



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

KARINNIE NASCIMENTO DE ALMEIDA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SATÉLITE TRMM NA ESTIMATIVA
DE PRECIPITAÇÃO SOBRE A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO RIO
ITAPEMIRIM**

VITÓRIA

2017

KARINNIE NASCIMENTO DE ALMEIDA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SATÉLITE TRMM NA ESTIMATIVA
DE PRECIPITAÇÃO SOBRE A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO RIO
ITAPEMIRIM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis.

VITÓRIA

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)
Sandra Mara Borges Campos – CRB-6 ES-000593/O

A447a Almeida, Karinnie Nascimento de, 1991-
Análise de desempenho do satélite TRMM na estimativa de
precipitação sobre a região hidrográfica do rio Itapemirim /
Karinnie Nascimento de Almeida. – 2017.
125 f. : il.

Orientador: José Antônio Tosta dos Reis.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Satélites. 2. Pluviômetros. 3. Sensoriamento remoto.
4. Chuvas – Frequência da intensidade. 5. Itapemirim, Rio, (MG e
ES). 6. Satélite TRMM (Satélite tropical de medição de
precipitações). I. Reis, José Antônio Tosta dos. II. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**“Análise de Desempenho do Satélite TRMM na
Estimativa de Precipitação Sobre a Região
Hidrográfica do Rio Itapemirim”.**

Karinnie Nascimento de Almeida

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis
Orientador - DEA/CT/UFES

Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça
Examinador Interno - DEA/CT/UFES

Prof. Dr. Alexandre Gomes Facco
Examinador Externo – DCAB/UFES

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Vitória-ES, 20 de dezembro 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, fonte de toda a sabedoria, por permitir a conclusão desta dissertação de mestrado.

À minha mãe Benvimar Nascimento e irmãs Késia e Keila por me incentivarem, apoiarem, e por todo o amor e confiança.

À minha amada vizinha Iracema Matos do Nascimento, in memoriam, por sempre estar comigo, mesmo em pensamentos e em meu coração.

Ao meu noivo Rânik Guidolini pela paciência e apoio que sempre tivera neste período da minha vida. Pela sua segurança em mim e amor que me tem dedicado, pelas inúmeras horas de estudo e todas as madrugadas em que sempre esteve ao meu lado.

Ao meu orientador Prof. José Antônio Tosta dos Reis, pela sua infinita paciência e dedicação, não apenas como um mestre, mas como um grande amigo.

Aos meus eternos amigos da Ambiental, que ao longo desses anos estiveram presentes, compartilhando apertos e alegrias.

A toda equipe do PPGEA, assim como o corpo discente.

Ao CNPQ pela concessão das bolsas de estudos.

A todos aqueles que estiveram na torcida pela conclusão dessa conquista.!

“O senhor é a minha força e o meu escudo nele confiou o meu coração, e fui socorrido. Assim o meu coração salta de prazer, e com o meu canto o louvarei.”

RESUMO

Existem diferentes obstáculos para a condução de estudos que busquem caracterizar o regime de precipitações de uma determinada região como, por exemplo, baixa densidade de postos pluviométricos e pluviográficos, falhas em séries históricas, dificuldades no acesso ao local de monitoramento da precipitação e necessidade de manutenção de operador. Neste contexto, o uso do sensoriamento remoto representa-se como alternativa para caracterização do regime de chuvas e apropriação de volumes precipitados. O presente trabalho avalia as estimativas de totais anuais precipitados, totais mensais precipitados e totais mensais precipitados de longo período, além de avaliar a ocorrência de chuvas na região hidrográfica do rio Itapemirim, principal curso d'água da porção sul do estado do Espírito Santo, Brasil. Para a condução do estudo foi utilizado o produto 3B42, versão 7, do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), satélite desenvolvido por meio de uma parceria entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). Foram utilizadas séries históricas entre os anos de 1998 e 2015 de 14 postos pluviométricos instalados e em operação na região hidrográfica do rio Itapemirim, além de imagens orbitais do satélite TRMM para uma malha espacial de 25 km. Para a condução da análise quantitativa e de ocorrência de precipitações foram utilizados os parâmetros recomendados pelo International Precipitation Working Group (IPWG). A análise quantitativa indicou que a utilização das imagens do satélite TRMM apresentou-se como alternativa eficiente para a apropriação de totais anuais precipitados, totais mensais precipitados e totais mensais precipitados de longo período. Já a análise de ocorrência indicou que o satélite possui capacidade de registrar corretamente um dia chuvoso ou um dia de estiagem em cerca de 50% dos casos e eficiência total de mais 70% na identificação da ocorrência de chuva. Ainda que consideradas satisfatórias, as respostas obtidas a partir da manipulação das imagens de satélite associadas aos períodos secos apresentaram menor qualidade.

Palavras-chave: TRMM, postos pluviométricos, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

There are several obstacles in conducting high quality hydrological studies. There is a low density of pluviometric stations, faults in historical series, difficulties without access to the site, there are no conditions to install the monitoring of availability and unavailability of the operator. These factors hamper analysis of precipitation regimes, hampering their study and maintenance of hydrological modeling in several places around the world. In this context, the use of remote sensing precipitation estimates represents an alternative for the appropriation of precipitation, especially in river basins that have low densities of rain gauges or pluviographs equipment. The present work evaluates the precipitation to annual totals, monthly totals and long term averages in the Itapemirim river basin, as well as to evaluate the occurrence of rainfall in satellite pixels and rainfall stations closest to the pixel, from The satellite was developed by a partnership between the National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the Japanese Aerospace Exploration Agency (JAXA). Historical series corresponding to 14 rain gauges stations arranged throughout the area of the studied basin were studied. In addition, data from the TRMM satellite were analyzed for a spatial mesh of 25 km for the same study area, considering the period between the years 1998 and 2015. Two statistical analyzes were carried out, following the recommendations of the International Precipitation Working Group (IPWG), statistics of quantitative analysis and analysis of occurrence. The quantitative analysis represents the amount of rain precipitated over the area of extension, which indicated that the use of the data from the TRMM satellite presented as an efficient alternative for the appropriation of precipitated annual and monthly totals, in addition to the long term averages precipitation for the study area. On the other hand, the analysis of occurrence, pixel to pixel analysis, that studies the occurrence of a rainy event in the station and in the pixel, indicated that the satellite presented significant values, being that the TRMM satellite has capacity in about 50% of the cases to indicate correctly a rainy day, or drought day and total efficiency of over 70%.

Key words: TRMM, rain gauges e remote sensing.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais faixas do espectro utilizadas no sensoriamento remoto.....	27
Tabela 2 - Tabela de Contingência.....	40
Tabela 3 - Estações pluviométricas da região do rio Itapemirim.....	49
Tabela 4 - Totais anuais de precipitação obtidos por meio dos mapas de isoietas e das imagens do satélite TRMM, e as diferenças percentuais associadas.	59
Tabela 5 - Resultados referentes a estatística quantitativa recomendada pelo IPWG	61
Tabela 6 - Resultados referentes a estatística quantitativa recomendada pelo IPWG	66
Tabela 7 - Resultados referentes às séries de totais mensais médios precipitados nos períodos seco e chuvoso da região hidrográfica do rio Itapemirim	70
Tabela 8 - Totais mensais precipitados de longo período obtidos por meio dos pluviômetros e das imagens do satélite TRMM, e as diferenças percentuais associadas	74
Tabela 9 - Resultados referentes a estatística quantitativa recomendada pelo IPWG	75
Tabela 10 - Resultado da estatística de ocorrência para diferentes porções da região hidrográfica do rio Itapemirim	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes instrumentais do TRMM	30
Figura 2 - Vista da superfície terrestre feita pelo sensor TMI.	31
Figura 3 - Faixa de abrangência do satélite TRMM	32
Figura 4 - Métodos de agregação espacial.....	35
Figura 5 - Localização da região hidrográfica do Rio Itapemirim	47
Figura 6 - Altimetria da região hidrográfica do rio Itapemirim	48
Figura 7 - Distribuição dos postos pluviométricos na região hidrográfica do rio Itapemirim	50
Figura 8 - Plataforma Giovanni (acesso: http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/).	52
Figura 9 - Mapa de precipitação estabelecido para o ano de 1998 pelo método das isoietas	55
Figura 10 - Mapa de precipitação estabelecido para o ano de 1998 a partir das imagens do satélite TRMM	56
Figura 11 - Mapa de precipitação estabelecido para o ano de 2015 pelo método das isoietas	57
Figura 12 - Mapa de precipitação estabelecido para o ano de 2015 a partir das imagens do satélite TRMM	58
Figura 13—Variação temporal dos totais anuais precipitados, considerada apropriação por meio dos mapas de isoietas e das imagens de satélite	59
Figura 14 - Regressão Linear entre totais anuais estimados a partir de pluviômetros e da manipulação de imagens do satélite TRMM.....	60
Figura 15 - Mapa de precipitação estabelecido para janeiro de 1998 pelo método das isoietas	62
Figura 16 - Mapa de precipitação estabelecido para janeiro de 1998 a partir das imagens do satélite TRMM	63
Figura 17 - Mapa de precipitação estabelecido para julho de 1998 pelo método das isoietas	64
Figura 18 - Mapa de precipitação estabelecido para julho de 1998a partir das imagens do satélite TRMM	65
Figura 19 - Apropriação da média móvel de seis meses consecutivos para o período compreendido entre janeiro de 1998 e dezembro de 2003.....	68

Figura 20 - Mapa de precipitação dos totais mensais médios de longo período para o período chuvoso da região hidrográfica do rio Itapemirim.....	69
Figura 21 - Mapa de precipitação dos totais mensais médios para o período seco da região hidrográfica do rio Itapemirim	70
Figura 22 - Mapa de totais mensais precipitados de longo período para o mês de janeiro desenvolvido por meio da manipulação dos dados pluviométricos	72
Figura 23 - Mapa de totais mensais precipitados de longo período para o mês de janeiro desenvolvido por meio da manipulação de imagens de satélite.....	72
Figura 24 - Mapa de totais mensais precipitados de longo período para o mês de julho desenvolvido por meio da manipulação dos dados pluviométricos	73
Figura 25 - Mapa de totais mensais precipitados de longo período para o mês de julho desenvolvido por meio da manipulação de imagens de satélite.....	73
Figura 26–Representação gráfica dos totais mensais precipitados de longo período obtidos por meio dos pluviômetros e das imagens do satélite TRMM.....	74
Figura 27 - Regressão Linear entre totais mensais de longo período estimados a partir de pluviômetros e da manipulação de imagens do satélite TRMM	75
Figura 28 - Localização dos pixels do TRMM e das estações pluviométricas analisados na região hidrográfica do rio Itapemirim.	77
Figura 29 - Mapa de precipitação do ano de 1998	96
Figura 30 - Mapa de precipitação do ano de 1999	96
Figura 31 - Mapa de precipitação do ano de 2000	97
Figura 32 - Mapa de precipitação do ano de 2001	97
Figura 33 - Mapa de precipitação do ano de 2002	98
Figura 34 - Mapa de precipitação do ano de 2003	98
Figura 35 - Mapa de precipitação do ano de 2004	99
Figura 36 - Mapa de precipitação do ano de 2005	99
Figura 37 - Mapa de precipitação do ano de 2006	100
Figura 38 - Mapa de precipitação do ano de 2007	100
Figura 39 - Mapa de precipitação do ano de 2008	101
Figura 40 - Mapa de precipitação do ano de 2009	101
Figura 41 - Mapa de precipitação do ano de 2010	102
Figura 42 - Mapa de precipitação do ano de 2011	102
Figura 43 - Mapa de precipitação do ano de 2012	103
Figura 44 - Mapa de precipitação do ano de 2013	103

Figura 45- Mapa de precipitação do ano de 2014	104
Figura 46 - Mapa de precipitação do ano de 2015	104
Figura 47 - Mapa de precipitação do ano de 1998	105
Figura 48 - Mapa de precipitação do ano de 1999	105
Figura 49 - Mapa de precipitação do ano de 2000	106
Figura 50 - Mapa de precipitação do ano de 2001	106
Figura 51 - Mapa de precipitação do ano de 2002	107
Figura 52 - Mapa de precipitação do ano de 2003	107
Figura 53 - Mapa de precipitação do ano de 2004	108
Figura 54 - Mapa de precipitação do ano de 2005	108
Figura 55 - Mapa de precipitação do ano de 2006	109
Figura 56 - Mapa de precipitação do ano de 2007	109
Figura 57 - Mapa de precipitação do ano de 2008	110
Figura 58 - Mapa de precipitação do ano de 2009	110
Figura 59 - Mapa de precipitação do ano de 2010	111
Figura 60 - Mapa de precipitação do ano de 2011	111
Figura 61 - Mapa de precipitação do ano de 2012	112
Figura 62 - Mapa de precipitação do ano de 2013	112
Figura 63- Mapa de precipitação do ano de 2014	113
Figura 64 - Mapa de precipitação do ano de 2015	113
Figura 65 – Mapa da média de longo período para o mês de Janeiro.....	115
Figura 66 - Mapa da média de longo período para o mês de Fevereiro	115
Figura 67 - Mapa da média de longo período para o mês de Março	116
Figura 68 - Mapa da média de longo período para o mês de Abril	116
Figura 69 - Mapa da média de longo período para o mês de Maio	117
Figura 70 - Mapa da média de longo período para o mês de Junho	117
Figura 71 - Mapa da média de longo período para o mês de Julho.....	118
Figura 72 -Mapa da média de longo período para o mês de Agosto	118
Figura 73 - Mapa da média de longo período para o mês de Setembro.....	119
Figura 74 - Mapa da média de longo período para o mês de Outubro	119
Figura 75 - Mapa da média de longo período para o mês de Novembro.....	120
Figura 76 - Mapa da média de longo período para o mês de Dezembro.....	120
Figura 77 – Mapa da média de longo período para o mês de Janeiro.....	121
Figura 78 - Mapa da média de longo período para o mês de Fevereiro	121

Figura 79 - Mapa da média de longo período para o mês de Março	122
Figura 80 - Mapa da média de longo período para o mês de Abril	122
Figura 81 - Mapa da média de longo período para o mês de Maio	123
Figura 82 - Mapa da média de longo período para o mês de Junho	123
Figura 83 - Mapa da média de longo período para o mês de Julho.....	124
Figura 84 -Mapa da média de longo período para o mês de Agosto	124
Figura 85 - Mapa da média de longo período para o mês de Setembro.....	125
Figura 86 - Mapa da média de longo período para o mês de Outubro	125
Figura 87 - Mapa da média de longo período para o mês de Novembro.....	126
Figura 88 - Mapa da média de longo período para o mês de Dezembro.....	126

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CEMIG	Companhia Elétrica de Minas Gerias
CERES	Sensor de energia radiante e de nuvens
CGMS	Coordination Group for Meteorological Satellites
CPRM	Companhia de Pesquisas dos Recursos Minerais
EM	Erro médio
GEOBASES	Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellites
GPM	Global Precipitation Mission
IPWG	International Precipitation Working Group
IR	Infravermelho
IDF	Intensidade-duração-frequência
ICEA	Instituto de Controle de Espaço Aéreo
INCAPER	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JAXA	Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
LIS	Sensor para o imageamento de relâmpagos
MATLAB	MATrix LABoratory
MW	Microondas

NASA	National Aeronautics and Space Administration
NASDA	National Space Development Space of Japan
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PC	Proporção correta
PD	Probabilidade de detecção de chuva
PMM	Precipitation Measurement Missions
PR	Precipitation Radar
r	Coeficiente de correlação
REMQ	Raiz do erro quadrático médio
SIG	Sistema de informação geográfica
SR	Sensoriamento remoto
TAF	Taxa de falsoalarme
TMI	TRMM Microwave Imager
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UV	Ultravioleta
VIRS	Visible and Infrared Radiometer System
VIS	Visível
WGNE	Working Group on Numerical Experimentation
WMO	World Meteorological Organization
WWRP	World Weather Research Programme

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	20
2.1. GERAL.....	20
2.2. ESPECÍFICOS	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1. PRECIPITAÇÃO	21
3.1.1. Convectivas	22
3.1.2. Orográficas	22
3.1.3. Ciclônicas	22
3.2. MEDIDAS DE PRECIPITAÇÃO	23
3.2.1. Medições em superfície	24
3.2.2. Estimativa por sensoriamento remoto orbital	25
3.3. PROPRIEDADES ESPECTRAIS	27
3.3.1. Imagens no Infravermelho (IR) e Visível (VIS)	28
3.4. TRMM E O PRODUTO 3B42-V7	29
3.5. MÉTODOS ANALÍTICOS DE APROPRIAÇÃO DE TOTAIS PREIPITADOS.....	33
3.5.1. Análise Pontual	33
3.5.2. Agregação Espacial	34
3.5.3. Campos de chuva	37
3.6. ANÁLISE DE DESEMPENHO	37
3.6.1. Estatísticas quantitativas	38
3.6.2. Estatísticas de ocorrência	39

3.7. EMPREGO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DE PRECIPITAÇÕES	41
4. METODOLOGIA	46
4.1. REGIÃO DE ESTUDO	46
4.2. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS	49
4.3. BASE DE DADOS DO TRMM.....	51
4.4. ANÁLISE DE DESEMPENHO	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5.1. ESTATÍSTICA QUANTITATIVA.....	54
5.1.1. Totais anuais precipitados	54
5.1.2. Totais mensais precipitados	62
5.1.3. Média de longo período para o total mensal precipitado	71
5.2. ESTATÍSTICA DE OCORRÊNCIA.....	76
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	80
7. REFERÊNCIAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento e apropriação do fenômeno natural de precipitação em uma bacia hidrográfica é fundamental para o planejamento estratégico dos recursos hídricos, subsidiando estudos associados ao balanço hídrico, controle de inundações, irrigação de culturas, modelagem hidrológica, monitoramento de seca e de geada e caracterização climatológica (LOUZADA, 2016).

Atualmente, o monitoramento de precipitação é feito, principalmente, por pluviógrafos e pluviômetros. Havendo uma rede confiável de pluviógrafos que apresente adequada densidade de aparelhos, séries históricas extensas e manutenção consistente, os registros pluviográficos podem ser utilizados para descrição do regime e apropriação de chuvas na região de estudo. No Brasil, existem diversas regiões desprovidas de pluviógrafos, ou com dados pouco consistentes, regiões para as quais são necessárias alternativas para a apropriação de chuvas. Os pluviômetros, por sua vez, são aparelhos que medem a precipitação acumulada sobre uma área impermeável, em determinado período de tempo (usualmente durante um dia). Os totais precipitados registrados por meio de pluviômetros são gerenciadas e disponibilizadas por diferentes entidades como a Agência Nacional das Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência técnica e extensão rural (INCAPER), dentre outras. Assim como os postos pluviográficos (os quais permitem, por meio de pluviógrafos, a medição contínua das precipitações), os postos pluviométricos usualmente apresentam-se mal distribuídos no espaço ou com baixa densidade, como indicado nos trabalhos de Miguel (2016) e Leivas et al. (2009).

Outro aspecto crítico relativo à medição de chuva por meio de pluviômetros reside no fato de que esses instrumentos possuem pequena área de captação (usualmente de poucos centímetros quadrados), medindo pontualmente a chuva de determinado local, condição que não necessariamente permite capturar a distribuição espacial da chuva, particularmente em terrenos com topografia complexa (PEREIRA et al., 2013; VARIKODEN et al., 2012; WAGNER et al., 2012). Dessa forma, segundo Pereira et al (2013), podem ocorrer problemas como, por exemplo, falhas de detecção de precipitação e eventos chuvosos isolados sobre algum pluviômetro que podem influenciar na análise do escoamento superficial e no déficit hídrico.

Neste contexto, as imagens de satélites têm sido alternativas extremamente úteis para o monitoramento da precipitação, espacialmente e temporalmente. Nas últimas décadas, os estudos com esta abordagem foram crescentes em função da maior facilidade de aquisição e melhor cobertura espacial, tornando-se uma ferramenta importante, principalmente para regiões que não possuem postos meteorológicos (LOUZADA, 2016).

O satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) é uma parceria entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) estabelecida com o objetivo de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos (KUMMEROW et al., 2000).

Trabalhos como os de Nicholson et al.(2003), Shepherd; Burian (2003), Collischonn et al.(2007), Nóbrega et al. (2008), Su et al. (2008), Franchito et al. (2009), Rozante et al. (2010), Clarke et al. (2011), Paiva et al. (2011), Amitai et al.(2012), Santos e Silva et al. (2012), Wagner et al.(2012), Arias-Hidalgo et al. (2013), Chen et al. (2013), Pereira et al.(2013), Woldemeskel et al.(2013), Ochoa et al.(2014)e Oliveira et al.(2014)constituem exemplos do emprego do satélite TRMM para apropriação de chuvas em diferentes locais do Brasil e do Mundo.

É relevante registrar que os referidos trabalhos envolveram a avaliação do regime de precipitações que ocorreram sobre áreas expressivas, cujos valores variaram de aproximadamente 29.000 km² (Nóbrega et al. (2008) estudaram a bacia do rio Jamari, com área de 29.067 km²) a 100.000 km² (Ochoa et al. (2014) avaliaram relevante porção da costa oeste da América do Sul).

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o emprego de imagens do satélite TRMM para descrição do regime de precipitações da região hidrográfica do rio Itapemirim, principal curso d'água da porção sul do estado do Espírito Santo. Ainda que o rio Itapemirim constitua importante curso d'água no âmbito do referido estado, sua bacia de drenagem possui área ligeiramente inferior a 6.000 km² (5.914 km²), extensão territorial pouco comum nos estudos que empregam imagens de satélite para caracterização do regime de precipitações.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Estudar o emprego de imagens do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) para descrição do regime de precipitações da região hidrográfica do rio Itapemirim.

2.2. ESPECÍFICOS

Para o trabalho proposto foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar quantitativamente as precipitações estimadas a partir de imagens do satélite TRMM, quando comparadas com os registros pluviométricos;
- Analisar qualitativamente, por meio da estatística de ocorrência, as precipitações estimadas a partir da manipulação de imagens do satélite TRMM, quando comparadas com os registros pluviométricos;
- Analisar o efeito da sazonalidade sobre as estimativas de precipitações conduzidas por meio da manipulação das imagens do satélite TRMM.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PRECIPITAÇÃO

Precipitação é definida como sendo a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre sob as formas de chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada (BERTONI; TUCCI, 2007). Neste trabalho, no entanto, o termo precipitação refere-se exclusivamente a parcela líquida, constituindo sinônimo de chuva.

Os fenômenos meteorológicos, em sua maioria, ocorrem na troposfera, onde se encontram 75% da massa total do ar seco, e cerca do total de vapor d'água presente na atmosfera (VIANELLO; ALVES, 1991; KUMMEROW et al., 1998; SILVA, 2006). Sendo assim, a troposfera é a camada atmosférica mais estudada quanto a precipitação, apesar de estudos indicarem influências estratosféricas na formação das chuvas (FERREIRA, 2006; SILVA, 2006).

A origem das precipitações relaciona-se ao crescimento das gotículas das nuvens, que ocorre quando forem reunidas certas condições (BERTONI; TUCCI, 2007). Os elementos básicos necessários para o processo de formação das precipitações são: a umidade atmosférica, decorrente, principalmente, da evapotranspiração; os mecanismos de resfriamento do ar (é relevante registrar que quanto mais frio o ar, menor sua capacidade de absorção da água em forma de vapor); a presença núcleos higroscópios, ou seja, núcleos que apresentam atrações químicas pelas moléculas de águas; e os mecanismos de crescimento de gotas, como a coalescência e a difusão de vapor (CARVALHO; SILVA, 2006).

Nos tópicos subsequentes, os principais tipos de precipitação (Convectivas, Orográficas e Ciclônicas) serão sumariamente apresentados.

3.1.1. Convectivas

Segundo Villela e Mattos (1975), chuvas convectivas são típicas das regiões tropicais. Ayoade (2011) registra que as precipitações convectivas são, usualmente, mais intensas do que as orográficas e ciclônicas. São precipitações geradas a partir do aquecimento desigual da superfície terrestre, o que provoca o aparecimento de camadas de ar com densidades diferentes, gerando uma estratificação térmica em equilíbrio instável. O ar aquecido pode ascender de forma rápida para níveis mais altos da atmosfera, onde, com as baixas temperaturas, condensam o vapor formando nuvens.

As precipitações convectivas apresentam-se como sendo de grande intensidade e curta duração, concentradas em pequenas áreas; sendo assim, são importantes para projetos, principalmente, em pequenas bacias (VILELLA; MATTOS, 1975). Segundo Ferreira (2006), as chuvas convectivas são normalmente detectadas nos canais infravermelho e visível da imagem de satélite, com certas limitações.

3.1.2. Orográficas

Resultam da ascensão mecânica de correntes de ar úmido sobre barreiras naturais elevadas (FERREIRA, 2006 e OMETTO, 1981). Em altas altitudes, onde a temperatura é baixa e a umidade do ar se condensa, há, então, formação de nuvens junto aos picos da serra, onde chove com muita frequência.

A visualização desse tipo de chuvas, em imagens de satélites, é difícil, mesmo em satélite com altas resoluções espectrais e espaciais. Este aspecto é decorrente das características das nuvens que, usualmente, são de proporções menores (FERREIRA, 2006).

3.1.3. Ciclônicas

Estão associadas com o movimento de massas de ar que fluem de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, sendo que as diferenças de pressões são causadas por aquecimento desigual da superfície terrestre (VILELLA; MATTOS, 1975).

Segundo Santos (2014), as chuvas ciclônicas podem ser classificadas como frontal ou não frontal:

- Frontal: tipo mais comum, que ocorre no encontro entre duas massas de ar de características diferentes, produzindo a ascensão do ar quente sobre o ar frio na zona de contato. Quando o ar frio é substituído pelo ar mais quente, a frente é conhecida como frente quente; se, por outro lado, o ar quente é substituído por ar frio, dá-se o nome de frente fria.
- Não frontal: é resultado de uma baixa barométrica; neste caso, em áreas de baixa pressão, o ar é elevado em consequência de uma convergência horizontal.

As precipitações ciclônicas são caracterizadas por possuírem longa duração e intensidades de baixa a moderada, espalhando-se por grandes áreas (AYOADE, 2011). É importante ressaltar a importância desse tipo de chuvas, principalmente no desenvolvimento e manejo de projetos em grandes bacias hidrográficas (VILELLA; MATTOS, 1975).

Schumacher e Houze Jr. (2004), a partir da análise de imagens do satélite TRMM, observaram que apesar dos cristais de gelos estarem amplamente presentes nas nuvens dos sistemas frontais, são menores e/ou menos numerosas quando comparados com fenômenos convectivos.

3.2. MEDIDAS DE PRECIPITAÇÃO

As medidas de precipitação são realizadas, convencionalmente, por aparelhos como pluviógrafos e pluviômetros (WMO, 2007).

Nos pluviômetros, as medições buscam o acumulado de um dia, em leituras realizadas diariamente, normalmente às 7h da manhã (PINTO et al., 1976). Os pluviógrafos, por sua vez, permitem o monitoramento contínuo das precipitações, fornecendo indicações acerca do totais precipitados e da sua distribuição ao longo do tempo, informações que conduzem à apropriação de intensidades pluviométricas.

Observando-se as limitações de pluviômetros e pluviógrafos na representação da distribuição espacial da chuva sobre grandes áreas, a confiabilidade dos dados que produzem e a necessidade de manutenção e operação dos equipamentos, esforços

estão sendo estabelecidos para a quantificação da precipitação a partir do emprego de outras abordagens.

A manipulação de imagens de satélite apresenta-se como alternativa eficaz na apropriação de precipitação. Por meio das imagens do satélite é possível estudar precipitação em toda a região de resolução do satélite, sem a necessidade de um observador.

As medições em superfície (por meio de pluviômetros e pluviógrafos) e por sensoriamento remoto orbital (por meio do qual são manipuladas as imagens de satélite) serão sumariamente discutidas nos itens subsequentes.

3.2.1. Medições em superfície

O pluviômetro é o aparelho de monitoramento de precipitações mais comumente utilizado no Brasil para medições em superfície. Suas principais características são a simplicidade de instalação e operação, além do baixo custo. Nesses aparelhos é realizada a leitura da lâmina d'água acumulada em determinado período de tempo (usualmente leituras diárias, realizadas às 7h). Acima do recipiente de coleta existe um funil com um anel receptor biselado que define a área de intercepção. Uma proveta adequadamente calibrada fornece a lâmina líquida, em milímetros, que seria acumulada sobre uma superfície impermeável com área equivalente à área de intercepção.

Os pluviógrafos são aparelhos que permitem apropriações de intensidades de precipitações, uma vez que permitem a leitura, ao longo do tempo, das lâminas líquidas precipitadas. Por serem aparelhos mais completos que os pluviômetros, apresentam maior complexidade operacional e maior custo. Os princípios fundamentais de funcionamento dos pluviógrafos são a medição, transmissão de sinal, gravação e transmissão de registro (TUCCI, 2004).

Segundo Conti e Mendes (2003), os pluviômetros e pluviógrafos permitem medições diretas e pontuais da precipitação acumulada em determinado espaço de tempo, medições que podem ser interpoladas para a toda a extensão da área de interesse.

Apesar dos pluviômetros serem amplamente utilizados em todo território nacional, há erros agregados em suas medições que podem impactar na análise dos resultados.

Pode-se citar os erros relacionados à sua distribuição geográfica (CHORLEY; BARRY, 2004), quantidade de instrumentos e sua localização (ARAÚJO; GUETTER, 2007), periodicidade de monitoramento (EBERT et al., 2007), compensação de valores (PINTO et al., 1976; MENDES; CIRILO, 2001), dentre outros.

Como as medições em superfície apresentam, recorrentemente, alto custo e, em determinadas situações, são de difícil condução (MENDES; CIRILO, 2001), principalmente na época da chuva, estabelece-se como demanda a obtenção de novas técnicas de mensuração de precipitação em bacia hidrográfica. Neste contexto, surgem as técnicas advindas do sensoriamento remoto orbital (SR), buscando-se a obtenção de dados em espaços de tempos relativamente curtos e em amplas áreas do globo.

3.2.2. Estimativa por sensoriamento remoto orbital

Diferentemente dos dados obtidos por meio de análises pontuais, os dados decorrentes do SR podem ser associados a áreas geográficas de consideráveis extensões (JENSEN, 2009). As imagens de satélite estudam extensas áreas da superfície terrestre, proporcionando uma visão sinótica e multitemporal (FLOREZANO, 2002).

O primeiro satélite meteorológico a ser lançado para o espaço foi o Television Infrared Observation Satellite (TIROS). Antes mesmo do seu lançamento já se especulava que a ocorrência e intensidade de chuva poderiam ser inferidas por meio da resposta espectral de conjunto de nuvens (PETTY, 1995).

Diversos fatores têm contribuído para a ascensão do sensoriamento remoto, como o barateamento dos recursos computacionais (TUCCI, 2005) e a crescente demanda por previsões espaciais confiáveis (LUINI; CAPSONI, 2011).

O sensoriamento remoto pode ser classificado como ativo ou passivo, dependendo da fonte de radiação eletromagnética. No passivo, a energia utilizada provém de uma fonte natural. No ativo, um sistema emite energia em direção ao objeto para depois medir a parcela refletida sobre a sua superfície.

Quanto à órbita do satélite pode ser classificada como polar (ou semi-polar), equatorial, geoestacionária ou heliosíncrona. Um satélite que efetua uma órbita polar se desloca

no sentido Norte-Sul em torno da Terra; neste caso o movimento de rotação da Terra causa um deslocamento relativo a projeção do satélite sobre a superfície, ou seja, a cada momento a plataforma se encontra acima de um ponto diferente da superfície da Terra. Na órbita equatorial o satélite se desloca num sentido paralelo ao equador. Uma órbita geoestacionária é feita sobre uma trajetória equatorial seguindo um movimento compatível ao da rotação da Terra; assim o satélite fica sobre uma mesma região na superfície da Terra. Este tipo de órbita é muito usado em satélites meteorológicos para obter informações de um mesmo local com alta repetitividade temporal. Com o sincronismo do movimento do satélite com a rotação da Terra, através de um pequeno afastamento da órbita polar, onde o satélite passa aproximadamente à mesma hora solar acima de qualquer ponto no planeta, as condições de iluminação permanecem aproximadamente constantes para todos os pontos monitorados, estabelecendo-se a órbita heliosíncrona (CENTENO, 2004).

Inicialmente, as metodologias desenvolvidas para estimar precipitação por satélite foram baseadas em imagens infravermelha (IR) e visível (VIS); posteriormente, imagens de sensores de micro-ondas passaram a ser também utilizadas (LEVIZZANI et al., 2002).

O princípio da estimativa com a banda do visível se dá pelo fato do brilho da luz do sol ser refletido por nuvens, podendo, assim, ser uma indicação razoável de sua espessura e, conseqüentemente, do volume de água em seu interior (PETTY, 1995). O princípio da estimativa com a banda do infravermelho está no fato das baixas temperaturas de topo de nuvens estarem associadas a um maior desenvolvimento vertical e, conseqüentemente, a uma maior taxa de precipitação (COLLISCHONN et al., 2006). No entanto, com a evolução da pesquisa, ficou evidente que nem toda nuvem brilhante e nem todo topo de nuvem frio está, de fato, produzindo precipitação. No entanto, até meados de 1990, essas foram a base para muitos trabalhos (PETTY, 1995).

Diante deste cenário, estabeleceu-se a necessidade de novas ferramentas de auxílio à mensuração de precipitação por sensoriamento remoto. Sendo assim, surgiu a utilização de micro-ondas na estimativa de precipitação por satélite, fato considerado um divisor de águas, uma vez que as micro-ondas respondem de forma física à presença de água e cristais de gelo no interior das nuvens. Atualmente, as técnicas híbridas, ou seja, a utilização de duas ou mais metodologias, são altamente utilizadas

e recomendadas, pois extraem as vantagens e minimizam os erros de cada uma (LOUZADA, 2016).

3.3. PROPRIEDADES ESPECTRAIS

A atmosfera é composta por diversos gases, aerossóis e pelo vapor d'água, que servem como barreiras, bloqueando determinados comprimentos de onda (COLLISCHONN, 2006). Os diferentes elementos que constituem a atmosfera absorvem específicos comprimentos de onda, como é o caso do vapor d'água, gás carbônico e ozônio (FERREIRA, 2006).

A resolução espectral de um sensor está relacionada com o comprimento de onda do espectro eletromagnético que o equipamento tem a capacidade de discriminar. Na literatura existe uma vasta gama de trabalhos que estudam este conceito, como observado nos trabalhos de Fitz (2008), Jensen(2009) e Novo (2010).

As principais parcelas do espectro, do ponto de vista do sensoriamento remoto estão relacionadas na Tabela 1 (COLLISCHONN, 2006).

Tabela 1 - Principais faixas do espectro utilizadas no sensoriamento remoto

Faixa do Espectro	Comprimento (λ)	Frequência (f)
Ultravioleta (UV)	0,2 - 0,4 μm	(10^{15} - 10^{16} Hz)
Visível (VIS)	0,4 - 0,7 μm	(10^{14} - 10^{15} Hz)
Infravermelho (IR)	0,7 μm - 1 mm	(10^{12} - 10^{14} Hz)
Micro-ondas (MW)	1 mm - 1 m	(10^8 - 10^{11} Hz)

Fonte: Collischonn (2006)

Técnicas de monitoramento e apropriação de chuvas através do sensoriamento remoto baseiam-se na caracterização física da nuvem, por meio do espectro, buscando-se o entendimento da probabilidade de eventos chuvosos (SANTOS, 2014).

Ao longo dos anos, técnicas instrumentais e estatísticas vem sendo desenvolvidas a fim de melhorar as repostas oferecidas pelos satélites quanto a precipitação. Dentre as técnicas estudadas tem-se aquelas baseadas em instrumentos que captam faixas de frequência do visível (VIS), infravermelho (IR), além daquelas voltadas para a análise das faixas de micro-ondas (MW) (SANTOS, 2014).

