sertão Paraibano níveis de significância com valores próximos de 0,999 (confiança menor que 1%), o que permitiu rejeitar a hipótese de tendências nessas regiões.

Apesar disso, se verificou que em um ponto TRMM isolado na parte sul da faixa litorânea da área de estudo houve a presença de tendência com declividade positiva (tendência crescente) ao nível de 10%, ou seja, com 90% de confiança.



(a)



(b)

Figura 24 – (a) Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall, e (b) declividade do teste Sen para a indicação de tendências no comportamento da precipitação anual na área de estudo.

4.5 Tendências da precipitação sazonal

Ao realizar a análise de tendências no comportamento da precipitação sazonal por estações do ano, os valores dos níveis de significâncias obtidos com o teste Mann-Kendall e as declividades geradas com o teste Sen são mostrados nos Apêndices B-3 e B-4 (estação verão); Apêndices B-5 e B-6 (estação outono); Apêndices B-7 e B-8 (estação inverno) e Apêndices B-9 e B-10 (estação primavera). Além disso, para observar a distribuição espacial dos valores obtidos nos 187 pontos TRMM com a aplicação dos dois testes estatísticos, foram elaborados mapas para cada uma das estações, conforme ilustra a Figura 26.

Desse modo, ao averiguar os mapas da estação verão (Figura 26a), não foram observados valores estatisticamente significativos para se confirmar a hipótese de tendência, sobretudo na parte central da Borborema, que apresentou os menores níveis, assim como na estação outono (Figura 26b). Além disso, ao analisar as declividades pelo teste Sen, os valores de inclinação das tendências dos 187 pontos TRMM indicaram uma mudança de valores negativos para positiva na mesorregião do Sertão Paraibano durante a transição dos meses da estação verão para a estação outono.

Já ao analisar os mapas da estação inverno (Figura 26c) foram identificados alguns pontos TRMM isolados apresentando níveis de significância de 10% para a hipótese de tendências crescentes a sudoeste do Sertão Paraibano e tendências decrescentes ao sul da Borborema e próximo ao litoral norte da Mata Paraibana.

No que se refere a estação primavera (Figura 26d), ficou evidenciado um número maior de pontos TRMM com tendências significativas, sendo que as declividades observadas nessa estação indicaram uma estabilidade do comportamento da precipitação em comparação com a estação anterior, apresentando nível de significância de 10% na mesorregião da Mata Paraibana e de 5% e 10 % no Agreste.

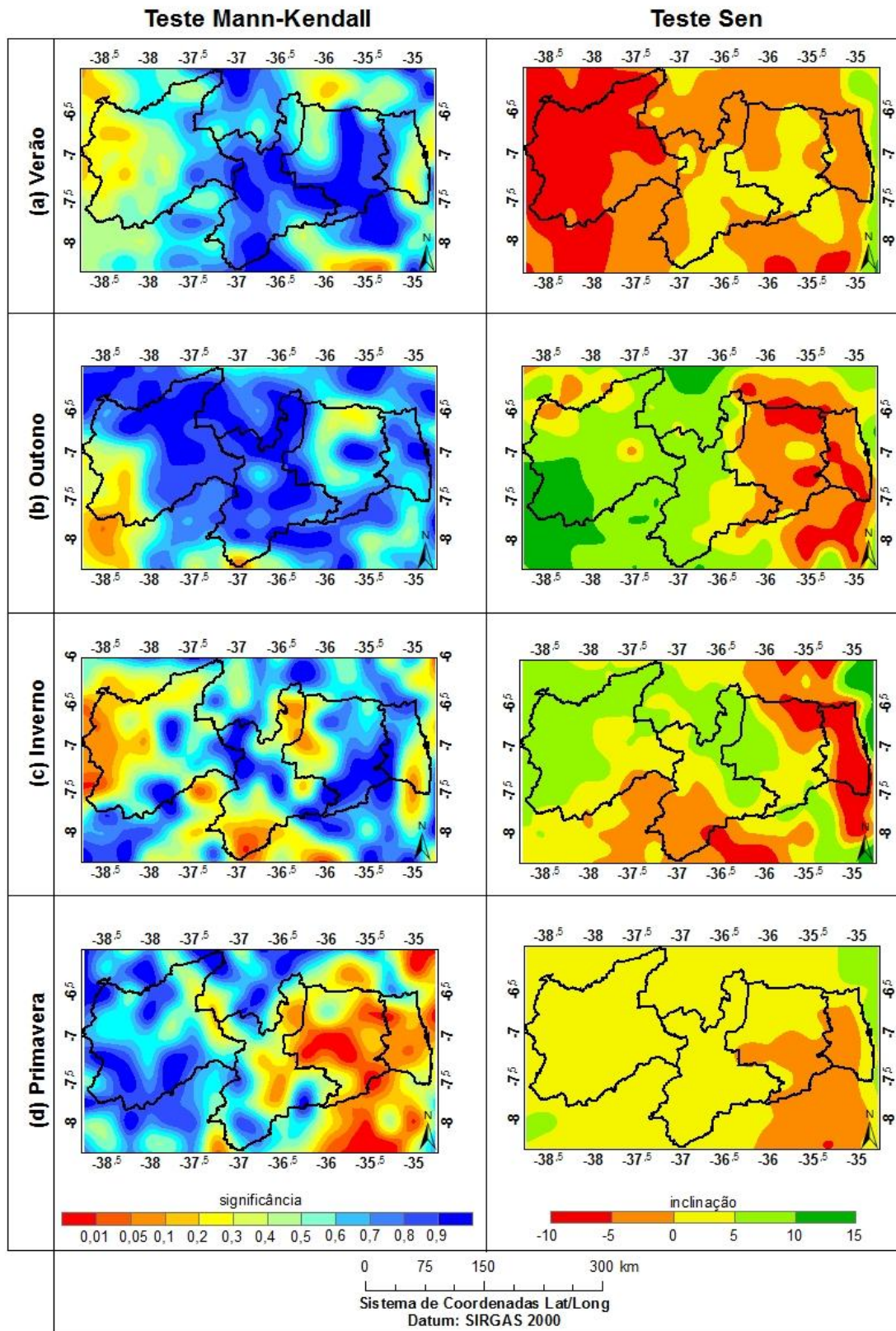


Figura 25 – Distribuição espacial dos níveis de significâncias para o teste Mann-Kendall, e declividades do teste Sen para a indicação de tendências na precipitação das estações (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera na área de estudo.

4.5 Análise de *clusters* para a precipitação anual

Com base nos dados anuais de precipitação de 1998 a 2015, foi realizada uma análise da similaridade de comportamento dos 187 pontos TRMM, gerando-se com isso o dendrograma de 30 *clusters* (disponíveis no Apêndice C-1) e os mapas de 2 a 15 *clusters*, visíveis no Apêndice C-2. Levando em consideração que a formação mais adequada para as análises foi de sete *clusters*, a partir da Figura 27a pode-se verificar a relação de similaridades entre os *clusters* e na Figura 27b a disposição espacial das regiões formadas pelos *clusters* para a área de estudo.

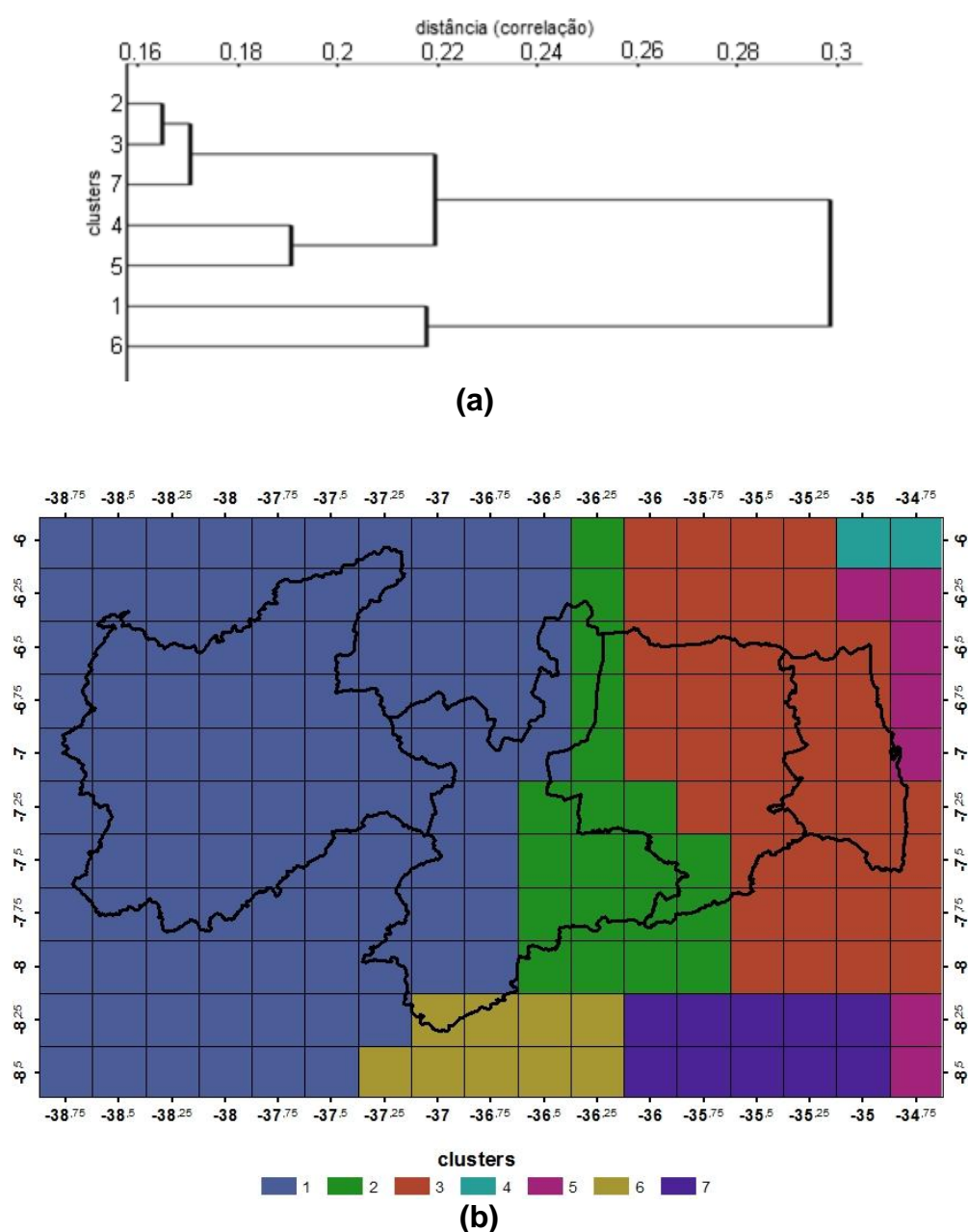


Figura 26 – (a) Dendrograma de correlação e (b) distribuição espacial dos 187 pontos TRMM para o nível de sete *clusters* com base na precipitação anual.

Através do dendrograma da precipitação anual gerado (Figura 28), as distâncias de correlação indicaram que houve uma maior similaridade entre os pontos TRMM membros dos *Cluster 2* e *Cluster 3*, ambos apresentando uma distância próxima de 0,16. Entretanto, foi possível notar que essas duas regiões formadas não englobaram a maioria dos pontos TRMM, tendo a região do *Cluster 1* abrangido toda mesorregião do Sertão Paraibano e parte da Borborema; com o *Cluster 6* aglomerando membros na região centro-sul; o *Cluster 2* cobrindo outra parte da Borborema, o *Cluster 7* abrangendo uma pequena porção inferior da área de estudo; o *Cluster 3* abrangendo parte do Agreste Paraibano e toda mata paraibana e os *Clusters 4* e *5* formando regiões de contato com o oceano.

Ao realizar uma quantificação do número de pontos TRMM aglomerados em cada uma das sete regiões formadas pelos *clusters*, obteve-se como resultando o gráfico de percentual da Figura 29, no qual foi possível constatar que mais da metade dos pontos TRMM aglomerados se concentraram na região formada pelo *Cluster 1*, enquanto que o *Cluster 4* apresentou apenas 1% de pontos TRMM aglomerados.

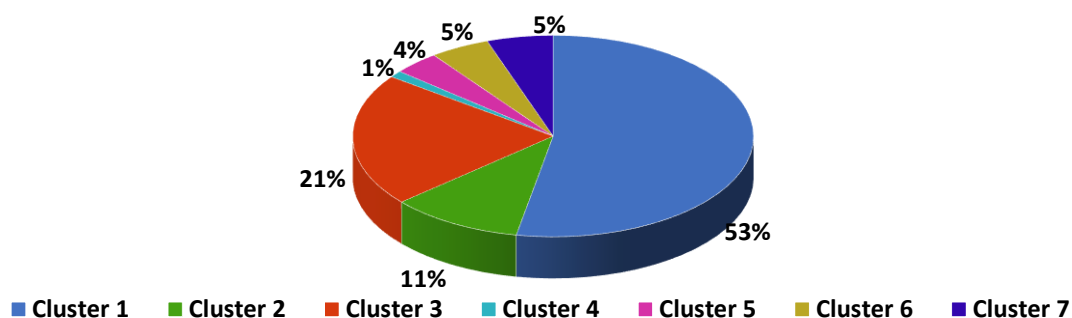


Figura 27 – Distribuição do percentual de pontos TRMM aglomerados por *clusters* para a precipitação anual.

Analisando a precipitação que cada um dos sete *clusters* apresentou no período de 1998 a 2015, o hietograma da Figura 29 apresenta os totais anuais dos pontos TRMM aglomerados em cada *cluster*. Sendo assim, notou-se que a exceção de 1998, os máximos valores de precipitação no período estudado ocorreram no *Cluster 5*, tendo uma média de 1.300 mm anuais nessa região e atingindo no ano de 2000 (ano de maior índice pluviométrico) o valor máximo de 2.100 mm. Além disso, mesmo o *Cluster 2* apresentando a menor média em 2012 (ano de menor índice pluviométrico) foi a região formada pelo *Cluster 6* que exibiu ao longo do período analisado pontos TRMM indicando estimativas de precipitação mais baixas que os demais *clusters*, com valores inferiores a 200 mm.

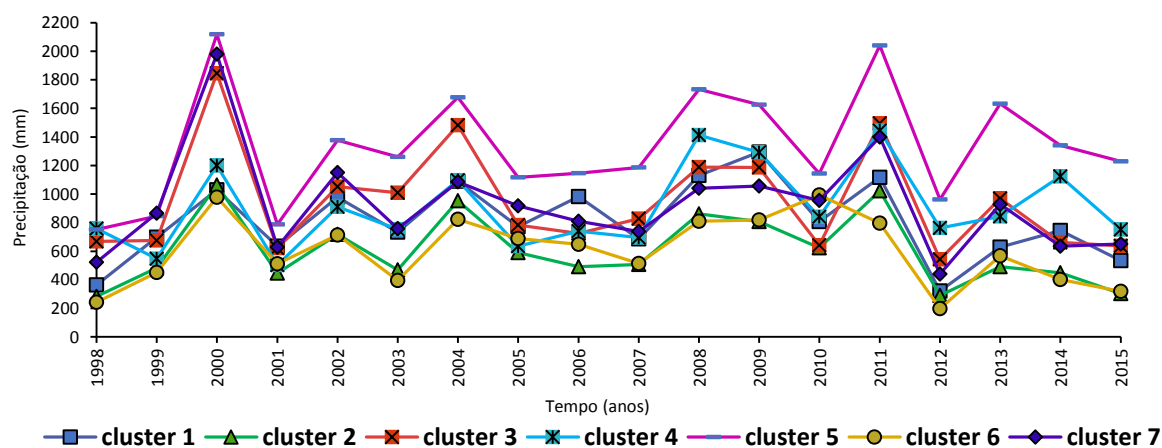


Figura 28 – Hietogramas da precipitação anual por *clusters*.

4.6 Análise de *clusters* para a precipitação sazonal

Na análise da precipitação sazonal os resultados contendo os dendrogramas de 30 *clusters* e os mapeamentos de distribuição espacial para o intervalo de 2 a 15 *clusters* são exibidos nos Apêndices C-3 e C-4 (estação verão); Apêndices C-5 e C-6 (estação outono); C-7 e C-8 (estação inverno) e Apêndices C-9 e C-10 (estação primavera).

Abordando especificamente a formação para sete *clusters*, foram gerados dendrogramas e mapas de distribuição das regiões com comportamentos semelhantes para as quatro estações nessa formação, resultando na Figura 30. Desse modo, ao analisar a estação verão (Figura 30a) percebeu-se que o *Cluster 1* englobou toda a mesorregião do Sertão Paraibano e que juntamente com o *Cluster 5* tiveram pontos TRMM com comportamento mais semelhante de acordo com as distâncias de correlação observadas, com ambos indicando distância de 0,1. No outono (Figura 30b), observou-se que os *Clusters 4* e 6 apresentaram pontos TRMM mais semelhantes e que essas regiões cobriram partes do sudoeste da Borborema, o Agreste Paraibano e Mata Paraibana.

Na análise da estação inverno (Figura 30c) pode-se notar que as distâncias de correlação foram maiores que nas estações verão e outono, com a região formada pelos *Clusters 5* e 7 apresentando similaridades mais significativas entre seus membros. Onde ficaram inseridos houve uma variabilidade de comportamento entre os pontos TRMM, com o *Cluster 2* englobando quase toda mesorregião da Mata Paraibana e do Agreste Paraibano. Já em relação a estação primavera (Figura 30d), observou-se que as similaridades de comportamento entre os aglomerados nos *Clusters 4* e 5 foram as mais significativas, com uma variabilidade de comportamento entre os pontos TRMM aglomerados, tendo os *Clusters 1* e *Cluster 2* formado duas grandes regiões semelhantes.

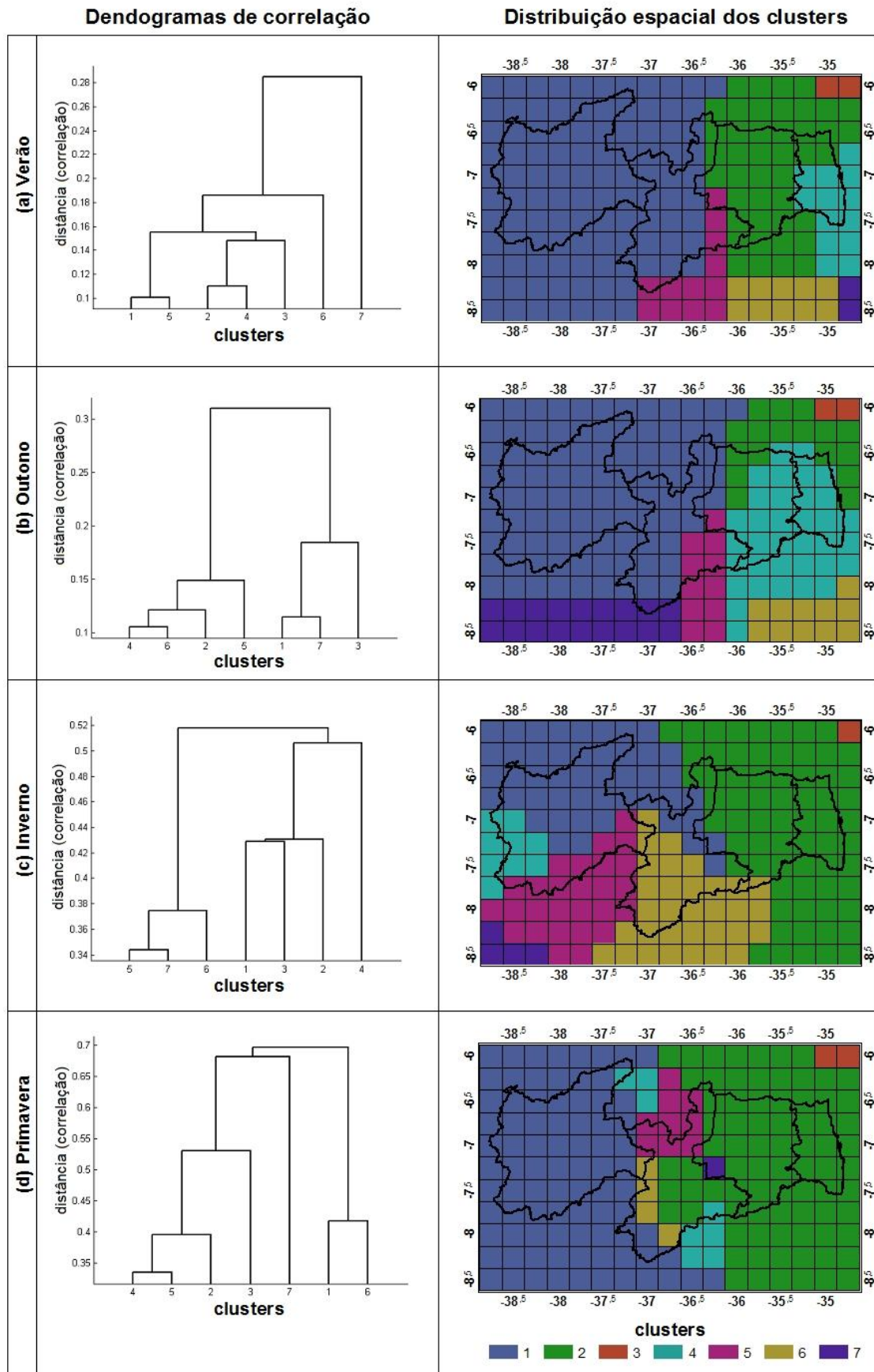


Figura 29 – Análise de *clusters* da precipitação sazonal para as estações (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera para o nível de sete *clusters* na área de estudo.

Tomando por base o número de pontos TRMM aglomerados em cada *cluster*, o gráfico gerado para a Figura 31 indica que tanto na estação verão (Figura 31a) como no outono (Figura 31b) o *Cluster 1* aglomerou a maioria dos pontos TRMM, sendo que no primeiro o percentual foi um pouco maior (56%). Já nas estações inverno (Figura 31c) e primavera (Figura 31d) a distribuição foi mais diversificada, com a primeira apresentando na região do *Cluster 2* um total de 36% dos pontos TRMM aglomerados, enquanto que na segunda o maior quantitativo foi no *Cluster 1*, com 45% dos pontos TRMM aglomerados. Tendo o *Cluster 3* apresentado em todas as estações a menor quantidade de pontos TRMM aglomerados com apenas 1 %.