3.3.1. Imagens no Infravermelho (IR) e Visível (VIS)

A medição das imagens do visível baseiam-se na quantidade de radiação solar refletida pelos elementos da atmosfera ou superfície. Nas medições baseadas nas imagens de infravermelho, observa-se a quantidade de energia emitida pela atmosfera e superfície terrestre na forma de calor (FERREIRA, 2006).

A região visível do espectro recebe o nome em função da capacidade de agrupar o conjunto de cores que são visíveis ao olho humano. Sendo assim, uma vantagem da utilização dos sensores que captam as faixas do visível, está no fato dessa banda se aproximar dos sentidos cognitivos humanos, permitindo, assim, discernir solos, oceanos e nuvens (FITZ, 2008).

Apesar de solos, nuvens e oceanos serem facilmente discernidos pelo espectro da banda do visível, há uma desvantagem na utilização de sensores que utilizam essa faixa do espectro. Como se utiliza a radiação refletida do sol para a geração de informações, somente é possível a obtenção de imagens da parte iluminada da Terra (JENSEN, 2009).

Assim como na faixa do visível, nas faixas infravermelho do espectro, o solo, oceanos e nuvens são facilmente identificados. Segundo Kidder e Haar (1995), a vantagem da utilização de sensores que utilizam faixas infravermelho para a obtenção de imagens está no fato de que, nestas faixas, a atmosfera quase não absorve a radiação, enquanto as nuvens sim. Além disso, é possível a obtenção de imagens nas faixas do infravermelho em período noturno, permitindo uma cobertura contínua da evolução das nuvens em todo período do dia.

Entretanto, os sensores baseados no infravermelho, apresentam dificuldade de distinguir imagens com temperaturas semelhantes. Sendo assim, nuvens baixas acabam, muitas vezes, não sendo identificadas. Com isso, o método mais efetivo seria comparar as imagens do visível com as do infravermelho, para o mesmo local, e se possível, na mesma hora (FERREIRA, 2006).

Com as observações de temperatura de brilho pode-se inferir alturas de topo das nuvens. Baixas temperaturas de brilho implicam em altos topos de nuvem, ou seja, grande espessura da nuvem e alta probabilidade de chuva. Altas temperaturas de brilho relacionam-se com topos de nuvem baixos e baixa probabilidade de chuva (MAIDMENT, 1993).

3.3.2. Micro-ondas (MW)

As técnicas de micro-ondas apresentam-se como grande potencial para a estimativa da precipitação, uma vez que a medida da radiação micro-ondas tem relação direta à presença de partículas de água e gelo no interior da nuvem (JENSEN, 2009). Sensores que utilizam esse tipo de instrumento vêm apresentando bons resultados, visto que a nebulosidade atmosférica não afeta de forma significativa esta faixa do espectro (FITZ, 2008).

Os sensores de micro-ondas são divididos em dois tipos; sensores passivos e sensores ativos. Sensores passivos não possuem fonte de radiação própria; utilizam, portanto, a radiação solar emitida ou refletida pelos alvos. Os sensores ativos, por sua vez, são caracterizados por obterem informações através da reflexão da radiação sobre algum alvo de interesse, oriunda da emissão do próprio sensor (FITZ, 2008).

A principal desvantagem dos sensores de micro-ondas é o longo período de passagem sobre o mesmo ponto da superfície terrestre, dado que satélites com esses sensores apresentam órbita oblíqua. O período de passagem pode ser de até 2 dias, sendo menor quanto mais próximo do equador estiver localizado o ponto de amostragem (PETTY, 1995).

Geralmente as imagens obtidas por sensores de micro-ondas são mais precisas, quando comparadas com as imagens geradas por sensores baseados nas faixas do visível e infravermelho (RAMAGE, 2003). Entretanto, a alta resolução temporal e espacial das imagens do visível e infravermelho é uma vantagem considerável destas técnicas. Diante desta realidade, diversas técnicas híbridas, com a utilização de sensores de diferentes faixas em consórcio, vêm sendo desenvolvidas em todo mundo, afim de se explorar as vantagens de cada banda do espectro (COLLISCHONN, 2006).

3.4. TRMM E O PRODUTO 3B42-V7

O projeto do satélite Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) é uma parceria entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). O objetivo principal deste projeto é monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar a influencia no clima global (KUMMEROW et al., 2000). Foi lançado em 27 de novembro de 1997, com custo de

implantação da missão de cerca de U\$ 600 milhões, sendo que os gastos operacionais são de aproximadamente U\$ 16 milhões por ano (CAMPOS, 2017).

O TRMM é composto por cinco instrumentos, como ilustrado na Figura 1. São eles o imageador de micro-ondas (TMI), o radar de precipitação (PR), os sensores no visível e infravermelho (VIRS), o sensor para o imageamento de relâmpagos (LIS) e o sensor de energia radiante e de nuvens (CERES) (LEIVAS et al. (2009), HUFFMAN et al. (2007), TRMM (2016), JESEN (2009)), assim descritos:

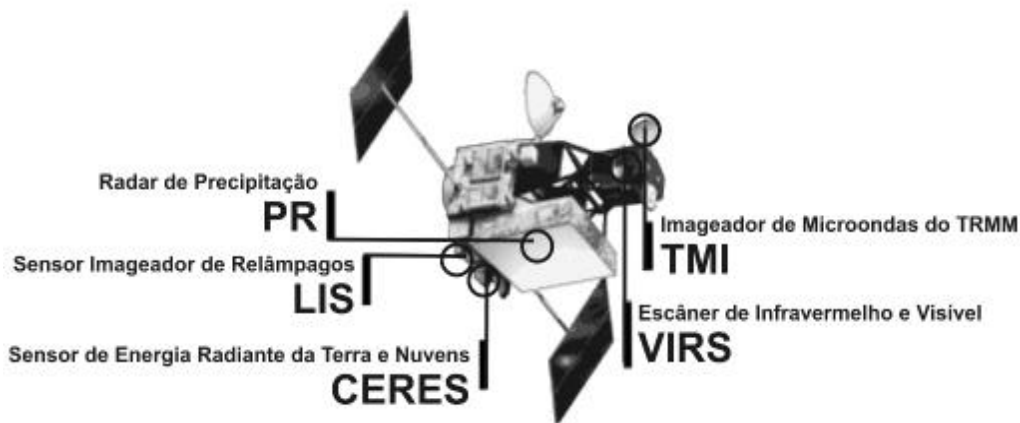


Figura 1 - Componentes instrumentais do TRMM

Fonte: Adaptado de NASA (2012) e JAXA (2012)

- Imageador de micro-ondas (Microwave Imager - TMI) - principal sensor do satélite. Sensor passivo desenvolvido para, em uma ampla faixa, captar informações quantitativas de chuva. Mede a intensidade da radiação de micro-ondas emitida pela Terra e sua atmosfera, sendo capaz de quantificar o vapor de água e a intensidade de chuva na atmosfera. O TMI utiliza cinco frequências(10,7, 19,4, 21,3, 37, 85,5 GHz) e fornece uma visão geral da superfície da Terra, como apresentado na Figura 2,na qual cada cor se refere a um tipo de superfície (KUMMEROW et al. (1998), PMM (2017)).

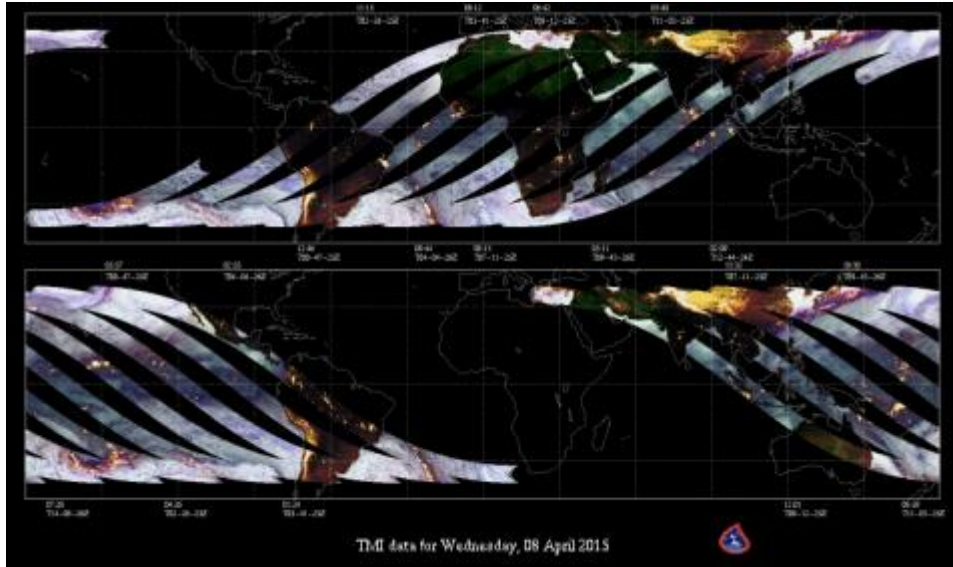


Figura 2 - Vista da superfície terrestre feita pelo sensor TMI.

Fonte: (PMM, 2017)

- Radar de precipitação (Precipitation Radar - PR) - primeiro radar a bordo de um satélite. Sensor ativo, que emite a radiação em micro-ondas e mede a intensidade do sinal que retorna dos alvos na atmosfera. Foi desenvolvido com objetivo de construir mapas estruturais de tempestade sobre os continentes e oceanos em três dimensões.
- Sensores no visível e infravermelho (Visible and Infrared Scanner - VIRS) - instrumento primário do satélite. Indicador indireto de chuva que também utiliza dados de outras fontes de estimativas em conjunto. O VIRS detecta a radiação vinda da terra em cinco regiões do espectro, variando de visível ao infravermelho a (NASDA, 2001).
- Sensor para o imageamento de relâmpagos (Lightning Imaging Sensor - LIS) - mede a incidência global de relâmpagos. O LIS fornece informações sobre as características de nuvem, dinâmica da tempestade, assim como a variabilidade anual e sazonal de tempestades de raios (COUNCIL, 2006).
- Sensor de energia radiante e de nuvens (Clouds and the Earth's Radiant Energy System - CERES) - projetado para medir energia refletida e emitida pela superfície da Terra e pela atmosfera. Operou apenas até março de 2000 e atuou no visível e infravermelho.

Os dados obtidos pelo satélite são processados pela NASA e National Space Development Space of Japan (NASDA) (CAMPOS, 2017).

O satélite TRMM possui órbita oblíqua baixa, com altitudede 350 km e inclinação de 35° no início da sua operação e,após 2001, em órbita oblíqua com 403 km de altitude. O período de translação é de 91 minutos, apresentando alta resolução temporal e espacial. Os dados são estimados a cada 3 horas, com cobertura geográfica entre as Latitudes de 50°S e 50°N,conforme indicado naFigura 3 (LOUZADA, 2014).

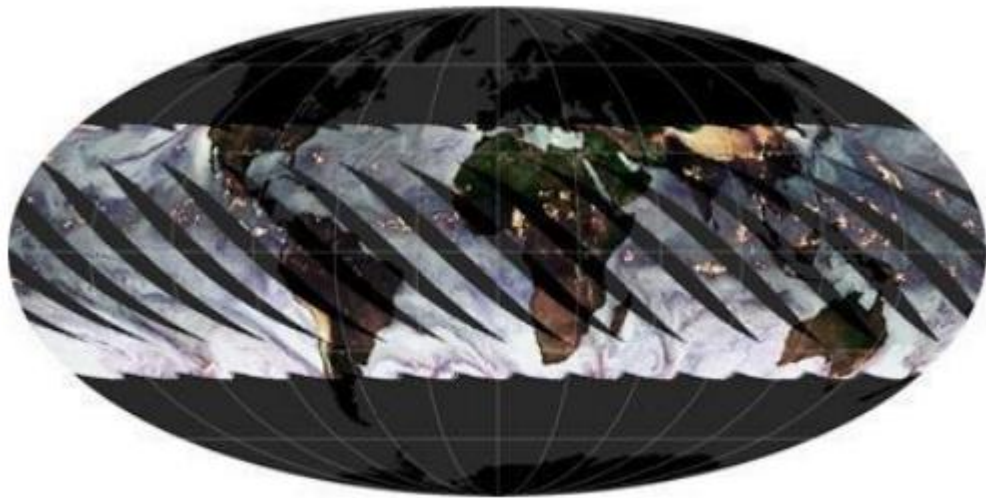


Figura 3 - Faixa de abrangência do satélite TRMM

Fonte: (PMM, 2017)

O TRMM gera diversos produtos, dependendo da combinação de instrumentos cujas informações são utilizadas nos algoritmos de cálculo. No presente trabalho será utilizado o produto 3B42-v7, o mesmo utiliza estimativas de precipitação por micro-ondas do imageador de micro-ondas (TMI), promovendo correção através das informações das estruturas verticais das nuvens, obtidas pelo radar de precipitação (PR).

Os produtos do TRMM passam por uma validação terrestre (Ground Validation – GV) a fim de minimizar as diferenças entre estimativas por satélite e medições o solo. As estimativas são processadas e convertidas em acumulados mensais através de interpolação de dados, gerando o produto mensal com espaçamento horizontal de 0,25° x 0,25°(produto 3B31). Em seguida, o produto 3B31 é usado e, então, faz-se a correção das estimativas de precipitação propostas por meio do infravermelho do

Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), disponibilizada a cada 3 horas. Sendo assim, o produto 3B42 apresenta espaçamento horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e frequência de 3 horas (HUFFMAN et al. (2007), FENSTERSEIFER(2013)).

O satélite TRMM deveria operar até março de 2004 (KUMMEROW et al., 2000); mas, com a economia de combustível conseguida na manobra de elevação de altitude em agosto de 2001 (de 350 km para 403 km, aproximadamente), a vida útil aumentou. Com o sucesso apresentado pelo projeto TRMM, a NASA lançou no dia 27 de fevereiro de 2014 um projeto sucessor, o Global Precipitation Measurement (GPM), apresentando lançamento de múltiplos satélites equipados com sensores e radares semelhantes ao TRMM, porém com melhor resolução (GPM, 2016).

3.5. MÉTODOS ANALÍTICOS DE APROPRIAÇÃO DE TOTAIS PREIPITADOS

A estimativa de precipitação limita-se, em grande parte, na variabilidade deste processo, e na escassez de dados (COLLISCHONN, 2001). Deve-se ressaltar, ainda, a associação entre os dados disponíveis, e a sua representatividade espacial ao longo do tempo (SANTOS, 2014).

Os métodos analíticos de informação de precipitação podem ser do tipo pontual; por agregação espacial e por campos de chuvas. Nas seções subsequentes esses métodos serão sumariamente apresentados.

3.5.1. Análise Pontual

Os dados pontuais de chuvas podem ser utilizados na análise de acumulados de um dia, permitindo o estudo dos totais, máximos e mínimos mensais e anuais de precipitação, além de serem utilizados como complemento das informações de chuvas geradas pelos pluviógrafos (WARD, ELLIOT, 1995).

Na análise pontual, os dados de chuvas podem ser úteis na derivação de curvas intensidade-duração-frequência, aplicados no planejamento de drenagem urbana e no controle de inundações em pequenas bacias hidrográficas (VIESSMAN; LEWIS, 1995).

A literatura indica diferentes problemas relacionados a esse tipo de análise. Segundo Gupta (1995), um problema seria a ocorrência de possíveis falhas nas séries

históricas, decorrentes de falhas nos equipamentos ou ausência de observadores na execução das leituras. Outro problema estaria associado à realocação de instrumentos ou à diferenças nos procedimentos de observação.

Existem diferentes obstáculos para análise pontual, descritos na literatura. Pereira (2013), por exemplo, indica como obstáculo a ocorrência de precipitações localizadas em áreas da bacia hidrográfica que não são registradas na estação meteorológica mais próxima, condição que pode influenciar no déficit hídrico, escoamento superficial e balanço de energia.

3.5.2. Agregação Espacial

Neste tipo de técnica busca-se estabelecer superfícies contínuas com valores médios únicos, gerados a partir de médias espaciais de um conjunto de dados locais de uma determinada área de interesse.

Segundo Sene (2009), os postos pluviométricos não representam, por si só, a chuva total de uma bacia hidrográfica, em escala regional. Desta forma, o emprego da agregação espacial, a partir do registro de diferentes pluviômetros dispostos na bacia hidrográfica de interesse e seu entorno, permitirá a obtenção de estimativas de precipitação em uma área mais ampla e contínua.

Na literatura há três métodos tradicionais de agregação espacial para se determinar quantidade média de precipitação em superfície, comumente utilizados para se contabilizar precipitação em bacia hidrográfica. São eles média aritmética, método de Thiessen e Isoietas (ou Isolinhas), ilustrados por meio da Figura 4.

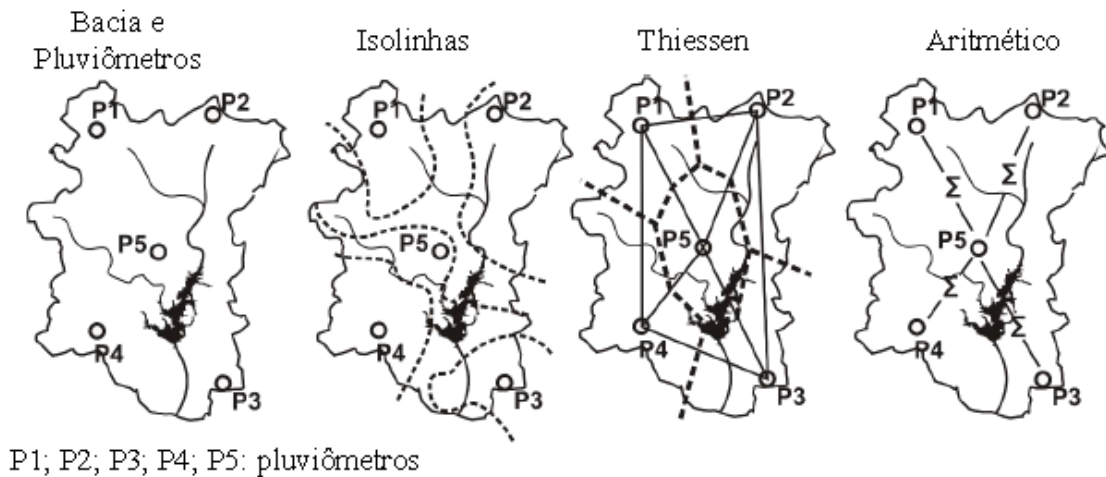


Figura 4 - Métodos de agregação espacial

Fonte: Santos (2014)

3.5.2.1. Média Aritmética

Método de simples aplicação que consiste em se determinar a média aritmética entre as quantidades de precipitação medidas na área, conforme equação (01). Para uma boa estimativa é necessário que os aparelhos estejam distribuídos uniformemente, em área plana ou de relevo muito suave. É preciso que se observe a média registrada em cada aparelho individualmente, para que esta varie pouco em relação à média total (VILELLA; MATTOS, 1975).

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (01)$$

Na equação (01), P_m representa a precipitação média, $\sum P_i$ indica a soma dos valores encontrados nos postos e n o número total de postos pluviométricos.

3.5.2.2. Método de Thiessen

Pinto et al. (1976) ressaltam a eficiência deste método em terrenos não muito acidentados. O método subdivide a área da bacia em áreas delimitadas por retas unindo os pontos das estações, dando origem a triângulos. Traçando-se perpendiculares nos pontos médios dos lados de cada triângulo, vários polígonos são obtidos, definindo-se a área de influência de cada ponto, onde a altura precipitada é assumida como constante. Cada estação recebe um peso, correspondente à sua área de influência, relacionando-a com a área total da bacia. Os polígonos não devem

abranger áreas externas à bacia e a precipitação média sobre a bacia é estimada por meio da equação (02) (TANAKA, 2013).

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (02)$$

Na equação (02) P_m representa a precipitação média, $\sum P_i$ indica a soma dos valores encontrados nos postos, A_i são os pesos dados para cada área dos polígonos e n o número total de postos pluviométricos.

Villela e Mattos (1995) ressaltam que, apesar deste método ser mais preciso que o método da média aritmética, ele é limitado, uma vez que considera apenas a variação linear da precipitação entre as estações, desconsiderando as influências orográficas. Gomes e Silans (2000) indicam, por sua vez, que o método considera cada ponto de maneira independente, não incorporando, portanto, o grau de correlação entre os valores medidos.

3.5.2.3. Método das Isoietas

Isoietas são linhas que indicam mesma altura pluviométrica. O espaçamento entre as linhas pode ser definido com base no tipo de estudo a ser desenvolvido. Para a condução deste método são traçadas as isoietas, unindo-se pontos de igual precipitação. Deve-se considerar os efeitos orográficos e a morfologia do terreno; desta forma, este método representa um modelo de precipitação mais real do que o que poderia ser obtido por meio de medidas isoladas. Em seguida, calculam-se as áreas parciais contidas entre duas isoietas sucessivas e a precipitação média em cada área parcial. Após esse passo, calcula-se a precipitação média da bacia por meio da razão entre o somatório das ponderações das áreas e precipitações e a área total da bacia (equação 03) (LINSLEY; FRANZINI, 1978).

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \left(\frac{P_r + P_{r+1}}{2} \right)}{A} \quad (03)$$

Na equação (03), P_m representa a precipitação média, P_r indica a precipitação da isoietas de ordem r , P_{r+1} indica a precipitação da isoietas de ordem $r+1$, A_i área entre isoietas consecutivas e n o número total de isoietas.

Este método apresenta imprecisões relacionadas aos traçados das isoietas, uma vez que sua elaboração exige avaliação, por exemplo, da conformação topográfica da área de estudo (VIESSMAN; LEWIS, 1995).

3.5.3. Campos de chuva

Os campos de chuvas podem ser caracterizados como sendo unidades digitais criadas a partir da segmentação espacial da chuva em grades delimitadas pelos pixels obtidos por sensores remotos, ou processos geoestatísticos, especializados em sistemas de informação geográfica (SIG) (SANTOS, 2014).

Esta técnica pode ser utilizada para as mais diversas finalidades, como previsão de desastres, estudo de processos hidrológicos, dentre outros. Kirstetter et al. (2012) ressaltam a importância desta técnica na compensação frente à degradação das redes de dados operacionais superficiais, uma vez que, através desta técnica, pode-se obter informações estimadas de alta qualidade, com representação espacial e temporal dos satélites.

Diversas pesquisas têm se pautado na apropriação da técnica de campos de chuvas nos estudos hidrológicos, como observado nos trabalhos de Barrera (2005), Collischonn (2006), Ebert (2007), Li et al. (2014), Santos(2014) e Louzada(2016).

O uso desta técnica em áreas de interesse dos recursos hídricos permite a obtenção de dados de precipitação com redução do tempo de coleta, anula os problemas de acesso aos instrumentos de medição e disponibilidade de um observador, permite medição em considerável números de pontos, varrendo uma vasta extensão de área, ou seja, promove a continuidade espacial da chuva.

3.6. ANÁLISE DE DESEMPENHO

A verificação de desempenho caracteriza-se pelo processo de comparação entre as medidas de precipitação consideradas reais com medidas estimadas (BRIER; ALLEN, 1950).

Há uma gama de alternativas para a análise de desempenho, envolvendo medidas de comparação visual e/ou estatística, como acontece quando do uso de dados estimados por satélite (TURK; MEHTA, 2007).

Existem estatísticas para validação da chuva estimada por satélite recomendadas pelo International Precipitation Working Group (IPWG) por meio do WWRP/WGNE Joint Working Group on Verification (World Weather Research Programme/Working Group on Numerical Experimentation) (WWRP/WGNE, 2016).

As estatísticas da análise de desempenho propostas pelo IPWG são divididas em dois grupos: **a)** Estatísticas quantitativas de chuva e **b)** Estatísticas de ocorrência de chuva. Para avaliação dos erros quantitativos de chuvas são recomendados pelo IPWG os parâmetros BIAS, Erro Médio, Raiz do Erro Quadrático médio e Coeficiente de Correlação. As estatísticas utilizadas na avaliação da ocorrência da chuva são os parâmetros BIAS, Probabilidade de Detecção, Taxa de Falso Alarme e Proporção Correta.

3.6.1. Estatísticas quantitativas

As estatísticas quantitativas de chuva associam-se às diferenças nos valores dos dados de precipitação obtidos pelos satélites e pelos pluviômetros.

3.6.1.1. BIAS

O parâmetro BIAS relaciona as estimativas de chuva por satélite (Z) com as estimativas obtidas pelos pluviômetros (P). Para valores de BIAS superiores a unidade, o satélite superestima a chuva obtida pelos pluviômetros; quando BIAS é inferior a unidade, significa que ocorreu uma subestimação. Na equação 04, por meio da qual se apropria o parâmetro BIAS, n é quantidade de dados observados.

$$\text{BIAS} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n Z}{n}}{\frac{\sum_{i=1}^n P}{n}} \quad (04)$$

3.6.1.2. Erro Medio

O Erro Médio (EM) indica a diferença média entre as intensidades de chuva por satélite e pluviômetro, sendo obtido por meio da equação 05.

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^n P-Z}{n} \quad (05)$$

Na equação (05) Z representa a precipitação estimada por satélite, P a precipitação estimada por pluviômetro e n o número total de dados.

3.6.1.3. Raiz do Erro Quadrático Médio

A Raiz do Erro Quadrático Médio (REMQ) avalia o erro por meio do quadrado das diferenças entre precipitações estimadas a partir das imagens de satélite e registradas nos pluviômetros. Essa estatística possui maior influência sobre erros de maior magnitude. A REMQ é apresentado com o emprego da equação 06.

$$REMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P-Z)^2}{n}} \quad (06)$$

3.6.1.4. Coeficiente de Correlação (r)

O Coeficiente de Correlação (r), estimado por meio da equação 07, representa a associação linear entre as estimativas de chuva por satélite e pluviômetro. Seu resultado varia de -1 a 1, apresentando perfeita associação nestes extremos.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P-\bar{P})(Z-\bar{Z})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P-\bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z-\bar{Z})^2}} \quad (07)$$

3.6.2. Estatísticas de ocorrência

As estatísticas de ocorrência estão relacionadas com o acontecimento de um evento de chuva na bacia. Sendo assim, estabeleceu-se um valor limite de precipitação de 1 mm.dia⁻¹, para caracterizar um dia como chuvoso, conforme perspectiva estabelecida pelos trabalhos realizados por McBride e Ebert (2000), Araújo (2006), Paz e Collischonn (2011) e Santos (2014).

As estatísticas referentes a esse item são baseadas numa tabela de contingência (Tabela 2), que contém quatro combinações de concordância entre as imagens de satélite e pluviômetro. As combinações são classificadas da seguinte maneira:

- Sucesso: quando o satélite e o pluviômetro registram a ocorrência de chuva na bacia, ou seja, ambos indicam intensidade de chuva igual ou superior a 1 mm.dia⁻¹;
- Correto negativo: quando o satélite e o pluviômetro não registram a ocorrência de chuva na bacia em um determinado dia;
- Falha: quando o satélite não registra a ocorrência de chuva na bacia, mas o pluviômetro registra;
- Falso alarme: quando o satélite registra a ocorrência de chuva na bacia, mas o pluviômetro não.

Tabela 2 - Tabela de Contingência.

		Pluviômetro	
		Sim	Não
Satélite	Sim	Sucesso	Alarme Falso
	Não	Falha	Correto negativo

3.6.2.1. BIAS

O BIAS, como indicado anteriormente, funciona como um indicador de subestimação ou superestimação do número de eventos chuvosos que são corretamente identificados pela estimativa por satélite. Para uma perfeita detecção desses eventos chuvosos, o valor do BIAS é igual à unidade, conforme equação 08.

$$\text{BIAS} = \frac{\text{sucesso} + \text{falso alarme}}{\text{sucesso} + \text{falhas}} \quad (08)$$

3.6.2.2. Probabilidade de Detecção (PD)

A Probabilidade de Detecção indica o percentual de acerto em que os dias chuvosos são identificados por satélite. Para uma perfeita detecção PD = 1, conforme equação 09.

$$PD = \frac{\text{sucesso}}{\text{sucesso} + \text{falha}} \quad (09)$$

3.6.2.3. Taxa de FalsoAlarme (TAF)

A Taxa de FalsoAlarme, apropriada por meio da equação 10, representa o percentual em que os dias de estiagem não são corretamente identificados por satélite.

$$TAF = \frac{\text{falso alarme}}{\text{sucesso} + \text{falso alarme}} \quad (10)$$

3.6.2.4. Proporção Correta (PC)

Para identificar o percentual de acerto das imagens de satélite, sem distinção entre os acertos de chuvas ou de ausência de chuvas, emprega-se a estatística de proporção correta, estabelecida por meio da equação 11.

$$PC = \frac{\text{sucesso} + \text{correto negativo}}{\text{total}} \quad (11)$$

Na última equação, total = sucesso + correto negativo + falso alarme + falhas.

3.7. EMPREGO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DE PRECIPITAÇÕES

Petersen et al. (2002) observaram os dados do TRMM em regimes convectivos na Amazônia, utilizando as características de chuvas da Amazônia central e chuvas convectivas da América do Sul em três estações chuvosas separadas. Foi utilizado uma combinação do Radar Precipitação (PR), Microwave Imager (TMI), Lightning Imaging Sensor (LIS), dados da Rede Brasileira de Detecção de Raios (BLDN) e dados de vento zonal (Reanálise NCEP). Os referidos autores concluíram que o satélite TRMM captura, de forma razoável, a variabilidade intrasazonal na estrutura convectiva e a precipitação sobre a Amazônia.

No estudo desenvolvido por Araújo (2006) na bacia do Rio Iguaçu, numa área de 69.373 km², ao se aplicar a estatística quantitativa foram estimados valores de BIAS entre 1,36 e 1,62, com as estimativas de chuva pelas imagens de satélite superestimando as precipitações registradas por pluviômetros. Adicionalmente, o coeficiente de correlação apresentou valores entre 0,79 e 0,89, valores considerados

satisfatórios. Na análise das estatísticas de ocorrência, o autor obteve valores de BIAS entre 1,01 e 1,07, Probabilidade de Detecção (PD) entre 0,84 e 0,91 e Taxa de Falso Alarme (TAF) entre 0,13 e 0,19.

Dinku et al. (2007) obtiveram valores de Coeficiente de Correlação entre 0,68 e 0,72, para a Etiópia. Os autores concluíram que o produto 3B42 funciona razoavelmente bem na detecção da ocorrência de chuvas. No entanto, as performances são fracas na estimativa da quantidade de chuva em cada pixel. Os coeficientes de correlação apresentaram-se baixos e os erros aleatórios altos.

Fuentes et al. (2008) analisaram a África Ocidental e o leste do Oceano Atlântico, e utilizaram como fonte de dados o TRMM e dados do National Center for Environmental Prediction (NCEP), durante a estação chuvosa de junho a setembro, entre os anos de 1998 e 2004. Na África Ocidental as tempestades de precipitação do tipo convectivo apresentam maior extensão vertical, quando comparadas com as do Oceano Atlântico Oriental. Em contrapartida, os sistemas de precipitação estratiforme mostram padrões de reflexividade vertical, profundidade e intensidade semelhantes, tanto na terra, quanto no oceano adjacente à África Ocidental. Concluíram que as características regionais observadas utilizando-se os dados de TRMM apresentaram-se consistentes com as características estimadas a partir de dados de reanálise do NCEP.

Kamarianakis et al. (2008) estudaram as chuvas com sensoriamento remoto utilizando modelos mistos não lineares e de Regressão Geograficamente Ponderada (GWR). No Mediterrâneo analisaram a relação entre dados de chuvas estimados por pluviômetros e derivados de satélite. Os resultados indicaram três regiões ao norte da área de estudo onde os modelos obtiveram desempenho melhor. O modelo GWR pode ser utilizado para a calibração nos casos em que a relação entre os dados pluviométricos e estimativas de satélite forem constantes ao longo do tempo.

Hand e Shepherd (2009) avaliaram, em Oklahoma, o produto 3B42 e encontraram Coeficiente de Correlação de aproximadamente 0,42, observando tendência de subestimação dos valores precipitados. Entretanto, ao analisarem somente a média diária, a correlação melhorou significativamente, conduzindo os valores de Coeficiente de Correlação para aproximadamente 0,94.

Leivas et al. (2009) realizaram, na região de Manaus, comparações entre as respostas oferecidas por dados TRMM e as respostas estimadas pelos dados de estações do

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e da CPRM (Companhia de Pesquisas dos Recursos Minerais), no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007. Concluíram que os dados do satélite TRMM apresentaram-se consistentes, representando adequadamente as estações de seca e chuva, função da boa acurácia em comparação com dados pluviométricos registrados em superfície.

Ji Xuan e Chen (2012) estudaram o produto TRMM 3B43 no período de 1998 a 2009 para as montanhas Tianshan, China. Caracterizaram padrões espaciais de precipitação descritos com base nos dados mensais de precipitação. Os resultados subestimaram a precipitação em região de montanha. Modelos de regressão foram desenvolvidos a fim de melhorar as respostas estimadas a partir do produto TRMM 3B43, utilizando a localização geográfica e características topográficas extraídas do Sistema de Informações Geográficas de Modelagem Digital do Terreno (SIG e MDE). A variância foi diminuída em mais de 82% com a adição da localização e variáveis topográficas.

Danelichen et al. (2013), para a região Centro-Oeste do Brasil, estimaram precipitações por meio de imagens do satélite TRMM, comparando-as com séries de precipitação obtidas pelo Instituto de Controle de Espaço Aéreo (ICEA) do Comando da Força Aérea. Concluíram que o satélite TRMM superestimou a precipitação anual entre 0,6% e 37,4%, sendo que as maiores superestimativas ocorreram no período seco. No entanto, foi obtido alto Coeficiente de Correlação (0,88).

Silva e Rocha (2013) empregaram as imagens do satélite TRMM para avaliar as precipitações do estado do Paraná, abrangendo área de aproximadamente 199.315 km², e obtiveram valores de Coeficiente de Correlação que variaram entre 0,51 e 0,99. Os piores valores foram encontrados para a parte norte no estado, com coeficientes de correlação entre 0,51 e 0,76, sendo estes valores considerados bons resultados. Os Coeficientes de Determinação apresentaram maiores valores na região centro sul do estado (valores de 0,78 a 0,99), os menores valores foram encontrados na região noroeste, com coeficientes de determinação variando entre 0,26 e 0,59.

Santos (2014) selecionou como área de estudo o estado da Paraíba abrangendo área de cerca de 56.470 km². O valor do parâmetro BIAS para o acumulado mensal de precipitação para o período de 1998 a 2011 foi menor que 0,5, indicando que o satélite subestimou de forma moderada a precipitação. Santos (2014) chegou a valores da REMQ de 30 mm. Para a análise de ocorrência, a Probabilidade de Detecção (PD) foi

melhor no período chuvoso. A estatística de Proporção Correta (PC) ficou entre 70% e 100%, o indica bom desempenho do emprego das imagens de satélite. O parâmetro Taxa de Falso Alarme (TAF) obteve valores para as chuvas anuais de mínimo de 10% e máximo de 80%.

Louzada (2016) estudou o produto 3B43-v7 do satélite TRMM. Foram realizadas comparações estatísticas entre a precipitação estimada pelo produto 3B43-v7 e as observadas pelos postos meteorológicos para a bacia hidrográfica do rio Doce. Foram encontrados, para a série histórica de totais mensais precipitados, de valores de Coeficiente de Correlação entre 0,80 e 0,95, valores de Erro Médio entre 70 e 115 mm, e Coeficiente de Determinação entre 0,63 e 0,91. Para a média dos totais mensais foram encontrados valores de Coeficiente de Correlação entre 0,92 e 0,99, valores de Erro Médio entre 43 e 104 mm, e Coeficiente de Determinação entre 0,85 e 0,99. Ao analisar os totais anuais foram encontrados valores de Coeficiente de Correlação entre 0,54 e 0,93, valores de Erro Médio entre 175 e 313 mm, e Coeficiente de Determinação entre 0,29 e 0,87. Os resultados foram considerados adequados pelo autor.