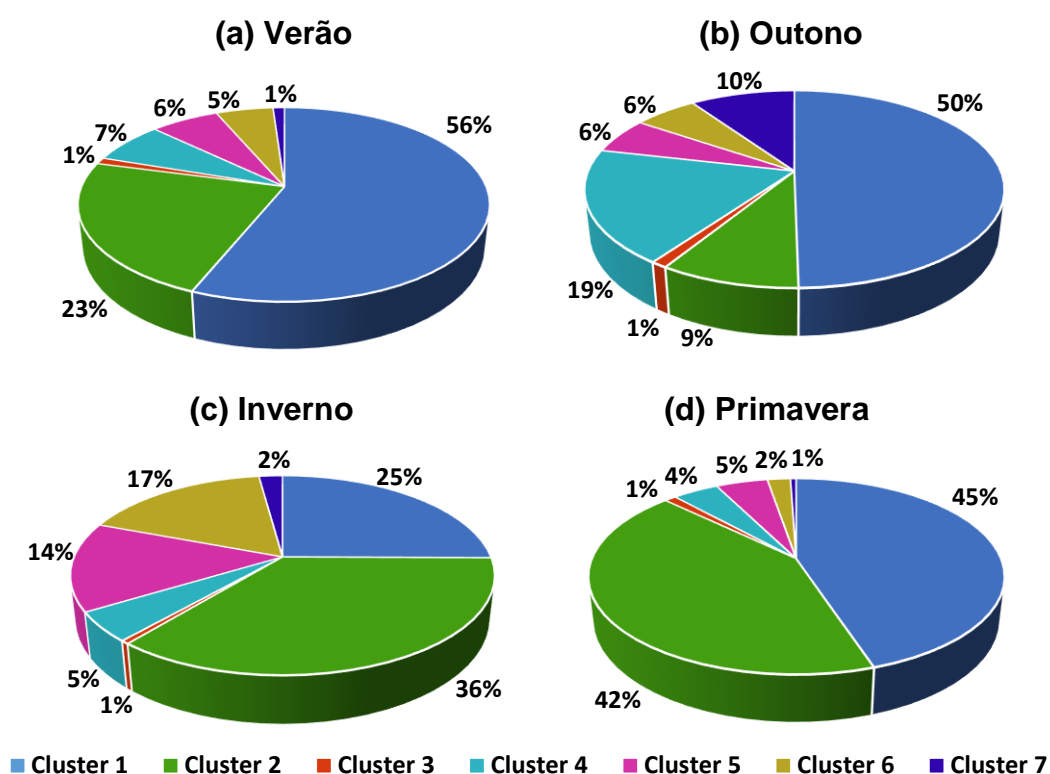


Figura 30 – Distribuição do percentual de pontos TRMM aglomerados por *clusters* para a precipitação sazonal das estações (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera.

Analisando o acumulado de precipitação das quatro estações nos *clusters*, obteve-se como resultado os hietogramas das médias de precipitação sazonal da Figura 32. Ao analisar o comportamento das séries temporais foi possível notar que o maior valor de precipitação no período é na estação outono (Figura 32b) do ano de 2011, com os pontos TRMM inseridos no *Cluster 6*, indicando uma média de 945 mm, enquanto que as menores médias de precipitação foram na estação primavera (Figura 32d) do ano 2012, apresentando no *Cluster 7* valores inferiores a 1 mm.

Investigando esse comportamento da precipitação das quatro estações e relacionando com os meses que as compõem, percebeu-se que nos trimestres DJF e MAM não houve grandes disparidades entre os valores de precipitação, observando no primeiro um comportamento mais semelhante entre seus pontos TRMM aglomerados do que no segundo. Todavia, nos trimestres JJA e SON houve uma menor variabilidade espacial e temporal nos valores de precipitação entre os *clusters*, sendo que em JJA isso ficou mais evidente, com os *Clusters* 2 e 3 indicando valores de precipitação bem superiores aos demais na maioria dos anos do período analisado.

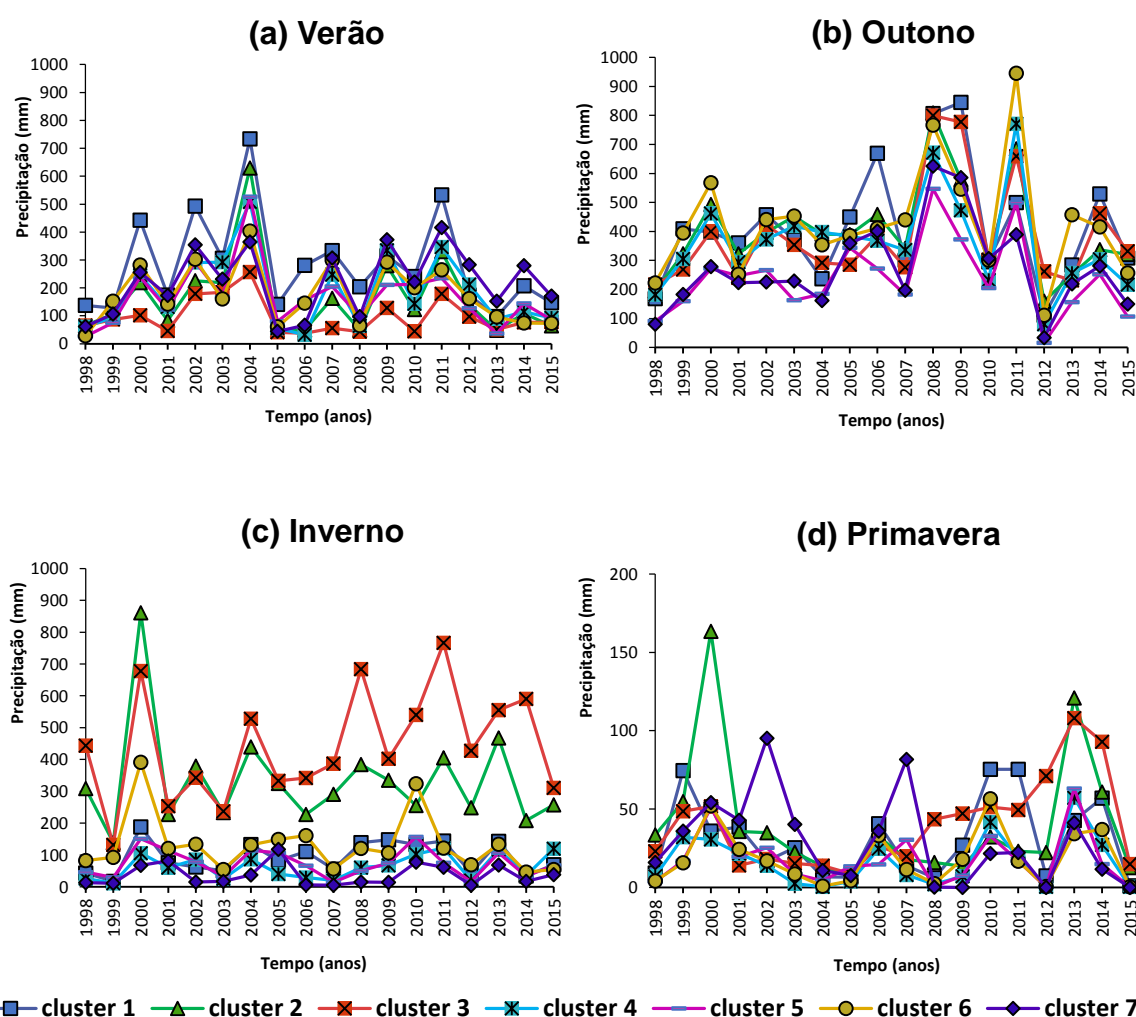


Figura 31 – Hietogramas da média de precipitação das estações (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera por *clusters*.

4.7 Análise do número máximo de dias secos e úmidos consecutivos

Com base nos dados diários de precipitação do período de 1998 a 2015, foram quantificados o número máximo de Dias Secos Consecutivos (CDD) e de Dias Úmidos

Consecutivos (CWD) nos 187 pontos TRMM da área de estudo e realizada a espacialização dos resultados obtidos com os dois índices utilizados.

Fazendo a análise do índice de CDD, foram gerados como resultados dezoito mapas exibidos no Apêndice D-1. De acordo com o que foi analisado nos mapas, foi possível identificar que no ano de 1999 (Figura 33a) ocorreu a menor quantidade de dias secos consecutivos, com partes do Sertão Paraibano e Borborema apresentando valores máximos entre as classes de 120 a 160 dias e a Mata Paraibana e Agreste Paraibano variando entre as classes de 5 a 40 dias.

Ao analisar os anos com maior número de dias secos consecutivos, o índice CDD revelou que em 2015 (Figura 33b) ocorreu um índice maior de dias secos consecutivos, apresentando como valores das classes um predomínio de 160 e 200 dias em quase todas as mesorregiões, com a exceção do Agreste Paraibano e da Mata Paraibana, que variaram entre as classes de 5 a 80 dias.

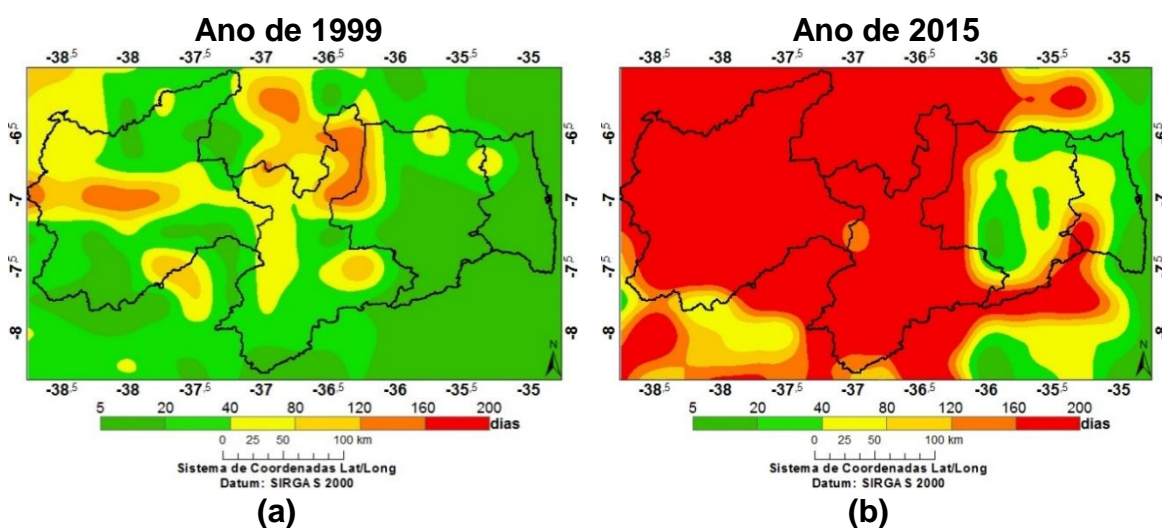


Figura 32 – (a) Ano de maior número de dias secos consecutivos e (b) menor número de dias secos consecutivos na área de estudo com base no índice CDD.

Em relação a distribuição espacial do índice CWD nos dezoito anos analisados, obteve-se como resultado as ilustrações do Apêndice D-2. Nesses mapeamentos, ficou evidenciado que o ano de 1998 (Figura 34a) apresentou a menor quantidade de dias úmidos consecutivos, tendo um predomínio das classes de 2 a 5 dias em quase todas mesorregiões, com exceção de uma pequena porção do litoral sul da Mata Paraibana que indicou uma quantidade de 5 a 10 dias.

Verificando os maiores valores de CWD, o ano de 2004 (Figura 34b) apresentou uma quantidade superior aos demais anos do período, indicando uma concentração do número de

dias consecutivos úmidos na mesorregião do Sertão Paraibano, com valores de 15 a 30 dias. Já nas mesorregiões da Borborema e Agreste Paraibano houve uma variabilidade das classes de CWD, tendo na Mata Paraibana apresentando a menor quantidade de dias úmidos consecutivos, com os valores de CWD indicando de 5 a 10 dias.

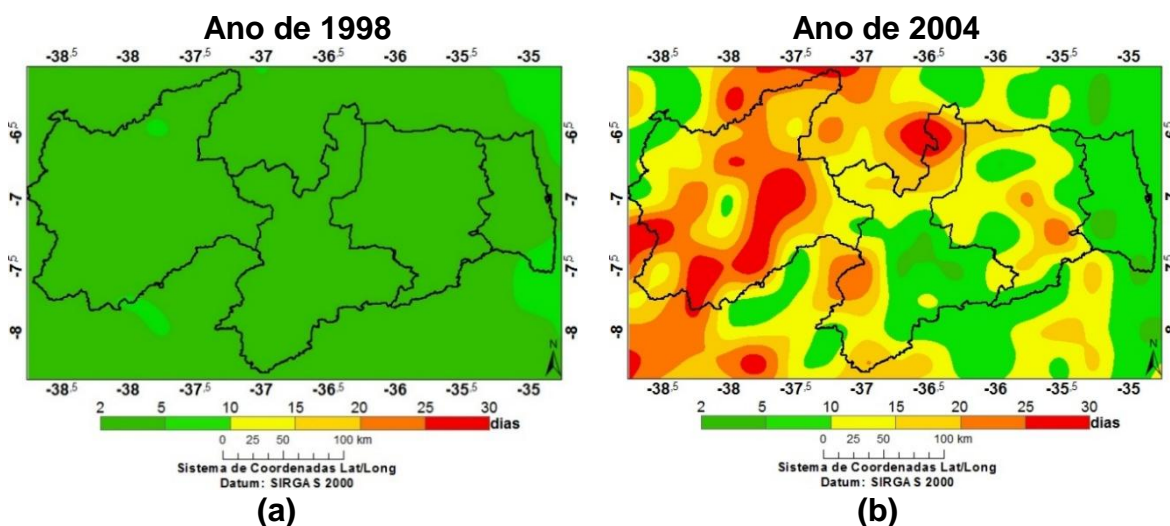


Figura 33 – (a) Ano de maior número de dias úmidos consecutivos e (b) menor número de dias úmidos consecutivos na área de estudo com base no índice CWD.

4.8 Tendências do número máximo de dias secos e úmidos consecutivos

No que se refere a análise de tendências no número máximo de dias secos consecutivos, os valores referentes ao índice CDD nos 187 pontos TRMM foram analisados por meio do teste Mann-Kendall (Apêndice E-1) e as declividades das tendências obtidas com o teste Sen resultaram no Apêndice E-2.

Considerando o componente espacial dos valores obtidos com os dois testes aplicados para os 187 pontos TRMM na área de estudo, o mapa da Figura 35a exhibe a distribuição dos níveis de significância das tendências e a Figura 35b apresenta as declividades geradas com o teste Sen. Com base nos mapas, notou-se que os níveis de significância apresentaram em sua maioria declividades positivas, o que denota a presença de tendências crescentes na parte leste do estado da Paraíba, chegando a apresentar nível de significância de 0,01% em parte da Mata Paraibana e de 0,1% no Agreste. Além dessas regiões, na parte concernente a mesorregião da Borborema também foi verificada tendências crescentes com nível de significância de 5%.

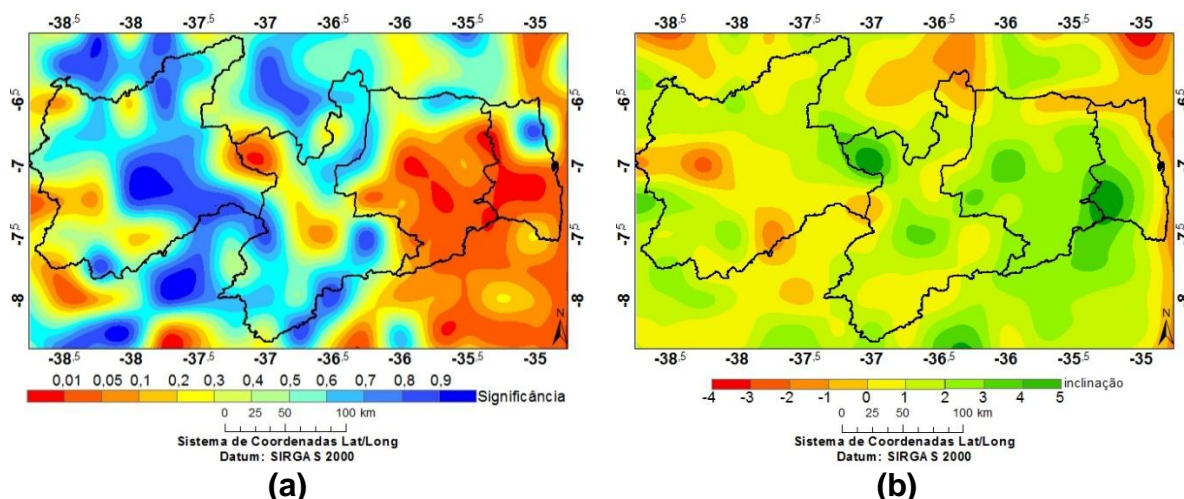


Figura 34 – (a) Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall para indicação de tendências, e (b) declividades do teste Sen para a indicação de tendências do índice CDD na área de estudo.

No que se refere a análise de tendências para o número máximo de dias úmidos consecutivos, os resultados da aplicação dos testes estatísticos Mann-Kendall e Sen são apresentados, respectivamente, nos Apêndices E-3 e E-4 e a distribuição espacial dos mesmos é exibida na Figura 36, de modo que a espacialização dos valores de significância das tendências se refere a Figura 36a e o mapa de declividades a Figura 36b.

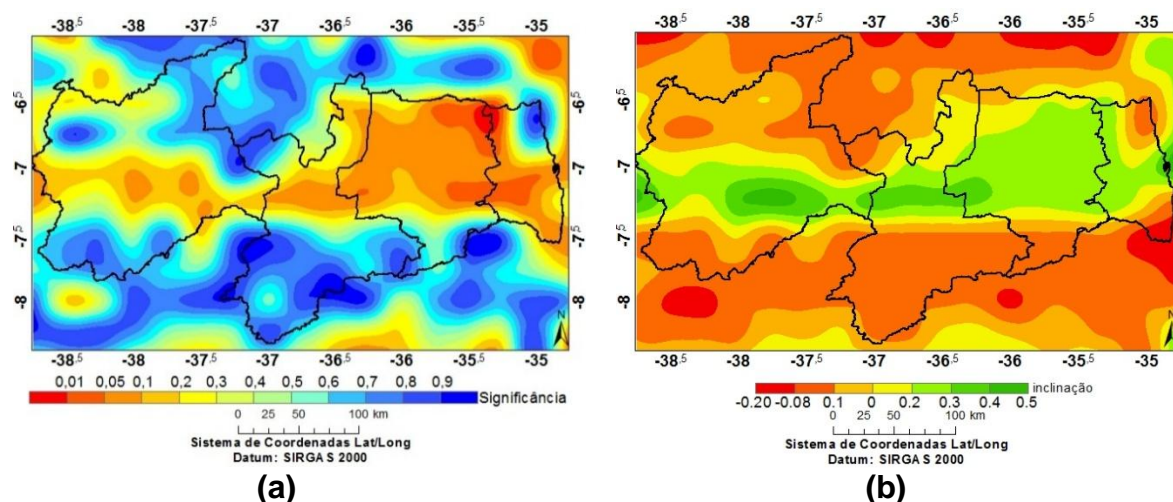


Figura 35 – (a) Distribuição espacial dos níveis de significância do teste Mann-Kendall para indicação de tendências, e (b) declividades do teste Sen para a indicação de tendências do índice CWD na área de estudo.

Ao verificar os resultados, os mapeamentos revelaram que na mesorregião da Mata Paraibana houve a presença de tendências chegando a nível de 0,01% de significância, sendo que de acordo com as declividades estimadas pelo teste de Sen os impactos não foram

expressivos, apesar se verificar pontos TRMM com tendências crescentes indicando nível de significância de 10% no Sertão Paraibano.

4.9 Análise de *clusters* do número máximo de dias secos e úmidos consecutivos

Para análise de *clusters* dos valores de CDD o dendrograma em 30 níveis foi apresentado no Apêndice F-1 e as regionalizações de 2 a 15 *clusters* no Apêndice F-2. Sendo assim, para o nível de sete *clusters* foi gerado dendrograma da Figura 37a e na Figura 37b o mapa da distribuição espacial dos *clusters* que resultou na formação das regiões semelhantes do índice CDD para área de estudo.

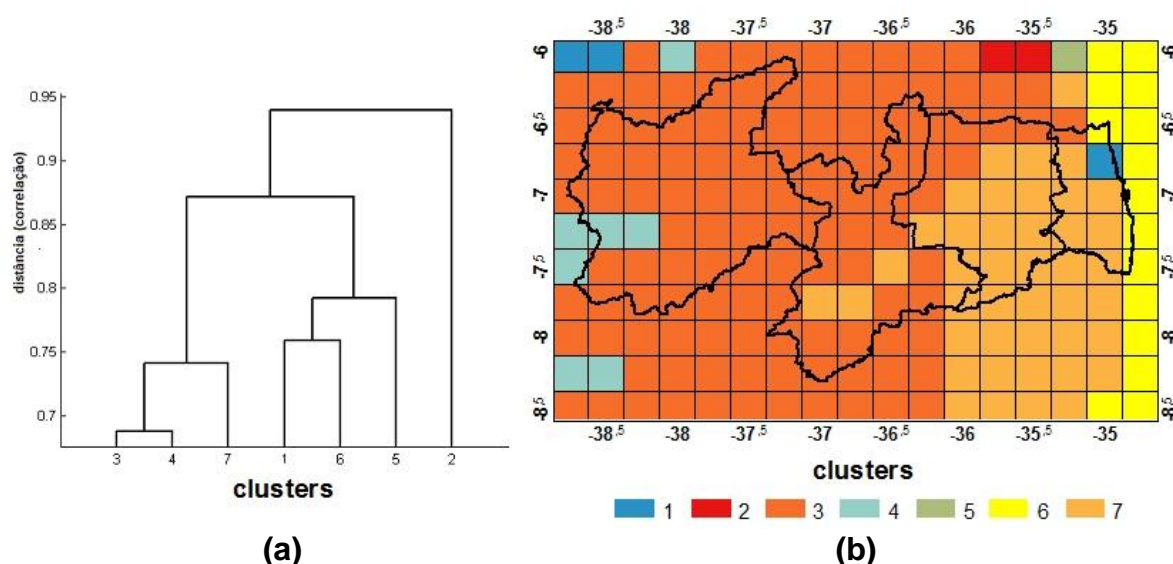


Figura 36 – (a) Dendrograma de correlação e (b) distribuição espacial dos 187 pontos TRMM para o nível de sete *clusters* com base no índice CDD.

Conforme o dendrograma e no mapa das regiões semelhantes do índice CDD, o comportamento dos pontos TRMM foi bem variável, o que resultou em distâncias de correlação elevadas para o índice CDD, tendo nas regiões formadas pelos *Cluster 3* e *Cluster 4* a melhor relação de similaridade das distancias de correlação entre seus membros, apresentando coeficiente próximo de 0,5. Com relação a região semelhante formada no *Cluster 3*, foi observado que a mesma englobou um grande número de pontos TRMM sobre as regiões do Sertão Paraibano e Borborema, assim como no *Cluster 7*.

Como forma de quantificar essa distribuição dos pontos TRMM aglomerados por cada *cluster*, foi gerado o gráfico da Figura 38, no qual é possível ver que o *Cluster 3* foi o que agregou mais membros, indicando um percentual de 63% de pontos TRMM aglomerados nessa

região, enquanto que o *Cluster 3* e *Cluster 5*, com 1%, foram os que menos pontos TRMM aglomeraram.

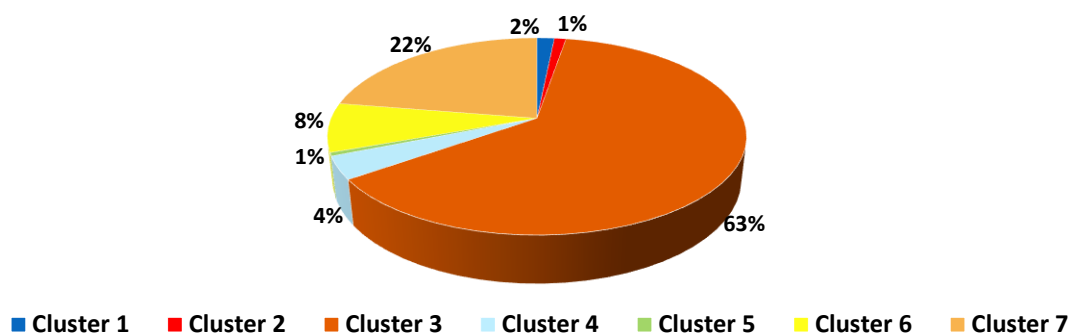


Figura 37 – Distribuição do percentual de pontos TRMM aglomerados por *clusters* com base no índice CDD.

Analisando as séries temporais dos valores de CDD dos dezoito anos, foi gerado o gráfico da Figura 39 que mostra a média de dias úmidos consecutivos em cada uma das regiões formadas pelos sete *clusters*. A partir de seu resultado, identificou-se que o ano de 2007 foi o de maior média de dias secos consecutivos, apresentando valor de CDD de 165 dias nas regiões formadas pelos *Cluster 1* e *Cluster 3*, enquanto que no ano de 2014 o *Cluster 6* indicou a menor média de dias secos consecutivos.

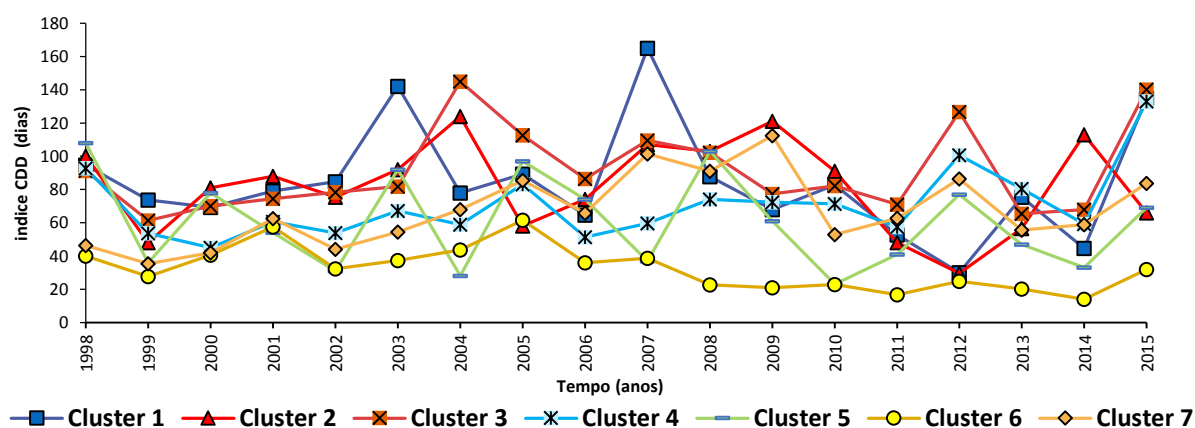


Figura 38 – Séries temporais dos valores do índice CDD médio por *cluster*.

Ao realizar a análise de *clusters* também para os valores do índice CWD, gerou-se o dendrograma em 30 níveis apresentado no Apêndice F-3 e as regionalizações no intervalo de 2 a 15 *clusters* que é apresentada no Apêndice F-4, com os agrupamentos para sete *clusters* exibidos no dendrograma da Figura 40a e o mapa da distribuição espacial dos mesmo na Figura 40b.

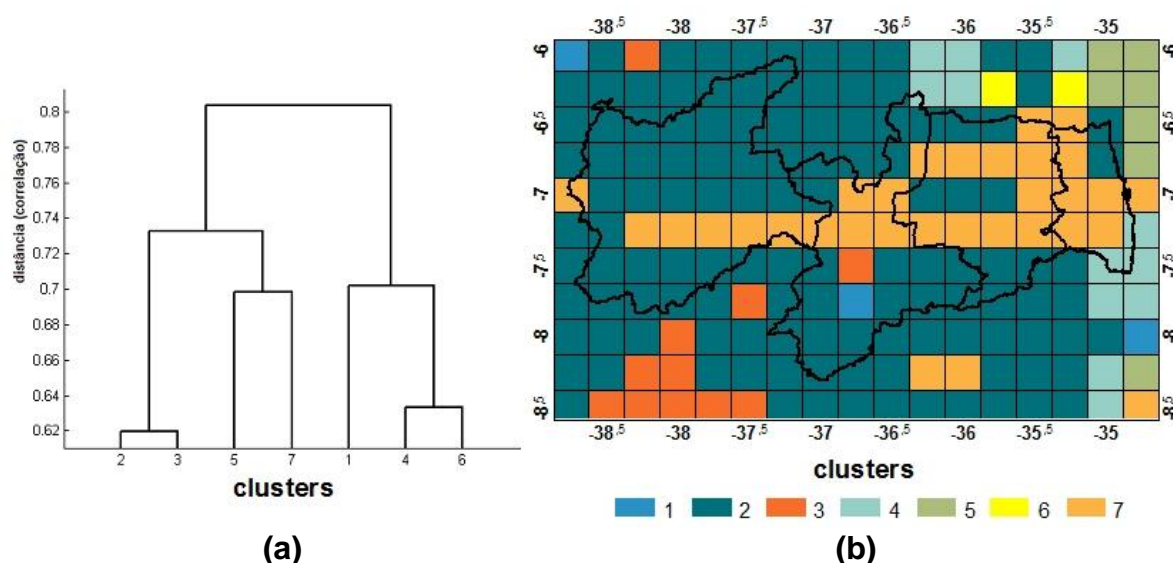


Figura 39 – (a) Dendrograma de correlação e (b) distribuição espacial dos 187 pontos TRMM para o nível de sete *clusters* com base no índice CWD.

Tomando por base as distâncias de correlação indicadas no dendrograma do índice CWD ficou evidenciado que a similaridade nos valores de dias úmidos consecutivos entre os pontos TRMM aglomerados em cada *cluster* não foram elevadas. No entanto, as distâncias de correlação apresentadas para o índice se revelaram mais próximas do que as observadas dos aglomerados na análise do índice CDD. Desse modo, notou-se que os *Clusters* 2 e 3 foram os que apresentaram pontos TRMM com maior similaridade na quantidade do número máximo de dias úmidos consecutivos, tendo ambos indicado uma distância de correlação próxima de 0,62.

Além disso, pode-se perceber que a região formada pelo *Cluster* 2 abrangeu quase todas as mesorregiões do estado, com a parte leste tendo um comportamento mais variado, e consequentemente, formando diferentes agrupamentos de *clusters*.

Quanto a distribuição dos pontos TRMM aglomerados por cada *cluster*, foi gerado o gráfico da Figura 41. Conforme o que pode ser observado no gráfico, o *Cluster* 2 foi o que agregou mais membros, apresentando um percentual de 65% de pontos TRMM aglomerados nessa região, tendo o *Cluster* 6 aglomerado apenas 1 % dos pontos TRMM da área de estudo.

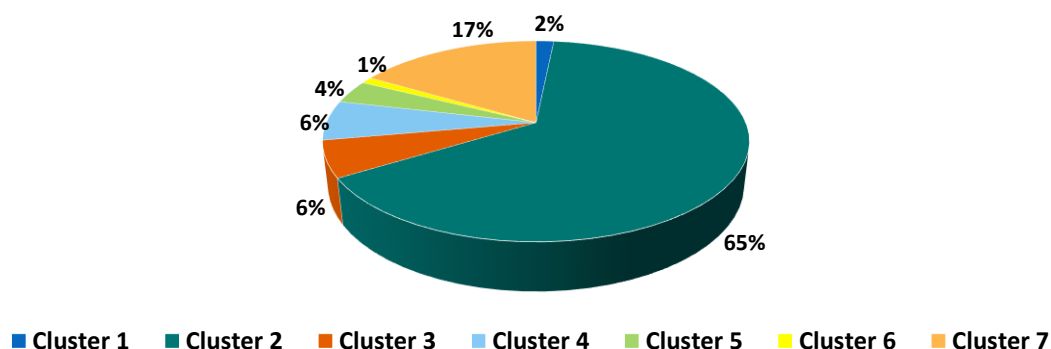


Figura 40 – Distribuição do percentual de pontos TRMM aglomerados por *clusters* com base no índice CWD.

Posteriormente a observação da distribuição percentual do número de dias úmidos consecutivos nos *clusters*, foi realizada a análise das séries temporais do índice CWD das sete regiões formadas pelos *clusters*, gerando a partir disso o gráfico das médias de dias úmidos nos dezesseis anos do período estudado, conforme mostra a Figura 42.

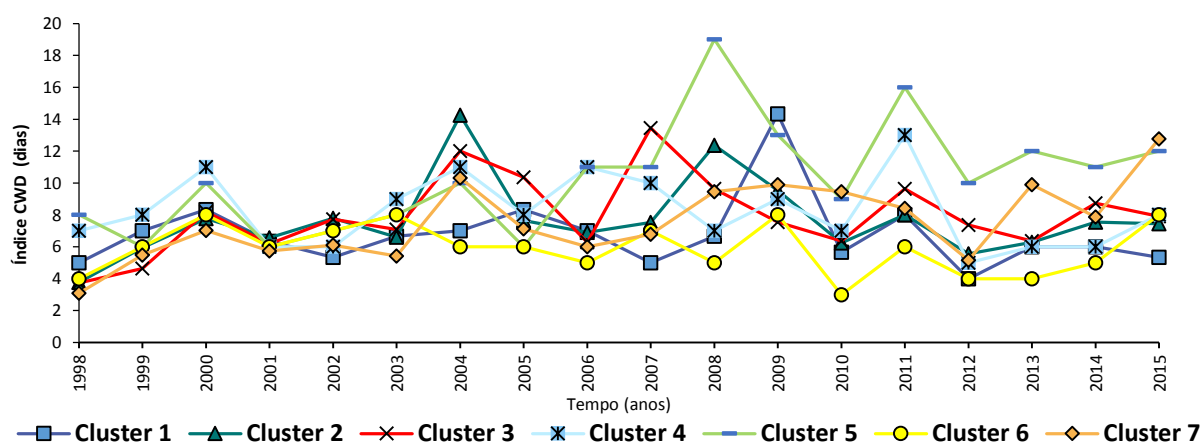


Figura 41 – Séries temporais dos valores do índice CWD médio por *cluster*.

De acordo com o que pode ser observado no gráfico, foi identificado que a concentração elevada de dias úmidos consecutivos nos anos de 2004 e 2008 ocorreram nos *Clusters* 2 e 7 com o índice apontando para uma média de 20 dias úmidos consecutivos, enquanto que no *Cluster* 6 se percebeu uma menor quantidade de dias úmidos na maioria dos anos em comparação com os demais agrupamentos, com destaque para o ano de 1998, que apresentou nessa região uma média de apenas 4 dias úmidos consecutivos.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSÕES

Perante ao exposto foi possível concluir que um terço dos anos de 1998 a 2015 apresentaram um comportamento abaixo da média de precipitação estimada para o período, com destaque para os anos de 1998 e os quatro últimos desta década, sendo que em 2012 se verificou os menores índices de precipitação. Em contrapartida, pode-se notar que os anos de 2000, 2004, 2008 e 2011 foram bem chuvosos na área de estudo.

Levando em consideração a análise feita sobre a relação da precipitação média anual e a topografia, compreende-se que a influência da altitude na parte escarpada da mesorregião da Borborema contribui para uma variabilidade maior da distribuição de chuvas nas latitudes médias desta região paraibana. Contudo, deve-se ressaltar que a altitude não explica por si só o regime pluviométrico de uma região e que outros agentes como o fenômeno ENOS, variação da ZCIT e da TSM são reconhecidamente atuantes na área de estudo.

Em relação as escalas mensais e sazonais da precipitação, notou-se que os valores dos acumulados mensais, em média, apresentaram uma regularidade de chuvas mais significativa nos primeiros seis meses de cada ano do período analisado, tendo um declínio no segundo semestre. Além disso, percebeu-se que os meses que compõem o trimestre MAM obtiveram os maiores valores de precipitação, enquanto que no trimestre SON ocorreram os menores valores.

Ao analisar as tendências no comportamento da precipitação, verificou-se a partir dos diferentes níveis de significâncias aplicados com os testes não-paramétricos Mann-Kendall e Sen que houve uma prevalência de níveis de significância abaixo dos aceitáveis para se apontar a presença de tendências no comportamento anual, principalmente na mesorregião do Sertão Paraibano. No entanto, ao fazer a análise da precipitação na escala sazonal, verificou-se que o comportamento começa a se alterar para níveis significativos nos trimestres JJA e SON, sendo que em SON (estação inverno) é que se verificou pelas declividades uma tendência de diminuição dentro dos limites do estado paraibano, embora de acordo com a escala dos valores do teste Sem essa diminuição foi considerada sutil.

Na análise de *clusters* realizada nos dados de precipitação, os resultados apontaram que na escala anual houve uma maior similaridade no comportamento da precipitação em pontos TRMM que formaram regiões na parte do Agreste Paraibano e Mata Paraibana, com as estações verão e outono indicando uma maior correlação nos valores de precipitação do que nas estações

inverno e primavera, tendo nas duas primeiras uma variabilidade de *clusters* na parte do litoral da Mata Paraibana, enquanto que as duas últimas houve uma distribuição espacial mais diversificada na parte da Borborema e do Sertão Paraibano.

Quanto as análises envolvendo os índices CDD e CWD percebeu-se que apesar de 2012 ter sido o ano mais seco, ele não necessariamente foi o ano com a maior quantidade de dias secos consecutivos. Em contrapartida, o ano 2000 mesmo tendo sido o ano mais chuvoso, neste ano não ocorreu um menor número de dias secos consecutivos. Tal comportamento revela uma possível influência do componente sazonal da precipitação na ocorrência desses eventos, o que é muito característico da região Nordeste. Além disso, ficou evidenciado uma prevalência de eventos extremos de CDD e CWD na Mata Paraibana e Agreste, que de acordo com os níveis de significâncias das tendências apresentaram uma confiança estatística superior a 90% para a hipótese de um aumento no número de dias secos consecutivos e uma estabilidade no número de dias úmidos consecutivos nessas regiões.

Quanto a análise de *clusters* realizada nos valores dos índices CDD e CWD, verificou-se que embora os coeficientes de correlação dos pontos TRMM tenham sido baixos, os resultados apresentados indicam que houve uma maior semelhança na ocorrência de eventos de dias úmidos consecutivos do que de dias secos consecutivos entre os pontos TRMM da área de estudo, com uma diminuição da similaridade de comportamento de ambos de oeste para leste.

5.1 Recomendações

Perante o potencial que o Sensoriamento Remoto possui na observação do fenômeno da precipitação, julga-se importante que novas abordagens ou melhorias das técnicas apresentadas surjam para que o uso de dados de satélites como o TRMM possam ser uma alternativa ainda mais eficaz na análise espaço-temporal da precipitação.

Tendo em vista que o encerramento da missão TRMM foi anunciado para 2018. É necessário que seja observada a disponibilidade dos dados do satélite para um período maior que os dezoito anos analisados neste trabalho, ou então a utilização de outras fontes como as estimativas do satélite GPM.

Com relação as metodologias estatísticas de análise da precipitação aplicadas, recomenda-se que elas possam servir como modelos a serem implementados no monitoramento de chuvas da área de estudo e de outras regiões, principalmente as inseridas no Nordeste do Brasil.

Além disso, recomenda-se que as informações, metodologias e dados apresentados nas diferentes escalas temporais analisadas sejam utilizados pelos órgãos gestores dos recursos hídricos do estado da Paraíba para o planejamento e monitoramento da precipitação.

REFERÊNCIAS

- AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Boletim informativo, ano 2013.** Disponível em: <http://www.pb.gov.br/aesa>. Acesso em: 21 dez. 2015.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. **Acta Scientiarum. Technology**, v.30, n.1, p.87-91, 2008.
- AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 4. ed. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 332p, 1996.
- BADR, H. S.; ZAITCHIK, B. F.; DEZFULI, A. K. A tool for hierarchical climate regionalization. **Earth Sci Inform.** n. 8, p. 949-958, 2015.
- BARRY, R.; CHORLEY, R. J. Atmosfera, tempo e clima. 9 ed. Porto Alegre: **Bookmam**, 2013.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E. Precipitação. In: Carlos Eduardo Morelli Tucci. (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, p. 177-241, 2001.
- BODIAN, A.; DEZETTER, A.; DEME, A.; DIOP, L. Hydrological evaluation of TRMM rainfall over the upper Senegal river basin. **Hydrology**, v. 3, n. 15, p. 1-18, 2016.
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. (Orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CHEN, Y.; EBERT, E. E.; WALSH, K. E.; DAVIDSON, N. E. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates of tropical cyclone rainfall using PACRAIN data. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 118, n. 5, p. 2184-2196, 2013.

CHEN, Y. N.; LI, W. H.; XU, C. C.; HAO, X. M. Effects of climate change on water resources in Tarim River Basin, Northwest China. **Journal of Environmental Sciences**, v.19, p.488–493, 2007.

CHIERICE, R. A. F.; LANDIM, P. M. B. Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. **Geociências**, São Paulo, v.33, n.1, p.157-171, 2014.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n.1, p. 93-99, 2007.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W; TUCCI, C. Análise do campo de precipitação gerado pelo satélite TRMM sobre a bacia do São Francisco até Três Marias. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, Curitiba, PR, 2006.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Rio Grande do Sul. UFRGS, 2008.

CORPORAL-LODANGCO, I. L.; LESLIE, L. M. Defining Philippine Climate Zones Using Surface and High-Resolution Satellite Data. **Procedia Computer Science**, v. 114, p. 324–332, 2017.

DANTAS, L. G., SANTOS, C. A. C., OLINDA, R. A., Tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação em Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 297-308, 2015.

FERNANDES, C. **MICRODRENAGEM - Um Estudo Inicial**, DEC/CCT/UFPB, Campina Grande, 196 p., 2002.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação** - São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B.; VASQUES, A. C.; SANTO, C. M. E.; CONFORTE, J. C. Validation of TRMM PR Monthly rainfall over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, 2009.

GRODSKY, S.; CARTON, J. A. The intertropical convergence zone in the south Atlantic and the equatorial cold tongue. **Journal of Climate**, v.16, n.4, p. 723-733, 2003.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. 6. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2009.

HASAN, Z.; AKHTER, S.; KABIR, A. Analysis of Rainfall Trends in the South-East Bangladesh. **Journal of Environment**, v. 3, Issue 04, p. 51-56, 2014.

HAYLOCK, M. R; *et al.* Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional Frequency Analysis, An Approach Based on L-moments**. Cambridge: University Press, 1997.

HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T. TRMM and other data precipitation data set documentation. **Global Change Master Directory**. NASA, 45 p., 2017.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente em 2017. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pb>. Acesso em: 21 jul. 2017.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. In: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, 2016.

JIMÉNEZ, Q. K.; COLLISCHONN, W. Método de combinação de dados de precipitação estimados por satélite e medidos em pluviômetros para a modelagem hidrológica. **RBRH**, v. 20, n.1. Porto Alegre, p. 202-217, 2015.

JOHNSON, A.; XUGUANG, W.; XU, M. Hierarchical Cluster Analysis of a Convection-Allowing Ensemble during the Hazardous Weather Testbed 2009 Spring Experiment. Part II: Ensemble Clustering over the Whole Experiment Period. **Monthly Weather Review**, v. 119, p. 3694 – 3710, 2011.

KENDALL, M. G. Rank correlation measures. **Charles Griffin**: London, U.K, p.220, 1975.

KENAWY, A. M.; LOPEZ-MORENO, J. I.; MCCABE, M. F.; VICENTE-SERRANO, S. M. Evaluation of the TMPA-3B42 precipitation product using a high-density rain gauge network over complex terrain in northeastern Iberia. **Global and Planetary Change**, v. 133, p. 188-200, 2015.

KIDD, C.; LEVIZZANI, V. Status of Satellite Precipitation Retrievals. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 15, n. 4, p. 1109–16, 2011.

KUMMEROW, C. *et al.* The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *Journal of Applied Meteorology*, 39, p. 1965-1982, 2000.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e Probabilidade. In: Carlos Eduardo Morelli Tucci. (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, p. 79-176, 2001.

LIMA, P. P. S.; SILVA, I. C.; MACEDO, M. L. A. Análise da correlação entre o relevo e a distribuição da precipitação na bacia do Rio Mamanguape/PB através de dados orbitais e geoprocessamento. In: **XVII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015**. João Pessoa. Anais XVII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. S.; SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n.5, p.205-215, 2006.

LU, X; WANG, L.; PAN, M.; KASEKE, K. F.; LI, BONAN. A multi-scale analysis of Namibian rainfall over the recent decade – comparing TMPA satellite estimates and ground observations. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 8, p. 59–68, 2016.

LUCENA, R. L. **Qualidade das águas e aspectos geográficos no entorno de reservatórios inseridos nas distintas zonas climáticas da Paraíba**. 2008. 113 f. Dissertações (Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008. Cap. 8.

MANN, H. B. Econometrica. **The econometric society**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)**, v. 31, p. 229-239, 2016.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. Geoprocessamento em Recursos Hídricos Princípios, Integração e Aplicação. 2ª. Ed. **Revista e Ampliada**. Porto Alegre: ABRH, 533 p, 2013.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1. ed. Brasília: **CNPq**, v.1, p. 256, 2012.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, L. L. A Relação entre a Temperatura da Superfície dos Oceanos Tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 152-161, 2008.

MOLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 17, n.1, p. 1-10, 2002.

MOREIRA, J. G. V.; NAGHETTINI, M. Detecção de Tendências Monotônicas Temporais e Relação com Erros dos Tipos I e II: Estudo de Caso em Séries de Precipitações Diárias Máximas Anuais do Estado do Acre. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 394–402, 2016.