Soares, Paz e Picilli (2016) analisaram, com auxílio de imagens de satélite, as precipitações do estado da Paraíba. O Estado foi dividido em quatro mesorregiões geográficas: Mata Paraibana (5.242 km²), Agreste (12.914 km²), Borborema (15.572 km²) e Sertão (22.720 km²). Os autores obtiveram valores do Erro Médio entre 16 e 31 mm, além dos valores da REMQ entre 23 e 43 mm. Para a estatística BIAS foram obtidos valores que variam entre 0,1 (resultados considerados baixos) e -0,8 (valores considerados bons). No que se refere ao Coeficiente de Correlação, foram alcançados valores entre 0,75 e 0,89.

Banze (2016), cuja área de estudo foi Moçambique, com área de 801.590 km², estudou o emprego do produto 3B43 do TRMM. O autor indicou que o produto superestimou os valores de precipitação para a região norte da área de estudo, apresentando valor de BIAS para a região igual a 1,23. Na região central foram alcançados valores de BIAS entre 1,17 e 1,51, aproximadamente. Já na região sul foram encontrados valores de BIAS entre 0,97 e 1,4. Os resultados foram considerados satisfatórios.

Bernardi (2016) definiu como área de estudo o estado do Rio Grande do Sul, sendo que na estatística de ocorrência para a análise pixel a ponto foi encontrado valor médio

para a Probabilidade de Detecção de 0,87, valor médio da Taxa de Falso Alarme de 0,3, e BIAS médio de 0,95. Na estatística quantitativa para a análise pixel a ponto foi encontrado, para a análise diária, valor médio de Coeficiente de Correlação de 0,72, valor do Erro Médio de 3,6mm e REMQ de 10,0mm. Para a análise quinzenal foi encontrado valor médio de Coeficiente de Correlação de 0,82, valor do Erro Médio de 24,5mm e REMQ de 35,3mm. Os resultados para a análise mensal conduziram ao valor médio de Coeficiente de Correlação de 0,90, valor do Erro Médio de 28,1mm e REMQ de 28,5mm. Em média o BIAS apresentou valor de 0,9.

4. METODOLOGIA

O presente estudo analisou os dados de precipitação estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), produto 3B42-v7, e os comparou com os dados obtidos por meio de pluviômetros.

4.1. REGIÃO DE ESTUDO

A área de estudo foi a região hidrográfica do Rio Itapemirim, importante sistema hídrico da porção sul do Estado do Espírito Santo. Foram realizadas análises dos totais anuais precipitados, totais mensais precipitados e precipitação média mensal de longo período para a referida região hidrográfica.

A bacia do rio Itapemirim (Figura 5), importante sistema hídrico da porção sul do Estado do Espírito Santo, integra a Sub-Bacia do Atlântico Sul, Trecho Leste. Possui área de cerca de 5.914 km² e perímetro de aproximadamente 534 km (GEOBASES, 2016). É delimitada ao norte com as bacias dos rios Novo, Jucu e Doce; ao sul, com a bacia do rio Itabapoana; ao noroeste, com o Estado de Minas Gerais; e ao leste, com o Oceano Atlântico (SANTOS e SOUZA, 2012).

Estão inseridos na bacia hidrográfica do rio Itapemirim 17 municípios de estado do Espírito Santo: Ibatiba, Irupi, Iúna, Ibitirama, Muniz Freire, Alegre, Conceição do Castelo, Venda Nova do Imigrante, Castelo, Vargem Alta, Cachoeiro de Itapemirim, Jerônimo Monteiro, Muqui, Atílio Vivacqua, Presidente Kennedy, Itapemirim e Marataízes. Além desses municípios, a bacia também abrange um município do estado de Minas Gerais (Lajinha).

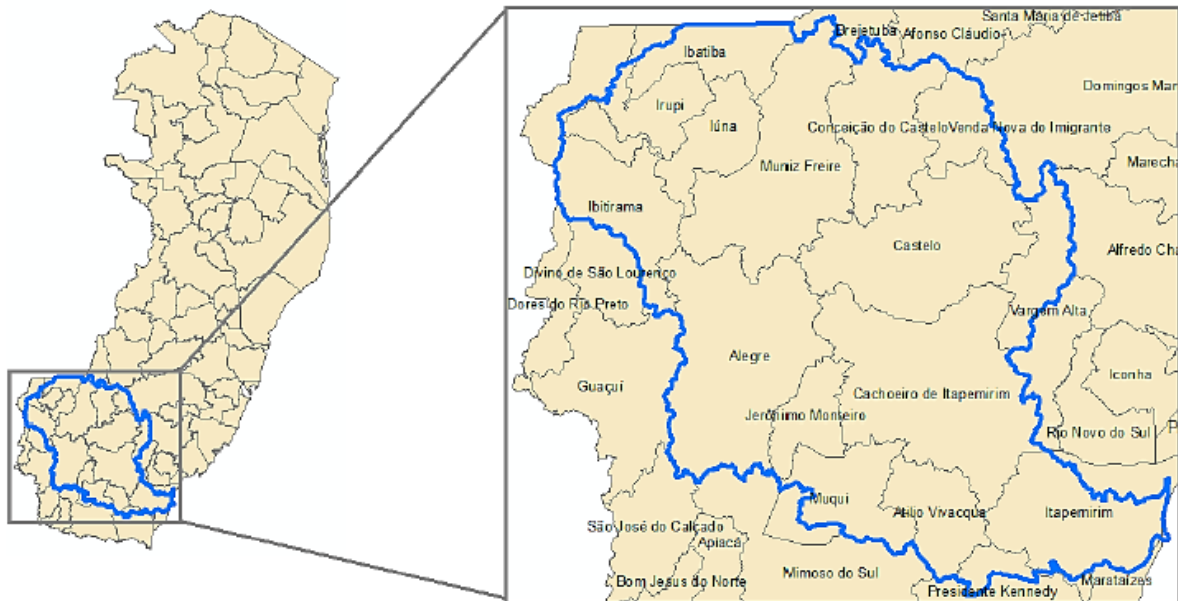


Figura 5 - Localização da região hidrográfica do Rio Itapemirim

Fonte: autoria própria

O rio Itapemirim possui nascentes na Serra do Caparaó. É formado, em sua maioria, pelos rios Braço Norte Esquerdo e Braço Norte Direito que se unem no município de Alegre. À jusante, o rio Itapemirim recebe contribuição do rio Castelo no município de Cachoeiro de Itapemirim, distrito de Coutinho. O último grande afluente antes da desembocadura no Oceano Atlântico é o Rio Muqui (KLIGERMAN, 2001).

A temperatura média anual decresce de 24°C na foz até 17°C nas serras da bacia superior, baixando a 12°C no extremo oeste (Caparaó). A umidade média anual cresce na mesma direção, de 80% a 84%, e a evaporação anual decresce de 1000 mm a 800 mm, ainda na mesma direção (GEOBASES, 2016).

A precipitação anual na bacia do Itapemirim é de cerca de 1377 mm e o escoamento total de 90,9 m³/s. Função das suas significativas variações no relevo, a bacia possui grande diversidade climática. Apesar disso, sua temperatura e chuva possuem comportamento semelhante em toda a extensão da bacia, sendo os verões chuvosos e os invernos secos (KLIGERMAN, 2001).

De acordo com Kligerman (2001), no terço médio à montante da bacia do Itapemirim, predominam formas de relevo acidentado e, no terço inferior, relevo mais suave, como observado na Figura 6. Lani et al. (2001) dividem a bacia em seis macro ambientes

de condições de solo, vegetação e clima peculiares, denominados: Litoral-Mangue, Litoral-Restinga, Terciário (Platôs Litorâneos), Cachoeiro, Celina e Pico da Bandeira.

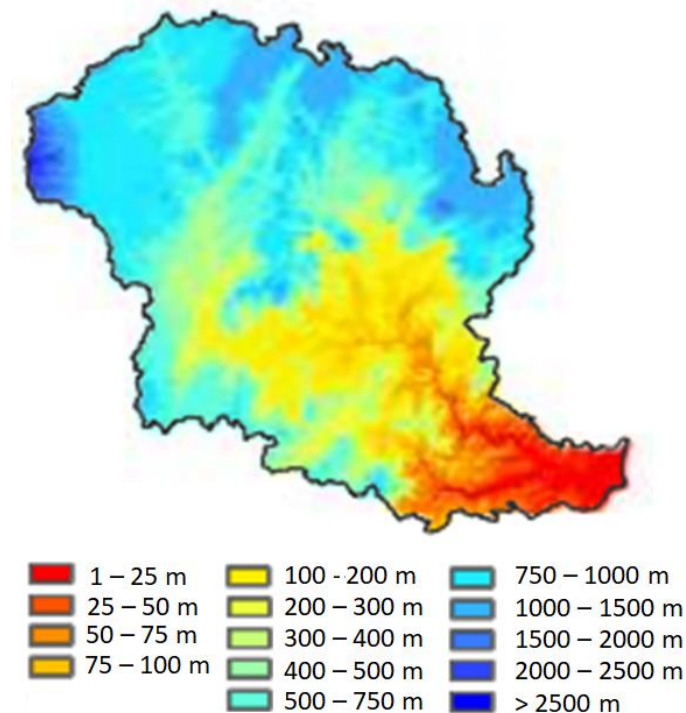


Figura 6 - Altimetria da região hidrográfica do rio Itapemirim

Fonte: Coutinho (2013)

A bacia do Rio Itapemirim tem como bioma predominante a Mata Atlântica. Na bacia há problemas de assoreamento dos leitos dos cursos d'água, visto que esta sofre intenso desmatamento, tendo hoje apenas 8,3% de cobertura vegetal. Os usos preponderantes das águas do rio Itapemirim são na irrigação, geração de energia, abastecimento público e industrial, piscicultura e lançamento de efluentes (CEMIG, 2016).

Em 19 de julho de 2006, foi instituído, por meio do Decreto nº 1703-R, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (CBH – Rio Itapemirim). Segundo o referido Decreto, o CBH – Rio Itapemirim é órgão integrante do Sistema Integrado de Gerenciamento e Monitoramento dos Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (SIGERH/ES).

4.2. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS

Foram identificadas, na base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), a partir do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb), todas as estações pluviométricas em funcionamento na região hidrográfica do Rio Itapemirim. As séries históricas de precipitação das 14 estações estudadas foram obtidas no portal Hidroweb e analisadas quanto à sua extensão e qualidade. A Tabela 3 apresenta as estações pluviométricas, seus respectivos códigos e coordenadas geográficas.

Tabela 3 - Estações pluviométricas da região do rio Itapemirim

Código	Estação	Latitude (grau, minuto, segundo)	Longitude (grau, minuto, segundo)
2040006	Usina Paineiras	-20° 57' 10"	-40° 57' 12"
2041000	Atílio Vivacqua	-20° 54' 47"	-41° 11' 42"
2041002	Castelo	-20° 36' 20"	-41° 11' 59"
2041003	Rive	-20° 44' 49"	-41° 27' 58"
2041010	Jacigua	-20° 42' 07"	-41° 00' 59"
2041011	Conceição do Castelo	-20° 21' 08"	-41° 14' 22"
2041013	Iúna	-20° 20' 45"	-41° 32' 15"
2041015	Fazenda Monte Alegre	-20° 56' 41"	-41° 24' 03"
2041016	Ibitirama	-20° 32' 26"	-41° 39' 56"
2041017	Santa Cruz - Caparaó	-20° 19' 22"	-41° 42' 15"
2041018	Usina Fortaleza	-20° 22' 17"	-41° 24' 32"
2041019	Itaici	-20° 31' 42"	-41° 30' 41"
2041021	Burarama	-20° 40' 50"	-41° 20' 54"
2140000	Barra do Itapemirim	-21° 00' 27"	-40° 50' 07"

Na Figura 7 é apresentada a distribuição das estações pluviométricas na região hidrográfica do rio Itapemirim.

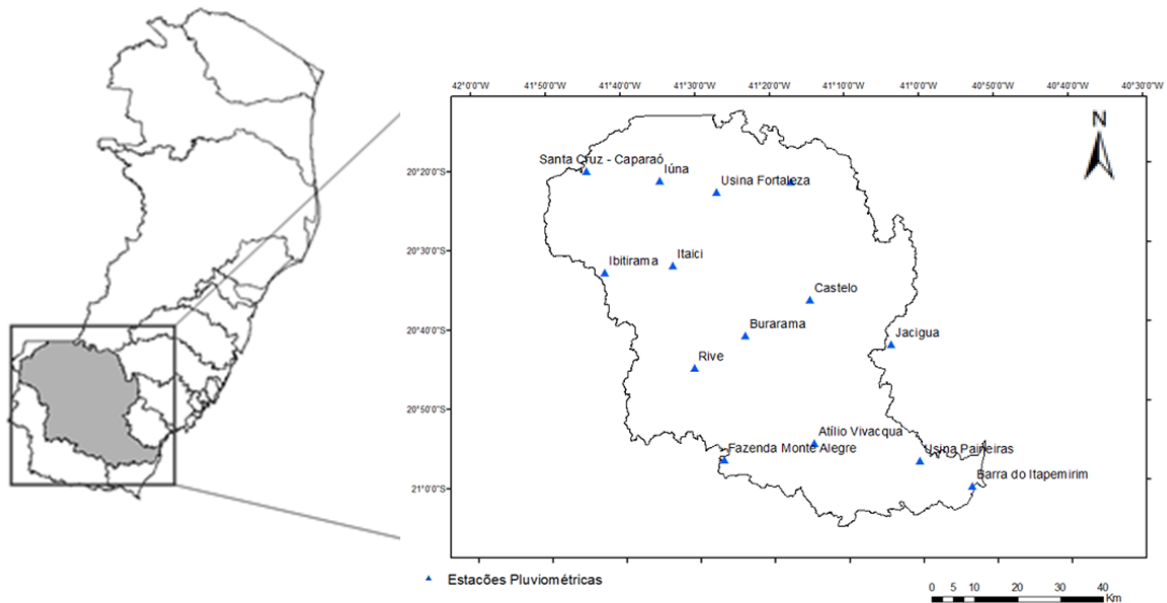


Figura 7 - Distribuição dos postos pluviométricos na região hidrográfica do rio Itapemirim

Utilizou-se como base de estudo o período de monitoramento compreendido entre janeiro de 1998 e dezembro de 2015.

Para a análise estatística de ocorrência foram utilizadas as precipitações diárias nas estações localizadas nos municípios de Atílio Vivacqua, Castelo, Cachoeiro e Muniz Freire. Um dia foi considerado chuvoso quando registradas precipitações maiores que 1mm/dia, reproduzindo metodologia sugerida por McBride e Ebert (2000), Araújo (2006), Paz e Collischonn (2011) e Santos (2014).

Após o processamento dos dados pluviométricos disponíveis para a região hidrográfica buscou-se a agregação espacial dos registros de chuva por meio do método das isoietas, sumariamente apresentado na seção 3.5.2. A partir das cartas de isoietas produzidas foram apropriados os totais anuais precipitados, totais mensais precipitados e média mensal precipitada de longo período.

Para análise do efeito da sazonalidade foram definidos os períodos secos e chuvosos para a região de estudo por meio da apropriação de médias móveis. A Média Móvel Simples ou Aritmética, utilizada no presente trabalho, foi estabelecida a partir da média dos totais mensais precipitados para conjuntos de seis meses consecutivos.

Com a apropriação das referidas médias foi possível a geração de um gráfico que indicou os meses que constituem os períodos chuvoso e seco.

4.3. BASE DE DADOS DO TRMM

O TRMM gera diversos produtos, dependendo da combinação de instrumento utilizada nos algoritmos de cálculo. No presente trabalho foi utilizado o produto 3B42-v7, produto que utiliza estimativas de precipitação por micro-ondas do imageador de micro-ondas (TMI), promovendo correção através das informações das estruturas verticais das nuvens, obtidas pelo radar de precipitação (PR).

Os produtos do TRMM passam por uma validação terrestre (Ground Validation) a fim de minimizar as diferenças entre estimativas por satélite e medições o solo. As estimativas são processadas e convertidas em acumulados mensais através de interpolação de dados, gerando o produto mensal com espaçamento horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (produto 3B31). Em seguida, o produto 3B31 é usado e, então, faz-se a correção das estimativas de precipitação propostas por meio do infravermelho do Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), dada a cada 3 horas. Sendo assim, o produto 3B42 apresenta espaçamento horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e frequência de 3 horas (HUFFMAN et al., 2007; FENSTERSEIFER, 2013).

Os dados precipitação estimados pelo satélite TRMM provenientes do produto 3B42, versão 7 (3B42-v7), foram apropriados como parte das atividades da Diretoria de Missões Científicas da NASA, usando a GES-DISC Visualização Interativa Online e análise de Infraestrutura, plataforma Giovanni (Figura 8), estando disponível no endereço eletrônico http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM_V7.3B43.2.shtml com resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (aproximadamente 27 km x 27 km) e escala temporal de 3 horas.

The screenshot shows the GIOVANNI web interface. At the top, it says "GIOVANNI The Bridge Between Data and Science v 4.20.6". Below that, there's a notification: "2016 Final IMERG and TMPA replaced...". The main area is titled "Select Plot" and "Select Region (Bounding Box or Shapefile)". There are input fields for "Select Date Range (UTC)" and "Select Region". A table of search results is displayed, showing variables like "Precipitation Rate" and "Near-Real-Time Precipitation Rate" with columns for Source, Temp Res, Spot Res, Begin Date, End Date, and Units. The table has 5 rows of results. At the bottom, there are buttons for "Help", "Reset", "Feedback", and "Plot Data".

Variable	Source	Temp Res	Spot Res	Begin Date	End Date	Units
<input checked="" type="checkbox"/> Precipitation Rate (TRMM_3B43_v7)	TRMM	Monthly	0.25 °	1998-01-01	2016-07-31	mm/hr
<input type="checkbox"/> Near-Real-Time Precipitation Rate (TRMM_3B42RT_v7)	TRMM	3-hourly	0.25 °	2003-03-01	2016-10-11	mm/hr
<input type="checkbox"/> Precipitation (TRMM_3B42_v7)	TRMM	3-hourly	0.25 °	1997-12-31	2016-07-31	mm/hr
<input type="checkbox"/> Precipitation Rate (TRMM_3B42_Daily_v7)	TRMM	Daily	0.25 °	1998-01-01	2016-07-31	mm/day
<input type="checkbox"/> Near-Real-Time Precipitation Rate (TRMM_3B42RT_Daily_v7)	TRMM	Daily	0.25 °	2000-03-01	2016-10-11	mm/day

Figura 8 - Plataforma Giovanni (acesso: <http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

Os dados foram processados e manipulados com o auxílio do programa Arcgis, versão 10.3. A ponderação utilizada foi a Inverse Distance Weighting (IDW), o IDW pressupõe que os valores de precipitação mais próximos entre si são mais parecidos do que os mais distantes. Ou seja, para apropriar um valor para algum local não medido o IDW usará os valores amostrados à sua volta, onde os maiores pesos serão atribuídas as precipitações mais próximas e os menores pesos as precipitações mais distantes. Vale ressaltar que o período analisado foi comum para análise das imagens de satélite e análise dos dados obtidos com auxílio de pluviômetros (1998-2015).

Para aplicação da estatística de ocorrência foi acessado o banco de dados junto a NASA, acesso livre para a comunidade científica, que disponibiliza dados de precipitação do satélite TRMM no formato netCDF (network Common Data Form). Um arquivo netCDF é um arranjo multidimensional onde diversas matrizes representam a distribuição espacial em grade de uma variável ou conjunto de diferentes variáveis. O objetivo da interface netCDF é permitir criar, acessar e compartilhar dados orientando a matriz de uma forma que é autodescritiva e portátil (UNIDATA, 2016). Para condução do presente trabalho foi utilizada a base de dados de precipitação acumulada de 3h em 3h em netCDF.

Os dados foram processados e manipulados com o auxílio do software MATLAB (MATrix LABoratory). Para o processamento e manipulação do dados obtidos da NASA, foi implementado um código pela mestrandia, disponibilizado no Apêndice A,

onde é possível ler e interpretar os dados netCDFs, organizá-los nas coordenadas de interesse, além de gerar os acumulados diários para todo o período de análise.

A base de dados disponibilizada pela NASA, no formato netCDF, contém o valor de precipitação estimado pelo satélite TRMM para toda a porção do globo terrestre na faixa de cobertura (porção compreendida entre as longitudes de -180° e $+180^\circ$ e latitudes entre -50° e $+50^\circ$). A resolução do pixel do satélite é de $0,25^\circ$, ou seja, a base de dados da NASA possui 1440 valores de longitude, e 400 valores de latitude que, combinados, indicam as coordenadas dos centróides de cada pixel do satélite. Os pixels de satélite considerados no presente trabalho foram identificados por meio da rotina computacional previamente mencionada, varrendo-se as coordenadas do produto 3B42a partir da origem *southwest*, ou seja, da longitude -180° e latitude -50° para a longitude $+180^\circ$ e latitude $+50^\circ$.

4.4. ANÁLISE DE DESEMPENHO

Calculou-se as estatísticas para validação da chuva estimada por satélite baseadas nas recomendações do International Precipitation Working Group (IPWG), grupo de trabalho do Coordination Group for Meteorological Satellites (CGMS), copatrocinado pela World Meteorological Organization (WMO).

As estatísticas da análise de desempenho propostas pelo IPWG são divididas em dois grupos: **a)** Estatísticas quantitativas de chuva e **b)** Estatísticas de ocorrência de chuva. Para avaliação dos erros quantitativos de chuva foram utilizados os parâmetros BIAS, Erro Médio, Raiz do Erro Quadrático Médio e Coeficiente de Correlação. As estatísticas utilizadas na avaliação da ocorrência da chuva foram os parâmetros BIAS, Probabilidade de Detecção, Taxa de Falso Alarme e Proporção Correta.

Os parâmetros associados a análise quantitativa de chuva e a análise de ocorrência foram previamente apresentados na seção 3.6 (Análise de Desempenho).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ESTATÍSTICA QUANTITATIVA

No desenvolvimento da estatística quantitativa foram analisadas precipitações características da região, avaliando-se os totais anuais precipitados, totais mensais precipitados e totais mensais precipitados médios de longo período. As seções subsequentes serão reservadas para as avaliações estatísticas das referidas precipitações características.

5.1.1. Totais anuais precipitados

Para os totais anuais precipitados no período compreendido entre os anos de 1998 a 2015, foram gerados mapas de precipitações na região hidrográfica do rio Itapemirim **a)** pelo método de agregação das isoietas e **b)** por meio da manipulação das imagens do satélite TRMM, conforme ilustrado pelas figuras de 9 a 12. As figuras 9 e 10 apresentam as distribuições dos totais anuais precipitados para o ano de 1998, estabelecidas pelo método das isoietas e por meio da manipulação das imagens do satélite TRMM, respectivamente. As figuras 11 e 12, por sua vez, apresentam, de maneira similar, as distribuições dos totais anuais precipitados na região hidrográfica do rio Itapemirim para o ano de 2015.

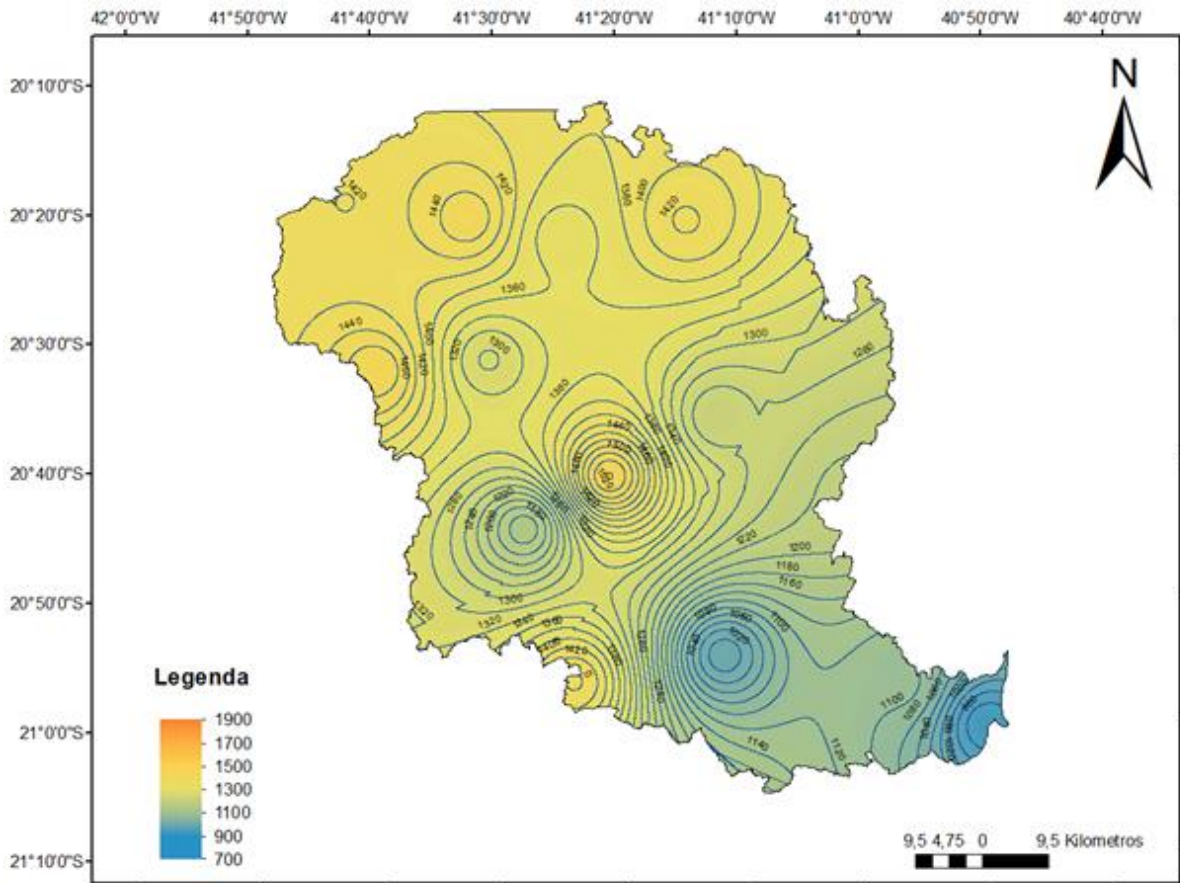


Figura 9 - Mapa de precipitação estabelecido para o ano de 1998 pelo método das isoietas
Fonte: Autoria própria.

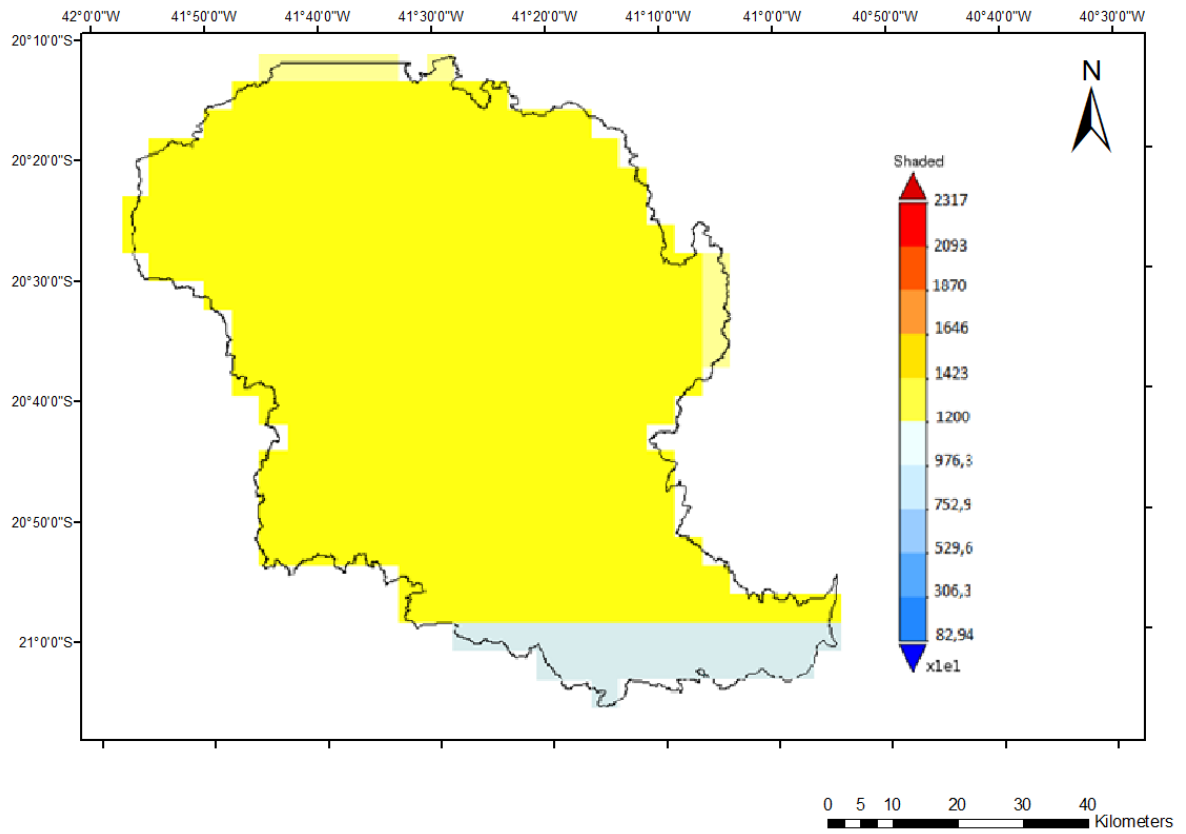


Figura 10 - Mapa de precipitação estabelecido para o ano de 1998 a partir das imagens do satélite

TRMM

Fonte: Autoria própria

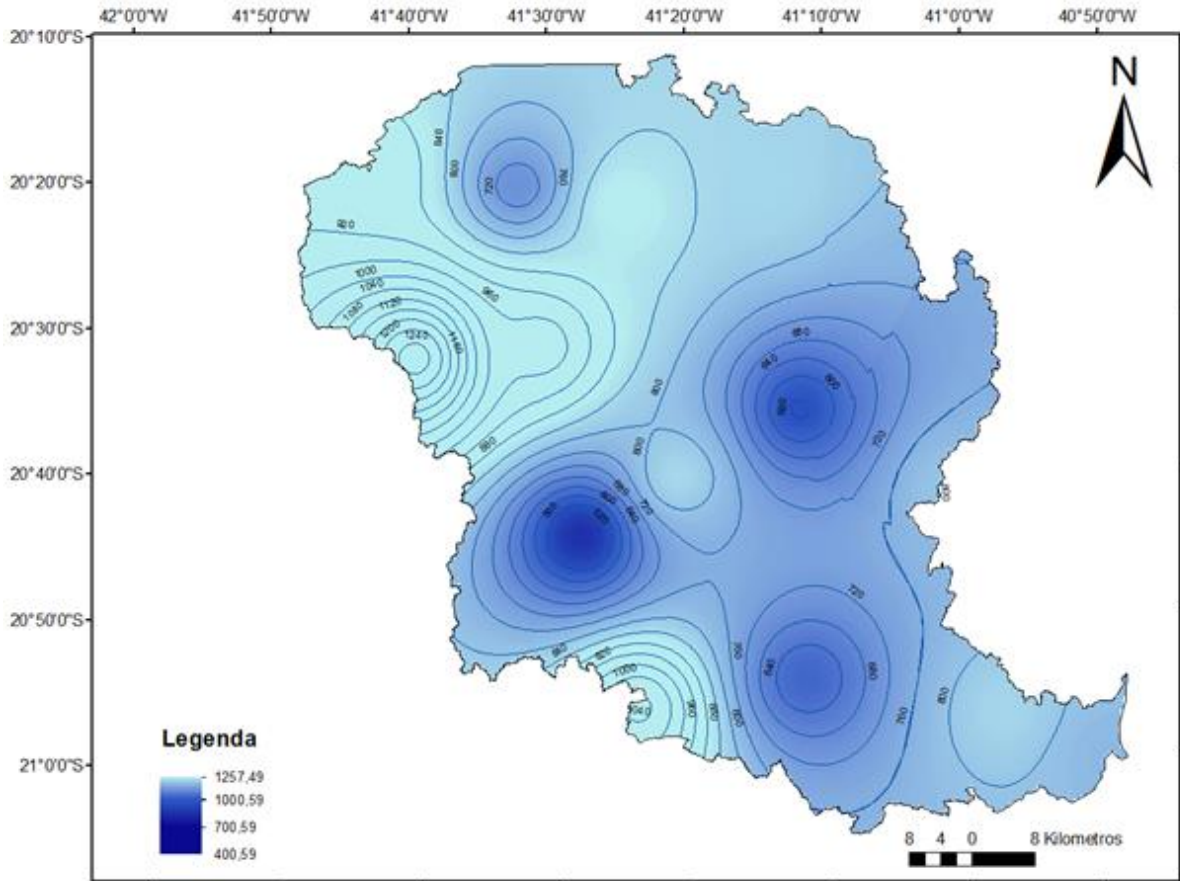


Figura 11 - Mapa de precipitação estabelecido para o ano de 2015 pelo método das isoietas

Fonte: Autoria própria

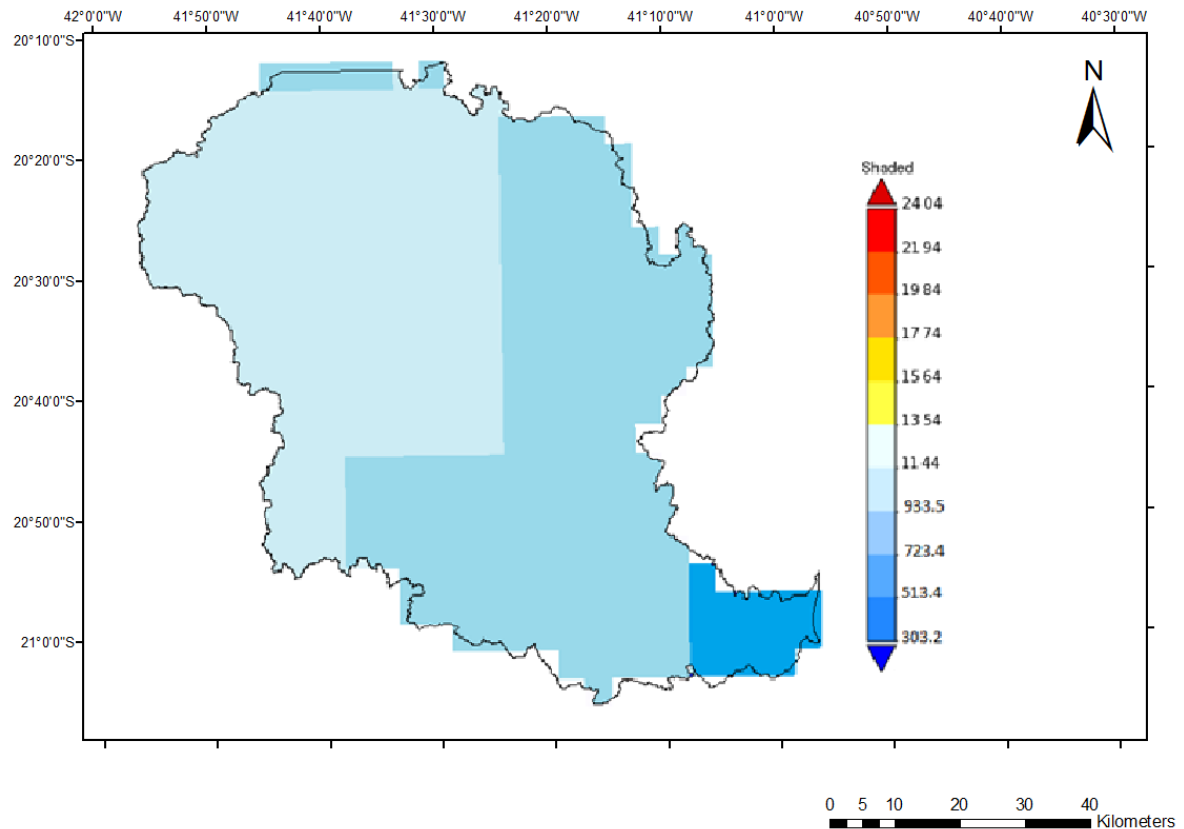


Figura 12 - Mapa de precipitação estabelecido para o ano de 2015 a partir das imagens do satélite TRMM

Fonte: Autoria própria

Os mapas gerados por meio do método de agregação das isoietas para os demais anos da série histórica analisada estão reunidos no Apêndice B (Mapas de precipitação para os totais anuais gerados pelo método das isoietas). Os mapas gerados a partir da manipulação das imagens de satélite, por sua vez, estão reunidos no Apêndice C (Mapas de precipitação para os totais anuais gerados a partir da manipulação das imagens do satélite TRMM).