MOREIRA, P. S. P.; GALVANIN, E. A. S.; DALLACORT, R; NEVES, R. J. Análise de Agrupamento aplicado ao ciclo diário das variáveis meteorológicas nos biomas do estado de Mato Grosso. **Acta Iguazu**, v. 5, p. 80-94, 2016.

MOREIRA, E. Mesorregiões e Microrregiões da Paraíba: Delimitação e Caracterização. João Pessoa: GAPLAN, 1989.

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

NASA. **National Aeronautics and Space Administration**. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Mission Overview. Disponível em: < <https://pmm.nasa.gov/TRMM/mission-overview> >. Acesso em 22 de mar. 2017.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989. 421p.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; SOUSA, F. A. Análise da utilização de dados do satélite TRMM em um modelo hidrológico semidistribuído na bacia do rio Jamari (RO). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 47-61, 2008.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 3. ed. **Revista e ampliada**. São Paulo: E. Blucher, 2008.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; OODRICH, D. C. G; WENDLAND, E.; GUPTA, H. V. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado, **Water Resour**, v. 50 , p. 7100-7114, 2014.

PESSOA, C. L. Hidrometeorologia com Radar. In: Carlos Eduardo Morelli Tucci. (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, p. 887-913, 2001.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **RBRH**: v. 18, n. 3, p. 139-148, 2013.

PAE-PB. **Programa de Ação Estadual de Combate à desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba**. João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, MMA/MCTI/SUDEMA, 144p., 2011.

QUIRINO, D. T.; CASAROLI, D.; PEREIRA, R. M. J.; ALMEIDA, R. T. S. Avaliação das estimativas de precipitação do satélite TRMM (algoritmo 3B42 Versão 7 e Real Time)

utilizadas no balanço hídrico climatológico no Estado de Goiás. **XVII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto** - SBSR, Anais: João Pessoa, 2015.

REBOITA, M. S., KRUSCHE, N., AMBRIZZI, T., ROCHA, R. P. da. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Revista Terra e Didática**, v. 8, n.1, p. 34-50, 2012.

RIVERA, J. A.; PENALBA, O. C.; BETOLLI, M. L. Inter-annual and inter-decadal variability of dry days in Argentina. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 834-842, 2013.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. 7 ed. **EDUFU**, Uberlândia, 262 p., 2009.

SANTOS, W. O.; FEITOSA, A. P.; VALE, H. S. M.; COSTA, D. O.; BRITO, R. F.; QUEIROZ, R. F.; J.; LEMOS FILHO, U. C. A. Chuvas intensas para a Microrregião de Pau dos Ferros-RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, p. 1093-1099, 2014.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.

SHARMA, S.; SAHA, A. K. Statistical analysis of rainfall trends over Damodar River basin, India. **Arab J Geosci.**10, 319, 2017.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; MOREIRA, M.; CORTE-REAL, J.; SILVA, V. C. L. ; M., ISABELLA C. Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sens slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. **Natural Hazards** (Dordrecht), v. 77, p. 1205-1221, 2015.

SOARES, A. S. D.; DA PAZ, A. R; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 288- 299, 2016.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. Introdução à Climatologia. Ubá: Ed. **Geographica**, **Série Textos Básicos de Geografia**, 234 p., 2008.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH. 2 ed., Porto Alegre, 943 p., 2001.

UVO, C. R. B.; NOBRE, C. A. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e a precipitação no Norte do Nordeste do Brasil. Parte I: a posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. **Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 4, n. 7, p. 34-40, 1989.

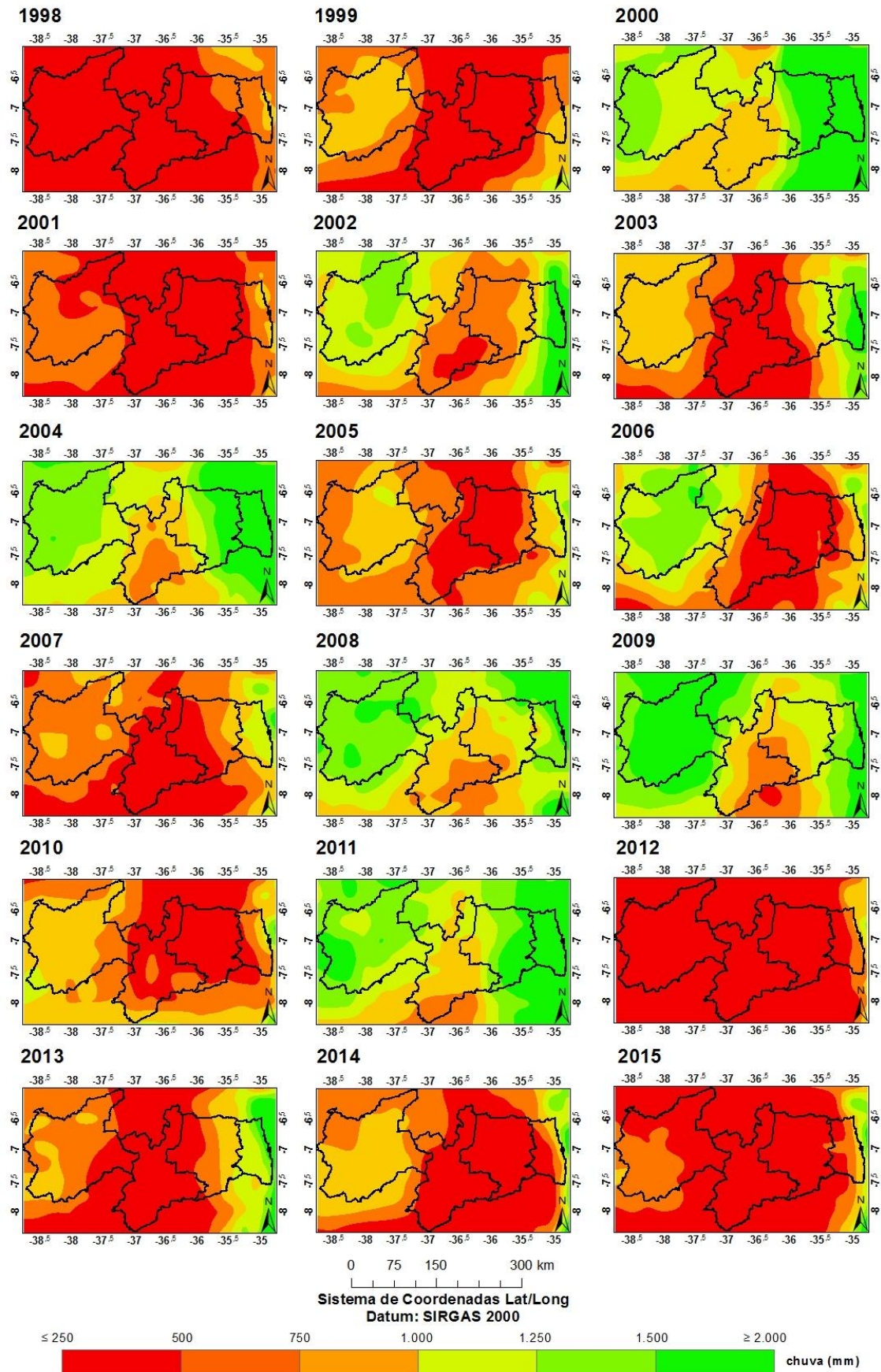
VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: UFPE, 449 p., 2006.

VIANELLO, R. L. **Meteorologia básica e Aplicações**. Universidade Federal de Viçosa. Editora UFV, 450 p., 2000.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, **McGraw-Hill do Brasil**, 1975.

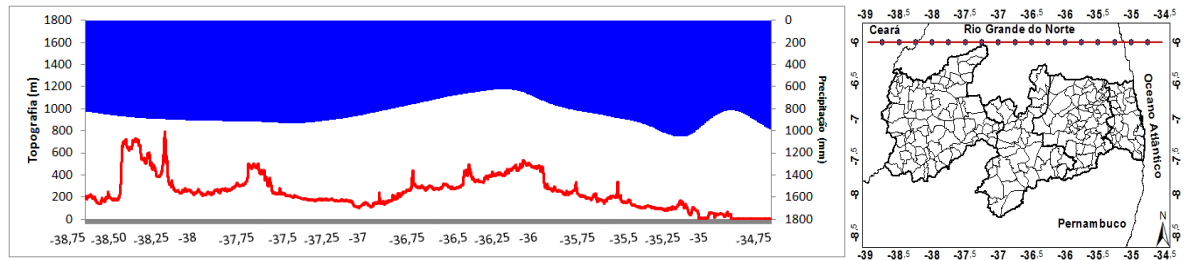
YAZID, M.; HUMPHRIES, U.; SUDARMADJI, T. Spatiotemporal of extreme rainfall events in the Indochina peninsula. In: **Proceedings of the International Conference on Applied Statistics**, Khon Kaen, Thailand, p. 238–245, 2014.

APÊNDICE A

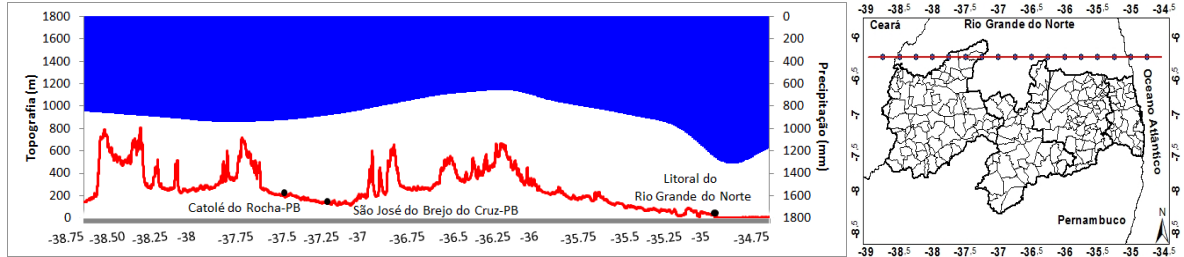


Apêndice A-1: Distribuição espacial da média de precipitação anual dos anos de 1998 a 2015 na área de estudo.

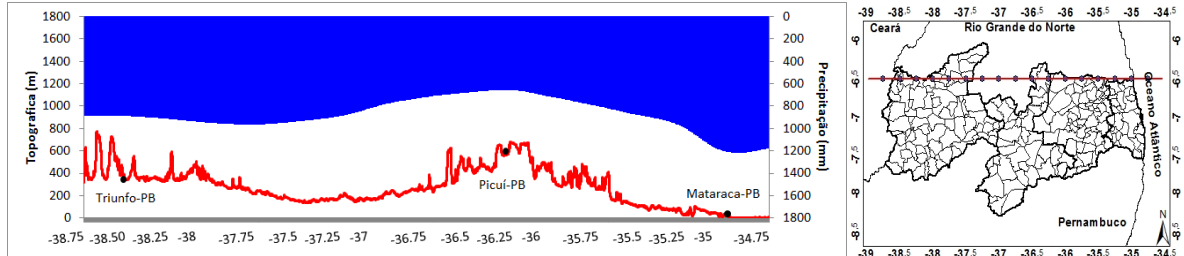
Latitude 6°00'S



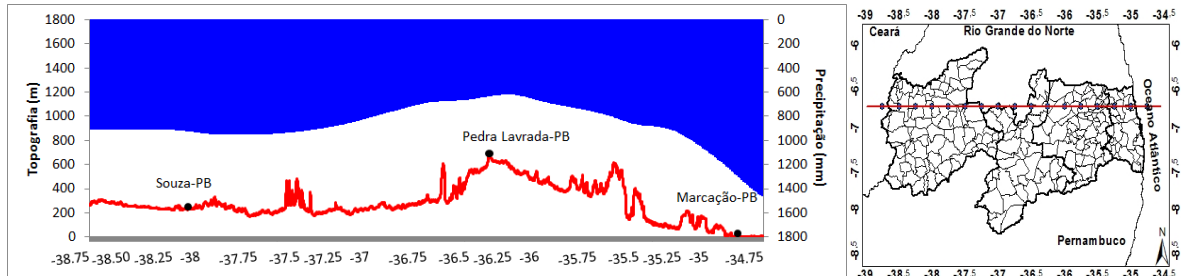
Latitude 6°25'S



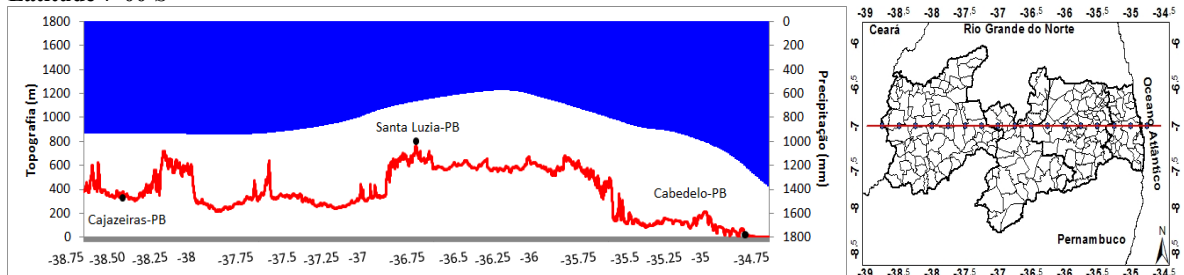
Latitude 6°50'S



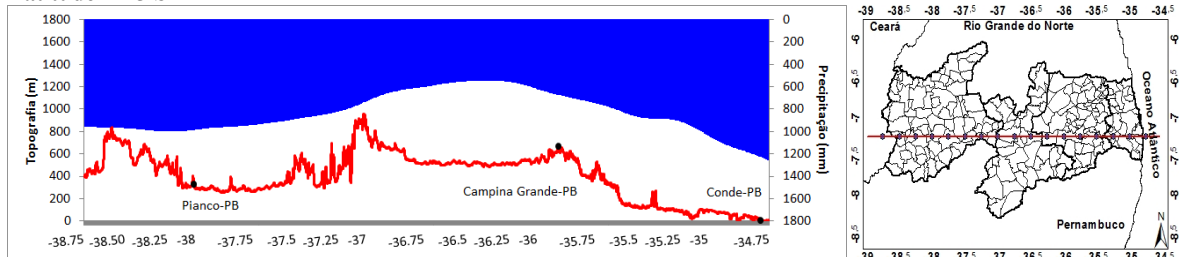
Latitude 6°75'S



Latitude 7°00'S

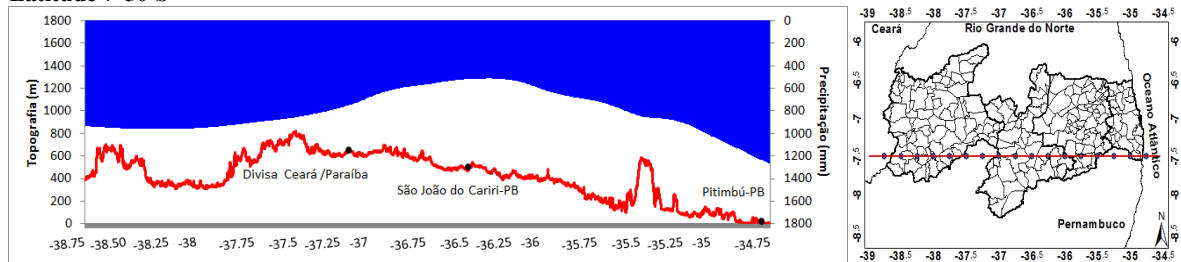


Latitude 7°25'S

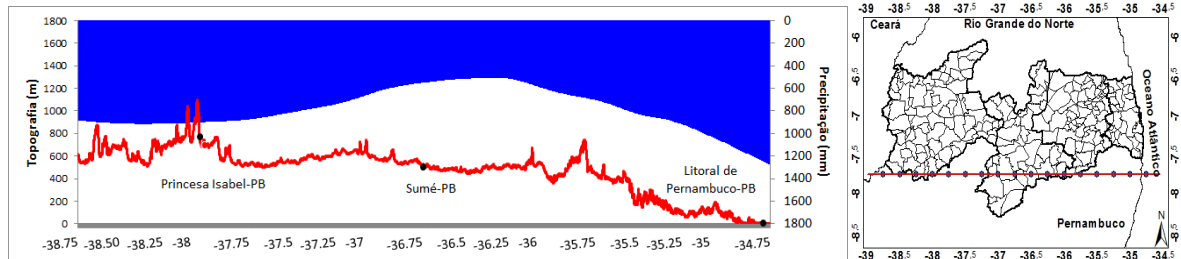


Apêndice A-2: Relação da média de precipitação anual no período de 1998 a 2015 estimadas pelo satélite TRMM na Paraíba perante a variação topográfica (latitude 6° a 7°25'S).

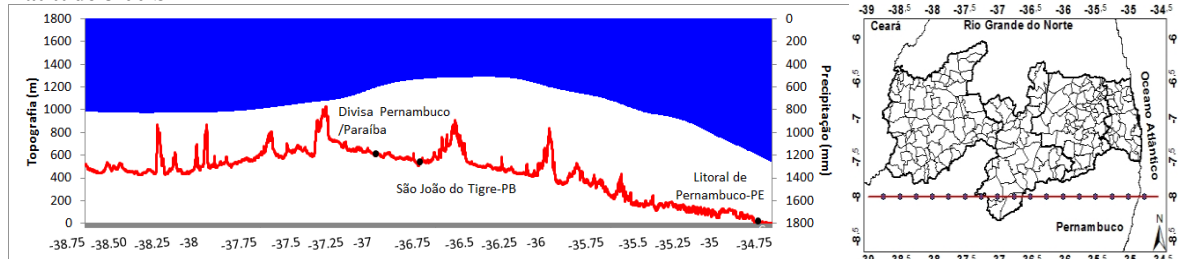
Latitude 7°50'S



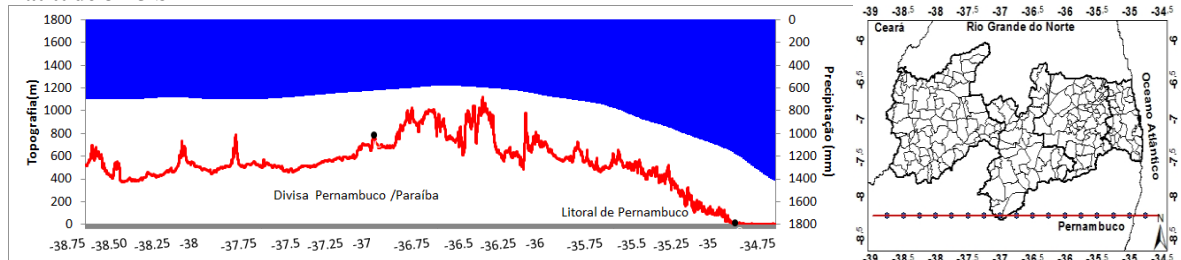
Latitude 7°55'S



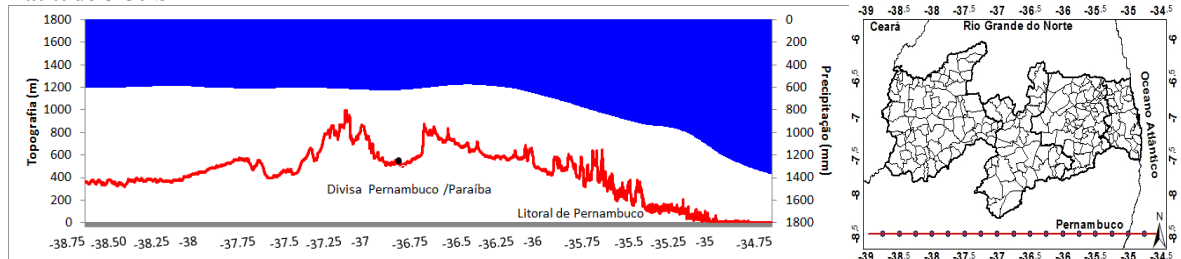
Latitude 8°00'S



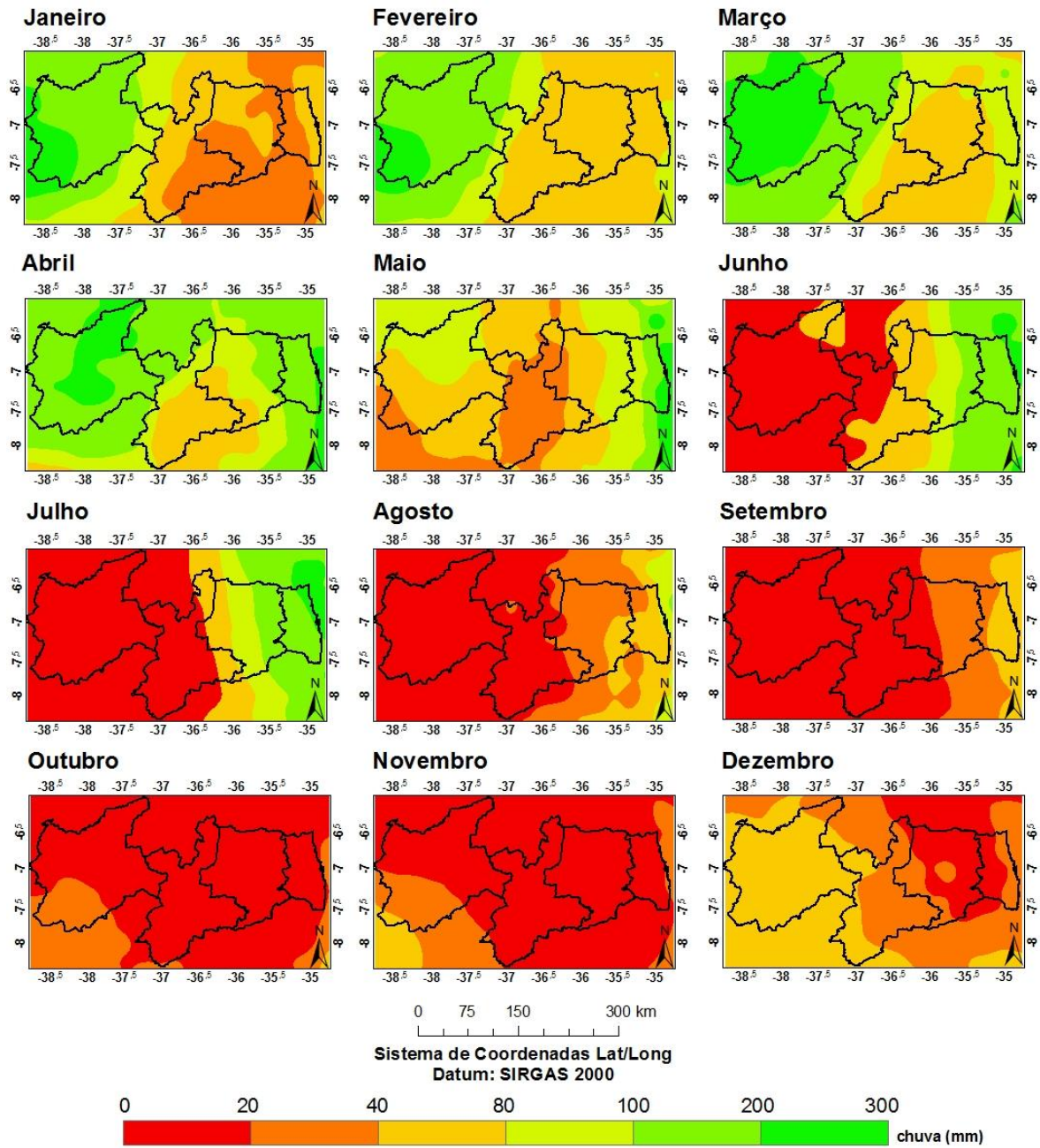
Latitude 8°25'S



Latitude 8°50'S



Apêndice A-2: Relação da média anual de precipitação no período de 1998 a 2015 estimadas pelo satélite TRMM na Paraíba perante a variação topográfica (latitude 7°50'a 8°50'S).