Após o desenvolvimento dos mapas de distribuição dos totais anuais precipitados, foram apropriados os totais anuais precipitados na região hidrográfica do rio Itapemirim. Os totais anuais de precipitação estimados para a área de estudo estão reunidos na Tabela 4 e representados graficamente por meio da Figura 13.

Tabela 4 - Totais anuais de precipitação obtidos por meio dos mapas de isoietas e das imagens do satélite TRMM, e as diferenças percentuais associadas.

Totais anuais precipitados (mm)			
Ano	Satélite	Isoietas	Diferença (%)
1998	1483	1302	-12,3
1999	1193	1194	0,2
2000	1353	1087	-19,7
2001	1238	1090	-12,0
2002	1388	1330	-4,2
2003	1346	1246	-7,4
2004	1809	1720	-4,9
2005	1808	1917	6,0
2006	1368	1478	8,1
2007	1092	1115	2,2
2008	1698	1650	-2,8
2009	1570	1686	7,4
2010	1274	1350	5,9
2011	1367	1471	7,6
2012	1221	1105	-9,5
2013	1611	1652	2,6
2014	943	960	1,8
2015	908	798	-12,1



Figura 13–Variação temporal dos totais anuais precipitados, considerada apropriação por meio dos mapas de isoietas e das imagens de satélite

Através da Tabela 4 é possível observar que as diferenças percentuais entre os totais anuais precipitados, estimados para a região hidrográfica do rio Itapemirim a partir das cartas de isoietas e das imagens de satélite, não foram significativas. A maior diferença percentual ocorreu no ano de 2000, quando assumiu valor de aproximadamente 20%, indicando que o satélite TRMM superestimou a precipitação para a área de estudo. As diferenças percentuais obtidas no presente trabalho foram similares àquelas apropriados por Collischonn (2006), quando do emprego das imagens do satélite TRMM para apropriação de totais anuais precipitados sobre a bacia hidrográfica do rio São Francisco.

A Figura 14 apresenta o gráfico de dispersão estabelecido para a região hidrográfica do rio Itapemirim, a partir dos totais anuais precipitados apropriados por meio das cartas de isoietas e das imagens de satélite. Neste gráfico é apresentado, adicionalmente, o coeficiente de determinação associado ao ajuste de uma função linear entre os referidos valores de totais anuais precipitados (0,86), resultado considerado adequado por Louzada (2016) em estudo similar conduzido na bacia hidrográfica do rio Doce.

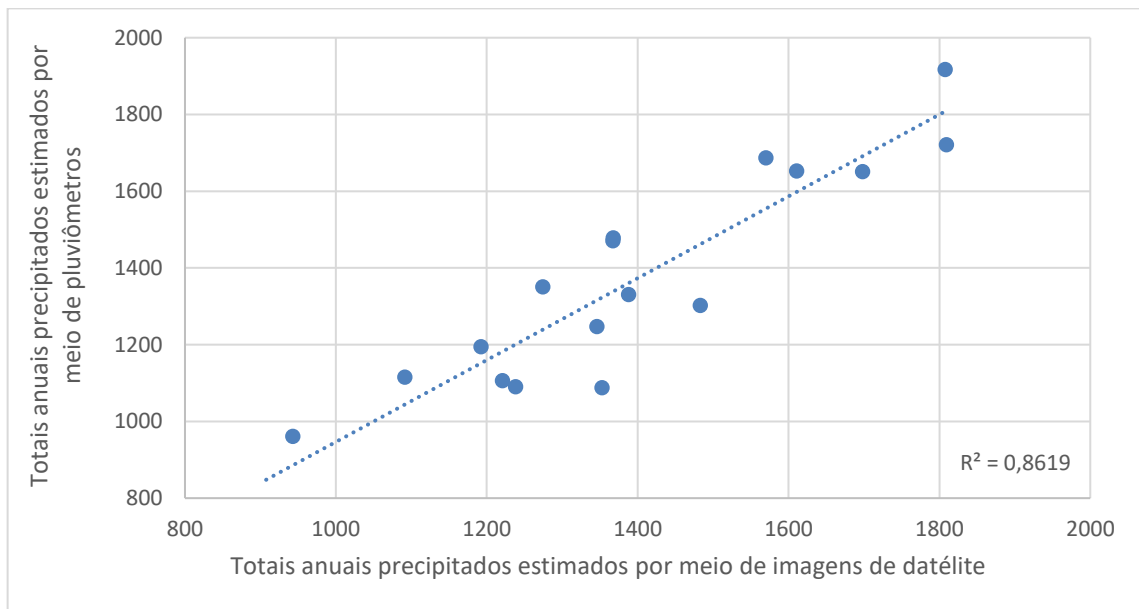


Figura 14 - Regressão Linear entre totais anuais estimados a partir de pluviômetros e da manipulação de imagens do satélite TRMM

A Tabela 5 reúne os resultados referentes a estatística quantitativa desenvolvida segundo recomendação da International Precipitation Working Group (IPWG), por

meio das respostas obtidas a partir da manipulação das cartas de isoietas e imagens do satélite TRMM para a região hidrográfica do rio Itapemirim.

Tabela 5 - Resultados referentes a estatística quantitativa recomendada pelo IPWG

Estatística Quantitativa	
BIAS	1,02
EM (mm)	-28,8
REMQ	113,4
r	0,93

Valor unitário para o parâmetro BIAS e coeficiente de correlação (r) nos limites -1 e 1 indicam perfeita correlação entre os registros objeto de avaliação. Na região hidrográfica do rio Itapemirim, quando da análise dos totais anuais precipitados, o valor de 1,02 para o parâmetro BIAS foi considerado adequado, indicando que os valores de precipitação estimados a partir da manipulação das imagens do satélite TRMM apresentaram-se próximos daqueles associados aos pluviômetros instalados e em operação na região, superestimando os valores de totais anuais precipitados, na média, em 2%. O coeficiente de correlação também foi considerado satisfatório, com valor substancialmente próximo da unidade ($r = 0,93$).

Louzada (2016), estudando o produto 3B43-v7 do satélite TRMM na bacia hidrográfica do rio Doce, encontrou valores entre 0,54 e 0,93 para os coeficientes de correlação associados aos totais anuais precipitados.

O erro médio representa a diferença média entre as os totais anuais de precipitação estimados a partir da manipulação das imagens de satélite e dos registros pluviométricos. O valor encontrado apresentou sinal negativo, indicando que a precipitação estimada a partir das imagens de satélite apresentou valores maiores que as precipitações registradas nos pluviômetro, o reforçando a perspectiva que a manipulação das imagens de satélite superestimou os resultados.

Anjos et al. (2013) estudaramo regime de precipitações sobre a cidade de Caruaru, no estado de Pernambuco, onde compararam os dados de estações meteorológicas com os dados do produto 3B42 do TRMM. Foi realizada uma análise estatística baseando-se no EM e REMQ. Segundo os referidos autores, as estimativas de precipitação a partir das imagens do satélite TRMM apresentaram boa correlação com os dados coletados em superfície, apresentando um erro médio de -8.8mm.

Louzada (2016), estudando o produto 3B43-v7 do satélite TRMM, encontrou, a partir da análise de séries de totais anuais precipitados, valores de EM entre 175mm e 313mm e de REMQ entre 110mm a 326mm.

5.1.2. Totais mensais precipitados

Quando estudados os totais mensais, novamente foram gerados mapas de precipitações da região hidrográfica do rio Itapemirim **a)** pelo método de agregação das isoietas e **b)** por meio da manipulação das imagens do satélite TRMM, conforme observado pelas figuras de 15 a 18. As Figura 15 e Figura 16 apresentam as distribuições dos totais mensais precipitados para o mês de janeiro de 1998, estabelecidas pelo método das isoietas e por meio da manipulação das imagens do satélite TRMM, respectivamente. As figuras 17 e 18, por sua vez, apresentam, de maneira similar, as distribuições dos totais mensais precipitados na região hidrográfica do rio Itapemirim para o mês de julho de 1998.

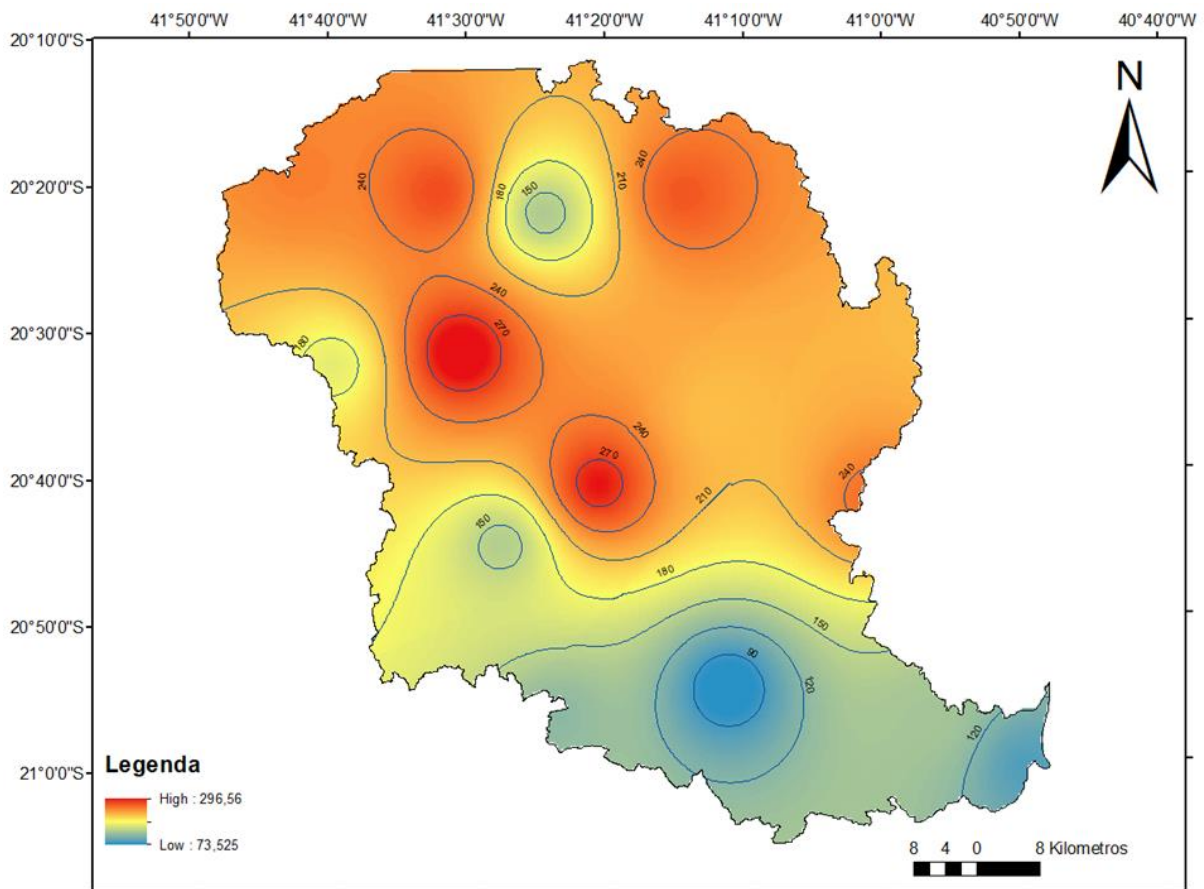


Figura 15 - Mapa de precipitação estabelecido para janeiro de 1998 pelo método das isoietas

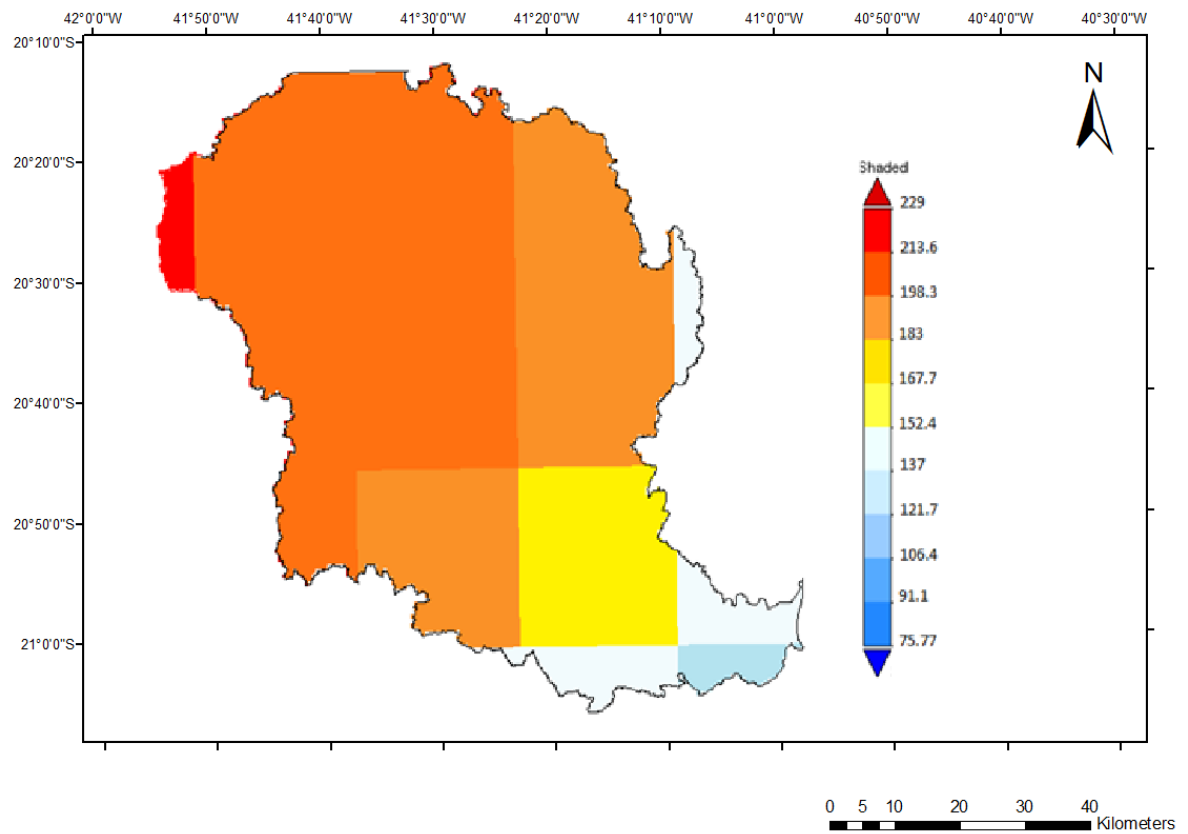


Figura 16 - Mapa de precipitação estabelecido para janeiro de 1998 a partir das imagens do satélite TRMM

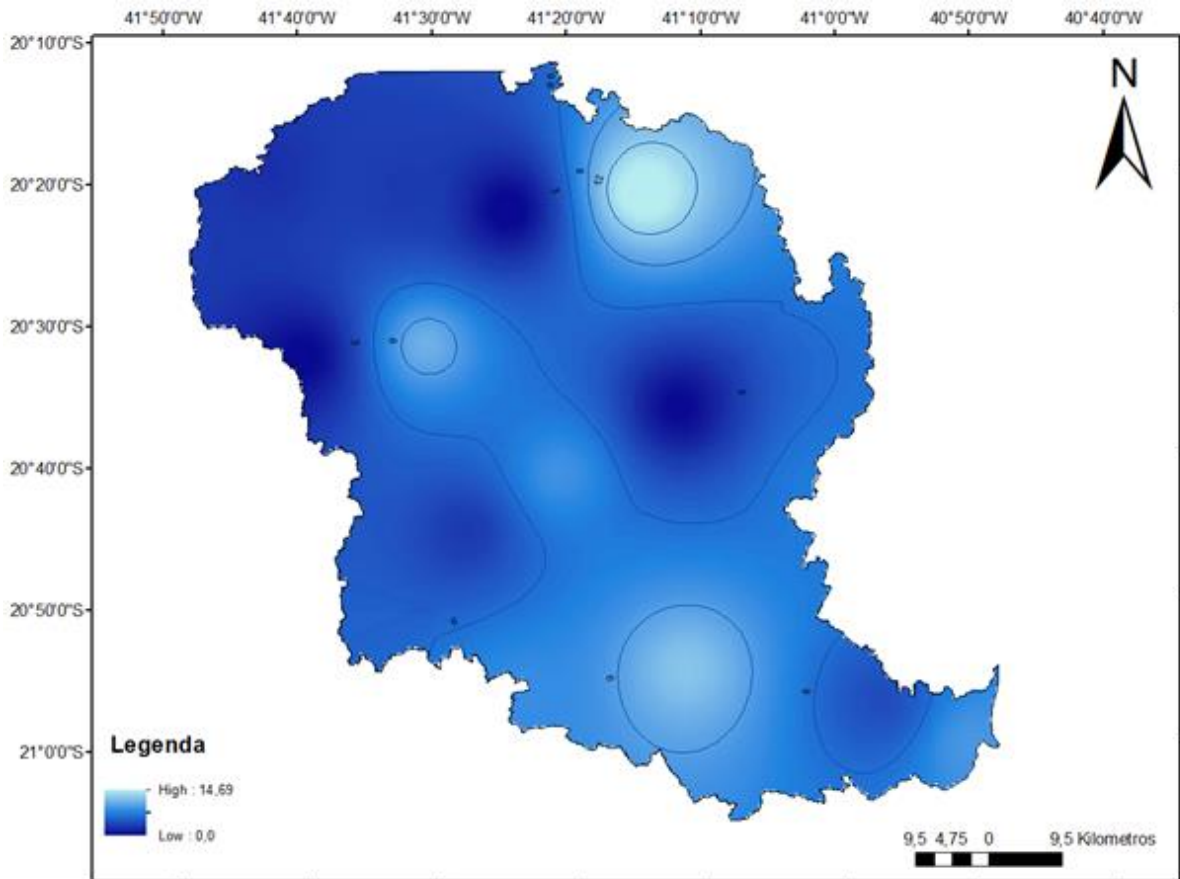


Figura 17 - Mapa de precipitação estabelecido para julho de 1998 pelo método das isoietas

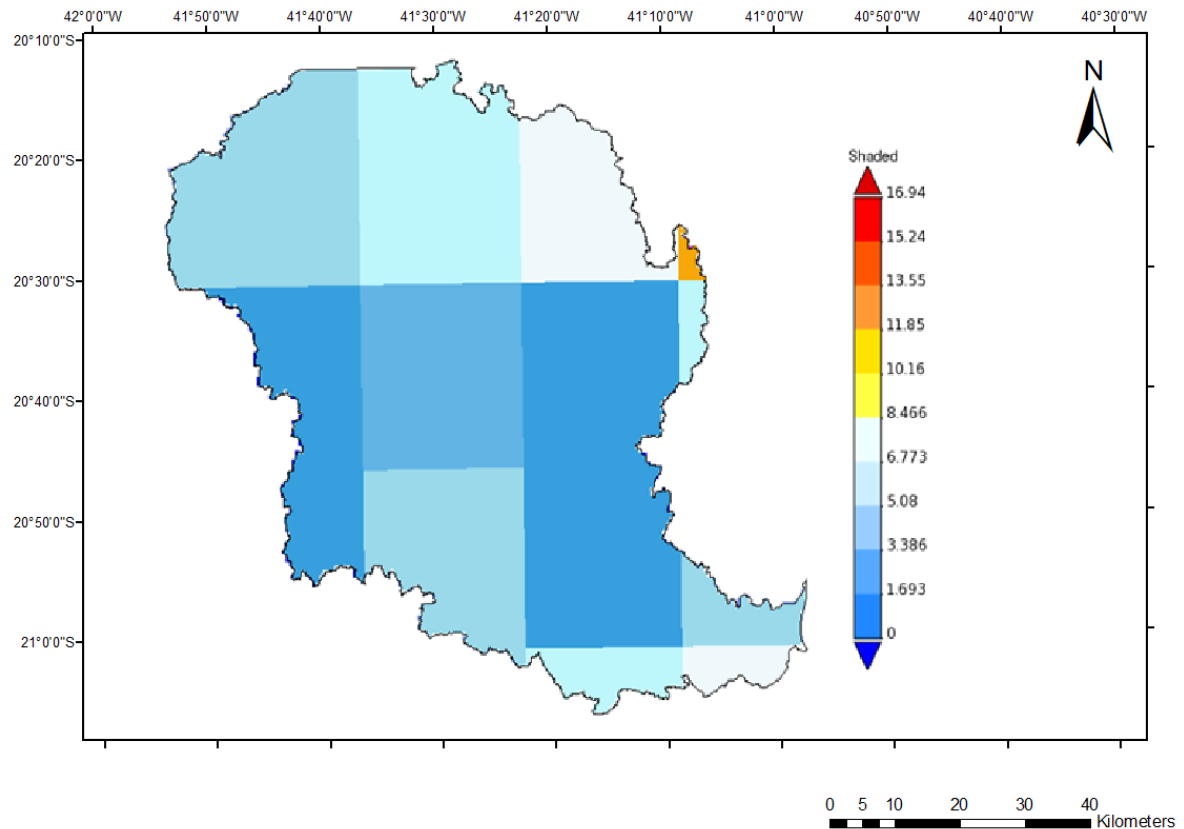


Figura 18 - Mapa de precipitação estabelecido para julho de 1998a a partir das imagens do satélite TRMM

Os mapas gerados por meio do método de agregação das isoietas para os demais meses que conformam a série histórica objeto de análise estão reunidos no Apêndice Digital D (Mapas de precipitação para os totais mensais gerados pelo método das isoietas). Os demais mapas gerados a partir das imagens do satélite TRMM são apresentados no Apêndice Digital E (Mapas de precipitação para os totais mensais gerados pela manipulação das imagens do satélite TRMM).

A Tabela 6 apresenta os diferentes parâmetros da análise quantitativa proposta pelo IPWG para os meses de janeiro a dezembro.

Tabela 6 - Resultados referentes a estatística quantitativa recomendada pelo IPWG

Mês	Parâmetros estatístico			
	BIAS	EM (mm)	REMQ (mm)	r
Janeiro	1,14	-24,4	41,0	0,95
Fevereiro	1,07	-8,2	23,7	0,96
Março	0,97	6,0	26,5	0,98
Abril	0,86	14,4	27,9	0,87
Mai	0,90	5,0	16,8	0,89
Junho	0,84	4,6	12,1	0,85
Julho	0,67	9,0	12,1	0,87
Agosto	1,02	-0,6	12,5	0,89
Setembro	0,94	3,5	12,4	0,94
Outubro	1,04	-4,6	20,3	0,92
Novembro	1,05	-11,0	22,0	0,97
Dezembro	1,04	-9,9	47,7	0,90

A partir da simples inspeção da Tabela 6 é possível observar que o BIAS apresentou valores entre 0,67 e 1,14. Ocorreu superestimação dos totais precipitados avaliados a partir da manipulação das imagens satélite nos meses de janeiro, fevereiro, agosto, outubro, novembro e dezembro; nos demais meses, a avaliação associada ao TRMM subestimou a precipitação. É relevante observar, no entanto, que os valores do parâmetro BIAS apresentaram-se usualmente próximos da unidade, sugerindo boa apropriação das estimativas realizadas a partir das imagens parte do satélite (exceção foi observada no mês de julho, com parâmetro BIAS assumindo o valor de 0,67, o menor dentre os estimados e mais afastado do valor que indica perfeita correlação).

O Coeficiente de Correlação ficou com seus valores compreendidos entre 0,85 e 0,98, indicando que as estimativas para os totais mensais precipitados apresentaram-se consistentes. Louzada (2016), estudando o produto 3B43-v7 do satélite TRMM, encontrou valores entre 0,92 e 0,99 para os coeficientes de correlação associados aos totais mensais precipitados na bacia hidrográfica do rio Doce.

Banze (2016), para estudar o regime de precipitações de Moçambique (abrangendo área de 801.590 km²), empregou o produto 3B43 do TRMM, observando que o referido produto superestimou os valores de precipitação para a região norte da área de estudo, com parâmetro BIAS assumindo valor máximo de 1,23. Na região central de Moçambique o valor do parâmetro BIAS assumiu valores entre 1,17 e 1,51. Já na região sul do País foram encontrados valores de BIAS entre 0,97 e 1,40. Os resultados foram considerados satisfatórios pelo autor.

Na região hidrográfica do rio Itapemirim, os valores do EM e da REMQ apresentaram-se moderados. O maior valor estimado para o EM foi de -24,4 mm, indicando subestimação a partir das imagens do satélite TRMM. O valor máximo estimado para a REMQ foi de 47,7 mm.

Em trabalhos similares, Louzada (2016) encontrou valores de EM entre 43 e 104 mm, na bacia hidrográfica do rio Doce. Santos (2014), por sua vez, chegou a valores da REMQ de 30 mm no estado da Paraíba. Já Soares, Paz e Picilli (2016) obtiveram valores do EM entre 16 e 31 mm, além dos valores da REMQ entre 23 e 43 mm, também no estado da Paraíba.

A partir da apropriação das médias móveis de seis meses consecutivos, o semestre compreendido entre os meses de outubro e março foi caracterizado como semestre chuvoso. De maneira complementar, o semestre que compreende os meses de abril a setembro foi considerado o período seco para a região hidrográfica objeto de estudo.

Na Figura 19 é possível observar o comportamento da média móvel apropriada para períodos de seis meses, considerados os totais mensais precipitados entre janeiro de 1998 e dezembro de 2003.

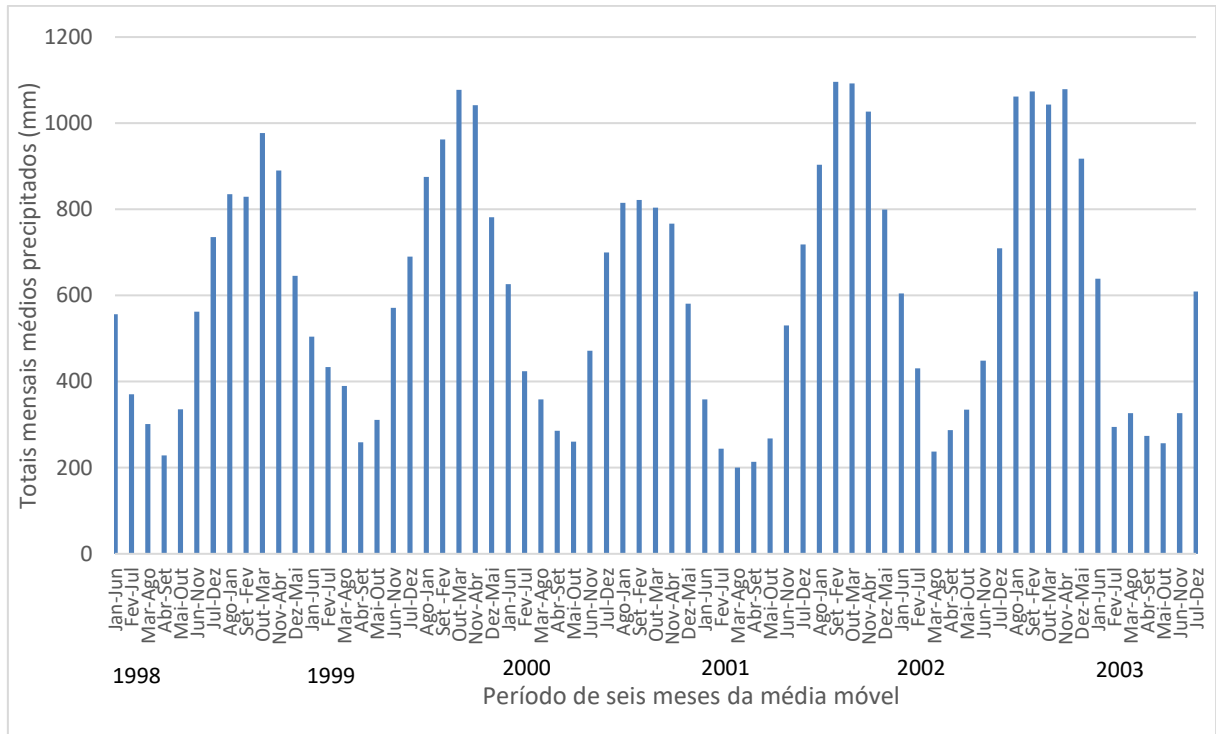


Figura 19 - Apropriação da média móvel de seis meses consecutivos para o período compreendido entre janeiro de 1998 e dezembro de 2003.

As figuras 20 e 21 ilustram os mapas de precipitações dos totais mensais médios de longo período precipitados na região hidrográfica do rio Itapemirim para o período considerado chuvoso (período compreendido entre os meses de outubro e março) e para o período considerado seco (de abril a setembro), respectivamente.

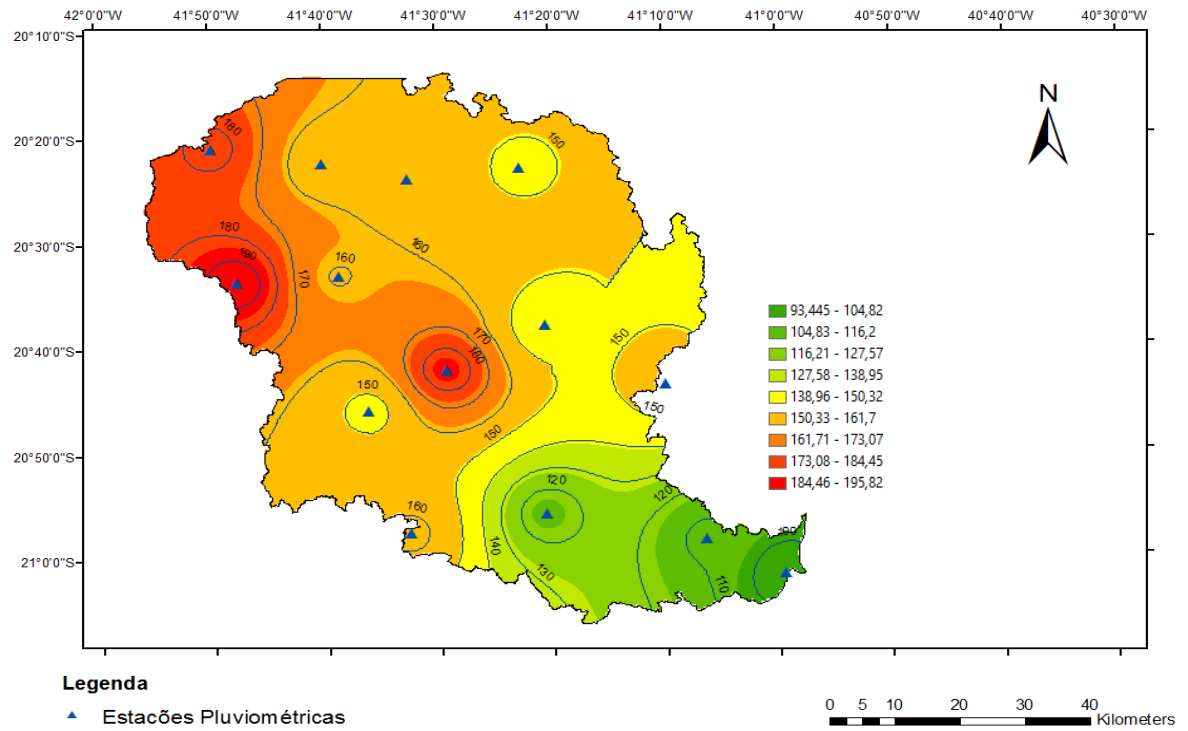


Figura 20 - Mapa de precipitação dos totais mensais médios de longo período para o período chuvoso da região hidrográfica do rio Itapemirim

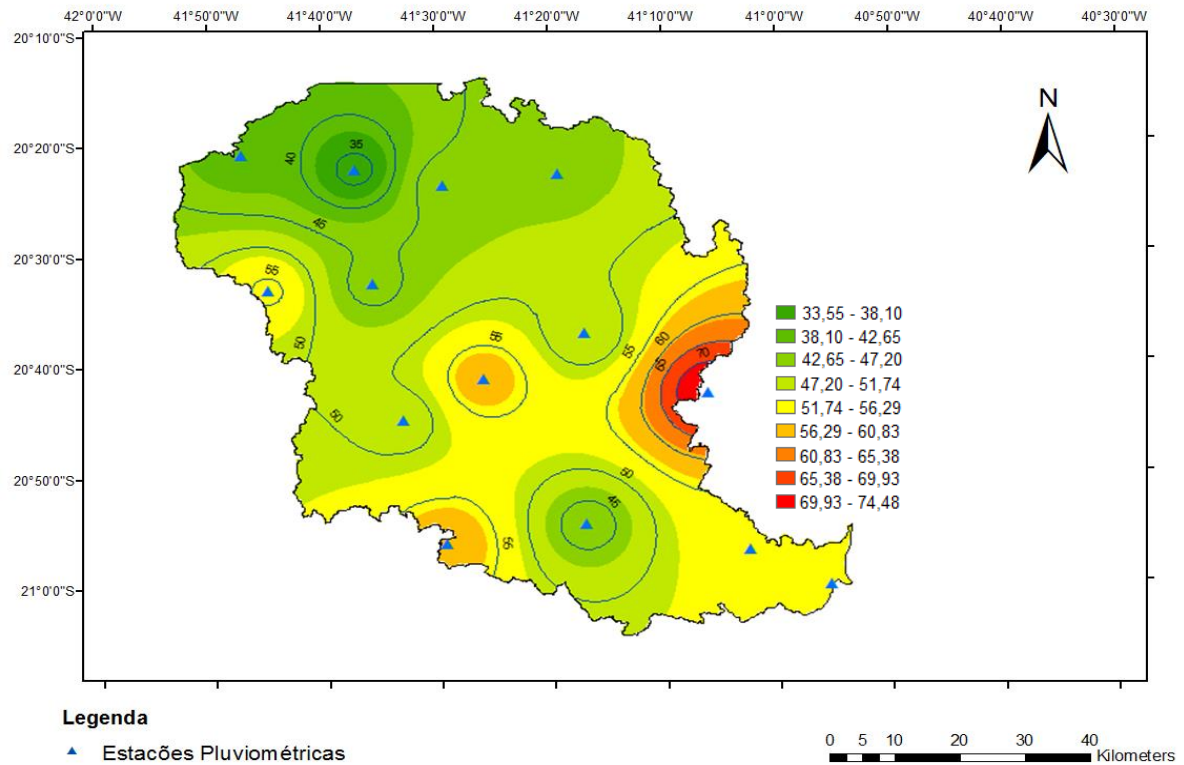


Figura 21 - Mapa de precipitação dos totais mensais médios para o período seco da região hidrográfica do rio Itapemirim

O efeito da sazonalidade pode ser avaliado quando da análise das séries históricas dos totais mensais médios precipitados para períodos consecutivos de seis meses. Na Tabela 7 são apresentados os valores médios para os diferentes parâmetros estatísticos sugeridos pelo IPWG, apropriados para os períodos chuvosos e secos da região hidrográfica do rio Itapemirim.