Apêndice A-3: Distribuição espacial da precipitação média mensal de 1998 a 2015 na área de estudo.

APÊNDICE B

Apêndice B-1: Valores de significância dos 187 pontos para indicar tendências nas séries de precipitação anual.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | 0,500 | 0,600 | 0,800 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,700 | 0,900 | 0,900 | 0,600 | 0,500 | 0,400 | 0,500 | 0,500 | 0,200 | 1-17 |
| -6,25 | 0,600 | 0,800 | 0,999 | 0,600 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,600 | 0,900 | 0,999 | 0,800 | 0,500 | 0,400 | 0,800 | 0,800 | 0,500 | 0,500 | 18-34 |
| -6,50 | 0,999 | 0,800 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,900 | 0,800 | 0,999 | 0,900 | 0,500 | 0,200 | 0,500 | 0,500 | 0,800 | 0,999 | 0,500 | 35-51 |
| -6,75 | 0,900 | 0,900 | 0,700 | 0,900 | 0,800 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,700 | 0,800 | 0,500 | 0,500 | 0,600 | 0,500 | 0,600 | 0,400 | 52-68 |
| -7,00 | 0,800 | 0,600 | 0,800 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,999 | 0,800 | 0,600 | 0,300 | 0,500 | 0,600 | 0,400 | 0,400 | 69-85 |
| -7,25 | 0,999 | 0,700 | 0,800 | 0,999 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,600 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,600 | 0,200 | 0,999 | 6-102 |
| -7,50 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,500 | 0,900 | 0,700 | 0,800 | 0,900 | 0,600 | 0,300 | 0,900 | 103-119 |
| -7,75 | 0,900 | 0,999 | 0,800 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,999 | 0,600 | 0,800 | 0,800 | 0,900 | 0,300 | 0,800 | 120-136 |
| -8,00 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,600 | 0,800 | 0,800 | 0,600 | 0,500 | 0,900 | 0,500 | 0,900 | 137-153 |
| -8,25 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,900 | 0,400 | 0,500 | 0,500 | 0,999 | 0,400 | 0,200 | 154-170 |
| -8,50 | 0,800 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,500 | 0,800 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,100 | 171-187 |

Apêndice B-2: Valores de declividade dos 187 pontos para indicar o comportamento das tendências na série temporal de precipitação anual.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | -12,0 | -7,3 | -4,1 | -5,6 | -6,5 | 2,1 | 2,9 | 6,9 | 7,8 | 2,3 | 1,3 | -4,6 | -11,3 | -9,3 | -5,7 | 10,1 | 22,1 | 1-17 |
| -6,25 | -5,1 | -4,8 | -1,0 | -2,6 | -4,3 | 0,2 | 2,4 | 5,8 | 4,2 | 1,3 | -2,9 | -6,6 | -14,7 | -5,9 | -5,4 | 11,1 | 14,1 | 18-34 |
| -6,50 | -1,8 | -2,2 | -1,7 | -3,9 | -0,7 | 1,0 | 4,5 | 8,4 | 2,3 | -3,0 | -8,1 | -6,7 | -5,3 | -10,8 | -7,4 | 2,0 | 12,1 | 35-51 |
| -6,75 | 0,9 | -1,9 | -3,8 | -3,6 | -5,3 | -3,1 | 2,9 | 3,3 | -1,3 | -6,4 | -2,5 | -6,3 | -12,5 | -8,3 | -8,7 | -7,3 | 28,7 | 52-68 |
| -7,00 | 5,4 | 2,5 | 1,6 | -1,7 | 1,7 | -0,2 | 0,6 | -1,3 | -3,1 | -1,0 | -6,3 | -4,3 | -7,4 | -5,2 | -7,7 | -11,7 | 23,9 | 69-85 |
| -7,25 | 2,9 | 3,9 | 6,0 | -0,2 | 5,3 | 2,5 | 5,3 | 0,5 | -1,6 | -6,1 | -6,5 | -5,9 | -5,6 | -7,2 | -8,2 | -15,8 | 2,2 | 6-102 |
| -7,50 | 2,2 | 4,0 | 4,4 | -0,3 | -2,4 | -3,3 | -3,8 | 1,2 | -1,1 | -5,3 | -1,2 | -3,6 | -2,2 | -2,0 | -4,9 | -18,9 | 4,5 | 103-119 |
| -7,75 | 2,5 | 0,6 | 3,0 | 0,1 | 3,4 | -2,1 | -3,0 | -3,4 | -1,4 | -4,5 | -0,6 | -9,8 | -5,4 | -6,3 | -10,8 | -19,3 | 10,7 | 120-136 |
| -8,00 | 1,1 | 4,3 | -1,7 | 3,0 | -1,9 | -4,1 | -3,7 | -0,1 | -8,9 | -8,5 | -4,0 | -5,3 | -8,5 | -11,5 | -11,1 | -15,1 | 3,6 | 137-153 |
| -8,25 | -1,0 | 0,0 | -0,6 | 1,5 | 2,2 | -0,4 | 1,4 | 1,6 | -0,1 | -4,0 | -9,1 | -10,8 | -8,4 | -16,8 | -5,2 | -10,8 | 26,9 | 154-170 |
| -8,50 | -1,5 | -1,4 | -1,2 | -0,2 | -1,1 | -1,6 | 1,0 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | -1,1 | -11,3 | -7,8 | 2,0 | 1,1 | 2,4 | 29,7 | 171-187 |

Apêndice B-3: Valores de significância dos 187 pontos para indicar tendências nas séries de precipitação da estação verão.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | 0,200 | 0,500 | 0,700 | 0,700 | 0,600 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,700 | 0,500 | 0,500 | 0,700 | 0,800 | 0,800 | 0,999 | 0,500 | 1-17 |
| -6,25 | 0,300 | 0,300 | 0,500 | 0,700 | 0,600 | 0,500 | 0,700 | 0,999 | 0,800 | 0,800 | 0,500 | 0,300 | 0,400 | 0,600 | 0,500 | 0,700 | 0,999 | 18-34 |
| -6,50 | 0,400 | 0,400 | 0,600 | 0,700 | 0,700 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,700 | 0,800 | 0,600 | 0,500 | 0,999 | 0,500 | 0,700 | 0,800 | 0,500 | 35-51 |
| -6,75 | 0,400 | 0,300 | 0,300 | 0,500 | 0,600 | 0,800 | 0,600 | 0,800 | 0,600 | 0,800 | 0,600 | 0,600 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,600 | 0,400 | 52-68 |
| -7,00 | 0,300 | 0,400 | 0,400 | 0,500 | 0,500 | 0,700 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 0,999 | 0,700 | 0,600 | 0,999 | 0,900 | 0,900 | 0,500 | 0,400 | 69-85 |
| -7,25 | 0,300 | 0,400 | 0,300 | 0,600 | 0,500 | 0,900 | 0,800 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,400 | 0,900 | 6-102 |
| -7,50 | 0,500 | 0,400 | 0,600 | 0,500 | 0,700 | 0,600 | 0,600 | 0,900 | 0,999 | 0,800 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,400 | 0,800 | 103-119 |
| -7,75 | 0,500 | 0,500 | 0,600 | 0,600 | 0,800 | 0,900 | 0,800 | 0,800 | 0,900 | 0,800 | 0,600 | 0,800 | 0,800 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,500 | 120-136 |
| -8,00 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,700 | 0,700 | 0,600 | 0,900 | 0,999 | 0,800 | 0,500 | 0,600 | 0,800 | 0,900 | 0,999 | 0,600 | 0,700 | 137-153 |
| -8,25 | 0,500 | 0,600 | 0,700 | 0,600 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,400 | 0,300 | 0,200 | 0,300 | 0,900 | 0,500 | 154-170 |
| -8,50 | 0,400 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,600 | 0,600 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,600 | 0,400 | 0,400 | 0,600 | 0,999 | 0,300 | 171-187 |

Apêndice B-4: Valores de declividade dos 187 pontos para indicar o comportamento das tendências na série temporal de precipitação da estação verão.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | -5,0 | -4,2 | -3,0 | -5,4 | -3,8 | -2,1 | -0,7 | 0,4 | -0,6 | -1,2 | -2,5 | -2,6 | -2,1 | -2,1 | -2,6 | 0,5 | -1,3 | 1-17 |
| -6,25 | -8,4 | -9,5 | -4,3 | -8,0 | -5,8 | -8,5 | -4,6 | -0,2 | -2,8 | -2,3 | -3,0 | -3,0 | -4,1 | -2,4 | -3,0 | 2,3 | 1,4 | 18-34 |
| -6,50 | -9,7 | -8,6 | -9,2 | -7,0 | -5,4 | -3,5 | -0,8 | -3,1 | -3,5 | -2,0 | -2,1 | -3,8 | 0,0 | -1,8 | -2,0 | -2,1 | 2,0 | 35-51 |
| -6,75 | -7,9 | -10,9 | -11,3 | -6,4 | -6,6 | -7,0 | -3,9 | -2,7 | -3,1 | -2,6 | -2,2 | -1,9 | 0,2 | -0,4 | -2,6 | -3,0 | 3,8 | 52-68 |
| -7,00 | -10,9 | -5,4 | -5,7 | -5,8 | -4,2 | -4,3 | -5,9 | -0,9 | -1,7 | -0,4 | -1,3 | -2,3 | -0,5 | -1,9 | -0,8 | -3,8 | 2,9 | 69-85 |
| -7,25 | -8,9 | -5,8 | -8,2 | -9,9 | -4,1 | -3,3 | -2,6 | -1,4 | -1,2 | 0,1 | -1,1 | -0,9 | -0,9 | -0,9 | -2,3 | -3,8 | 1,0 | 6-102 |
| -7,50 | -5,0 | -4,4 | -5,3 | -6,2 | -3,0 | -3,6 | -2,9 | -1,5 | 0,2 | -1,3 | -0,6 | 0,4 | -0,8 | -0,2 | -0,4 | -3,6 | 2,3 | 103-119 |
| -7,75 | -4,1 | -6,3 | -3,8 | -6,3 | -4,2 | -2,3 | -2,0 | -2,1 | 1,1 | -0,9 | -1,9 | -1,6 | -1,6 | -0,1 | 0,2 | -1,8 | 5,2 | 120-136 |
| -8,00 | -2,6 | -4,2 | -5,2 | -7,0 | -4,0 | -1,9 | -2,9 | -2,3 | 0,4 | -1,2 | -3,1 | -2,5 | -2,8 | -2,3 | -0,7 | -2,4 | 4,3 | 137-153 |
| -8,25 | -4,3 | -4,0 | -5,8 | -5,7 | -3,8 | -3,0 | -2,7 | -0,6 | 0,2 | 0,1 | -1,3 | -4,7 | -4,5 | -3,4 | -6,7 | -2,6 | 6,4 | 154-170 |
| -8,50 | -4,5 | -4,4 | -5,4 | -4,8 | -4,0 | -4,3 | -1,9 | -0,2 | -1,4 | -0,7 | -1,1 | -3,9 | -4,2 | -4,4 | -2,5 | 1,5 | 6,9 | 171-187 |

Apêndice B-5: Valores de significância dos 187 pontos para indicar tendências nas séries de precipitação da estação outono.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | 0,900 | 0,900 | 0,999 | 0,800 | 0,900 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,700 | 0,800 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,600 | 0,400 | 1-17 |
| -6,25 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 0,800 | 0,700 | 0,900 | 0,999 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 18-34 |
| -6,50 | 0,999 | 0,800 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,999 | 0,999 | 0,600 | 0,400 | 0,500 | 0,700 | 0,800 | 0,999 | 35-51 |
| -6,75 | 0,700 | 0,800 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,500 | 0,600 | 0,500 | 0,900 | 0,800 | 0,600 | 52-68 |
| -7,00 | 0,400 | 0,500 | 0,500 | 0,700 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,600 | 0,999 | 0,999 | 0,700 | 0,999 | 0,900 | 69-85 |
| -7,25 | 0,400 | 0,400 | 0,300 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,700 | 0,900 | 0,999 | 0,600 | 0,600 | 0,700 | 0,800 | 0,700 | 0,900 | 6-102 |
| -7,50 | 0,400 | 0,400 | 0,300 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 0,800 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,800 | 0,900 | 0,800 | 0,700 | 0,800 | 103-119 |
| -7,75 | 0,300 | 0,200 | 0,300 | 0,500 | 0,800 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 0,800 | 0,900 | 0,800 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,600 | 0,999 | 120-136 |
| -8,00 | 0,300 | 0,200 | 0,400 | 0,600 | 0,800 | 0,800 | 0,700 | 0,900 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,500 | 0,600 | 0,600 | 0,900 | 137-153 |
| -8,25 | 0,400 | 0,300 | 0,300 | 0,800 | 0,800 | 0,500 | 0,600 | 0,200 | 0,500 | 0,600 | 0,800 | 0,800 | 0,999 | 0,600 | 0,700 | 0,800 | 0,700 | 154-170 |
| -8,50 | 0,500 | 0,600 | 0,400 | 0,600 | 0,900 | 0,500 | 0,600 | 0,500 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,999 | 0,900 | 0,600 | 0,300 | 0,700 | 0,600 | 171-187 |

Apêndice B-6: Valores de declividade dos 187 pontos para indicar o comportamento das tendências na série temporal de precipitação da estação outono.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | -4,0 | -1,1 | 0,1 | 3,3 | 1,9 | 5,6 | 6,0 | 7,2 | 7,3 | 7,3 | 3,3 | 0,9 | 0,9 | -0,5 | 1,9 | 3,8 | 5,6 | 1-17 |
| -6,25 | 1,1 | 2,4 | -2,6 | -0,4 | -1,3 | 1,6 | 3,2 | 6,5 | 6,3 | 3,7 | -4,9 | -2,6 | -2,8 | -1,3 | -2,0 | 1,6 | 1,3 | 18-34 |
| -6,50 | 0,6 | -2,1 | -0,6 | 2,3 | 0,5 | 1,6 | 1,2 | 3,4 | 5,7 | 4,1 | 0,2 | -4,5 | -5,7 | -4,4 | -4,3 | -1,5 | -0,1 | 35-51 |
| -6,75 | 2,3 | 1,2 | 0,2 | 3,1 | 3,7 | 3,2 | 4,5 | 0,6 | 4,5 | 1,3 | -2,2 | -3,9 | -3,2 | -5,0 | -3,0 | -1,5 | 6,7 | 52-68 |
| -7,00 | 4,5 | 3,6 | 4,9 | 4,8 | 2,1 | -1,5 | 5,2 | 3,2 | 2,9 | 2,2 | -2,5 | -4,0 | -0,9 | -0,2 | -5,2 | -2,0 | 2,5 | 69-85 |
| -7,25 | 8,1 | 9,6 | 9,6 | 4,0 | 3,3 | 4,9 | 2,4 | 2,8 | 2,3 | 1,7 | 0,0 | -3,0 | -3,6 | -6,2 | -2,6 | -5,5 | -0,6 | 6-102 |
| -7,50 | 9,0 | 8,6 | 10,7 | 6,5 | 3,7 | 2,2 | 5,9 | 1,9 | 2,4 | -0,7 | -0,4 | -2,0 | -2,1 | -2,4 | -2,0 | -3,9 | -3,4 | 103-119 |
| -7,75 | 8,6 | 8,9 | 11,0 | 6,4 | 4,6 | 6,3 | 5,6 | 2,2 | 1,8 | 0,4 | -1,3 | -1,6 | -0,9 | -3,2 | -2,8 | -6,0 | 0,5 | 120-136 |
| -8,00 | 8,2 | 9,6 | 6,9 | 6,5 | 5,6 | 3,4 | 4,8 | 3,4 | 0,7 | -0,3 | -0,9 | 1,3 | -2,8 | -6,5 | -4,2 | -4,3 | 2,3 | 137-153 |
| -8,25 | 6,3 | 7,4 | 6,4 | 4,0 | 5,1 | 5,9 | 5,1 | 3,8 | 5,8 | 2,6 | 2,2 | 1,7 | -0,8 | -3,5 | 5,3 | -4,3 | 4,3 | 154-170 |
| -8,50 | 4,4 | 6,0 | 7,2 | 4,7 | 2,4 | 4,8 | 4,1 | 4,2 | 7,1 | 4,6 | 3,2 | 0,1 | 1,4 | 5,0 | 5,2 | 3,5 | 8,5 | 171-187 |

Apêndice B-7: Valores de significância dos 187 pontos para indicar tendências nas séries de precipitação da estação inverno.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | 0,600 | 0,700 | 0,800 | 0,900 | 0,800 | 0,999 | 0,900 | 0,600 | 0,900 | 0,600 | 0,900 | 0,700 | 0,600 | 0,900 | 0,400 | 0,800 | 0,100 | 1-17 |
| -6,25 | 0,600 | 0,300 | 0,400 | 0,400 | 0,500 | 0,400 | 0,600 | 0,500 | 0,800 | 0,800 | 0,999 | 0,800 | 0,600 | 0,800 | 0,800 | 0,400 | 0,300 | 18-34 |
| -6,50 | 0,200 | 0,300 | 0,300 | 0,400 | 0,400 | 0,500 | 0,900 | 0,500 | 0,800 | 0,300 | 0,300 | 0,500 | 0,800 | 0,600 | 0,900 | 0,900 | 0,500 | 35-51 |
| -6,75 | 0,200 | 0,200 | 0,500 | 0,400 | 0,999 | 0,600 | 0,400 | 0,999 | 0,800 | 0,400 | 0,300 | 0,900 | 0,800 | 0,700 | 0,800 | 0,700 | 0,300 | 52-68 |
| -7,00 | 0,200 | 0,200 | 0,300 | 0,300 | 0,900 | 0,600 | 0,900 | 0,999 | 0,500 | 0,500 | 0,200 | 0,400 | 0,800 | 0,800 | 0,999 | 0,500 | 0,400 | 69-85 |
| -7,25 | 0,200 | 0,200 | 0,400 | 0,500 | 0,500 | 0,700 | 0,600 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,500 | 0,500 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,300 | 0,800 | 6-102 |
| -7,50 | 0,100 | 0,200 | 0,500 | 0,900 | 0,999 | 0,200 | 0,300 | 0,800 | 0,500 | 0,999 | 0,300 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,200 | 0,900 | 103-119 |
| -7,75 | 0,500 | 0,900 | 0,700 | 0,600 | 0,999 | 0,600 | 0,400 | 0,500 | 0,400 | 0,600 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,300 | 0,900 | 120-136 |
| -8,00 | 0,800 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 0,600 | 0,300 | 0,400 | 0,200 | 0,200 | 0,300 | 0,500 | 0,900 | 0,900 | 0,600 | 0,900 | 0,600 | 0,999 | 137-153 |
| -8,25 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,900 | 0,200 | 0,200 | 0,500 | 0,300 | 0,200 | 0,500 | 0,999 | 0,800 | 0,900 | 0,400 | 154-170 |
| -8,50 | 0,999 | 0,800 | 0,800 | 0,300 | 0,200 | 0,100 | 0,300 | 0,500 | 0,300 | 0,500 | 0,300 | 0,050 | 0,400 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,200 | 171-187 |

Apêndice B-8: Valores de declividade dos 187 pontos para indicar o comportamento das tendências na série temporal de precipitação da estação inverno.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | 1,7 | 1,1 | 1,1 | -0,2 | 1,1 | 0,1 | 0,9 | 0,8 | -0,6 | -1,0 | -1,0 | -3,0 | -5,7 | -4,7 | -8,7 | 2,4 | 15,7 | 1-17 |
| -6,25 | 1,6 | 3,1 | 2,7 | 2,3 | 1,2 | 2,7 | 1,9 | 1,4 | 0,7 | 1,0 | -0,8 | -2,6 | -4,1 | -0,9 | -3,0 | 9,2 | 10,4 | 18-34 |
| -6,50 | 2,1 | 2,5 | 3,1 | 1,8 | 2,5 | 1,9 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 2,4 | 2,7 | -2,6 | -4,7 | -4,6 | -4,3 | -4,4 | 7,2 | 35-51 |
| -6,75 | 3,4 | 3,0 | 1,6 | 1,4 | 0,5 | 1,1 | 2,6 | 0,6 | 1,5 | 1,9 | 3,8 | 1,0 | -2,9 | -5,2 | -4,8 | -4,7 | 15,2 | 52-68 |
| -7,00 | 3,3 | 2,5 | 2,5 | 1,7 | 0,6 | 1,1 | -0,4 | 0,0 | 2,0 | 1,9 | 4,5 | 4,2 | -0,8 | -2,0 | 0,1 | -6,9 | 9,5 | 69-85 |
| -7,25 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,3 | 1,2 | -1,0 | -0,9 | -0,7 | -0,5 | 1,3 | 2,2 | 1,5 | 0,8 | 0,4 | -1,3 | -9,3 | -2,3 | 6-102 |
| -7,50 | 2,6 | 3,3 | 1,9 | 0,1 | -0,1 | -2,8 | -3,3 | -1,1 | -1,7 | 0,1 | 4,2 | 0,6 | -0,8 | 1,6 | -1,4 | -9,3 | -3,1 | 103-119 |
| -7,75 | 2,2 | 0,4 | 0,5 | -1,4 | 0,5 | -1,5 | -2,1 | -2,2 | -2,8 | -1,6 | 0,3 | -0,1 | 2,2 | 1,0 | 2,5 | -6,5 | 0,5 | 120-136 |
| -8,00 | 0,7 | 1,2 | -0,3 | -1,1 | -1,6 | -3,0 | -1,8 | -2,5 | -4,2 | -5,3 | -2,1 | -1,2 | -1,1 | -3,5 | 3,3 | -5,0 | -0,8 | 137-153 |
| -8,25 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | -0,9 | -1,4 | -2,6 | -0,4 | -3,3 | -2,6 | -4,0 | -6,5 | -6,8 | -2,1 | 0,5 | 2,8 | 3,2 | 13,4 | 154-170 |
| -8,50 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | -1,6 | -3,5 | -3,4 | -3,0 | -1,7 | -3,5 | -2,7 | -5,5 | -6,7 | -4,4 | -0,4 | -0,4 | -1,0 | 17,2 | 171-187 |