Tabela 7 - Resultados referentes às séries de totais mensais médios precipitados nos períodos seco e chuvoso da região hidrográfica do rio Itapemirim

Média	Parâmetros estatístico			
	BIAS	EM (mm)	REMQ	r
Período chuvoso (outubro – março)	1,02	-16,3	142,05	0,93
Período seco (abril a setembro)	0,88	37,3	48,51	0,89

A partir da simples inspeção da Tabela 7 é possível observar que, no período chuvoso, as imagens de satélite ofereceram resultados mais próximos daqueles obtidos a partir dados pluviométricos, com parâmetros BIAS variando entre 0,97 e 1,14 e Coeficiente de Correlação entre 0,90 e 0,98. Nos meses mais secos, as estimativas conduzidas a partir das imagens de satélite perderam qualidade, com o parâmetro BIAS apresentando valor médio de 0,88 (com valor mínimo de 0,67) e o Coeficiente de Correlação apresentando valores usualmente abaixo de 0,90.

5.1.3. Média de longo período para o total mensal precipitado

Na análise da média de longo período para o total mensal precipitado, compreendendo o período entre os anos de 1998 e 2015, foram produzidos, para cada mês de um ano hidrológico típico, mapas de precipitações pelo método de agregação das isoietas utilizando dados de pluviômetros e por meio da manipulação das imagens produzidas pelo satélite TRMM. As Figura 22 e Figura 23 apresentam, para o mês de janeiro, os mapas de totais precipitados de longo período, desenvolvidos com auxílio do método das isoietas (Figura 22) e por meio da manipulação dos dados pluviométricos e das imagens de satélite (Figura 23). As Figura 24 e Figura 25, por sua vez, representam os mapas similares produzidos para o mês de julho. Nos Apêndices F (Mapas de totais mensais precipitados de longo período gerados a partir de dados pluviométricos) e G (Mapas de totais mensais precipitados de longo período gerados pela manipulação das imagens do satélite TRMM) estão reunidos os mapas dos totais precipitados de longo períodos para os demais meses.

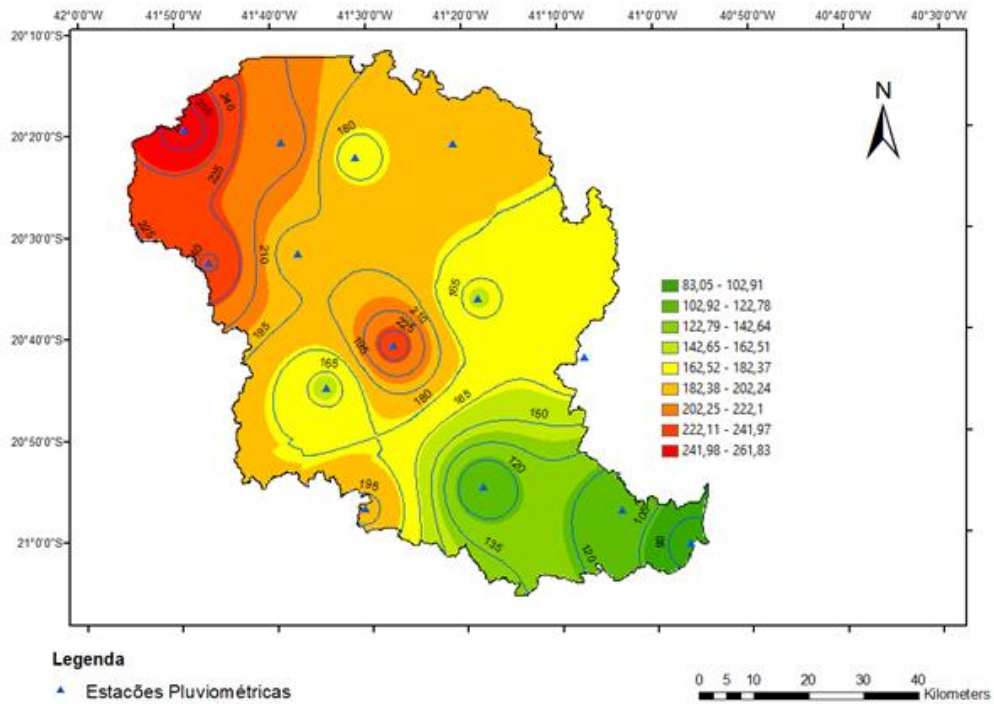


Figura 22 - Mapa de totais mensais precipitados de longo período para o mês de janeiro desenvolvido por meio da manipulação dos dados pluviométricos

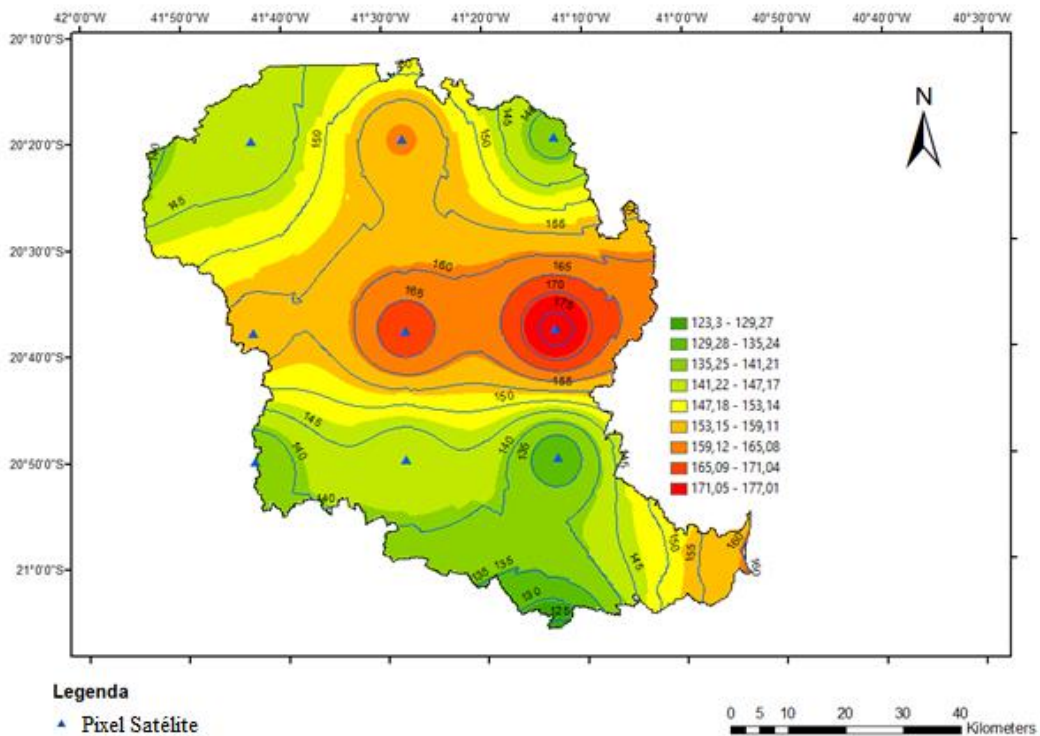


Figura 23 - Mapa de totais mensais precipitados de longo período para o mês de janeiro desenvolvido por meio da manipulação de imagens de satélite

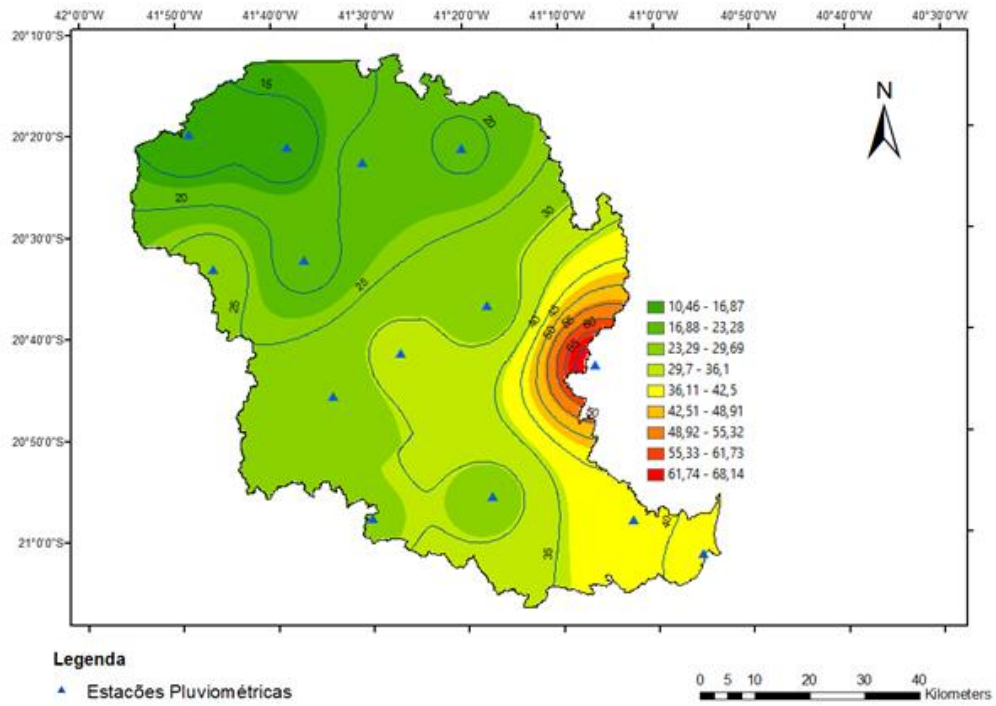


Figura 24 - Mapa de totais mensais precipitados de longo período para o mês de julho desenvolvido por meio da manipulação dos dados pluviométricos

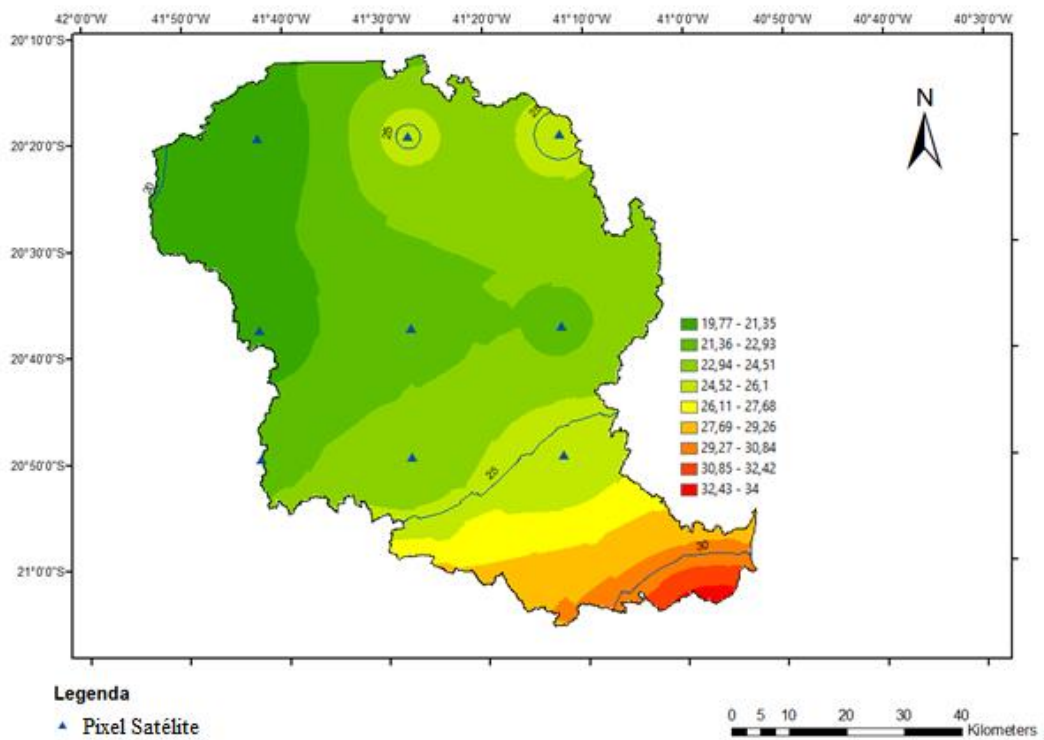


Figura 25 - Mapa de totais mensais precipitados de longo período para o mês de julho desenvolvido por meio da manipulação de imagens de satélite

Os totais mensais de longo período gerados pelos dois diferentes métodos foram comparados, conforme sumarizam resultados reunidos na Tabela 8 e na Figura 26.

Tabela 8 - Totais mensais precipitados de longo período obtidos por meio dos pluviômetros e das imagens do satélite TRMM, e as diferenças percentuais associadas

Acumulado (mm)			
Mês	Satélite	Isoietas	Diferença (%)
Jan	151,6	148,3	-2
Fev	101,1	100,7	0
Mar	164,9	178,3	8
Abr	97,8	113,9	16
Mai	55,5	54,0	-3
Jun	19,2	23,3	21
Jul	25,4	27,3	7
Ago	38,8	36,4	-6
Set	75,0	83,1	11
Out	114,7	111,7	-3
Nov	243,6	251,4	3
Dez	301,6	308,5	2

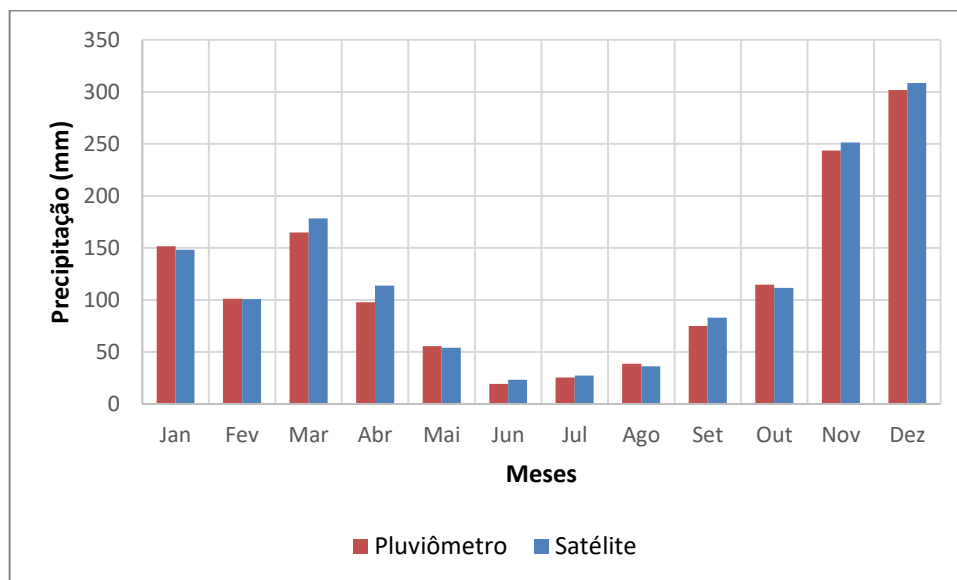


Figura 26—Representação gráfica dos totais mensais precipitados de longo período obtidos por meio dos pluviômetros e das imagens do satélite TRMM

A Figura 27 apresenta o gráfico de dispersão estabelecido para a região hidrográfica do rio Itapemirim, a partir dos totais mensais precipitados de longo período apropriados a partir de dados pluviométricos e das imagens de satélite. Neste gráfico é

apresentado, adicionalmente, o coeficiente de determinação associado ao ajuste de uma função linear entre os referidos valores de totais anuais precipitados (0,99), resultado considerado satisfatório.

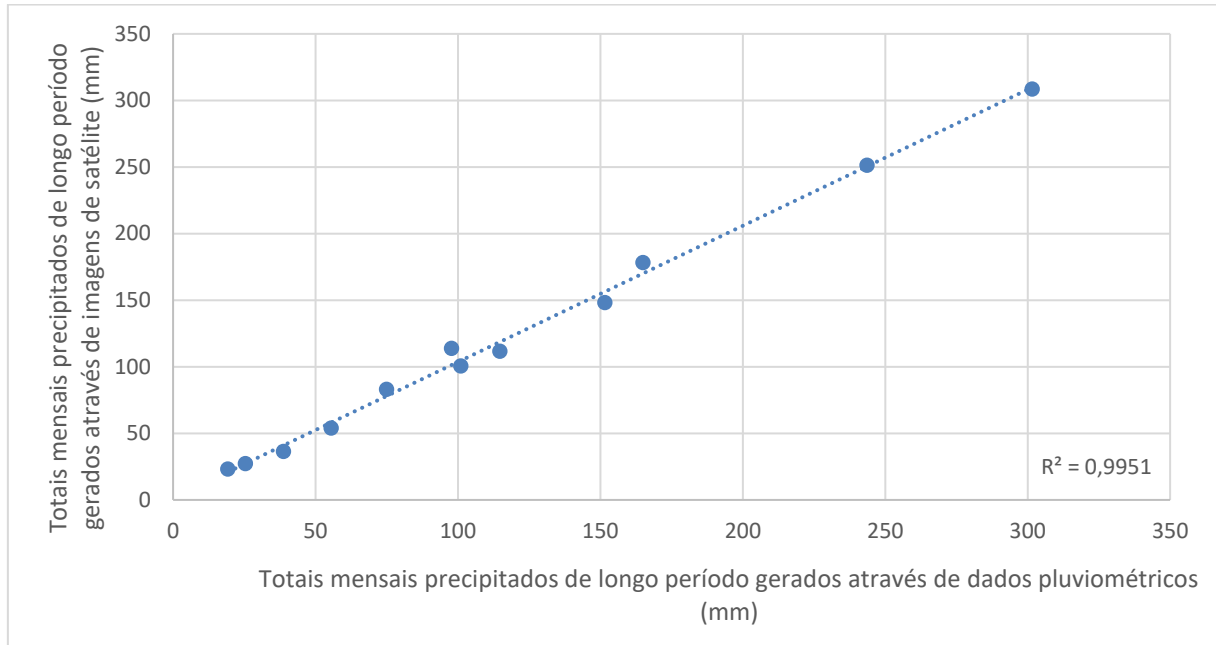


Figura 27 - Regressão Linear entre totais mensais de longo período estimados a partir de pluviômetros e da manipulação de imagens do satélite TRMM

A Tabela 9 reúne os resultados referentes a estatística quantitativa desenvolvida segundo recomendação da International Precipitation Working Group (IPWG), estabelecidos a partir das respostas obtidas pelos dados pluviométricos e pelo processamento das imagens do TRMM para a região hidrográfica do rio Itapemirim.

Tabela 9 - Resultados referentes a estatística quantitativa recomendada pelo IPWG

Estatística Quantitativa	
BIAS	1,03
EM	-4,0
REMQ	7,4
r	0,99

Para os totais mensais precipitados de longo período o parâmetro BIAS apresentou valor de 1,03 e o coeficiente de correlação valor de 0,99. O resultado foi considerado satisfatório, função da proximidade com os valores limites associados a estes

parâmetros para a correlação perfeita, reproduzindo-se padrões observados para valores característicos de precipitação anteriormente avaliados.

Nóbrega et al. (2008), empregando metodologia similar a que se empregou no presente estudo, avaliaram os totais mensais precipitados de longo período registrados na a bacia do rio Jamari, abrangendo área de estudo com área de aproximadamente 29.066,68 km². Os referidos autores concluíram que as respostas oferecidas pelo TRMM e pelos pluviômetros foram praticamente idênticas, ainda que não tenham apresentado parâmetros estatísticos que sustentem esta afirmação.

O Erro Médio entre precipitações estimadas por meio dos registros pluviométricos e a partir das imagens de satélite assumiu, para a região hidrográfica do rio Itapemirim, valor pouco significativo (-4,0 mm); como o valor encontrado apresentou sinal negativo, as precipitações estimadas a partir das imagens de satélite apresentaram-se maiores que aquelas estimadas a partir dos pluviômetros. A Raiz do Erro Quadrático Médio, por sua vez, também apresentou valor pouco relevante (7,4 mm).

5.2. ESTATÍSTICA DE OCORRÊNCIA

No desenvolvimento da estatística de ocorrência também foram analisadas as precipitações estimadas de 3h em 3h pelo produto 3b42 versão 7 do satélite TRMM. Conforme indicado na seção 4.3 (Base de dados do satélite TRMM), a série histórica dos dados foi disponibilizada, de forma online e no formato netCDF, pela NASA e, para manipulação dos dados disponibilizados foi utilizado o software Matlab, por meio do qual foi criado um código para leitura e organização dos dados (a rotina desenvolvida está apresentada no Apêndice A). Para análise da estatística de ocorrência foram considerados os totais diários de precipitação reistrados entre janeiro de 1998 e dezembro de 2015.

Após o processamento e sistematização dos dados, foi conduzida a comparação pontual das respostas oferecidas pelos pluviômetros e pelo satélite TRMM. Nesta etapa, foram considerados os registros de precipitação dos pixels do satélite e das estações mais próximas a eles.

Foram realizadas quatro comparações, considerando-se as estações localizadas nos municípios de Atílio Vivacqua, Castelo, Cachoeiro e Muniz Freire e os pixels 55, 64, 65 e 74.

Na Figura 28 é possível observar a localização dos pixels e das estações pluviométricas localizadas na região hidrográfica do rio Itapemirim e consideradas nesta etapa do trabalho, identificadas por Área I, Área II, Área III e Área IV.

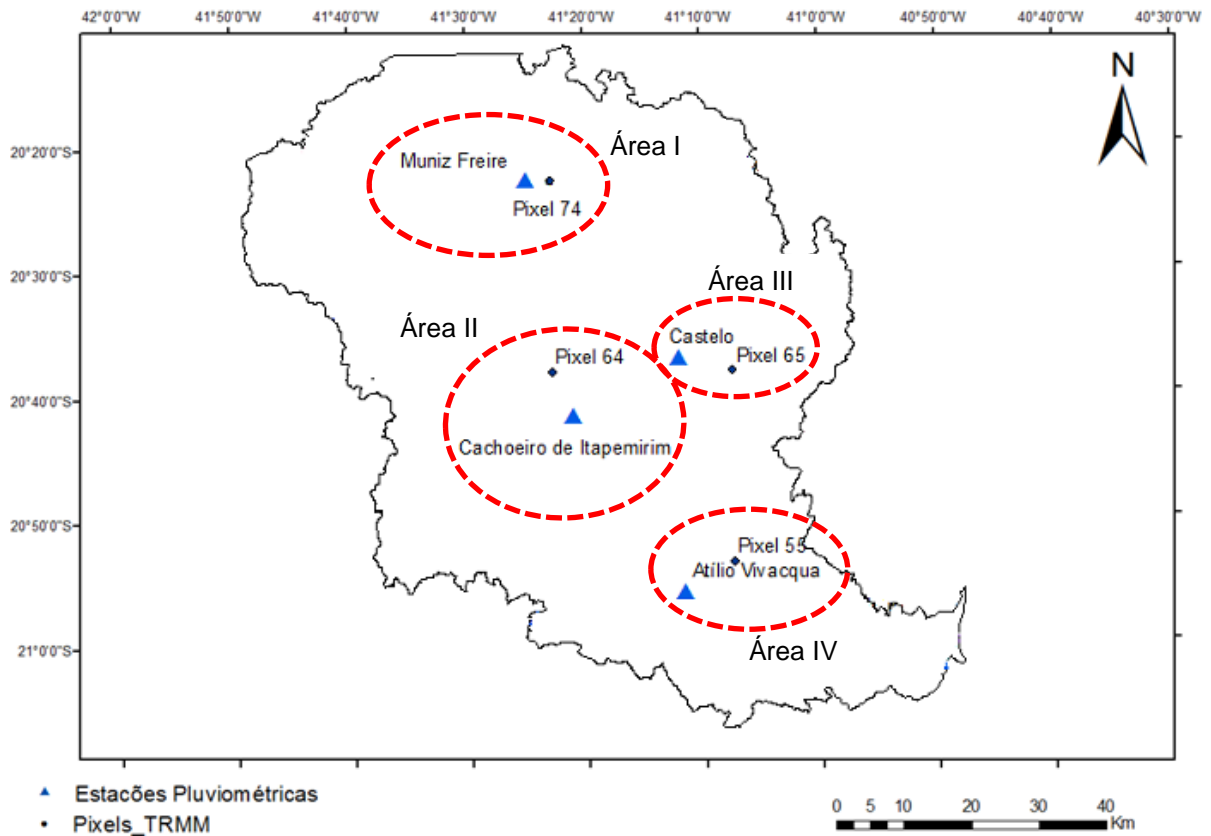


Figura 28 - Localização dos pixels do TRMM e das estações pluviométricas analisados na região hidrográfica do rio Itapemirim.

Para a apropriação da análise de ocorrência, foram utilizados como parâmetros de comparação o BIAS, a Probabilidade de Detecção (PD), a Taxa de Falso Alarme (TAF) e a Proporção Correta (PC). Como indicado na metodologia, o BIAS indica se o satélite subestima ou superestima os resultados, o PD indica a porcentagem de acerto em que os dias chuvosos são corretamente identificados, o TAF indica a porcentagem em que os dias de estiagem não foram corretamente identificados e o PC indica a porcentagem de acerto do satélite TRMM, sem considerar dias de chuvas ou dia de estiagem. Na Tabela 10 estão reunidos os valores obtidos para os referidos parâmetros nas diferentes porções da região hidrográfica do rio Itapemirim.

Tabela 10 - Resultado da estatística de ocorrência para diferentes porções da região hidrográfica do rio Itapemirim

Área	Parâmetros estatístico			
	BIAS	PD	TAF	PC
I	0,81	0,38	0,53	0,71
II	0,91	0,52	0,42	0,74
III	0,97	0,53	0,45	0,77
IV	0,89	0,45	0,50	0,77

A partir da simples inspeção da Tabela 10 é possível observar que, em todas as comparações realizadas, o parâmetro BIAS apresentou valor inferior a uma unidade, condição que indica que o satélite subestimou a ocorrência de precipitação, quando consideradas as precipitações registradas nas estações pluviométricas. Nas análises apresentadas, o BIAS ficou entre 0,81 e 0,97.

No estudo desenvolvido por Bernardi (2016), no Rio Grande do Sul, o parâmetro BIAS variou entre 0,82 e 1,04, com média de 0,95. Os resultados foram considerados representativos pelo autor, indicando boa resposta do satélite.

Os parâmetros PDe TAF apresentaram valores no entorno de 0,5, indicando que o satélite tem capacidade, em cerca de 50% dos casos, de indicar corretamente um dia chuvoso ou um dia sem chuva.

Bernardi (2016) indicou que a TAF foi, em média, de 22%, e o PD variou entre 0,84 e 0,90, com média de 0,87, para a área de estudo que abrangeu o estado do Rio Grande do Sul. Santos (2014), em estudo na Paraíba, encontrou valores de TAF, para valores diários, variando entre 28% e 55%. Já para o parâmetro PD foram alcançados valores da ordem de 50%.

Os valores apropriados para o parâmetro PC na região hidrográfica do rio Itapemirim variaram entre 0,71 e 0,77, indicando que o satélite tem eficiência de mais 70% na identificação da ocorrência de chuva.

No estudo conduzido por Bernardi (2016) para o Rio Grande do Sul, o índice PC variou entre 0,66 e 0,83, com média de 0,76. Neste contexto, o referido autor considerou que o satélite apresentou respostas consistentes com os dados pluviométricos disponíveis. Santos (2014), ao estudar o regime de precipitações do estado da Paraíba, alcançou valores de PC de aproximadamente 70%, chegando, em alguns

casos, a próximo de 100%. Ao analisar os resultados, Santos (2014) considerou que, a partir do parâmetro PC, o satélite apresentou bom desempenho na identificação das precipitações.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões do presente trabalho podem ser assim sumarizadas:

- As estimativas de precipitações realizadas para a região hidrográfica do rio Itapemirim por meio do produto 3B42, versão 7, do satélite TRMM, apresentaram-se consistentes, quando comparadas com as estimativas de precipitações obtidas por meio dos dados pluviométricos. Os parâmetros que conformaram a avaliação da quantidade e da ocorrência de precipitação apresentaram valores considerados satisfatórios, alinhados com aqueles encontrados na literatura técnica corrente, ainda que a região hidrográfica do rio Itapemirim apresente área consideravelmente menor que as encontradas nos estudos que empregam imagem de satélite para descrição do regime de precipitações.
- As imagens do satélite TRMM apresentaram uma tendência de superestimar as precipitações no período chuvoso e de subestimar a precipitação no período seco, quando considerados como referência os registros pluviométricos. Ainda que consideradas satisfatórias, as respostas obtidas a partir da manipulação das imagens de satélite associadas aos períodos secos apresentaram menor qualidade.
- As estimativas associadas à manipulação das imagens do TRMM permitiram reproduzir as variações das precipitações na região hidrográfica, espacialmente e temporalmente. Desta forma, as estimativas das imagens de satélite podem complementar as informações das redes pluviométricas, suprir as áreas com cobertura deficiente de pluviômetros, além das áreas de difícil acesso ao observador, melhorando a estimativa da variabilidade espacial.

São consideradas recomendações para estudos futuros:

- Avaliar o emprego das imagens do satélite TRMM para estimativas de precipitação em outras bacias hidrográficas do estado do Espírito Santo;
- Reproduzir o estudo considerando imagens de outros satélites e produtos de estimativa de precipitação que utilizem sensoriamento remoto;

- Avaliar o uso das precipitações estimadas a partir das imagens do satélite TRMM como dado de entrada para simulações hidrológicas, como aquelas que envolvem modelos chuva-vazão.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K.N; REIS, J.A.T; MENDONÇA, A.S.F. Avaliação do desempenho dos métodos expeditos de determinação de equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v.1, n.35, p. 63-80, 2015.
- AMITAI, E.; UNKRICH, C. L.; GOODRICH, D. C.; HABIB,E.; THILL, B. Assessingsatellite-basedrainfallestimates insemiaridwatershedsusingthe USDA-ARS WalnutGulchgaugenetwork and TRMM PR. **J. Hydrometeorol.**, v. 13, n. 5, p. 1579-1588, 2012.
- ANJOS, R, S.; NÓBREGA, R, S.; ARAÚJO, F, E.; SANTOS, P, F, C. Uso da estimativa de precipitação do TRMM para a cidade de Caruaru-PE. **I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro**, Campina Grande, Pr, 2013.
- ARAÚJO, A. N.; GUETTER, A. K. Validação da Chuva Estimada por Satélite "CMORPH" na Modelagem Hidrológica do Alto Iguaçu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 3, p. 189-198, 2007.
- ARIAS-HIDALGO, M.; BHATTACHARYA, B.; MYNETT, A.E.; VAN GRIENSVEN, A. Experiences in usingthe TMPA-3B42R satellite data tocomplementraingaugemeasurementsin theEcuadoriancoastalfoothills. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v.17, n. 7, p. 2905-2915, 2013.
- AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Tradução: Maria Juraci dos Santos. 15.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- BACK, A.J. Avaliação de estimativas de chuvas intensas de Florianópolis, SC obtidas por diferentes metodologias. **In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2013**, Campo Grande, 2014.
- BANZE, B. E. **Avaliação dos Modelos de Estimativa de Precipitação do TRMM em Moçambique**. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- BARRERA, D. F. Precipitationestimationwiththehydro-estimatortechnique: its validationagainstraingaugeobservations. **In: VII Congresso daInternationalAssociationofHydrologicalSciences- IAHS**, Fozdo Iguaçu, 2005.

BERNARDI, E. C. S. **Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.

BERTONI, J.C., TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

BRIER, G. W.; ALLEN, R. A. Verification of weather forecasts. In: **Compendium of meteorology**. Boston, 1950, cap. 68, p.841-848.

CAMPOS, A.R.; SANTOS, G.G.; SILVA, S.B.C.; FILHO, J. I.; LOURA, D. S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuva para o estado do Piauí. **Revista Ciência e Agronomia**, v. 45, n.3, p. 488-498, 2014.

CAMPOS, R. F. **COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO INTERPOLADOS E DO TRMM (3B43V7)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias e Engenharias), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2017.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Apostila de Hidrologia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.

CEMIG (**Companhia Elétrica de Minas Gerais**). Disponível em: <http://www.cemig.com.br/ptbr/a_cemig_e_o_futuro/sustentabilidade/nossos_programas/ambientais/peixe_vivo/paginas/bacias_do_leste.aspx>. Acesso em: 17 mai. 2016.

CENTENO, J.A.S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba, 2004. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~centeno/uni/pdi/index.html>>. Acesso em 27 mai 2016.

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.

CHORLEY, R.J.; BARRY, R.G. **Atmosfera, tempo e clima**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2004.

CLARKE, R. T.; BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W. Issues of spatial correlation arising from the use of TRMM rainfall estimates in the Brazilian Amazon. **Water Resour. Res.**, v. 47, n. 5, 2011.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados. **In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 1. (GEOPANTANAL)**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, p. 47-56, 2006.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. 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, W. e TUCCI, C.E.M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Rev. Bras. de Rec. Hid.** v. 6, n. 1, p. 95-118, 2001.

COUNCIL, N. R. **Assessment of the Benefits of Extending the Tropical Rainfall Measuring Mission: A Perspective from the Research and Operations Communities, Interim Report**. Washington, DC: The National Academies Press, 2006.

CONTI, G. N.; MENDES, C. A. B. Sensoriamento remoto para estimativa da precipitação no Estado do Rio Grande do Sul. **In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. (SBSR)**. Belo Horizonte. São José dos Campos: INPE. p. 1153-1160, 2003.

COUTINHO, A. P.; SILVA, F.B; SILVA, R.O; ANTONINO, A.C.D; MONTENEGRO, S.M.G.L. Determinação de Equações de Chuvas Intensas para Municípios das Mesorregiões do Estado de Pernambuco com dados pluviométricos. **In Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Fortaleza, 2010.

DANELICHEN, V.H.M.; MACHADO, N.G.; SOUZA, M.C.; BIUDES, M.S. TRMM Satellite performance in estimating rainfall over the Midwest region of Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.9, n.2, p.22-31, 2013.

DINKU, T.; CHIDZAMBWA, S.; CECCATO, P.; CONNOR, S. J.; ROPELEWSKI, C. F. Validation of high-resolution satellite rainfall products over complex terrain. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 14, 2007.

EBERT, E. Methods for verifying satellite precipitation estimates. Measuring Precipitation from Space — EURAINSAT and the future. **In: Advances in Global Change Research**, 2007, cap. 27, p. 345–356.

FENSTERSEIFER, C. A. **Qualidade das estimativas de precipitações derivadas de satélites na bacia do Alto Jacuí - RS. Santa Maria, RS, 2013.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

FERREIRA, A. G. **Meteorologia prática.** São Paulo: Oficina de textos, 2006.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FLOREZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 1ª. ed. Curitiba. Editora UFPR, 2002.

FRANCHITO, S. H.; RAO, V.; VASQUES, A.; SANTO, C.; CONFORTE, J. C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **J. Geophys.** v.114, p. 1-9, 2009.

Fuentes, J. D.; Geerts, B.; Dejene, T.; D'Odorico, P.; Joseph E. Vertical attributes of precipitation systems in West Africa and adjacent Atlantic Ocean. **Theor. Appl. Climatol.** v. 92, p. 181 – 193, 2008.

GEOBASES – **SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO.** Navegador Geobases. Disponível em: <http://www.geobases.es.gov.br/publico/AcessoNavegador.aspx?id=142&nome=NAVEGADOR_GEOBASES>. Acesso em: 10 out. 2016

GOMES, R. S.; SILANS, A. M. B. P. Comparação de Diversos Métodos de Cálculo da Precipitação Média sobre uma Bacia Hidrográfica. **In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRH.** Natal, RN, 2000.

GPM. **Global Precipitation Measurement (GPM),** Grenbelt: GDFC. Disponível em: <<http://pmm.nasa.gov/GPM>>. Acesso em: 11 jun 2016.

GUPTA, R. S. **Hydrology and hydraulic systems.** Illinois: Waveland Press, 1995.

HAND, L. M.; SHEPHERD, J. M. An investigation of warm season spatial rainfall variability In Oklahoma city: possible linkages to urbanization and prevailing wind. **J. Appl. Meteorol. Climatol.**, v. 48, n. 2, p. 251-269, 2009.

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; WOLFF, D. B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-

global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38-55, 2007.

IPWG (International Precipitation Working Group). **Products and Validation**. Disponível em <<http://www.isac.cnr.it/~ipwg/>>. Acesso em: 26 out de 2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

JI, X.; CHEN, Y. Characterizing Spatial Patterns of Precipitation Based on Corrected TRMM 3B43 Data over the Mid Tianshan Mountains of China. **Journal of Mountain Science**, v. 9, n. 5, p. 628 – 645, 2012.

KAMARIANAKIS, Y.; FEIDAS, H.; KOKOLATOS, G.; CHRYSOULAKIS, N.; KARATZIAS, V. Evaluating remotely sensed rainfall estimates using nonlinear mixed models and geographically weighted regression. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, n. 12, p. 1438-1447, 2008.

KIDDER, S. Q.; HAAR, T. H. V. **Satellite meteorology: na introduction**. Academic Press. United States of America, 1995.

KIRSTETTER, P. E.; VILTARD, N.; GOSSET, M. An error model for instantaneous satellite rainfall estimates: Evaluation of BRAIN-TMI over West Africa. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, doi:10.1002/qj.1964, 2012.

KLIGERMAN, D. C. **Gestão Ambiental Integrada: Recursos Hídricos, Saneamento e Saúde**. 2001. Tese (Doutorado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

KUMMEROW, C.; WILLIAM, B.; TOSHIKI, K.; JAMES, S.; JOANNE, S. The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, n. 15, v. 3, p. 809-817, 1998.

KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BARNES, W.; CHANG, A. S.; ADLER, R.; OLSON, W. S. The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit. **Journal of Applied Meteorology**, p. 1965-1982, 2000.

LANI, J. L.; REZENDE, S. B.; RESENDE, M. Estratificação de ambientes com base nas classes de solos e outros atributos na bacia do rio Itapemirim, Espírito Santo. **Revista Ceres**, v. 48, n. 276, p. 239-261, 2001.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; SOUZA, M. B.; ROCHA FILHO, J. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. Anais, **In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009.**

LI, X.; ZHANG, Q.; YE, X. Dry/Wet Conditions Monitoring Based on TRMM Rainfall Data and Its Reliability Validation over Poyang Lake Basin, China. **Water**, n. 5, p. 1848-1864, 2014.

LINSLEY, R. K.; FRANZINI, J. B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1978.

LOUZADA, F. L. R. O. **Balço hídrico climatológico com dados estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission para a bacia hidrográfica do Rio Doce**. 2016. Tese (Doutorado em Recursos hídricos e Geoprocessamento em sistemas agrícolas), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2016.

LUINI, L.; CAPSONI, C. MultiEXCELL: A new rainfall model for propagation applications, **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 59, n. 11, p. 4286 – 4300, 2011.

MAIDMENT, D.R. **Handbook of hydrology**. New York: Ed. McGraw-Hill, 1ª.ed, p.1424, 1993.

MCBRIDE, J. L.; EBERT, E. E. Verification of quantitative precipitation forecasts from operational numerical weather prediction models over Australia. **Weather and Forecasting**, v. 15, n. 1, p. 103-121, 2000.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 536 p., 2001.

MIGUEL, B. H. **Análise comparativa entre dados GPM e estações pluviométricas no Vale do Itajaí/SC**. Monografia da disciplina de Introdução ao Geoprocessamento. Instituto nacional de pesquisas espaciais. São José dos Campos, 2016.

NALI, J.O.; REIS, J.A.T.; REIS, A.O.P.; SILVA, F.G.B. Avaliação da resposta de diferentes de equações de chuvas intensas obtidas para as bacias hidrográficas dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória, ES. **In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007.

NASDA. **TRMM Data Users Handbook**. [s.l.] National Space Development Agency of Japan, 2001.

NICHOLSON, S. E.; SOME, B.; MCCOLLUM, J.; NELKIN, E.; KLOTTER, D.; BERTE, Y.; GAYE, I. Validation of TRMM and Other Rainfall Estimates with a High-Density Gauge Dataset for West Africa. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products. **Journal of Applied Meteorology**, v. 42, n. 10, p. 1355-1368, 2003.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. **Rev. Geografia**, v. 25, n. 1, p. 6-20, 2008.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, p. 388, 2010.

OCHOA, A.; PINEDA, L.; CRESPO, P.; WILLEMS, P. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific-Andean region of Ecuador and Peru. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 18, n. 8, p. 3179-3193, 2014.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; GOODRICH, D. C.; WENDLAND, E.; GUPTA, H. V. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. **Water Resour. Res.**, v. 50, n. 9, p. 7100-7114, 2014.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. O. A.; ROMÃO, P. A.; CARVALHO D. F. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 30, n. 1, p. 23-27, 2000.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981.

OVERREM, A.; BUISSAND, A.; HOLLEMAN, I.; Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. **Journal of Hydrology**, v. 348, n. 1, p. 124-134, 2008.

PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C.; CLARKE, R. T.; COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G. Reduced precipitation over large water bodies in the Brazilian Amazon shown from TRMM data. **Geophys. Res. Lett.**, v. 38, n. 4, 2011.

- PAZ, A. R.; COLLINSCHONN, W. Avaliação de estimativas de campos de precipitação para modelagem hidrológica distribuída. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 109-120, 2011.
- PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelosatélite TRMM para o Brasil. **RBRH: revista brasileira de recursos hídricos**, v. 18, n. 3, p. 139-148, 2013.
- PETERSEN, W. A.; NESBITT, S. W.; BLAKESLEE, R. J.; CIFELLI, R.; HEIN, P.; RUTLEDGE, S. A. TRMM observations of intraseasonal variability in convective regimes over the Amazon. **J. Climate**, v. 15, p.1278–1294, 2002.
- PETTY, G. W. The status ofsatellite-basedrainfallestimation. **Remote SensingofEnvironment**, v. 51, n. 1, p. 125-137, 1995.
- PINTO, N. S. et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: EdgarBlücher, 1976.
- PMM. **Precipitation Measurement Missions**. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.
- RAMAGE, K.; JOBARD, I.; LEBEL, T.;DESBOIS, M. Satelliteestimationof 1-day to10-day accumulated precipitation: comparisonandvalidation over tropical Africaof TRMM,METEOSAT and GPCP products. IN: **The 2003 EUMETSAT MeterologicalSatelliteConference**. Weimar, Alemanha, 2003.
- REIS, J. A. T.; GUIMARAES, M. A. ; BARRETO NETO, A. A. ; BRINGHENTI, J. R. . Indicadores regionais aplicáveis à avaliação de vazão dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Itabapoana. *Geociências (UNESP)*, v. 27, n. 4, p. 509-516, 2008.
- RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, T. S.; LOBATO, F. A. O. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para localidades de fortaleza e pentecoste. *Scientia Agraria*, v.9, n.4, p. 511-519, 2008.
- ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONCALVES, L. G.G.; VILA, D. A. Combining TRMM andsurfaceobservationsofprecipitation: techniqueandvalidation over SouthAmerica. **WeatherForecasting**, v. 25, n. 3, p. 885-894, 2010.
- SANTOS, A. P. C.; SOUZA, J. C. **Análise de alternativas de enquadramento para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim sob a ótica do setor de saneamento básico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em EngenhariaAmbiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

SANTOS, A. S. P. **Análise de desempenho dos campos de chuvas estimados pelo satélite TRMM na Paraíba, para fins de modelagem hidrológicas distribuídas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SANTOS E SILVA, C. M.; FREITAS, S. R.; GIELOW, R.; BARROS, S. S. Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 27, n. 3, p. 337-346, 2012.

SCHUMACHER, C.; HOUZE JR, R. A. Mesoscale Convective Systems over Sub-Saharan Africa and the Tropical East Atlantic. **26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology**, Miami-EUA, 2004.

SENE, K. *Hydrometeorology: forecast and applications.* New York: Springer, 2009.

SHEPHERD, J. M.; BURIAN, S. J. Detection of urban-induced rainfall anomalies in a major coastal city. **Earth Interactions**, v. 7, n. 4, p. 1-19, 2003.

SILVA, A. B. **Sistemas de informações georreferenciadas: conceitos e fundamentos.** São Paulo: editora da UNICAMP, 2003.

SILVA, M. A. V. **Meteorologia e climatologia.** Recife/PE: INMET, 2006.

SILVA, D. F.; ROCHA, J. V. Interpolação dos dados observados de precipitação pluvial e comparados com dados estimados pelo satélite TRMM. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR.** Paraná, 2013.

SOARES, A. S. D.; 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.

SU, F.; HONG, Y.; LETTENMAIER, D. P. Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. **J. Hydrometeorol.**, v. 9, n. 4, p. 622-640, 2008.

TANAKA, L.; SATIAMURTY, P.; MACHADO, L. A. T. Diurnal variation of precipitation in central Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, v.34, n. 13, 2013.

TRMM. **Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)** Home Page. Greenbelt: GSFC. Disponível em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em: 01 out 2016.

- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 3^a ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 2004.
- TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. 2^a ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 2005.
- TURK, F. J.; MEHTA, A. V. Towards improvements in short timescale satellite-derived precipitation estimates using blended satellite techniques, **In: Measuring Precipitation from Space**, USA, 2007, cap. 22, p. 281–290.
- VARIKODEN, H.; PREETHI, B.; REVADEKAR, J. V. Diurnal and spatial variation of Indian summer monsoon rainfall using tropical rainfall measuring mission rain rate. **J. Hydrol.**, v. 475, n. 1, p.248-258, 2012.
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e Aplicações**. Viçosa – MG. Imprensa Universitária, 1991.
- VISSMAN, W. e LEWIS, G. L. **Introduction to hydrology**. 4th edition. HarperCollins College Publishers. Nova Iorque, 1995.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil. 1975.
- WAGNER, P. D.; FIENER, P.; WILKEN, F.; KUMAR, S.; SCHNEIDER, K. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. **J. Hydrol.**, v. 464-465, n. 1, p. 388-400, 2012.
- WARD, A.; ELLIOT, W. J. **Environmental hidrology**. Flórida: CRC LEWIS, 1995.
- WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2 ed. San Diego: Elsevier, 2006.
- WOLDEMESKEL F. M.; SIVAKUMAR, B.; SHARMA, A. Merging gauge and satellite rainfall with specification of associated uncertainty across Australia. **J. Hydrol.**, v. 499, p. 167-176, 2013.
- World Meteorological Organization. **Guide to the global observing system**. n. 488. Geneva: WMO, 2007.

WWRP/WGNE (World Weather Research Programme / Working Group on Numerical Experimentation). **Forecast Verification - Issues, Methods and FAQ.** Disponível em <http://www.bom.gov.au/bmrc/wefor/staff/eee/verif/verif_web_page.html>. Acesso em: 19 out 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ROTINA MATLAB

```

function LER_NetCDF_TRMM

% A sample program in Matlab
% This program is to read a 3-hourly 3B42-V7 TRMM NetCDF file

% LER ARQUIVO CONTENDO AS PASTAS A SEREM LIDAS
PASTA = importdata('nomes.txt');
Narq = size(PASTA,1); % conta quantos arquivos serão lidos

% Caminho para a pasta onde estão os arquivos compactados
ipath = 'C:\Users\Kaka\Desktop\TRMM3h\';

% Nome do arquivo de saída
arq_chuva = 'Chuva_TRMM_NETCDF_OP1.txt';
arq_chuva2 = 'Chuva_TRMM_NETCDF_OP2.txt';
arq_chuva3 = 'Chuva_TRMM_NETCDF_OP2.xlsx';
% delete ([arq_chuva]);

lati = -21.125;
latf = -19.875;
Nlat = abs(latf - lati)/.25 + 1;

loni = -41.375;
lonf = -39.875;
Nlon = abs(lonf - loni)/.25 + 1;

% posição da latitude inicial da área de interesse
plati = abs(lati - (-49.875))/.25+1;
% posição da latitude final da área de interesse
platf = plati + Nlat - 1;
% posição da longitude inicial da área de interesse
ploni = abs(loni - (-179.875))/.25+1;
% posição da longitude final da área de interesse
plonf = ploni + Nlon - 1;

precaux3 = zeros(Narq,Nlat*Nlon);

    day_acul = zeros(1, Nlat*Nlon);
mdm_matrix = zeros(floor((Narq / 8)), Nlat*Nlon);
    j_index = 1;
    initialize = 0;

for i = 1:Narq

    aux3=i;

% Armazenando o nome do arquivo a ser lido
    ARQprec = char(PASTA(i,:));

% Armazenando o ano
    ano = [ARQprec(1,6:9)];

% Armazenando o mês
    mes = ARQprec(1,10:11);
% Armazenando o dia

```

```

    dia = ARQprec(1,12:13);

% Armazenando a hora
    hora = ARQprec(1,15:16);

% Obtém a variável precipitação do arquivo lido
    prect = hdfread(ARQprec, 'precipitation');

% Obtém a variável precipitação na área de interesse

prect = prect(ploni:plonf,plati:platf);

for i = 1:Nlat
for k = 1:Nlon
if prect(k,i) < 0.0
    prect(k,i) = 0.0;
else
    prect(k,i) = prect(k,i)*3.0;
end
end
end

    precaux = reshape(prect',Nlat*Nlon,1);
    precaux2 = precaux';
    precaux3(aux3,:) = precaux2;
if (max(max(prect)) < 0)
    dlmwrite('ERROS.txt',ARQprec,'-append','delimiter',' ')
    disp(['ERRO = ' ARQprec])
end

if (initialize < 1)
dia_aux = dia;
    initialize = 1;
end

if (strcmp(dia_aux, dia) == 0)
mdm_matrix(j_index, :) = day_acul;
    j_index = j_index + 1;
    day_acul = zeros(1, Nlat*Nlon);
    initialize = 0;

    day_acul = day_acul + precaux2;

else
    day_acul = day_acul + precaux2;

end

end

mdm_matrix(j_index, :) = day_acul ;

% Escrevendo uma matriz com linhas (dias) e colunas (ponto grade) em EXCEL
    xlswrite(arq_chuva3, mdm_matrix);

end