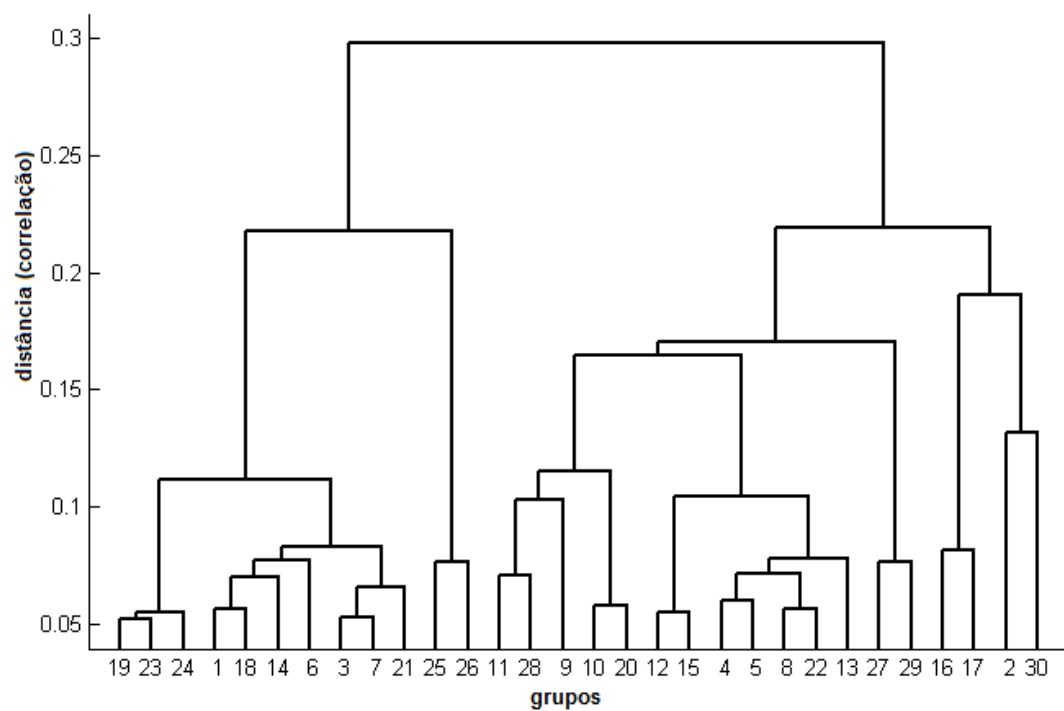
Apêndice B-9: Valores de significância dos 187 pontos para indicar tendências nas séries de precipitação da estação primavera.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | 0,999 | 0,800 | 0,500 | 0,800 | 0,600 | 0,999 | 0,999 | 0,500 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,999 | 0,500 | 0,100 | 0,050 | 1-17 |
| -6,25 | 0,999 | 0,700 | 0,900 | 0,999 | 0,600 | 0,600 | 0,999 | 0,800 | 0,700 | 0,999 | 0,700 | 0,500 | 0,200 | 0,400 | 0,700 | 0,100 | 0,300 | 18-34 |
| -6,50 | 0,999 | 0,999 | 0,600 | 0,900 | 0,900 | 0,400 | 0,500 | 0,700 | 0,999 | 0,600 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,300 | 0,800 | 0,600 | 0,300 | 35-51 |
| -6,75 | 0,900 | 0,700 | 0,700 | 0,999 | 0,600 | 0,600 | 0,300 | 0,900 | 0,800 | 0,300 | 0,200 | 0,600 | 0,300 | 0,100 | 0,100 | 0,300 | 0,050 | 52-68 |
| -7,00 | 0,800 | 0,700 | 0,700 | 0,700 | 0,600 | 0,800 | 0,400 | 0,500 | 0,700 | 0,400 | 0,200 | 0,050 | 0,100 | 0,300 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 69-85 |
| -7,25 | 0,900 | 0,999 | 0,900 | 0,700 | 0,999 | 0,900 | 0,700 | 0,700 | 0,300 | 0,400 | 0,100 | 0,200 | 0,050 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,400 | 6-102 |
| -7,50 | 0,600 | 0,800 | 0,999 | 0,800 | 0,999 | 0,800 | 0,700 | 0,900 | 0,500 | 0,200 | 0,600 | 0,500 | 0,400 | 0,050 | 0,200 | 0,500 | 0,400 | 103-119 |
| -7,75 | 0,999 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,800 | 0,600 | 0,700 | 0,400 | 0,300 | 0,999 | 0,400 | 0,200 | 0,200 | 0,300 | 0,300 | 0,700 | 120-136 |
| -8,00 | 0,600 | 0,600 | 0,999 | 0,800 | 0,900 | 0,900 | 0,500 | 0,900 | 0,800 | 0,600 | 0,700 | 0,400 | 0,200 | 0,100 | 0,500 | 0,100 | 0,600 | 137-153 |
| -8,25 | 0,800 | 0,600 | 0,800 | 0,600 | 0,600 | 0,800 | 0,200 | 0,600 | 0,800 | 0,600 | 0,500 | 0,200 | 0,100 | 0,050 | 0,050 | 0,400 | 0,800 | 154-170 |
| -8,50 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,200 | 0,500 | 0,400 | 0,100 | 0,200 | 0,100 | 0,100 | 0,300 | 0,200 | 0,300 | 0,600 | 171-187 |

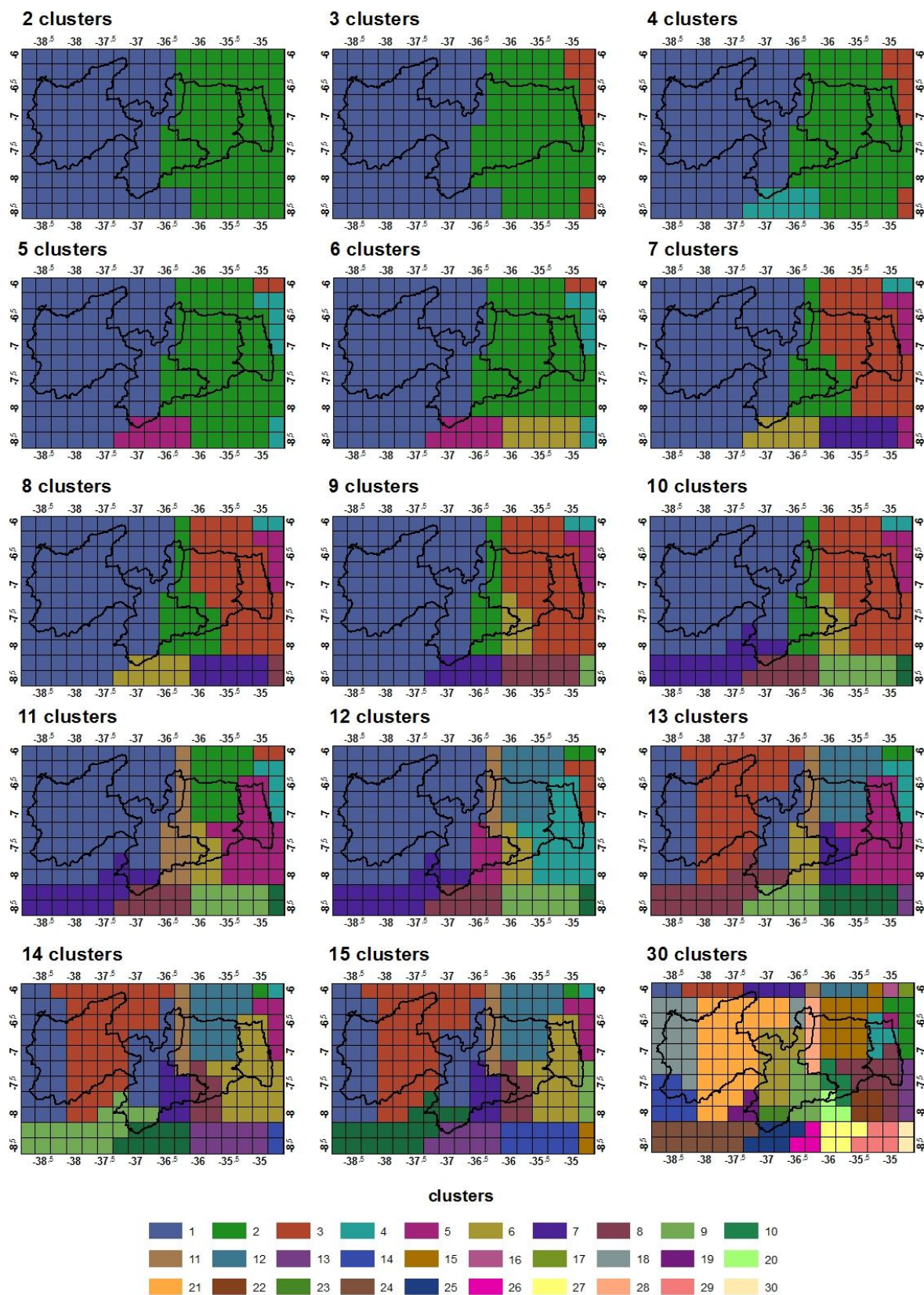
Apêndice B-10: Valores de declividade dos 187 pontos para indicar o comportamento das tendências na série temporal de precipitação da estação primavera.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | -0,2 | 0,0 | 0,7 | 2,8 | 3,4 | 1-17 |
| -6,25 | 0,0 | 0,3 | 0,2 | 0,0 | -0,1 | -0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -0,5 | -0,5 | -0,4 | 0,6 | 3,7 | 2,5 | 18-34 |
| -6,50 | 0,0 | 0,0 | -0,3 | -0,1 | 0,0 | -0,3 | -0,3 | 0,3 | 0,0 | -0,1 | -0,1 | -0,4 | -0,4 | -0,5 | 0,4 | 0,7 | 1,9 | 35-51 |
| -6,75 | 0,3 | -0,2 | -0,1 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | -0,5 | -0,2 | 0,0 | -1,2 | -0,1 | -0,3 | -0,9 | -1,1 | -1,4 | -0,7 | 5,6 | 52-68 |
| -7,00 | 0,5 | -0,5 | -0,3 | -0,1 | 0,0 | 0,0 | -0,4 | -0,5 | -0,2 | -0,2 | -0,2 | -1,0 | -1,3 | -1,1 | -1,4 | -1,7 | 2,6 | 69-85 |
| -7,25 | -0,5 | 0,0 | -0,3 | 0,3 | 0,0 | -0,1 | -0,1 | 0,1 | -0,7 | -0,3 | -2,1 | -1,3 | -1,9 | -1,6 | -1,6 | -1,6 | 1,1 | 6-102 |
| -7,50 | -0,9 | -0,4 | 0,1 | -0,3 | -0,1 | -0,4 | -0,1 | 0,0 | -0,2 | -0,4 | -0,3 | -0,7 | -1,1 | -2,3 | -1,6 | -1,5 | 2,1 | 103-119 |
| -7,75 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | -0,2 | -0,5 | -0,1 | -0,2 | -0,4 | 0,0 | -1,2 | -1,6 | -2,3 | -1,8 | -1,8 | 1,0 | 120-136 |
| -8,00 | 1,3 | 1,5 | 0,5 | 1,2 | -0,1 | -0,3 | -0,5 | -0,2 | -0,1 | -0,2 | -0,1 | -1,1 | -2,1 | -1,9 | -1,7 | -3,1 | 0,8 | 137-153 |
| -8,25 | 1,2 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | -0,6 | -0,4 | -0,9 | -0,4 | -0,5 | -0,6 | -0,6 | -2,1 | -3,0 | -3,5 | -4,3 | -1,8 | 0,4 | 154-170 |
| -8,50 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | -0,2 | -0,2 | -0,4 | -1,1 | -1,4 | -1,3 | -1,2 | -1,6 | -2,5 | -3,8 | -2,5 | -2,8 | -2,6 | 1,1 | 171-187 |

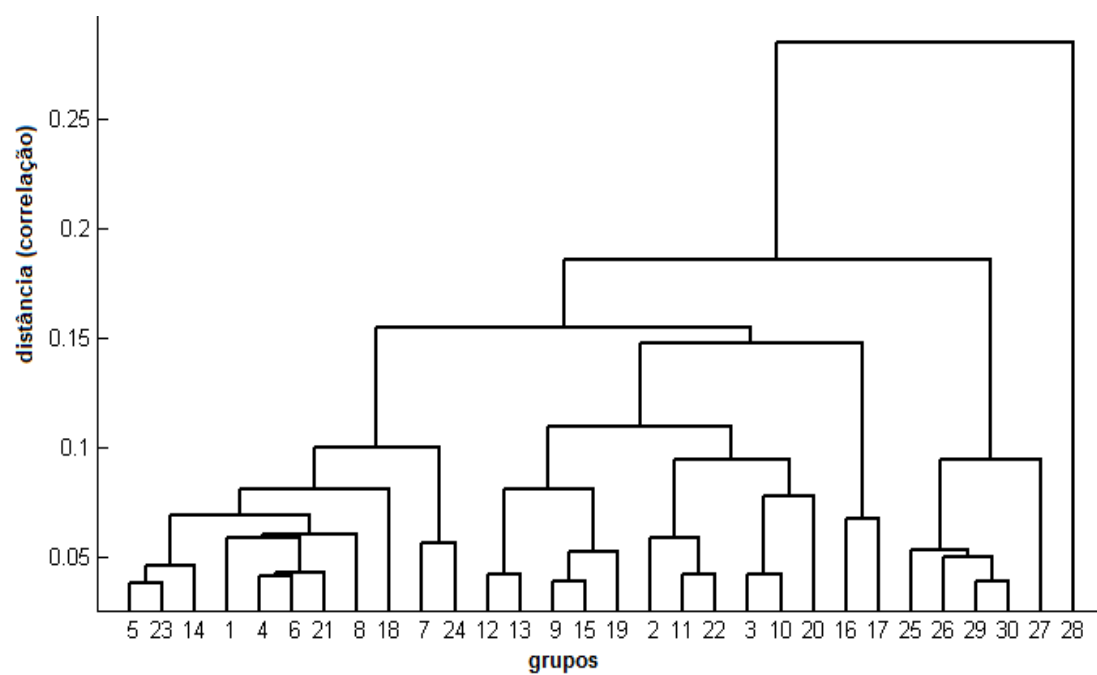
APÊNDICE C



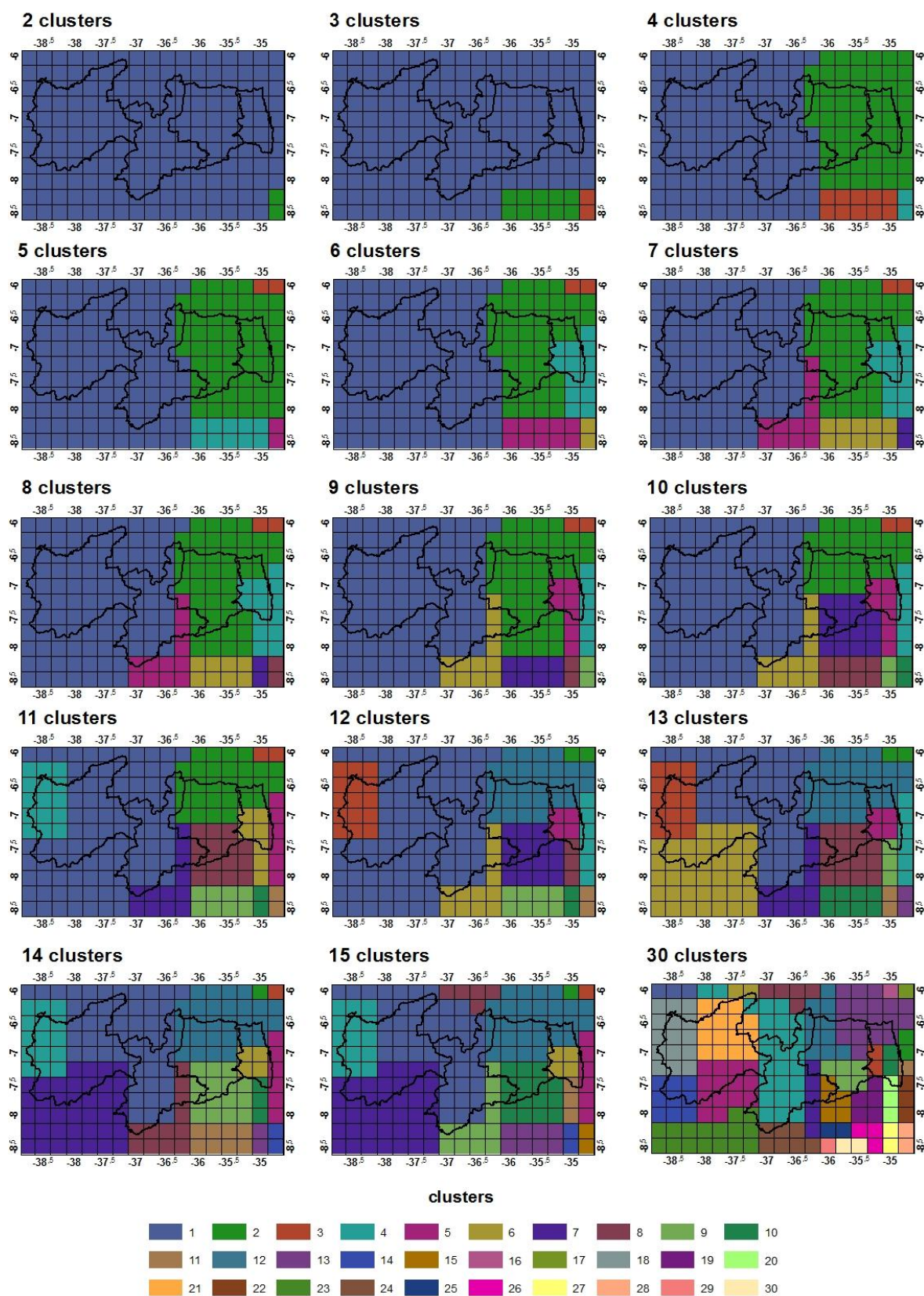
Apêndice C-1: Dendrograma da precipitação anual em 30 *clusters*.



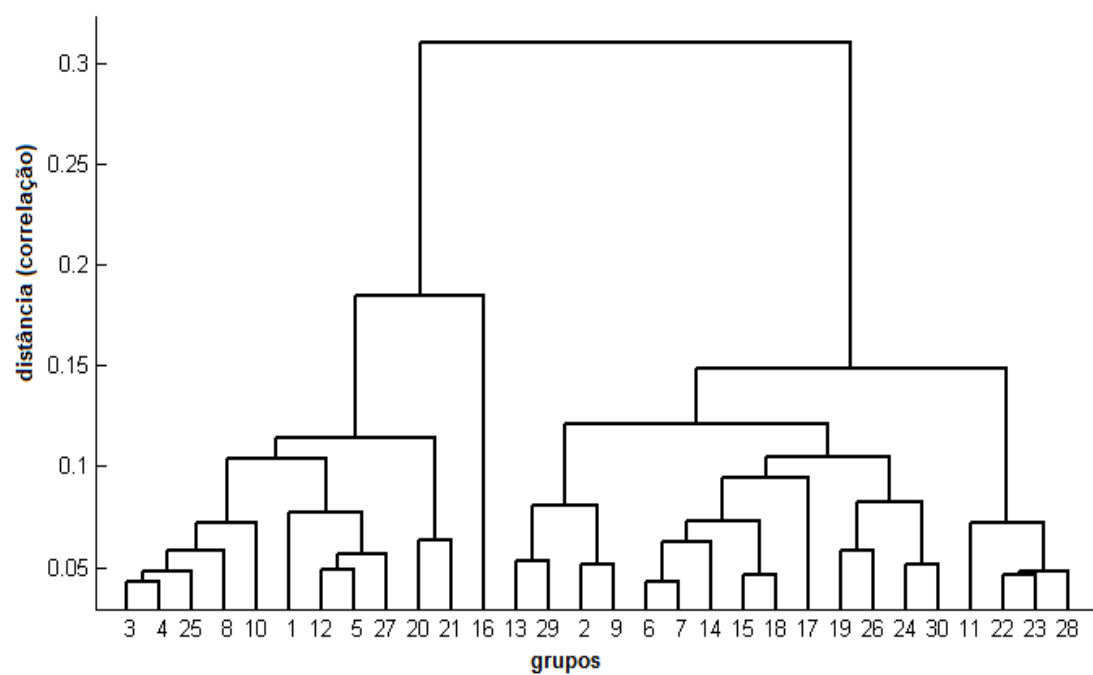
Apêndice C-2: Distribuição espacial dos 187 pontos TRMM na análise de *clusters* da precipitação anual no período de 1998 a 2015.



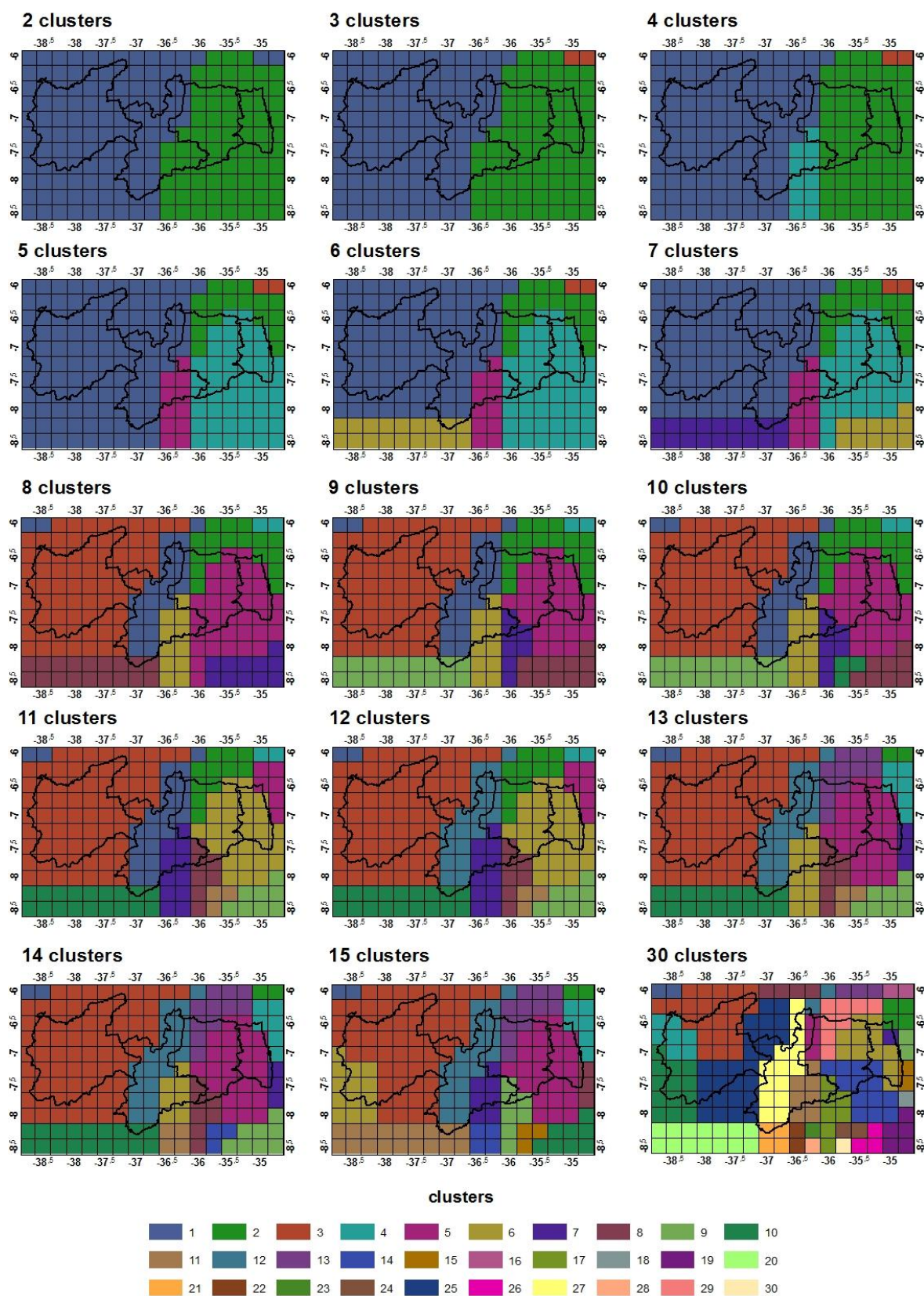
Apêndice C-3: Dendrograma da precipitação na estação verão em 30 *clusters*.