```

APÊNDICE B - MAPAS DE PRECIPITAÇÃO PARA OS TOTAIS ANUAIS GERADOS PELO MÉTODO DAS ISOIETAS

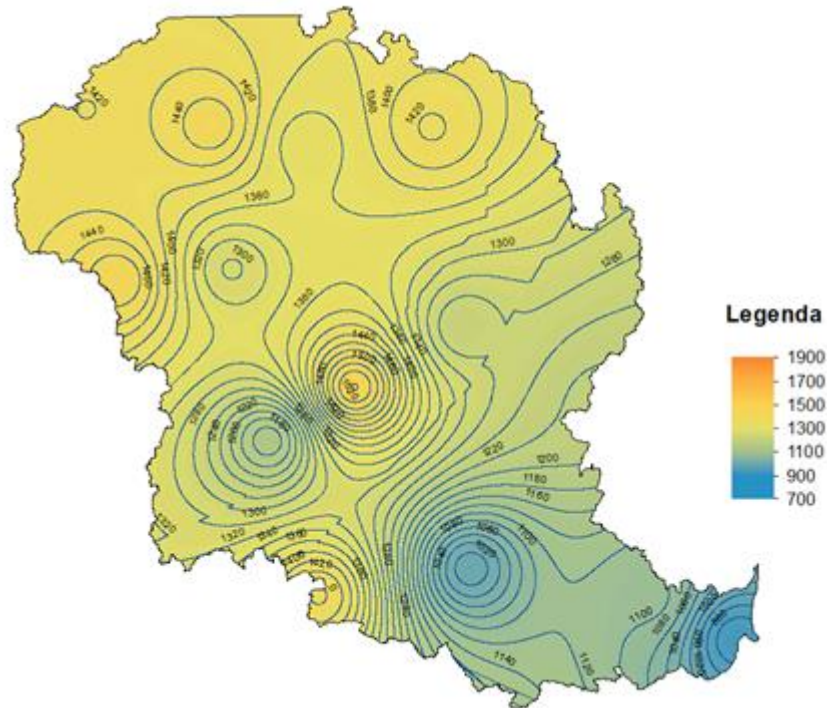


Figura 29 - Mapa de precipitação do ano de 1998

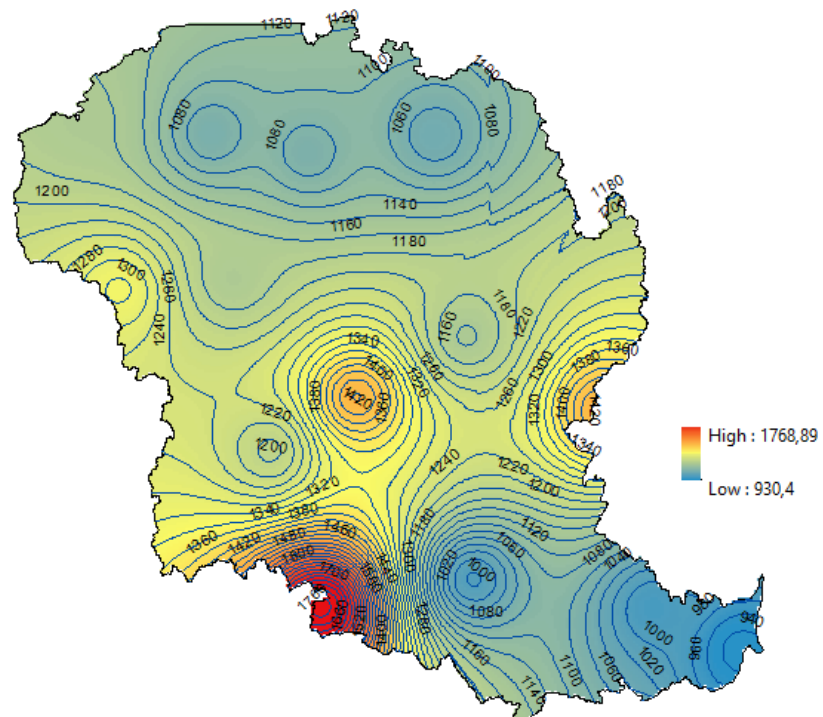


Figura 30 - Mapa de precipitação do ano de 1999

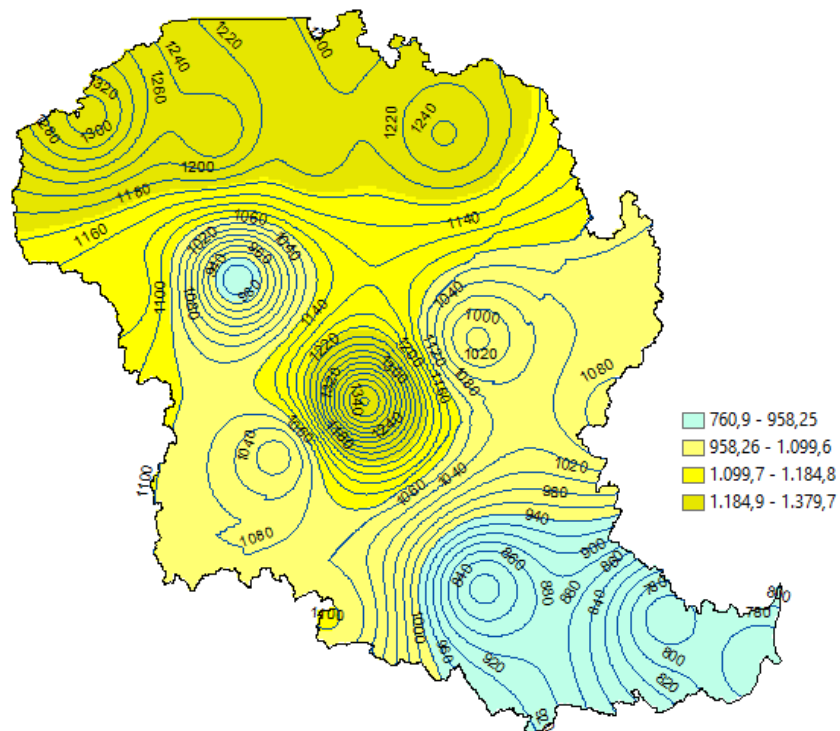


Figura 31 - Mapa de precipitação do ano de 2000

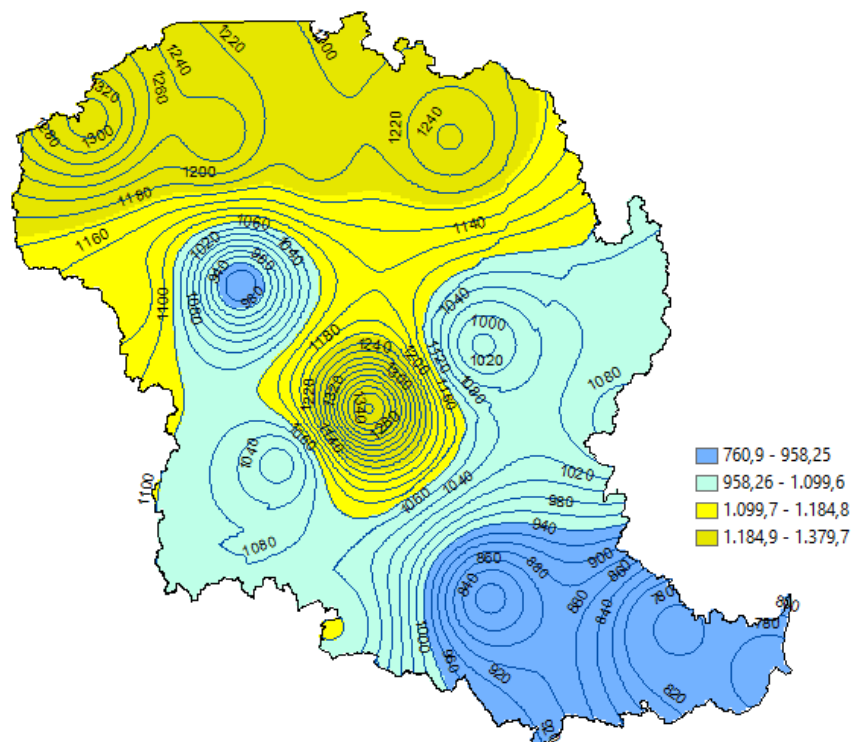


Figura 32 - Mapa de precipitação do ano de 2001

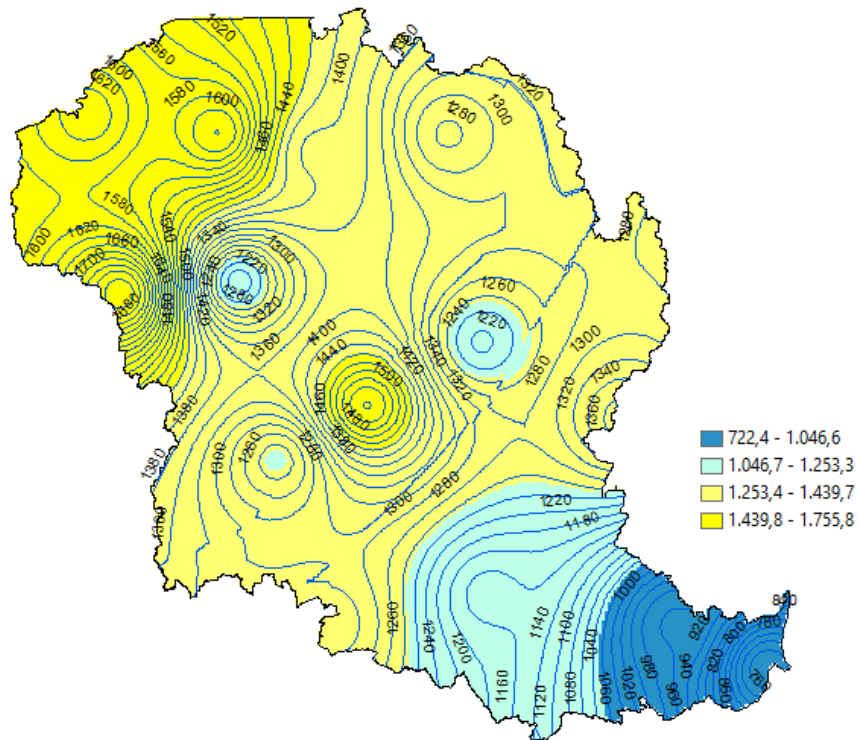


Figura 33 - Mapa de precipitação do ano de 2002

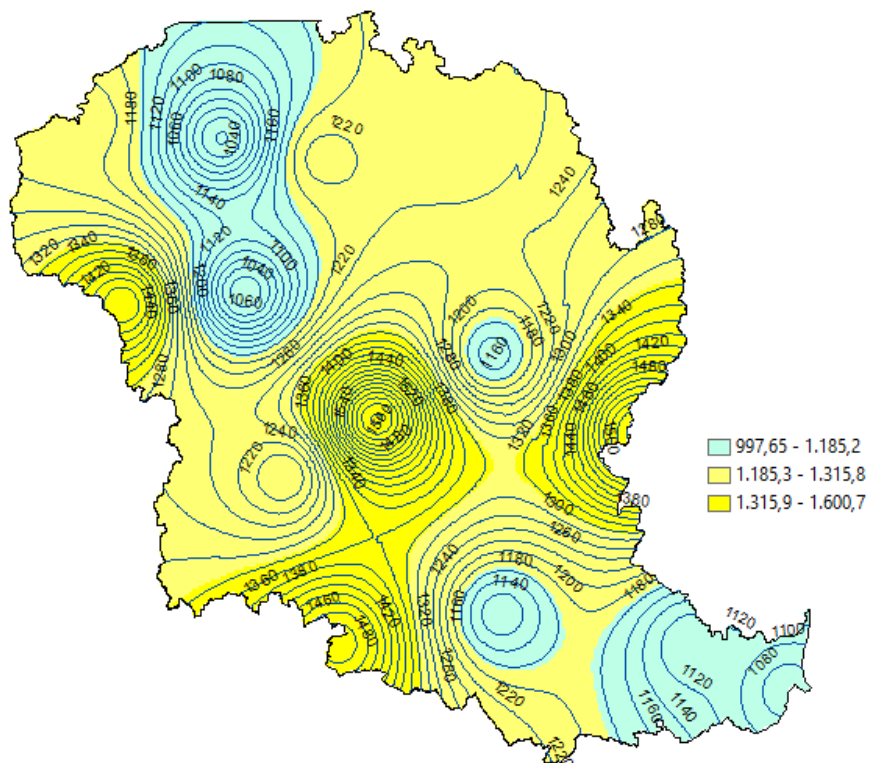


Figura 34 - Mapa de precipitação do ano de 2003

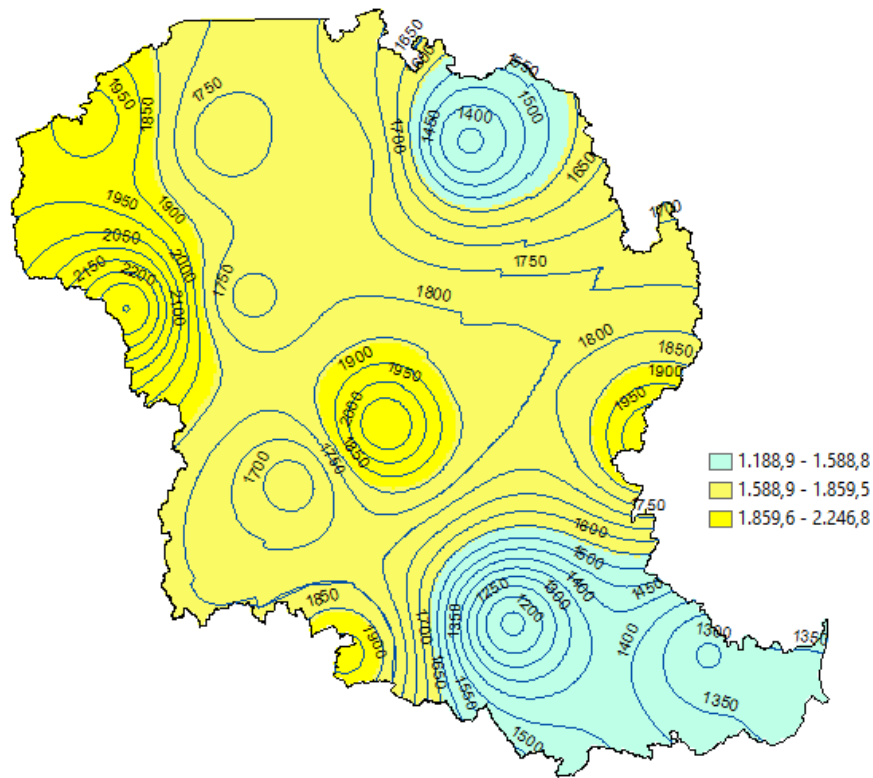


Figura 35 - Mapa de precipitação do ano de 2004

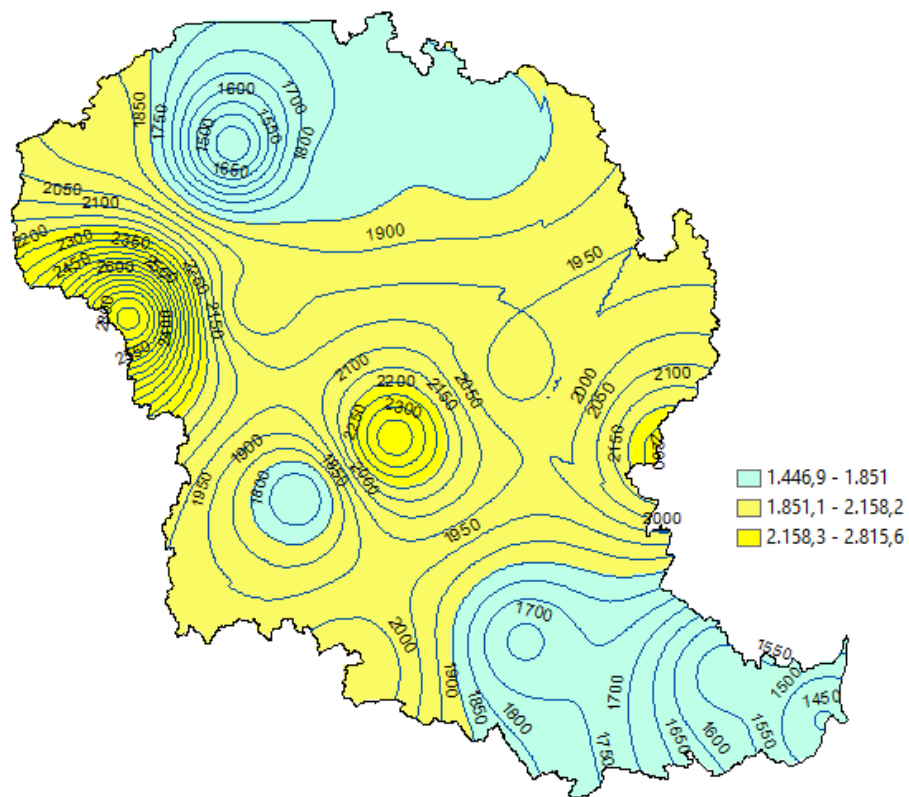


Figura 36 - Mapa de precipitação do ano de 2005

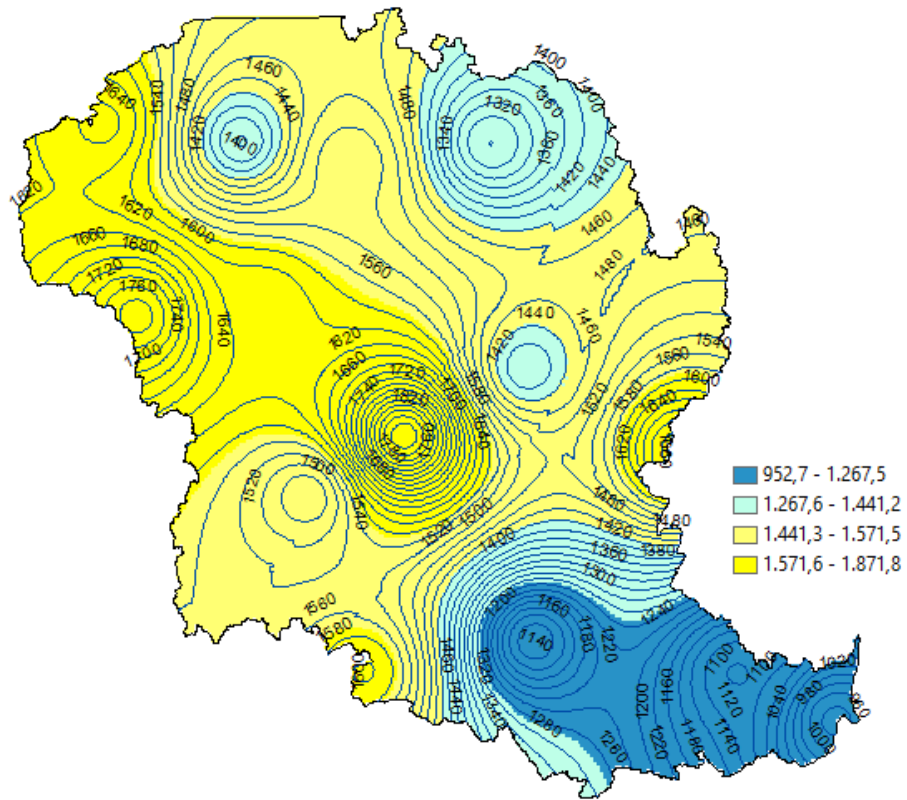


Figura 37 - Mapa de precipitação do ano de 2006

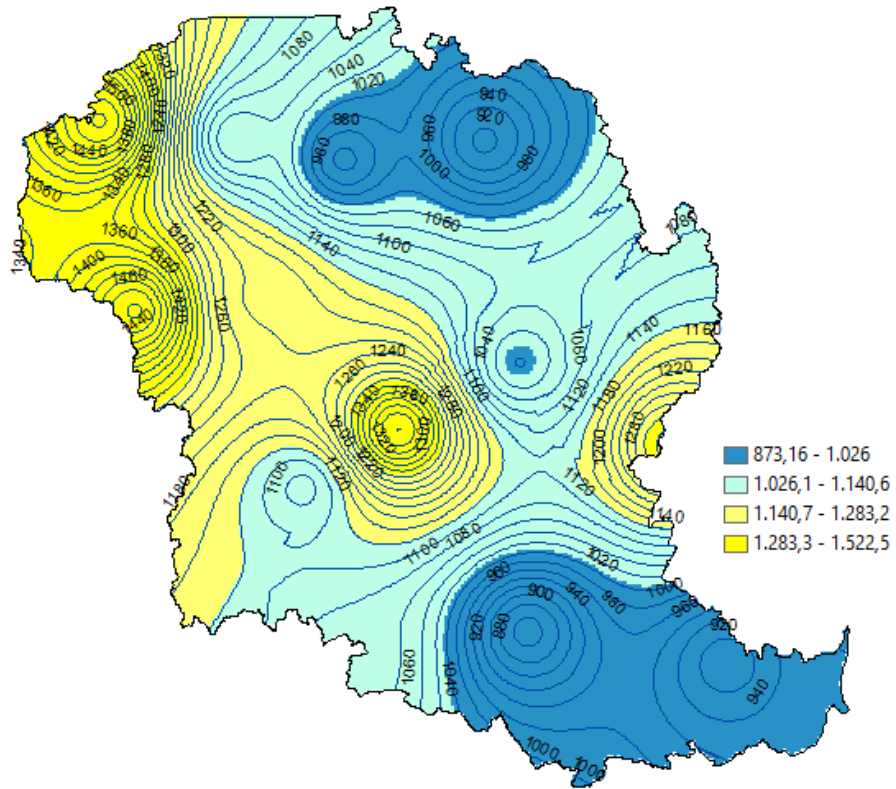


Figura 38 - Mapa de precipitação do ano de 2007

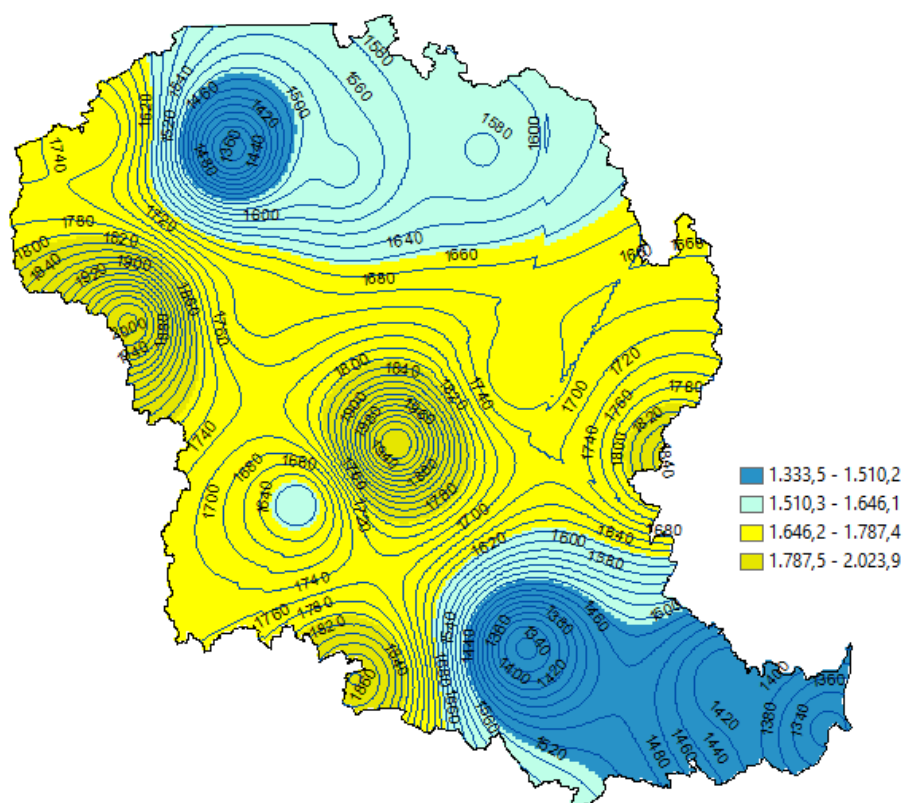


Figura 39 - Mapa de precipitação do ano de 2008

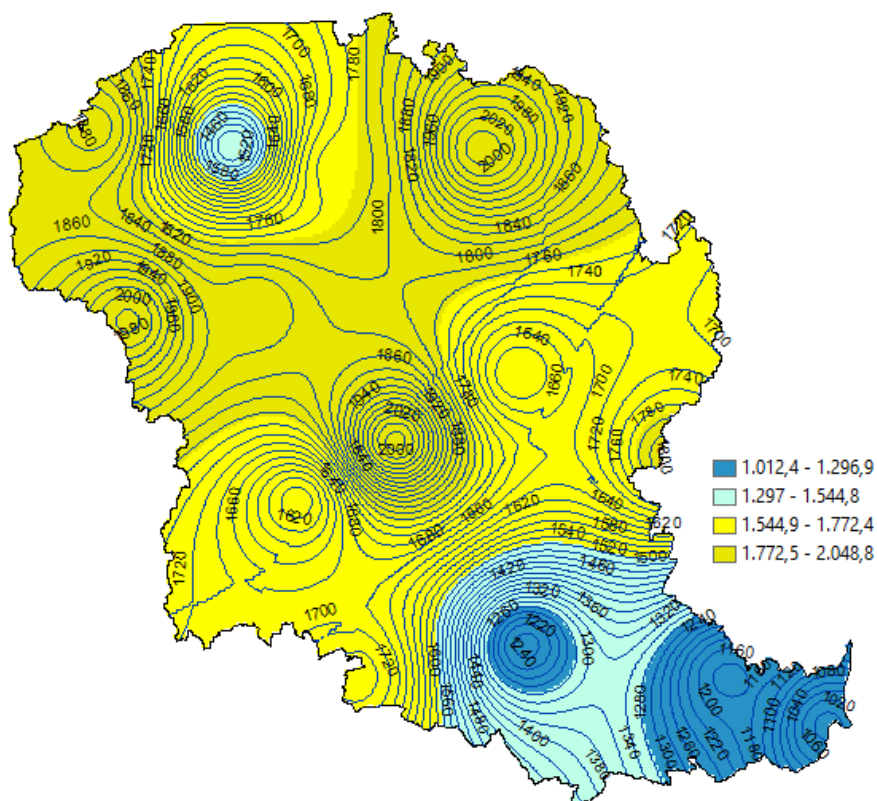


Figura 40 - Mapa de precipitação do ano de 2009

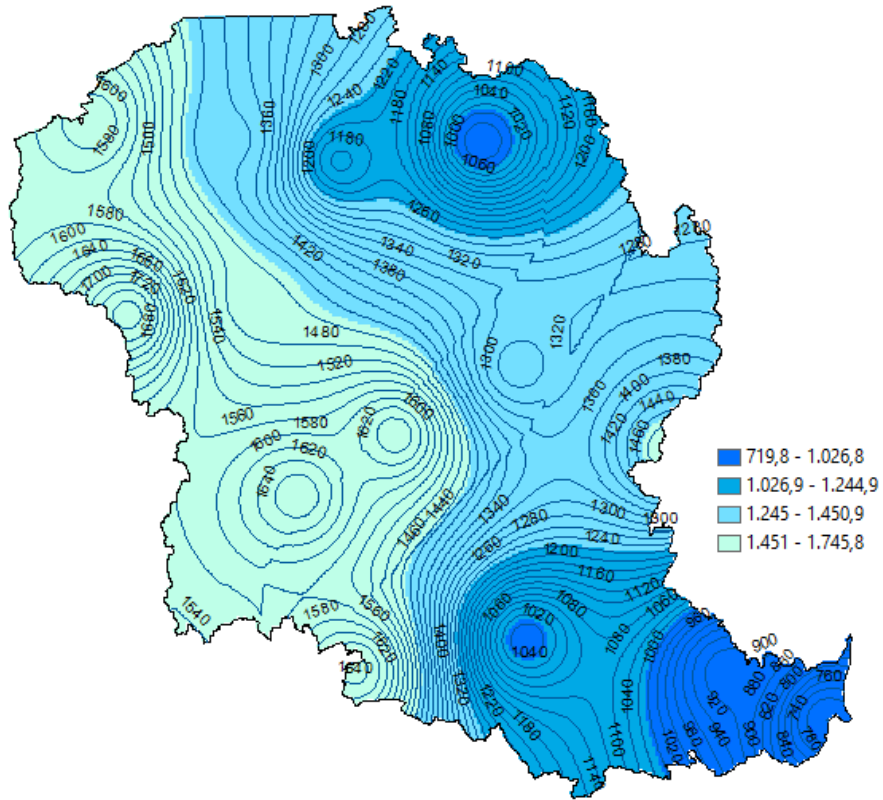


Figura 41 - Mapa de precipitação do ano de 2010

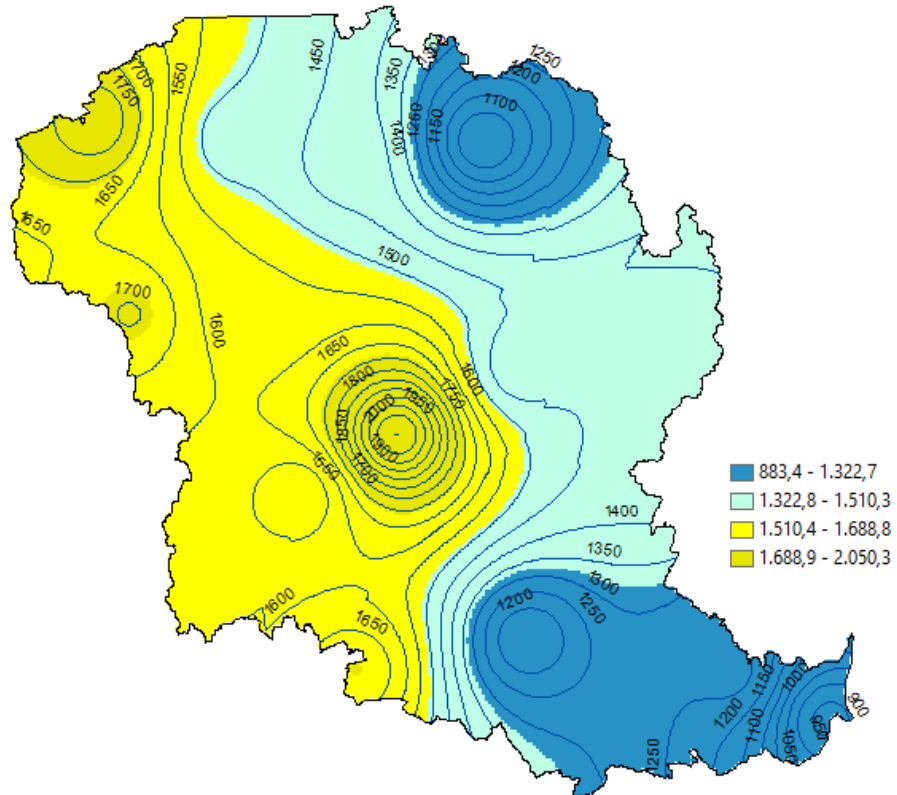


Figura 42 - Mapa de precipitação do ano de 2011

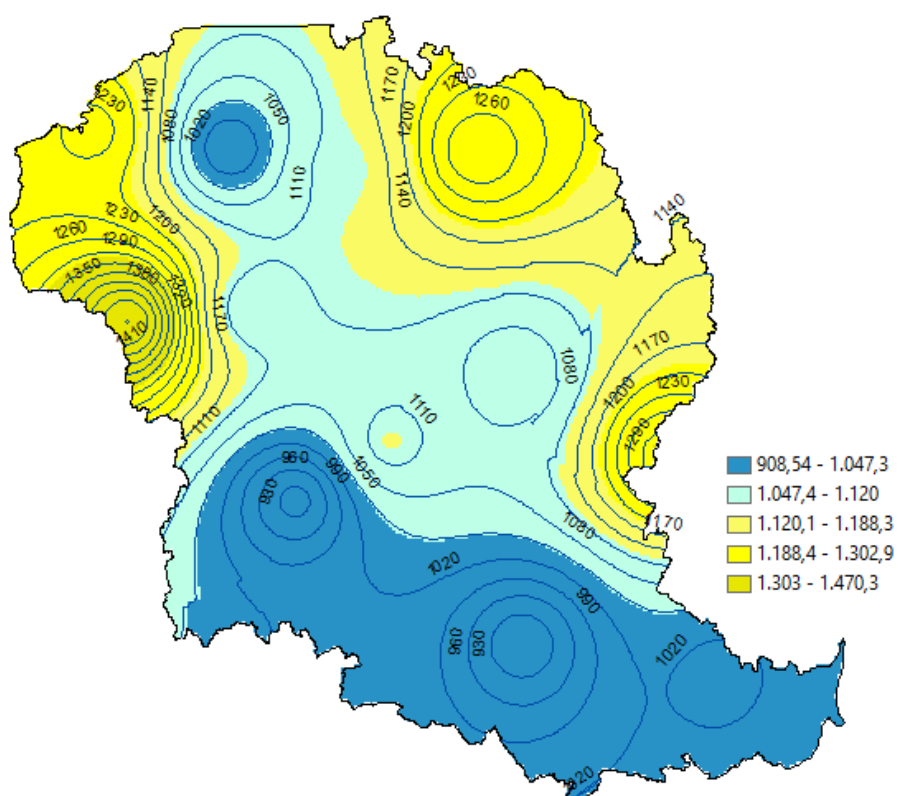


Figura 43 - Mapa de precipitação do ano de 2012

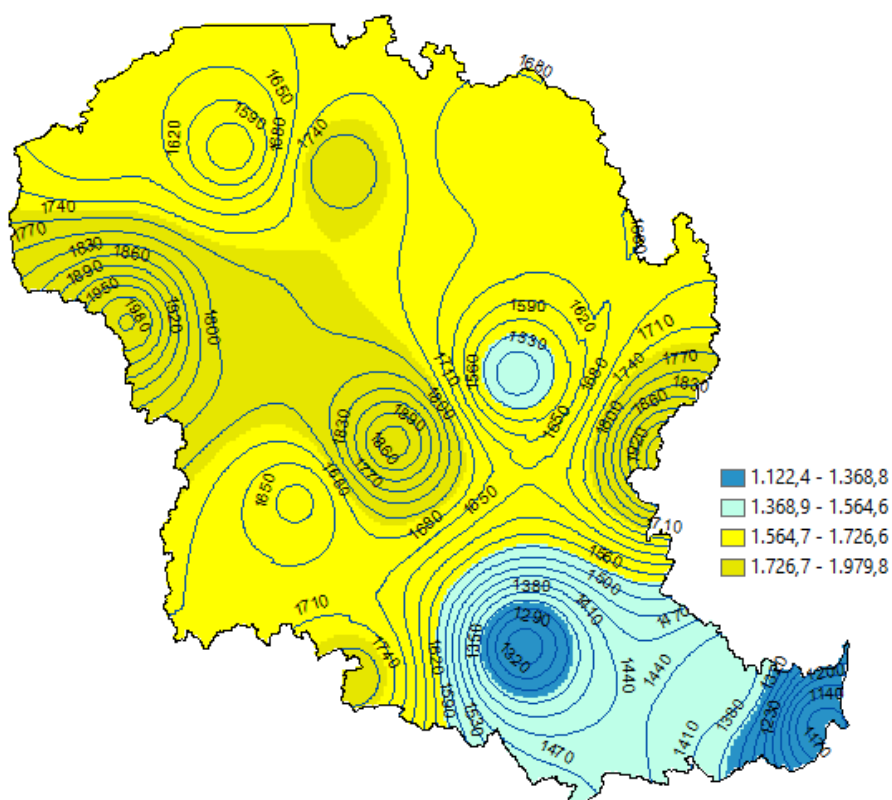


Figura 44 - Mapa de precipitação do ano de 2013

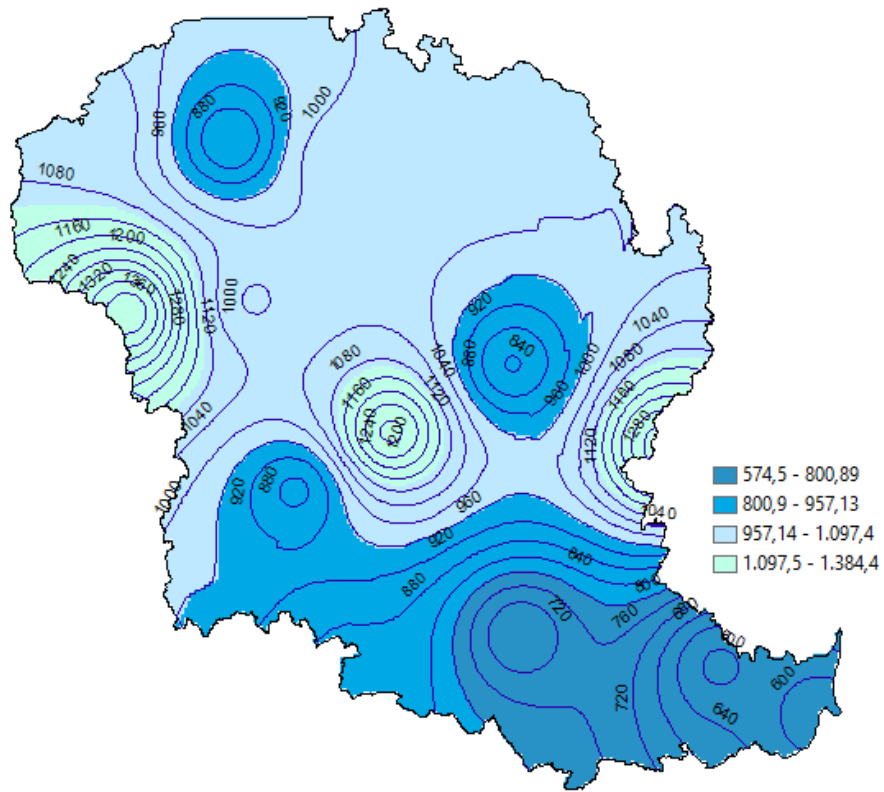


Figura 45- Mapa de precipitação do ano de 2014

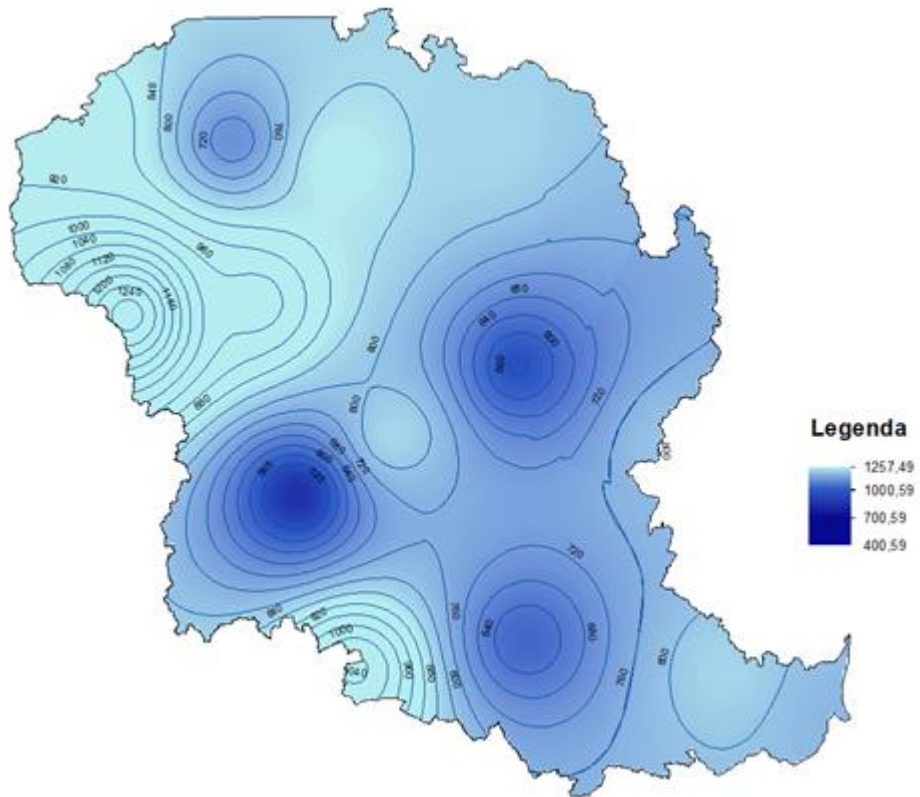


Figura 46 - Mapa de precipitação do ano de 2015

APÊNDICE C - MAPAS DE PRECIPITAÇÃO PARA OS TOTAIS ANUAIS GERADOS PELA MANIPULAÇÃO DAS IMAGENS DO SATÉLITE TRMM

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 1998-01-01 01:30Z - 1999-01-01 01:29Z, Region 42W, 36S, 24W, 16S



Figura 47 - Mapa de precipitação do ano de 1998

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 1999-01-01 01:30Z - 2000-01-01 01:29Z, Region 42W, 36S, 24W, 16S

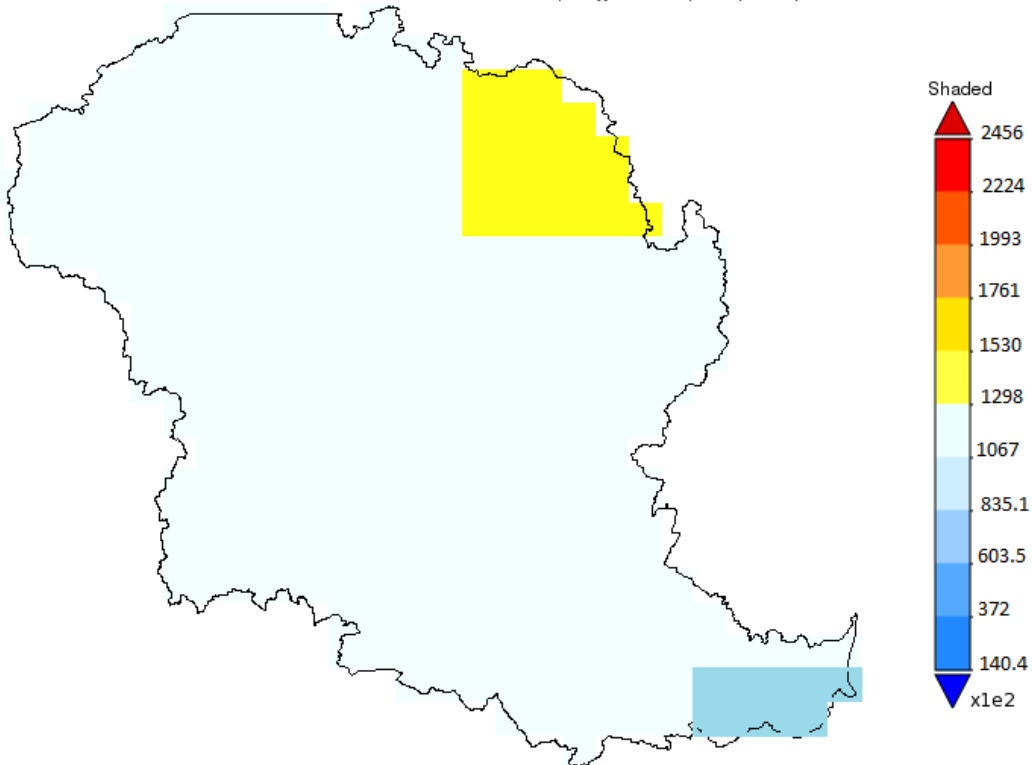


Figura 48 - Mapa de precipitação do ano de 1999

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2000-01-01 01:30Z - 2001-01-01 01:29Z, Region 42W, 36S, 24W, 16S

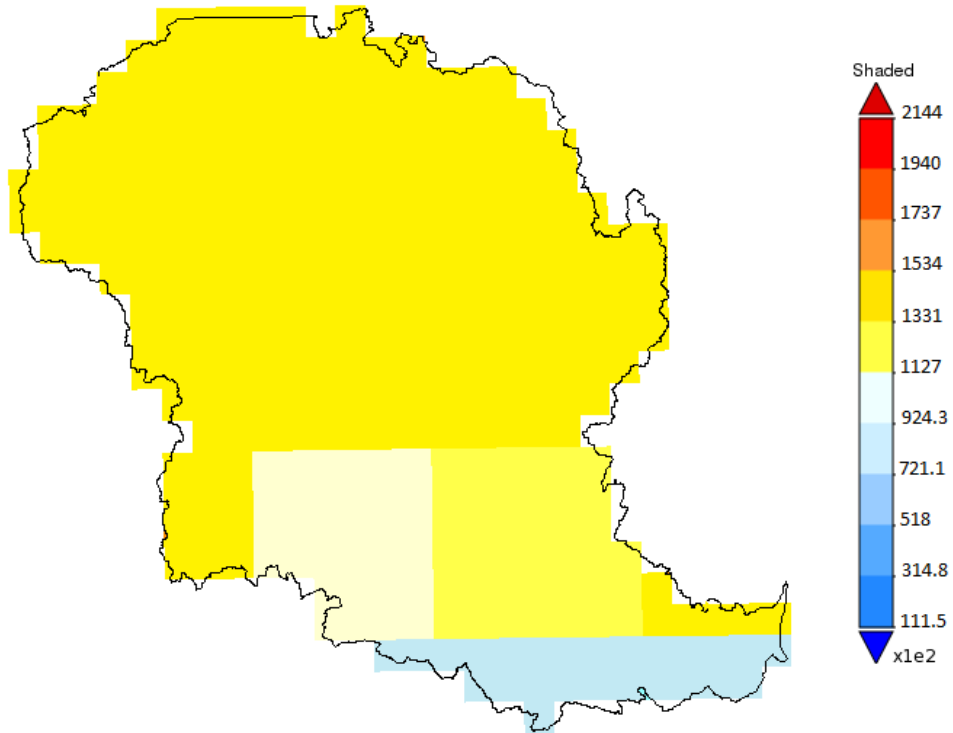


Figura 49 - Mapa de precipitação do ano de 2000

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2001-01-01 01:30Z - 2002-01-01 01:29Z, Region 42W, 36S, 24W, 16S



Figura 50 - Mapa de precipitação do ano de 2001

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2002-01-01 01:30Z - 2003-01-01 01:29Z, Region 42W, 36S, 24W, 16S

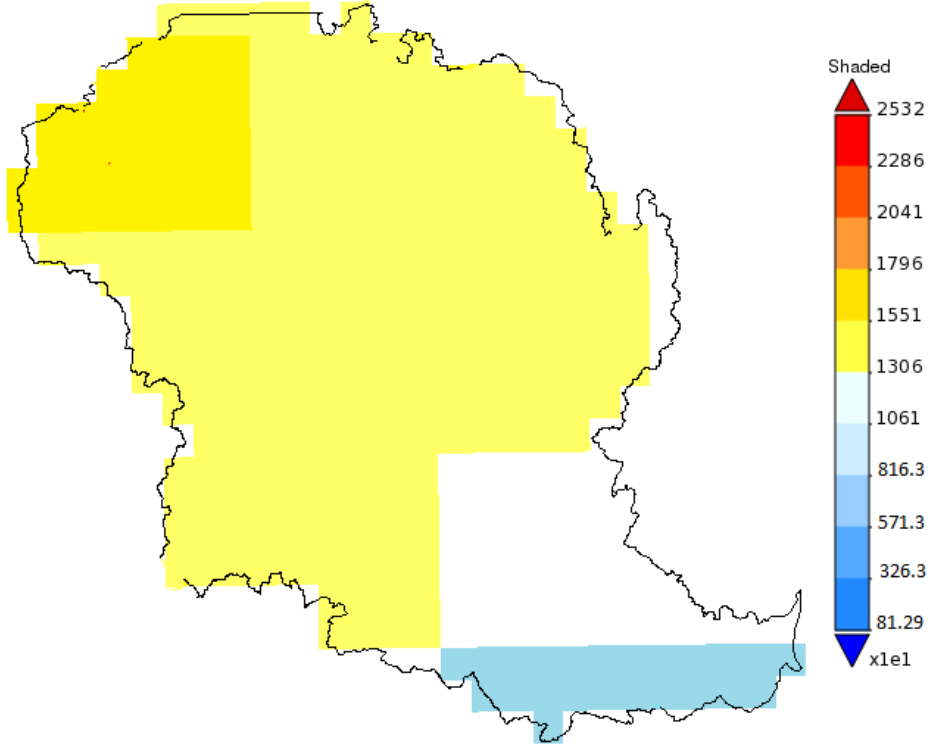


Figura 51 - Mapa de precitação do ano de 2002

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2003-01-01 01:30Z - 2004-01-01 01:29Z, Region 42W, 36S, 24W, 16S

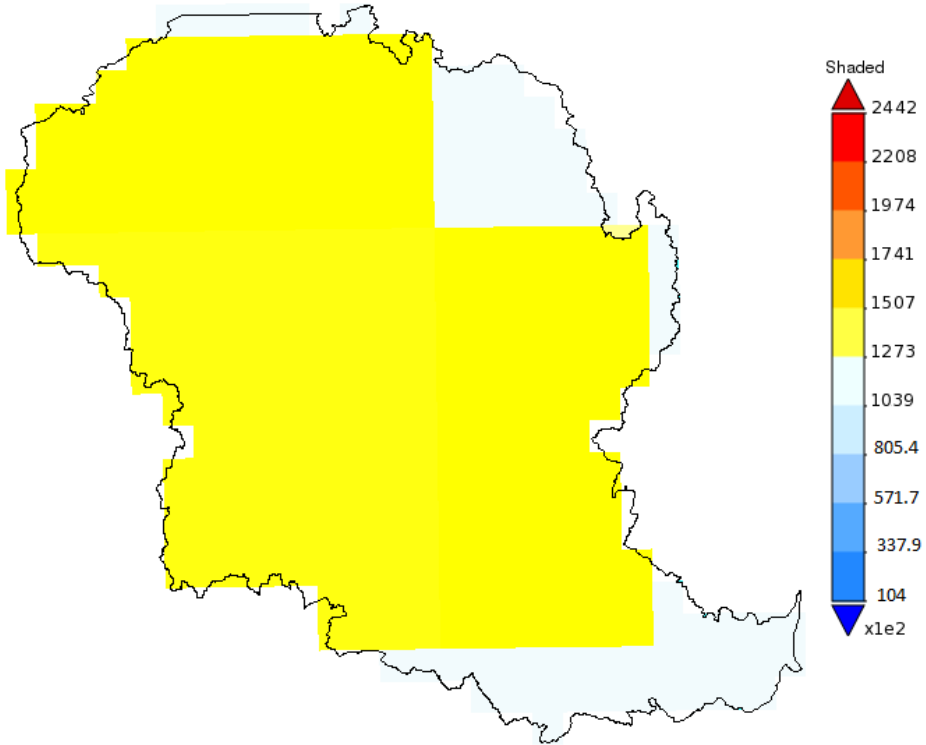


Figura 52 - Mapa de precitação do ano de 2003

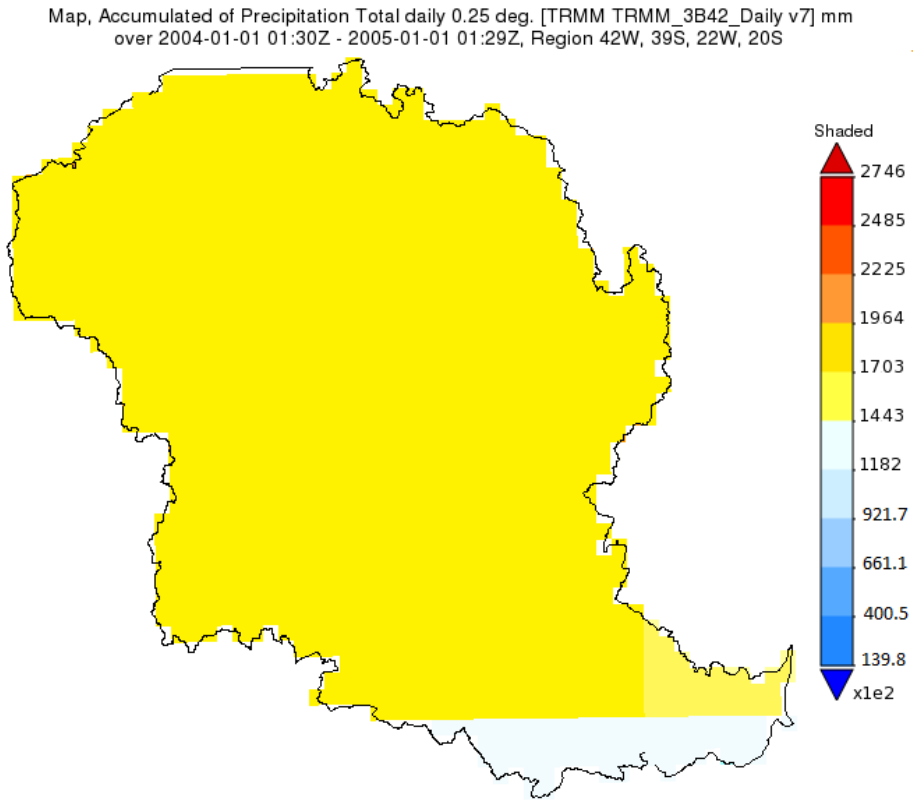


Figura 53 - Mapa de precitação do ano de 2004

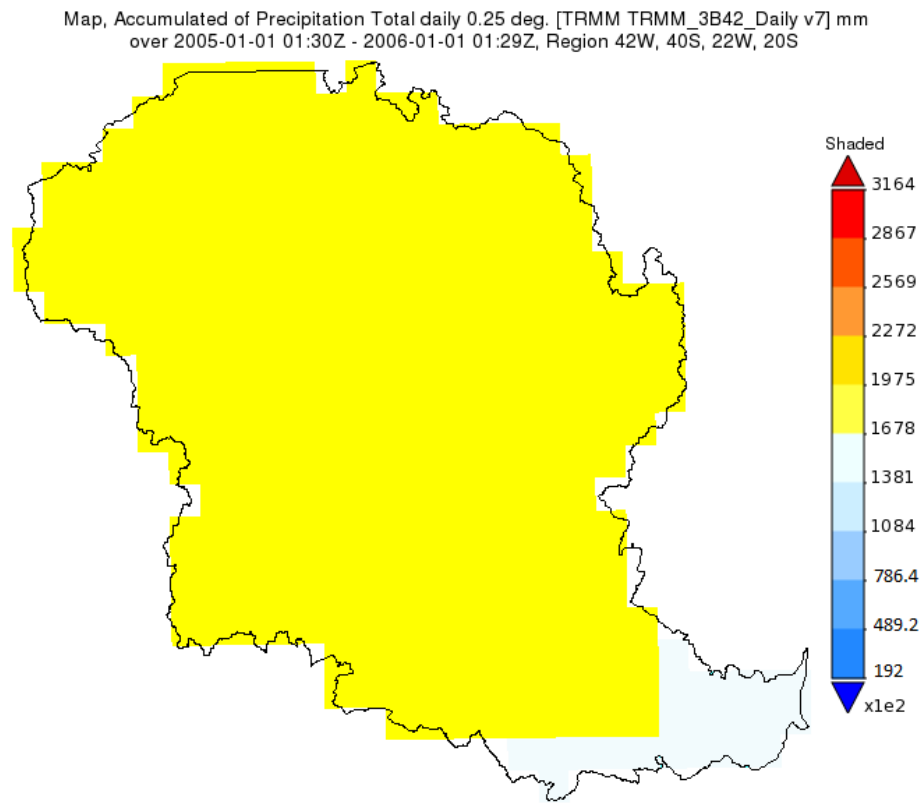


Figura 54 - Mapa de precitação do ano de 2005

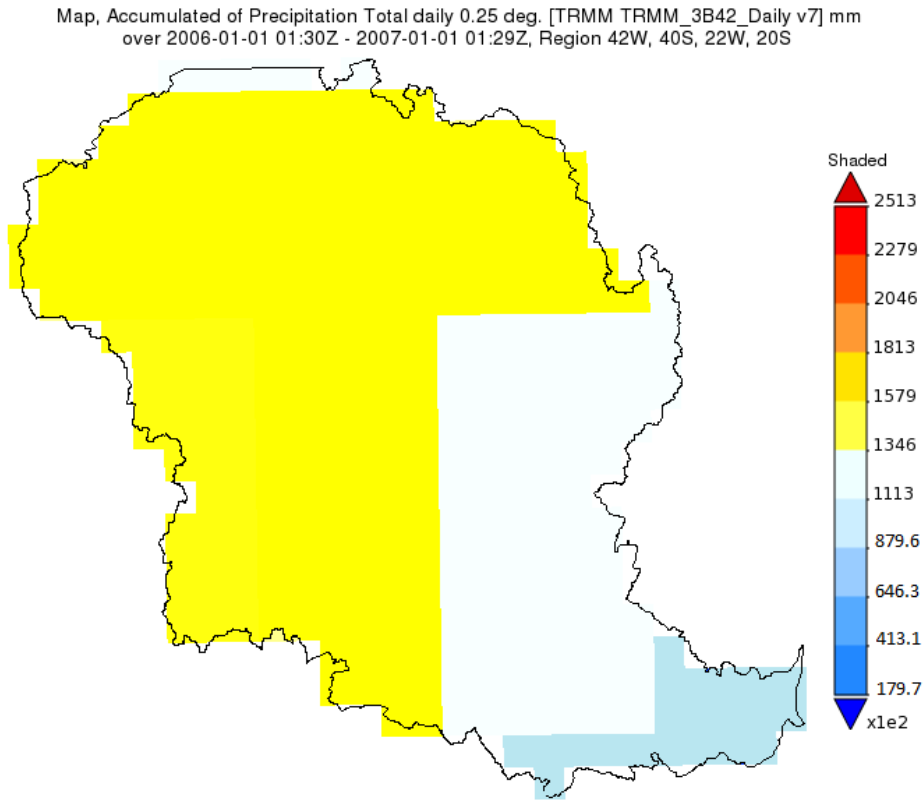


Figura 55 - Mapa de precipitação do ano de 2006

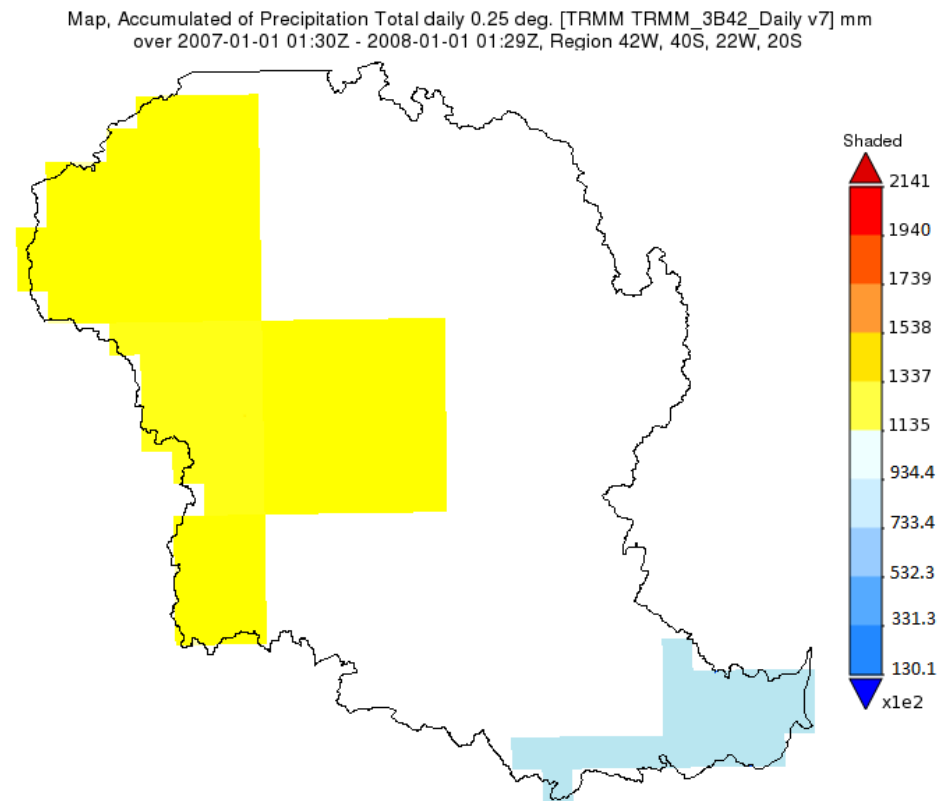


Figura 56 - Mapa de precipitação do ano de 2007

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2008-01-01 01:30Z - 2009-01-01 01:29Z, Region 42W, 40S, 22W, 20S