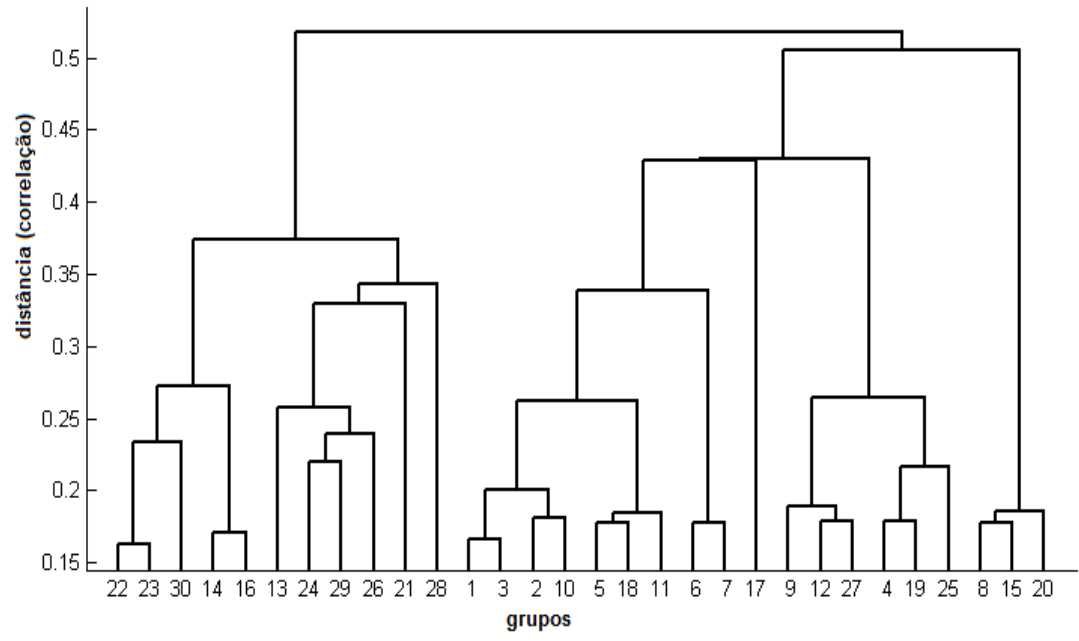
Apêndice C-4: Distribuição espacial dos 187 pontos TRMM na análise de *clusters* da precipitação para estação verão no período de 1998 a 2015.

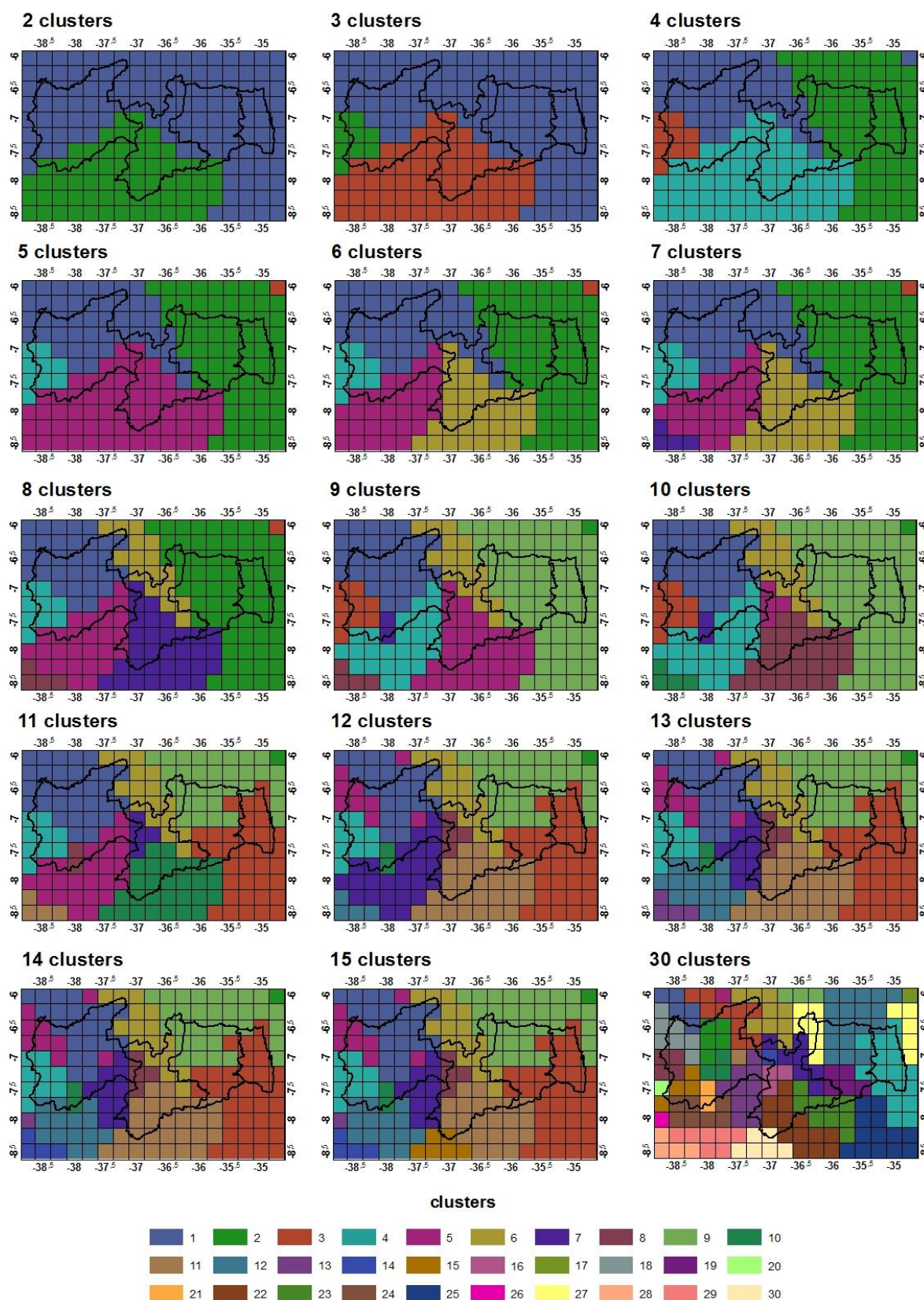


Apêndice C-5: Dendrograma da precipitação na estação outono em 30 *clusters*.

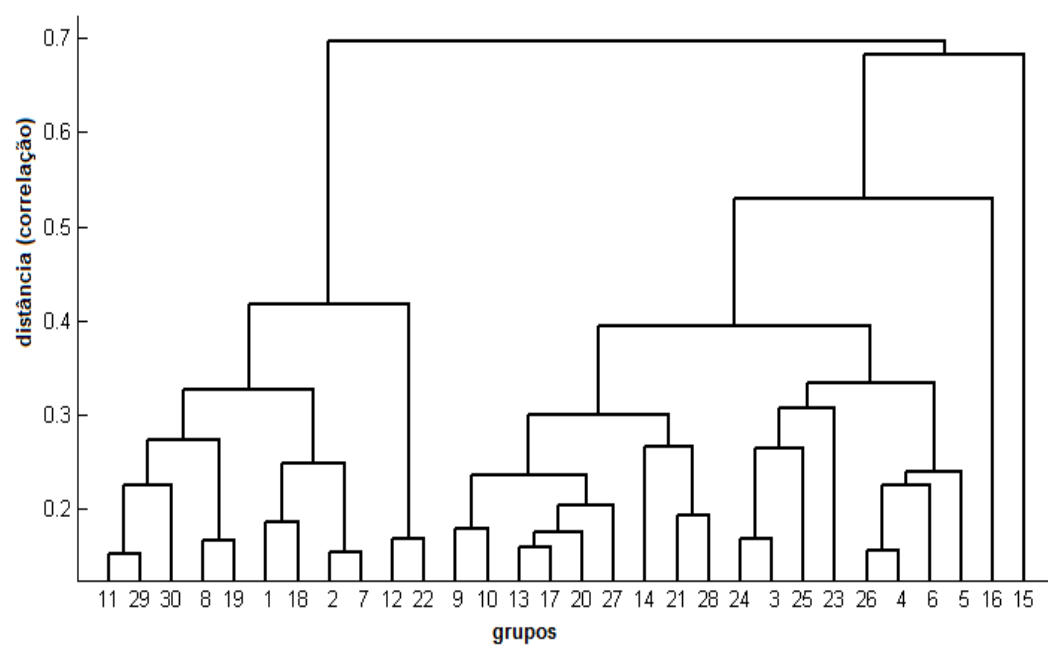


Apêndice C-6: Distribuição espacial dos 187 pontos TRMM na análise de *clusters* da precipitação para estação outono no período de 1998 a 2015.

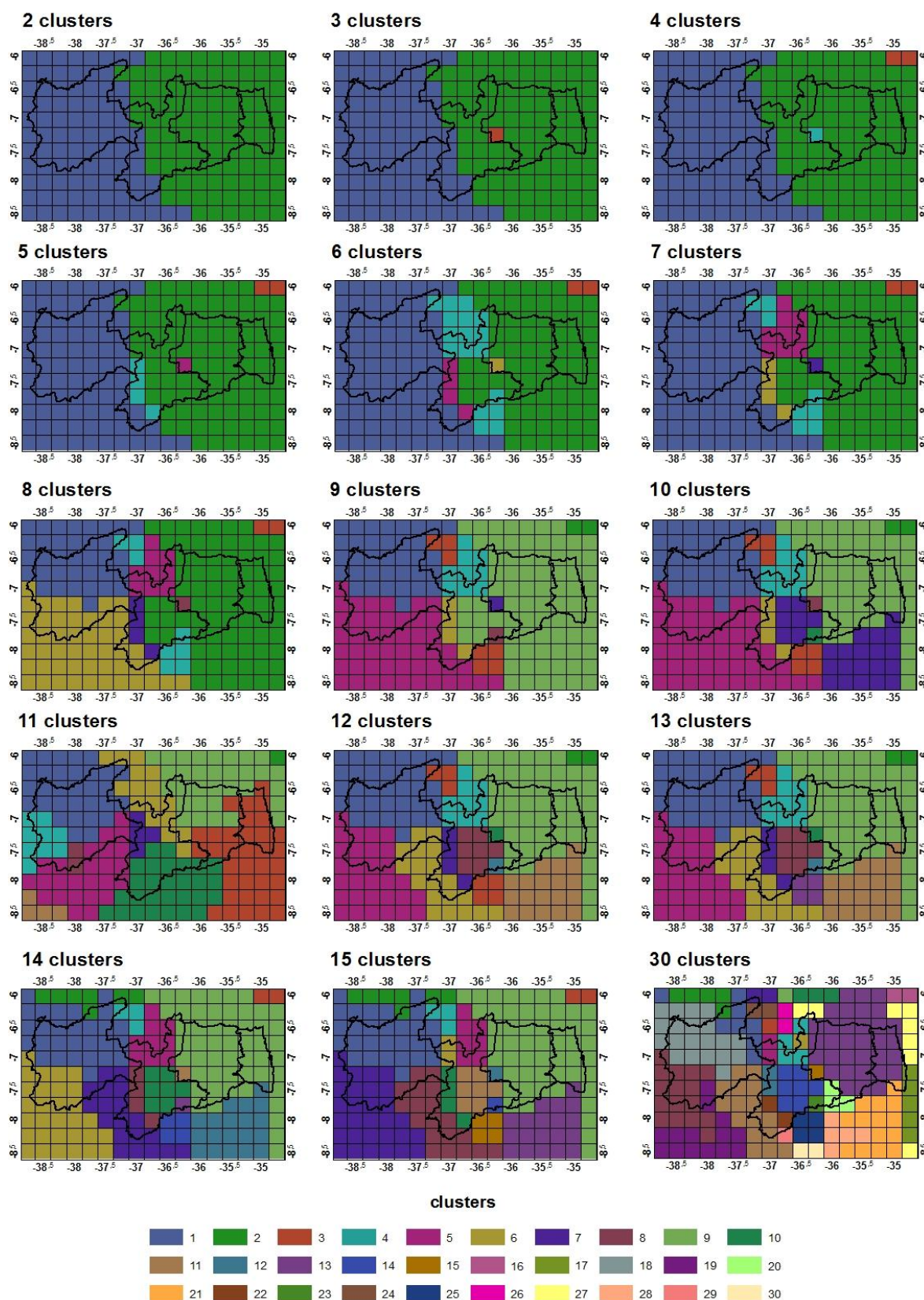




Apêndice C-8: Distribuição espacial dos 187 pontos TRMM na análise de *clusters* da precipitação para estação inverno no período de 1998 a 2015.

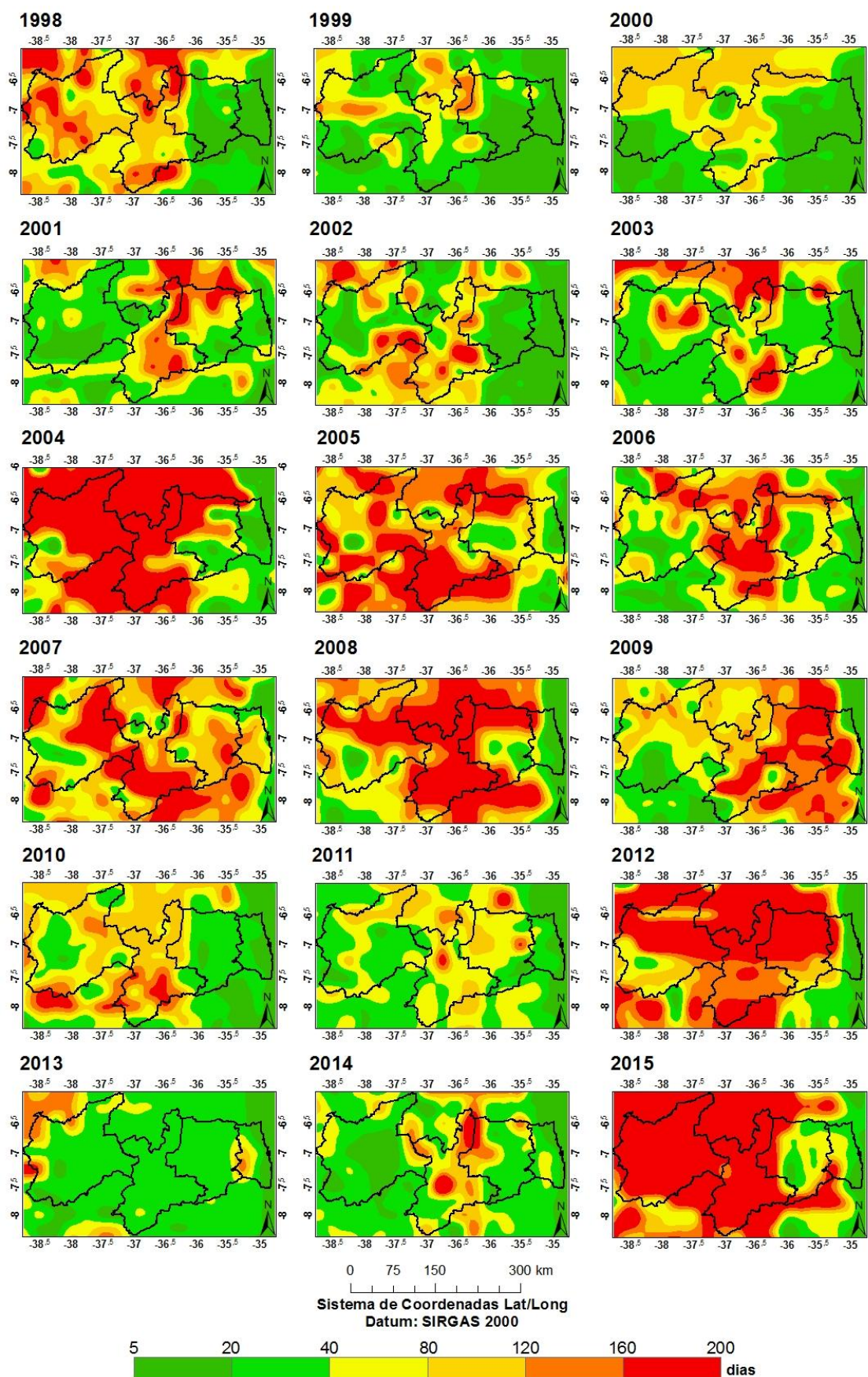


Apêndice C-9: Dendrograma da precipitação na estação primavera em 30 *clusters*.

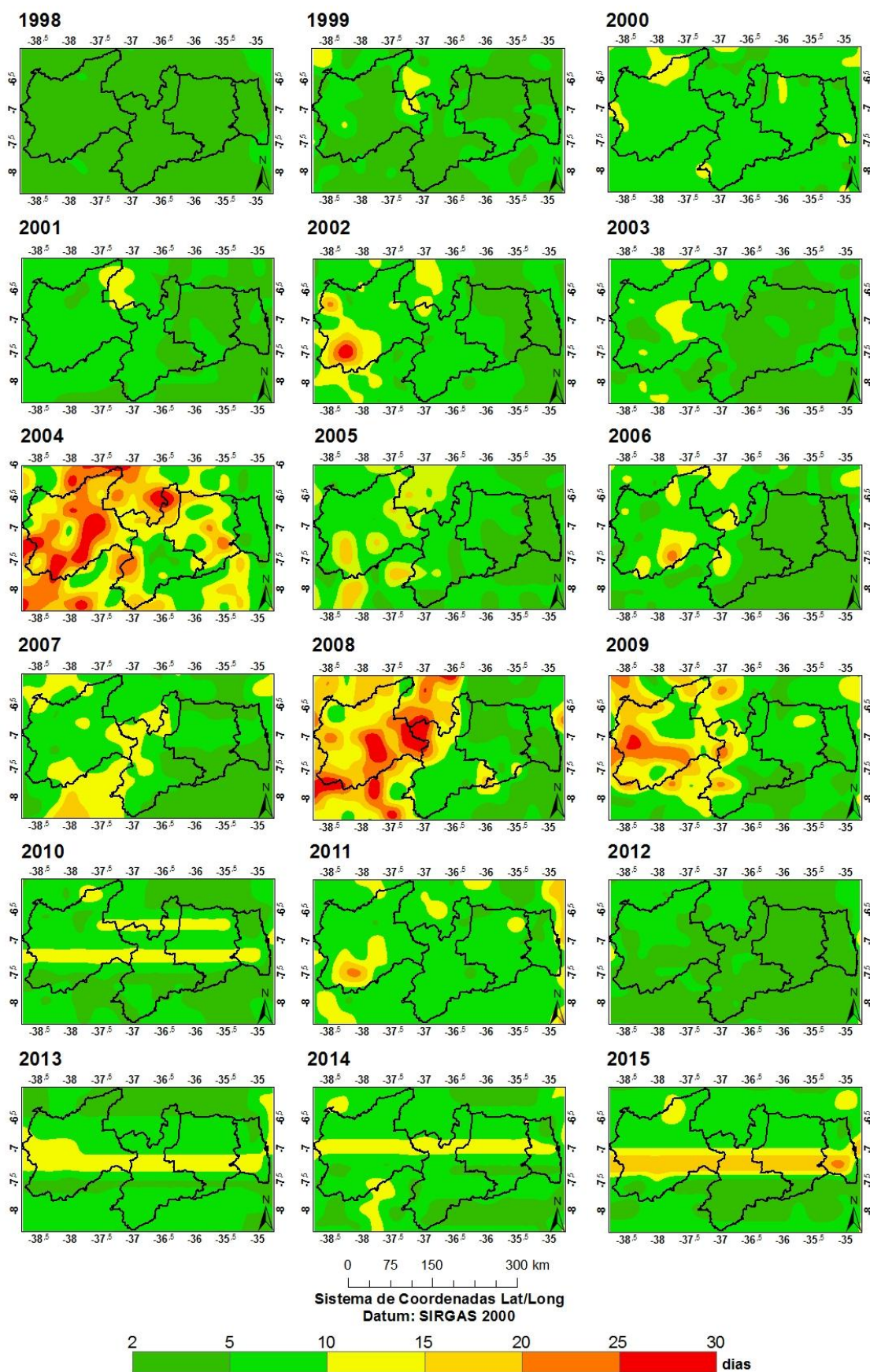


Apêndice C-10: Distribuição espacial dos 187 pontos TRMM na análise de *clusters* da precipitação para estação primavera no período de 1998 a 2015.

APÊNDICE D



Apêndice D-1: Distribuição espacial do número máximo de dias secos consecutivos no período de 1998 a 2015.



Apêndice D-2: Distribuição espacial do número máximo de dias úmidos consecutivos no período de 1998 a 2015.

APÊNDICE E

Apêndice E-1: Valores de significância dos 187 pontos para indicar tendências nas séries do índice CDD.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| -6,00 | 0,500 | 0,400 | 0,999 | 0,300 | 0,999 | 0,300 | 0,500 | 0,700 | 0,800 | 0,700 | 0,600 | 0,300 | 0,700 | 0,999 | 0,500 | 0,010 | 0,300 | 1-17 |
| -6,25 | 0,500 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,900 | 0,800 | 0,500 | 0,999 | 0,700 | 0,600 | 0,700 | 0,400 | 0,400 | 0,600 | 0,600 | 0,100 | 0,700 | 18-34 |
| -6,50 | 0,300 | 0,200 | 0,800 | 0,300 | 0,999 | 0,400 | 0,600 | 0,900 | 0,999 | 0,800 | 0,700 | 0,400 | 0,800 | 0,700 | 0,500 | 0,200 | 0,200 | 35-51 |
| -6,75 | 0,400 | 0,700 | 0,800 | 0,600 | 0,800 | 0,800 | 0,300 | 0,300 | 0,800 | 0,300 | 0,800 | 0,300 | 0,300 | 0,100 | 0,100 | 0,999 | 0,001 | 52-68 |
| -7,00 | 0,600 | 0,600 | 0,500 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,200 | 0,050 | 0,600 | 0,800 | 0,700 | 0,050 | 0,050 | 0,200 | 0,010 | 0,100 | 0,050 | 69-85 |
| -7,25 | 0,050 | 0,200 | 0,200 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,700 | 0,300 | 0,600 | 0,100 | 0,200 | 0,010 | 0,050 | 0,010 | 0,010 | 0,050 | 6-102 |
| -7,50 | 0,300 | 0,500 | 0,500 | 0,300 | 0,400 | 0,900 | 0,700 | 0,999 | 0,300 | 0,200 | 0,999 | 0,200 | 0,100 | 0,050 | 0,050 | 0,300 | 0,010 | 103-119 |
| -7,75 | 0,300 | 0,200 | 0,999 | 0,600 | 0,900 | 0,999 | 0,500 | 0,700 | 0,600 | 0,700 | 0,700 | 0,300 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,010 | 120-136 |
| -8,00 | 0,600 | 0,100 | 0,200 | 0,500 | 0,999 | 0,900 | 0,800 | 0,800 | 0,600 | 0,999 | 0,400 | 0,200 | 0,200 | 0,100 | 0,300 | 0,200 | 0,010 | 137-153 |
| -8,25 | 0,700 | 0,800 | 0,999 | 0,999 | 0,050 | 0,200 | 0,600 | 0,400 | 0,999 | 0,400 | 0,100 | 0,800 | 0,100 | 0,100 | 0,050 | 0,100 | 0,001 | 154-170 |
| -8,50 | 0,200 | 0,900 | 0,300 | 0,200 | 0,050 | 0,300 | 0,100 | 0,300 | 0,200 | 0,100 | 0,050 | 0,500 | 0,500 | 0,600 | 0,400 | 0,200 | 0,010 | 171-187 |

Apêndice E-2: Valores de declividade dos 187 pontos para indicar o comportamento das tendências na série temporal do índice CDD.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| -6,00 | -1,7 | -2,6 | -0,4 | 1,9 | -0,3 | 1,8 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | -0,6 | -1,1 | 1,7 | -1,0 | 0,0 | -1,2 | -3,8 | -0,9 | 1-17 |
| -6,25 | 1,5 | 0,3 | -0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 1,1 | 0,1 | -0,5 | -1,1 | -1,2 | 1,6 | 2,2 | 1,3 | 0,5 | -1,5 | -0,5 | 18-34 |
| -6,50 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 2,0 | 0,1 | 1,6 | 1,0 | -0,3 | -0,3 | 0,3 | -0,8 | 1,5 | -0,3 | -0,8 | -0,9 | -0,6 | -0,7 | 35-51 |
| -6,75 | 1,3 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 1,4 | 1,1 | 2,6 | 2,0 | 0,8 | 1,4 | 1,0 | 1,2 | 1,2 | 2,3 | 2,0 | 0,0 | -2,1 | 52-68 |
| -7,00 | -1,3 | -0,7 | -2,3 | 0,0 | 0,0 | 1,3 | 1,9 | 4,1 | 1,1 | 0,6 | 1,0 | 3,4 | 1,7 | 2,0 | 2,7 | 1,5 | -1,4 | 69-85 |
| -7,25 | 3,0 | 2,0 | 1,3 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | -0,6 | 1,7 | 0,8 | 2,8 | 1,4 | 2,4 | 2,0 | 4,4 | 2,0 | -1,3 | 6-102 |
| -7,50 | 1,0 | 0,7 | 1,1 | 2,0 | -1,7 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 2,6 | 2,4 | 0,0 | 1,8 | 1,9 | 2,5 | 3,0 | 1,2 | -1,8 | 103-119 |
| -7,75 | 1,0 | 2,1 | 0,0 | 0,6 | -0,1 | 0,2 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 2,1 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 1,4 | -1,3 | 120-136 |
| -8,00 | 1,1 | 1,5 | 2,0 | 0,7 | 0,1 | -0,4 | 1,0 | 0,4 | 0,5 | 0,2 | 1,5 | 1,4 | 1,9 | 1,7 | 1,3 | 1,0 | -1,3 | 137-153 |
| -8,25 | 0,6 | 0,5 | 0,0 | 0,1 | 1,9 | 2,1 | 0,7 | 2,2 | 0,2 | 2,6 | 2,9 | 0,5 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,0 | -1,5 | 154-170 |
| -8,50 | 2,0 | 0,3 | 1,6 | 1,6 | 2,4 | 1,6 | 2,9 | 1,5 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,8 | -0,7 | -1,6 | 171-187 |

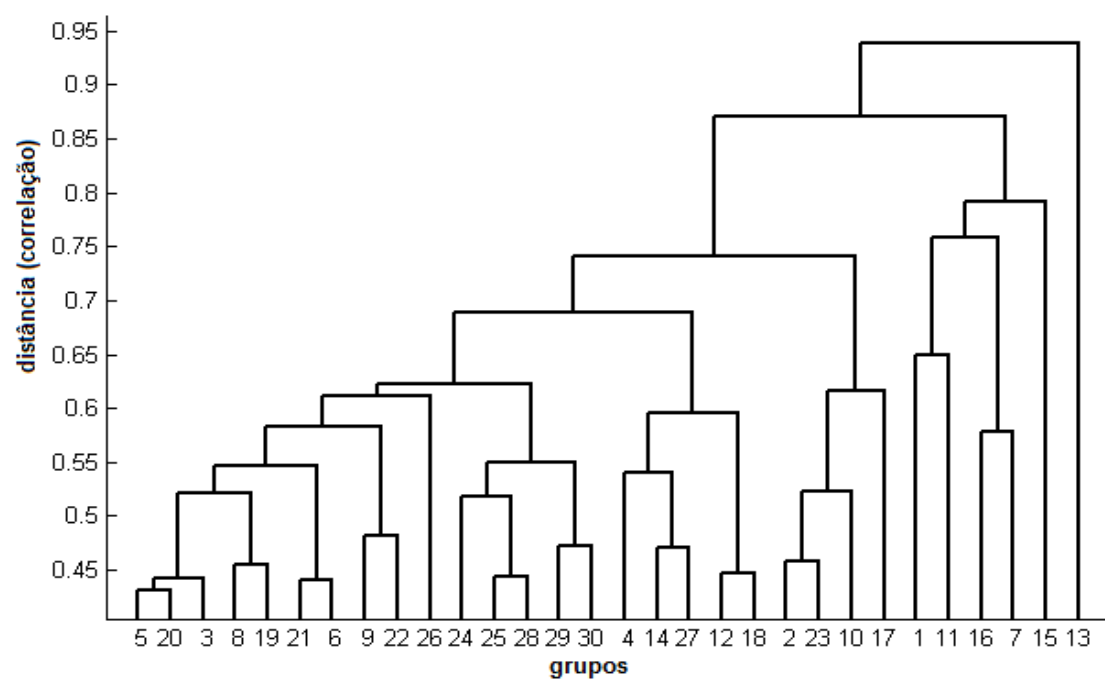
Apêndice E-3: Valores de significância dos 187 pontos para indicar tendências nas séries do índice CWD.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | 0,300 | 0,050 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,500 | 0,700 | 0,200 | 0,900 | 0,300 | 0,050 | 0,100 | 0,050 | 0,010 | 0,100 | 1-17 |
| -6,25 | 0,800 | 0,600 | 0,200 | 0,700 | 0,800 | 0,800 | 0,600 | 0,999 | 0,800 | 0,800 | 0,999 | 0,700 | 0,800 | 0,999 | 0,800 | 0,050 | 0,050 | 18-34 |
| -6,50 | 0,300 | 0,200 | 0,300 | 0,300 | 0,400 | 0,900 | 0,700 | 0,800 | 0,900 | 0,200 | 0,200 | 0,300 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,900 | 0,050 | 35-51 |
| -6,75 | 0,200 | 0,999 | 0,800 | 0,500 | 0,800 | 0,800 | 0,900 | 0,999 | 0,500 | 0,400 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,010 | 0,010 | 0,900 | 0,010 | 52-68 |
| -7,00 | 0,050 | 0,200 | 0,200 | 0,100 | 0,200 | 0,200 | 0,999 | 0,600 | 0,200 | 0,200 | 0,050 | 0,100 | 0,010 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,001 | 69-85 |
| -7,25 | 0,050 | 0,300 | 0,400 | 0,100 | 0,200 | 0,100 | 0,200 | 0,100 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,200 | 0,100 | 0,010 | 0,010 | 0,050 | 0,300 | 6-102 |
| -7,50 | 0,600 | 0,800 | 0,900 | 0,500 | 0,900 | 0,200 | 0,900 | 0,999 | 0,800 | 0,500 | 0,700 | 0,800 | 0,500 | 0,999 | 0,999 | 0,200 | 0,050 | 103-119 |
| -7,75 | 0,600 | 0,800 | 0,900 | 0,800 | 0,700 | 0,600 | 0,999 | 0,900 | 0,900 | 0,999 | 0,700 | 0,999 | 0,600 | 0,900 | 0,700 | 0,500 | 0,200 | 120-136 |
| -8,00 | 0,999 | 0,200 | 0,400 | 0,999 | 0,900 | 0,999 | 0,999 | 0,600 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,400 | 0,800 | 0,999 | 0,800 | 0,999 | 0,800 | 137-153 |
| -8,25 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,800 | 0,500 | 0,400 | 0,500 | 0,999 | 0,600 | 0,300 | 0,200 | 0,200 | 0,500 | 0,400 | 0,300 | 0,999 | 0,010 | 154-170 |
| -8,50 | 0,100 | 0,200 | 0,200 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,300 | 0,010 | 0,050 | 0,010 | 0,050 | 0,050 | 0,200 | 0,100 | 0,050 | 0,999 | 0,010 | 171-187 |

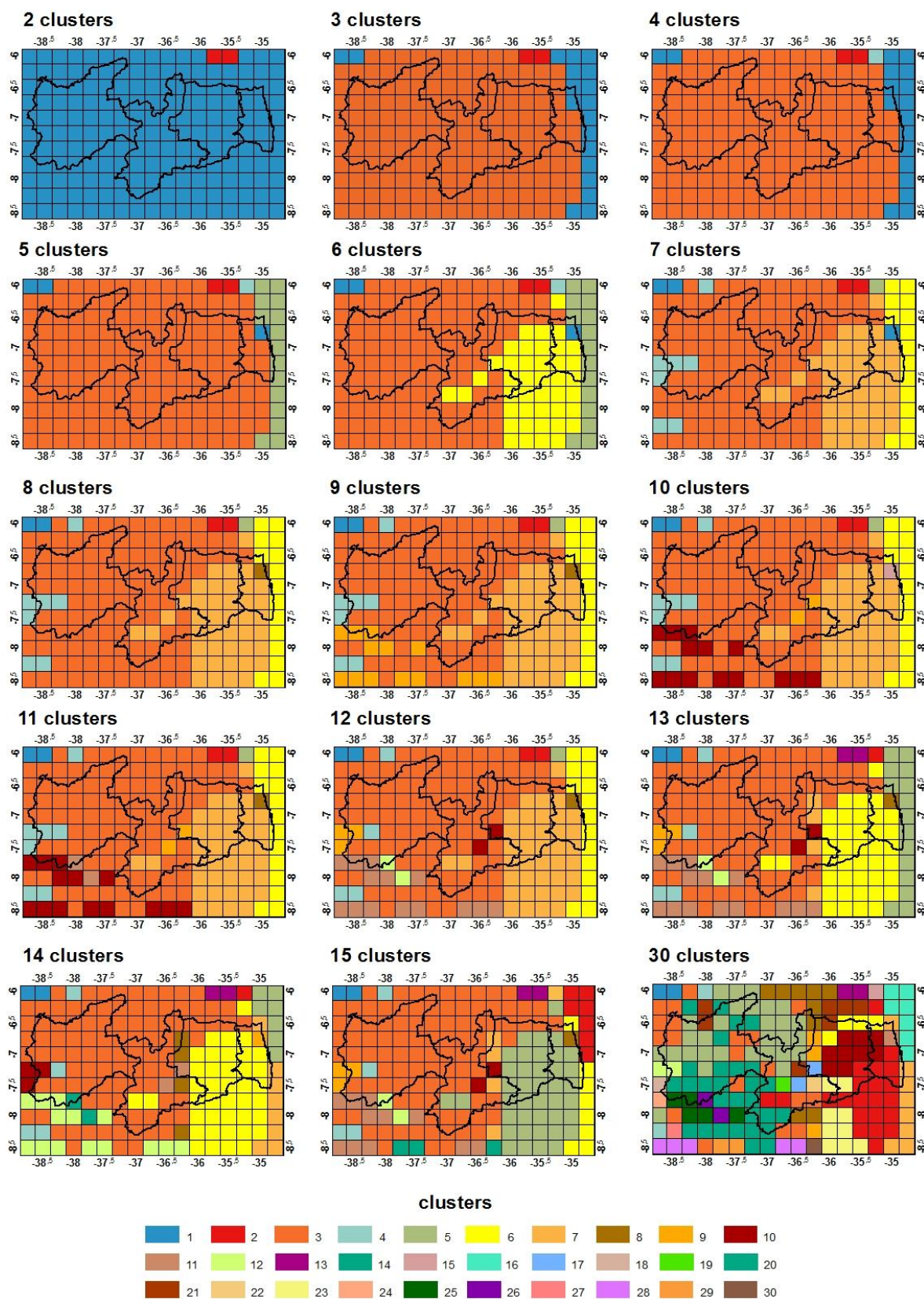
Apêndice E-4: Valores de declividade dos 187 pontos para indicar o comportamento das tendências na série temporal do índice CWD.

| | -38,75 | -38,50 | -38,25 | -38,00 | -37,75 | -37,50 | -37,25 | -37,00 | -36,75 | -36,50 | -36,25 | -36,00 | -35,75 | -35,50 | -35,25 | -35,00 | -34,75 | Pontos TRMM |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| -6,00 | -0,14 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,17 | -0,08 | -0,15 | 0,00 | -0,13 | -0,17 | -0,14 | -0,15 | 0,14 | 0,18 | 1-17 |
| -6,25 | 0,00 | 0,07 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,25 | 18-34 |
| -6,50 | 0,13 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,11 | 0,00 | -0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,17 | 0,21 | 0,00 | 0,29 | 35-51 |
| -6,75 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,13 | 0,20 | 0,22 | 0,25 | 0,30 | 0,25 | 0,00 | 0,33 | 52-68 |
| -7,00 | 0,29 | 0,19 | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,17 | 0,00 | 0,06 | 0,23 | 0,20 | 0,29 | 0,25 | 0,30 | 0,27 | 0,25 | 0,25 | 0,50 | 69-85 |
| -7,25 | 0,43 | 0,25 | 0,20 | 0,40 | 0,44 | 0,38 | 0,29 | 0,36 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,25 | 0,25 | 0,29 | 0,29 | 0,14 | 0,00 | 6-102 |
| -7,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,13 | -0,14 | 103-119 |
| -7,75 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,06 | -0,13 | 120-136 |
| -8,00 | 0,00 | -0,11 | -0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 137-153 |
| -8,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,10 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 0,17 | 0,11 | 0,07 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,31 | 154-170 |
| -8,50 | 0,25 | 0,14 | 0,17 | 0,22 | 0,33 | 0,36 | 0,18 | 0,33 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,27 | 0,20 | 0,25 | 0,27 | 0,00 | 0,43 | 171-187 |

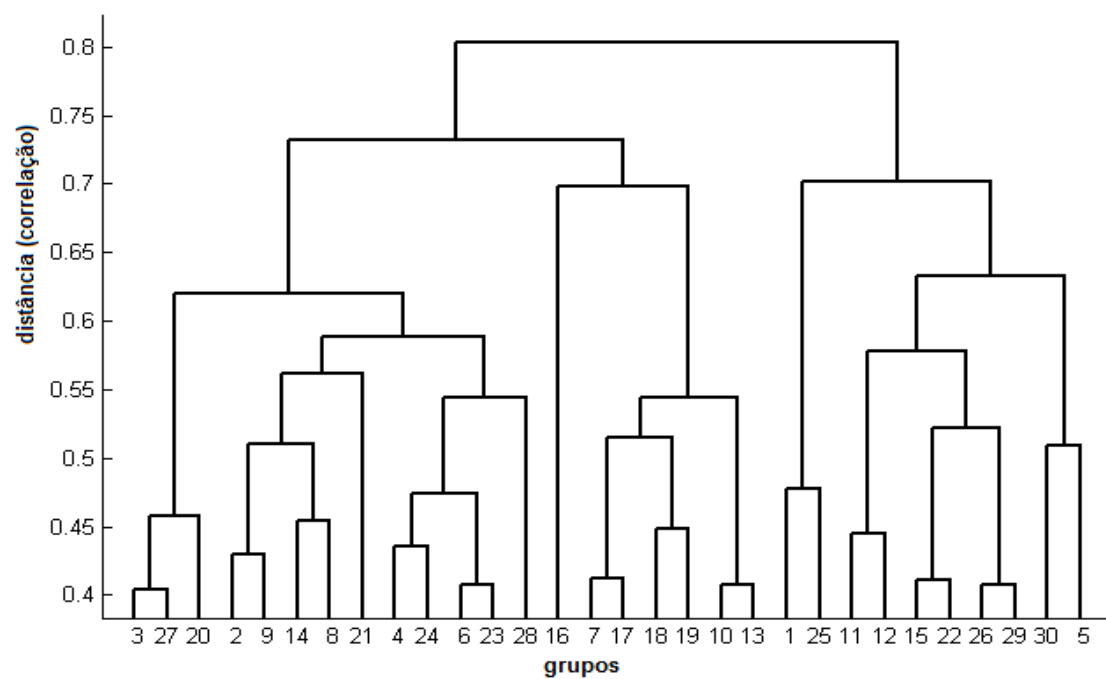
APÊNDICE F



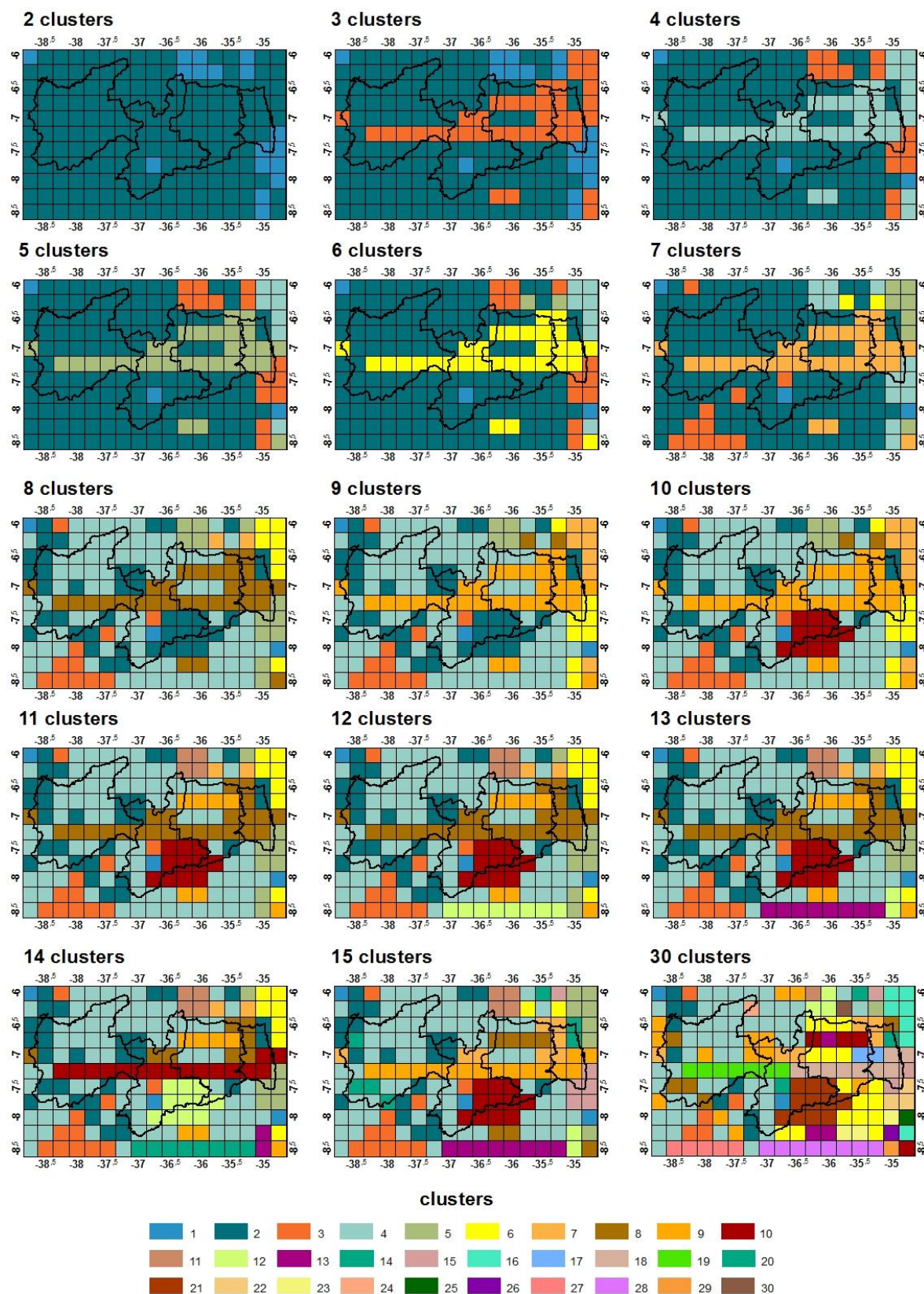
Apêndice F-1: Dendrograma do índice CDD em 30 *clusters*.



Apêndice F-2: Distribuição espacial dos 187 pontos TRMM na análise de *clusters* do índice CDD no período de 1998 a 2015.



Apêndice F-3: Dendrograma do índice CWD em 30 *clusters*.



Apêndice F-4: Distribuição espacial dos 187 pontos TRMM na análise de *clusters* do índice CWD no período de 1998 a 2015.