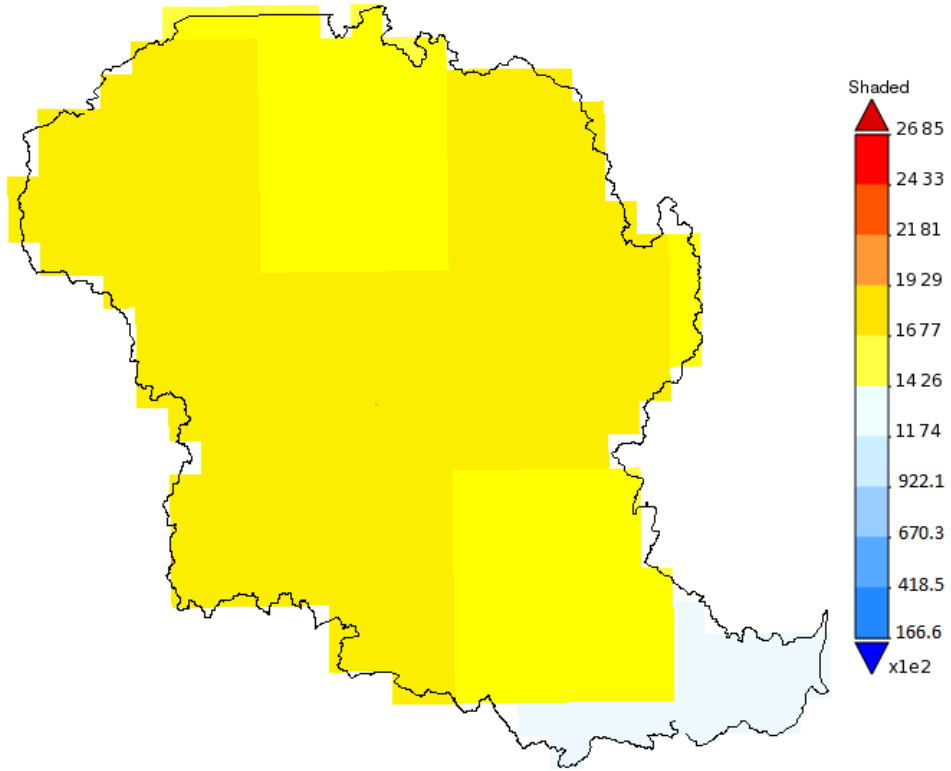


Figura 57 - Mapa de precipitação do ano de 2008

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2009-01-01 01:30Z - 2010-01-01 01:29Z, Region 42W, 40S, 22W, 20S

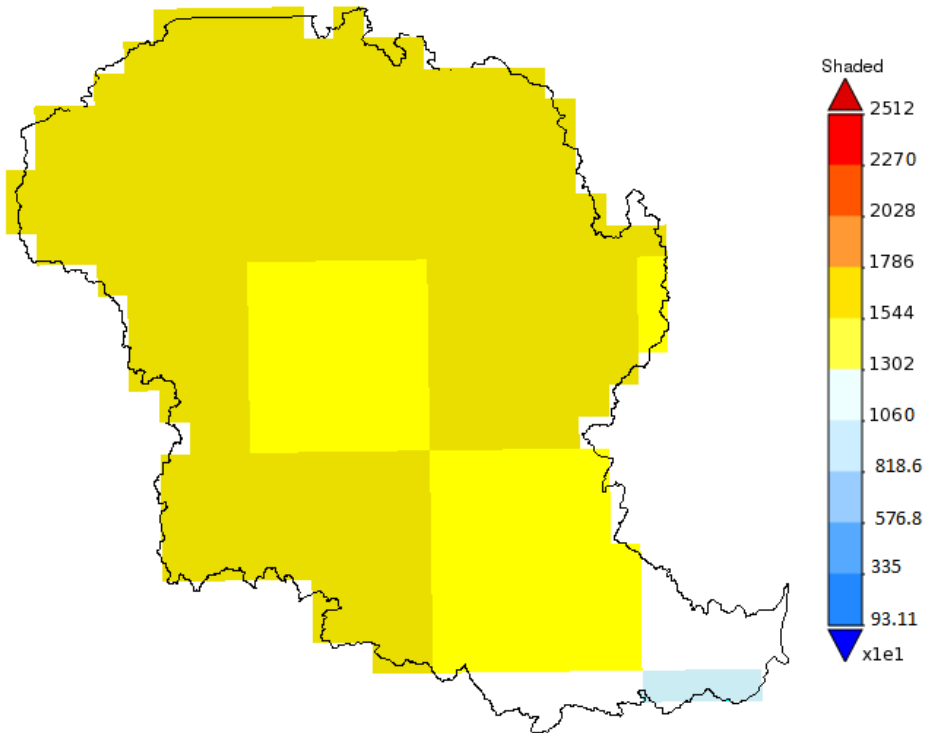


Figura 58 - Mapa de precipitação do ano de 2009

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2010-01-01 01:30Z - 2011-01-01 01:29Z. Region 42W, 40S, 22W, 20S

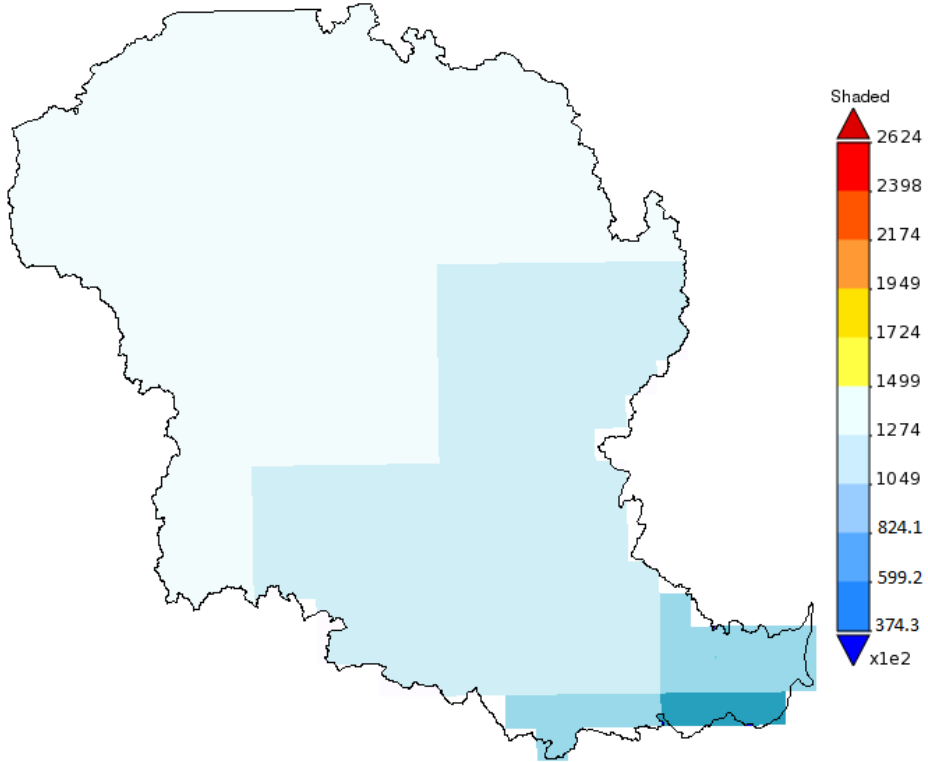


Figura 59 - Mapa de precipitação do ano de 2010

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2011-01-01 01:30Z - 2012-01-01 01:29Z, Region 42W, 40S, 22W, 20S

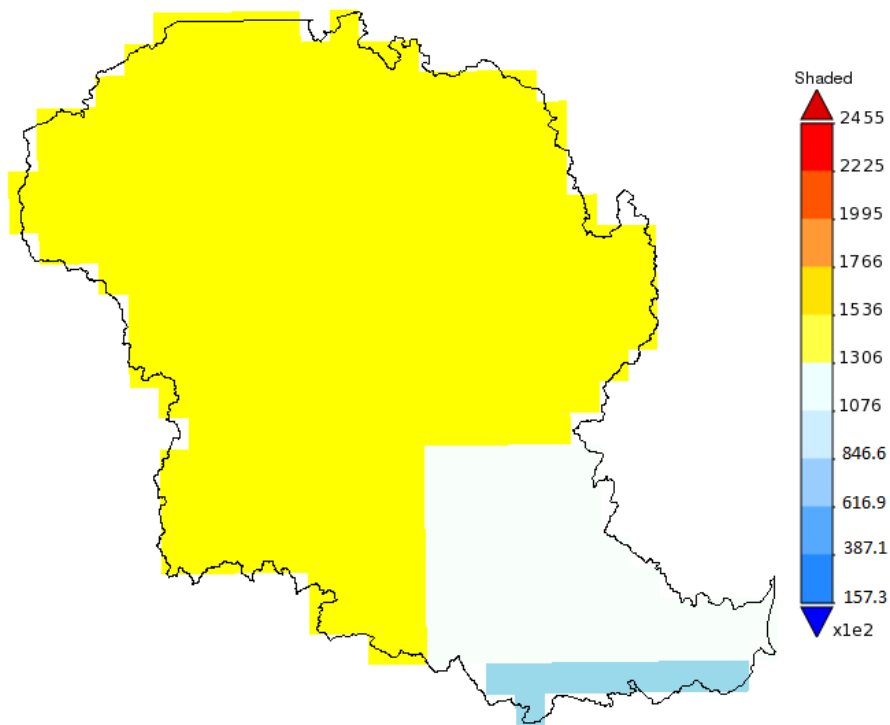


Figura 60 - Mapa de precipitação do ano de 2011

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2012-01-01 01:30Z - 2013-01-01 01:29Z, Region 42W, 40S, 22W, 20S

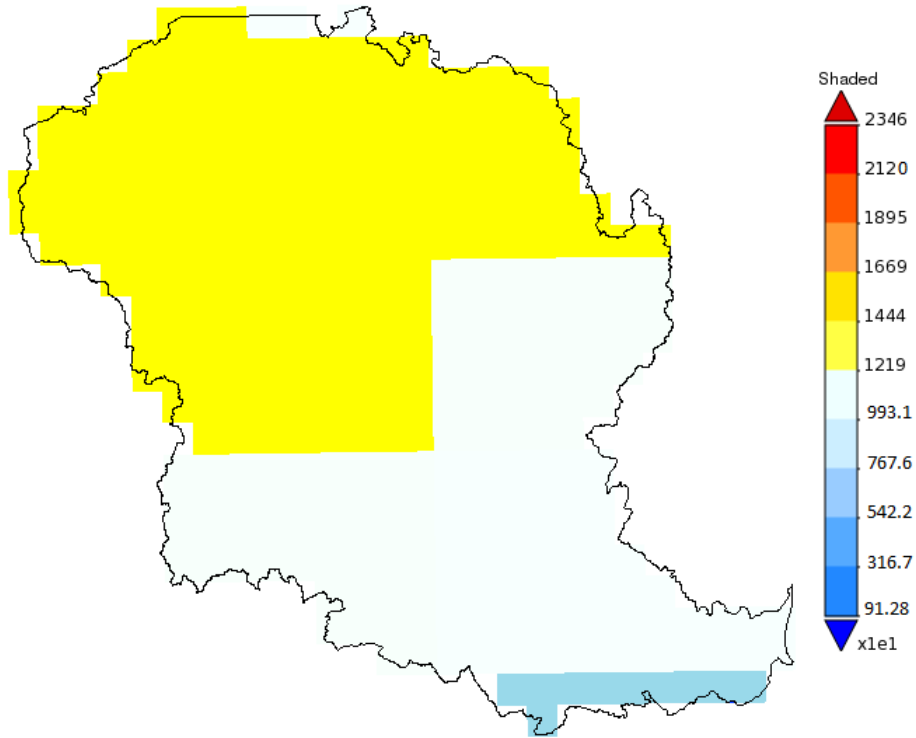


Figura 61 - Mapa de precipitação do ano de 2012

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2013-01-01 01:30Z - 2014-01-01 01:29Z, Region 42W, 40S, 22W, 20S

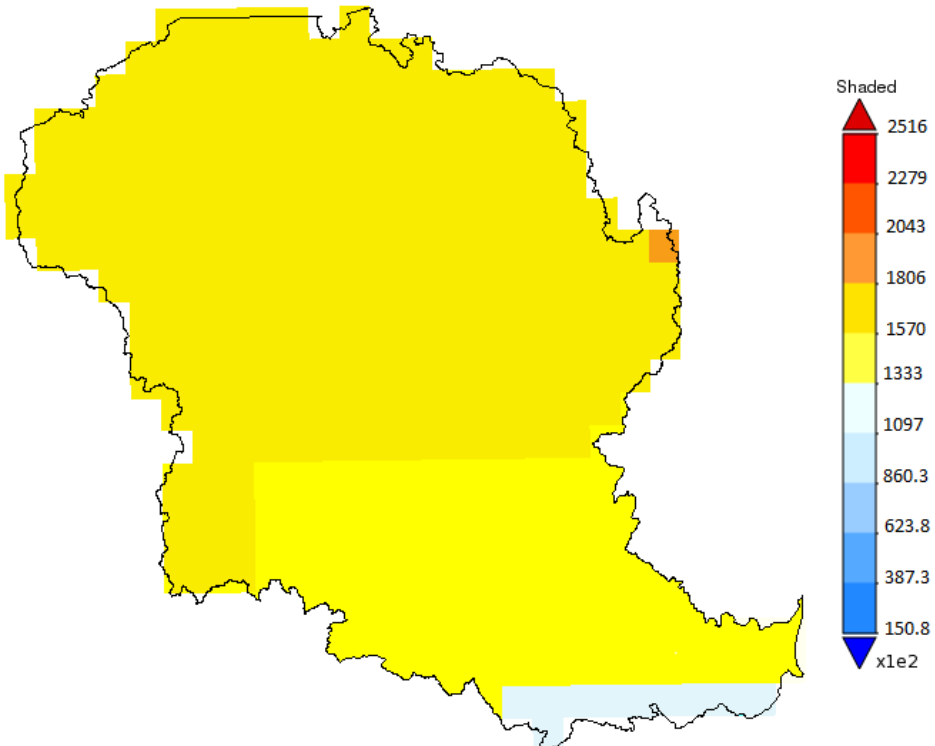


Figura 62 - Mapa de precipitação do ano de 2013

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2014-01-01 01:30Z - 2015-01-01 01:29Z, Region 42W, 40S, 22W, 20S

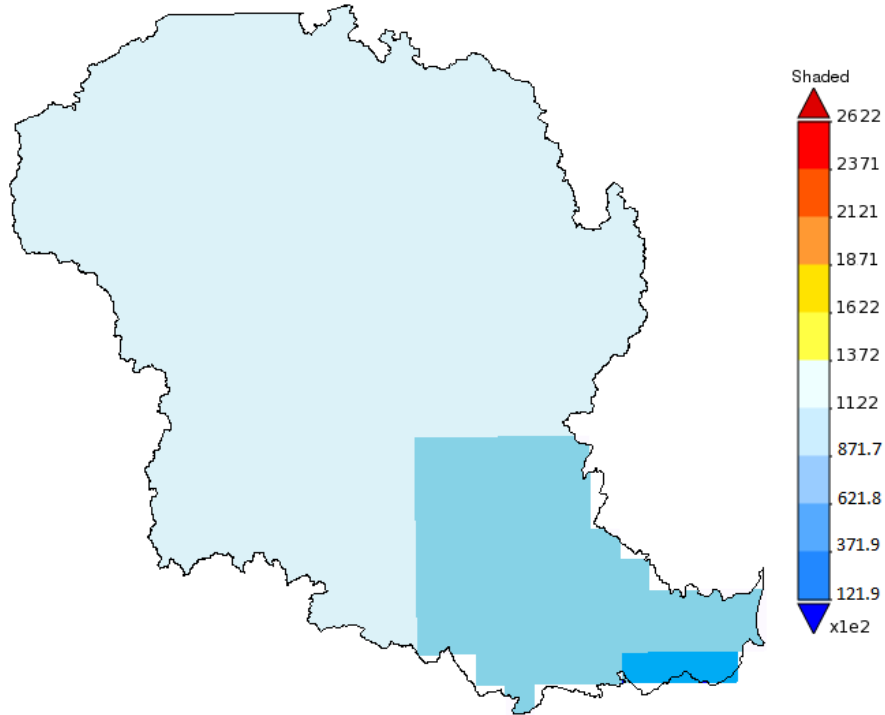


Figura 63- Mapa de precipitação do ano de 2014

Map, Accumulated of Precipitation Total daily 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B42_Daily v7] mm over 2015-01-01 01:30Z - 2016-01-01 01:29Z, Region 42W, 40S, 22W, 20S

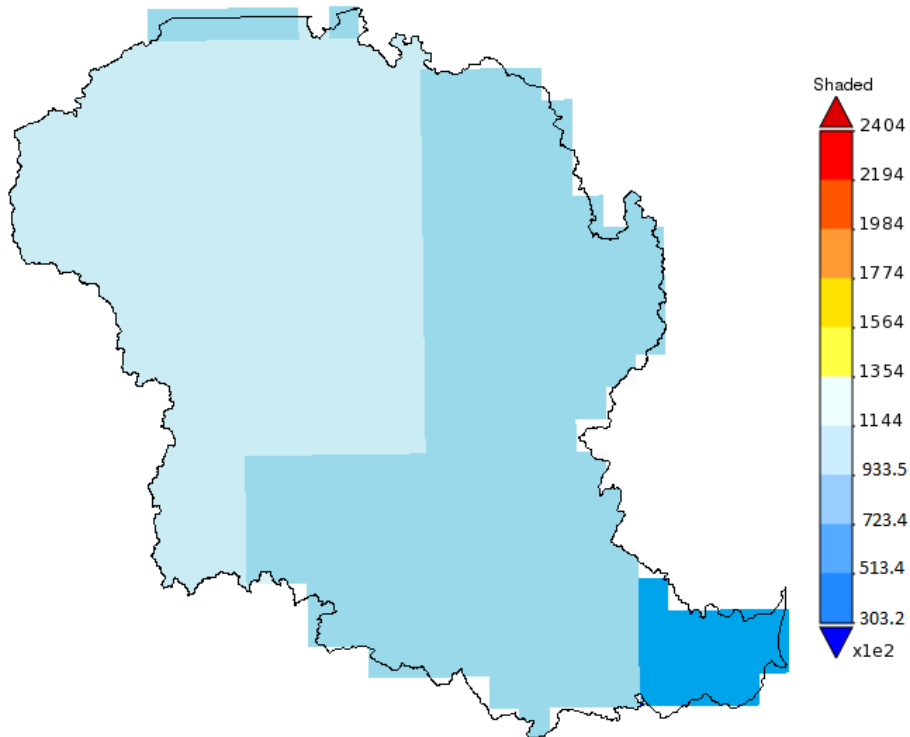


Figura 64 - Mapa de precipitação do ano de 2015

**APÊNDICE D - MAPAS DE PRECIPITAÇÃO PARA OS TOTAIS
MENSIS GERADOS PELO MÉTODO DAS ISOIETAS**

**APÊNDICE E - MAPAS DE PRECIPITAÇÃO PARA OS TOTAIS
MENSIS GERADOS PELA MANIPULAÇÃO DAS IMAGENS DO
SATÉLITE TRMM**

APÊNDICE F - MAPAS DE PRECIPITAÇÃO PARA AS MÉDIAS DE LONGO PERÍODO GERADAS PELO MÉTODO DAS ISOIETAS

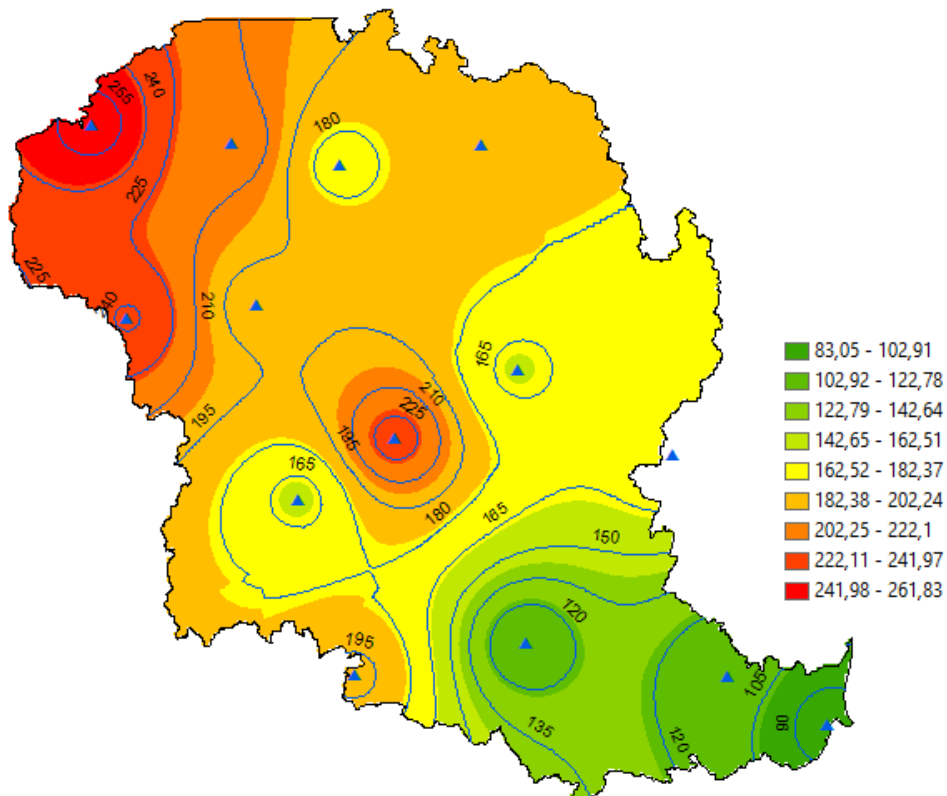


Figura 65 – Mapa da média de longo período para o mês de Janeiro

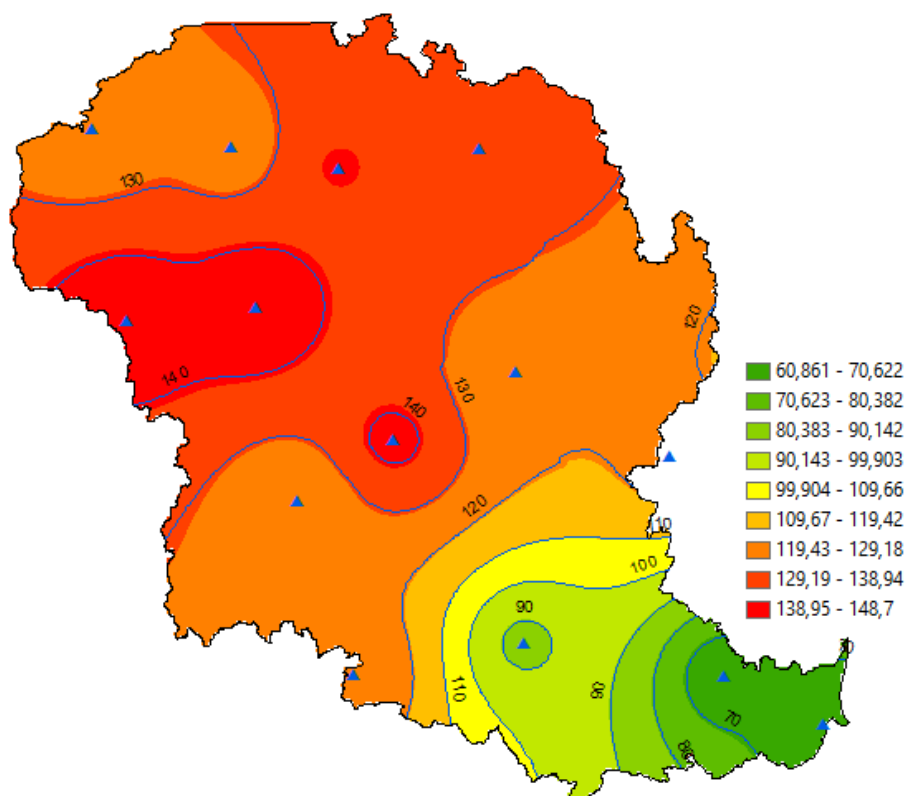


Figura 66 - Mapa da média de longo período para o mês de Fevereiro

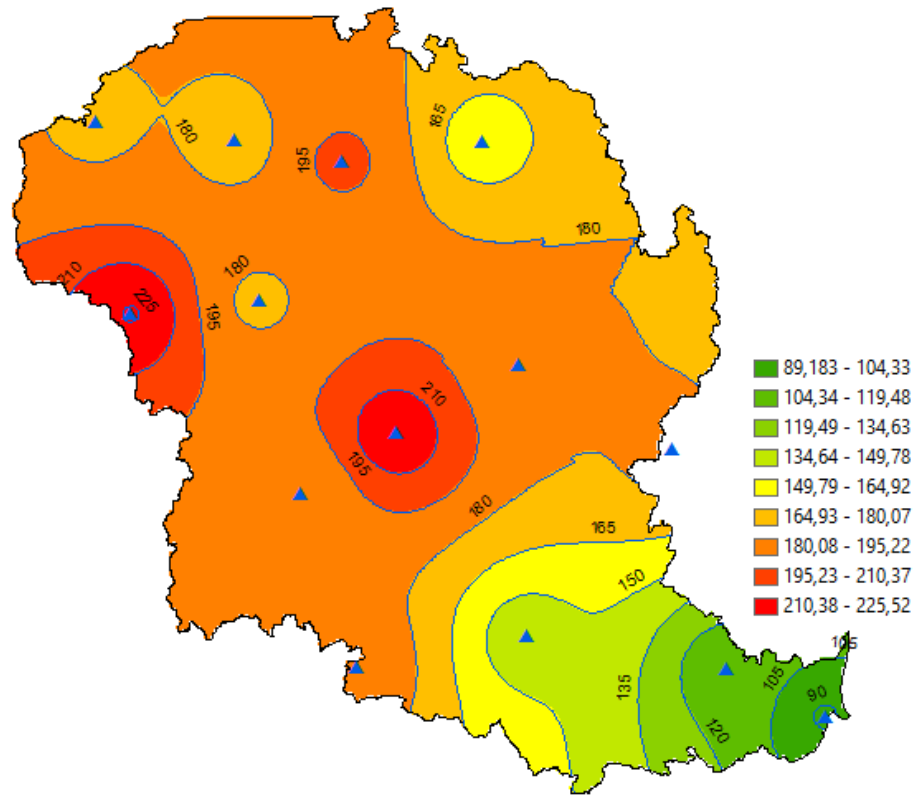


Figura 67 - Mapa da média de longo período para o mês de Março

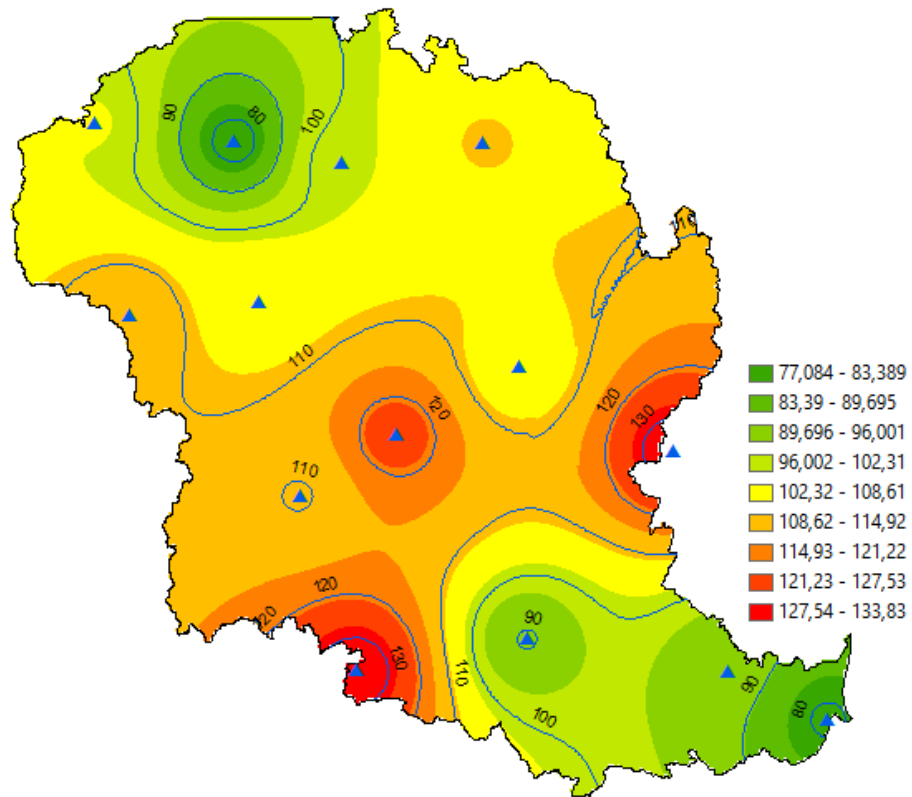


Figura 68 - Mapa da média de longo período para o mês de Abril

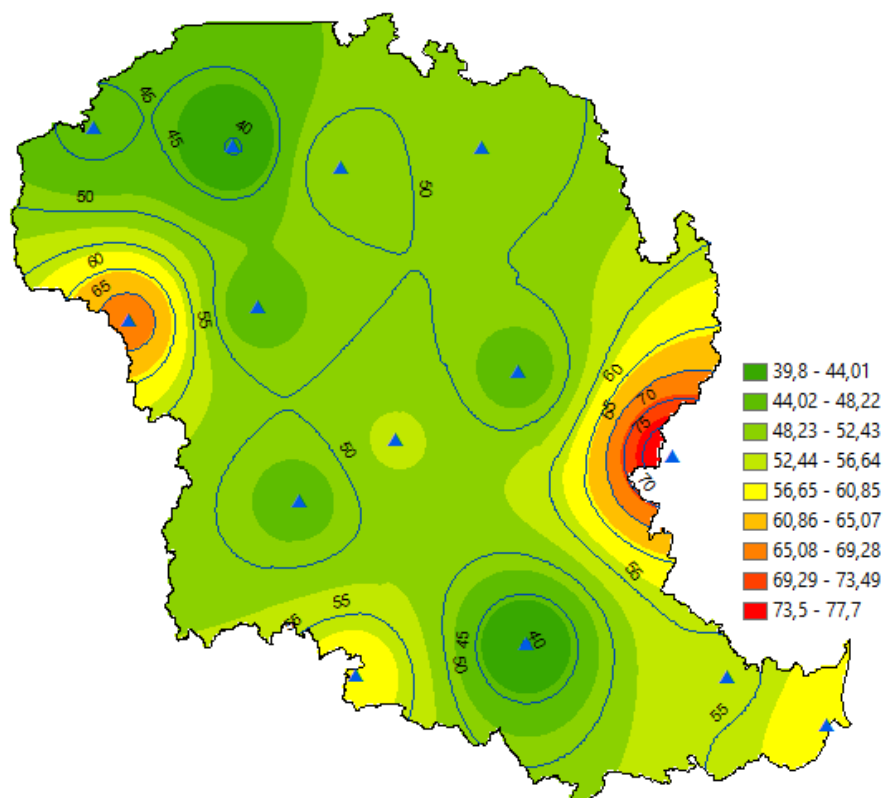


Figura 69 - Mapa da média de longo período para o mês de Maio

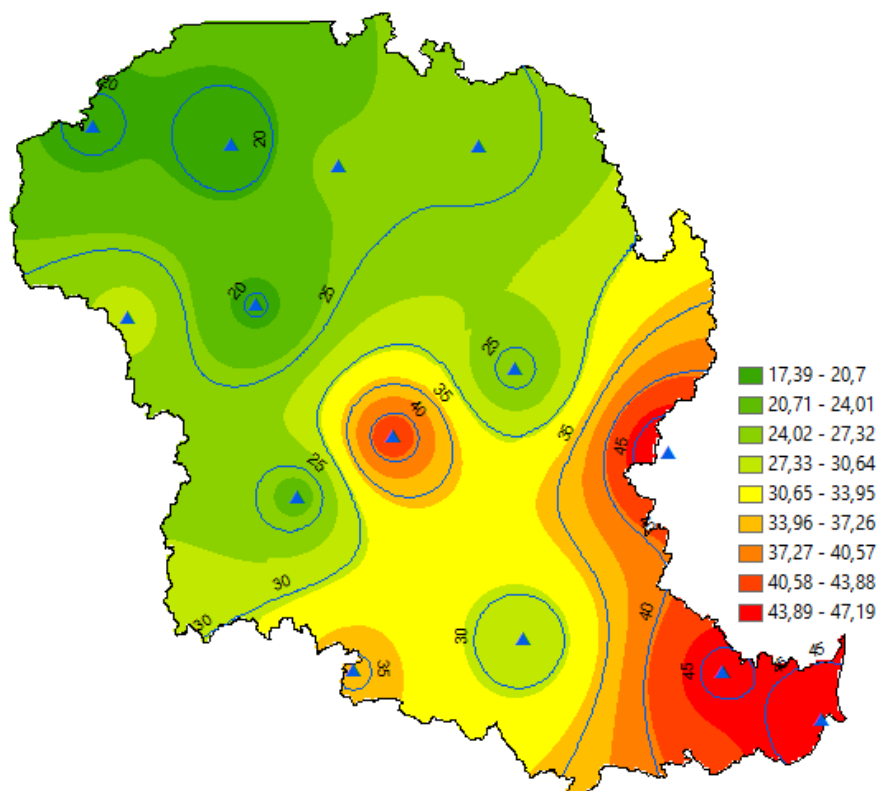


Figura 70 - Mapa da média de longo período para o mês de Junho

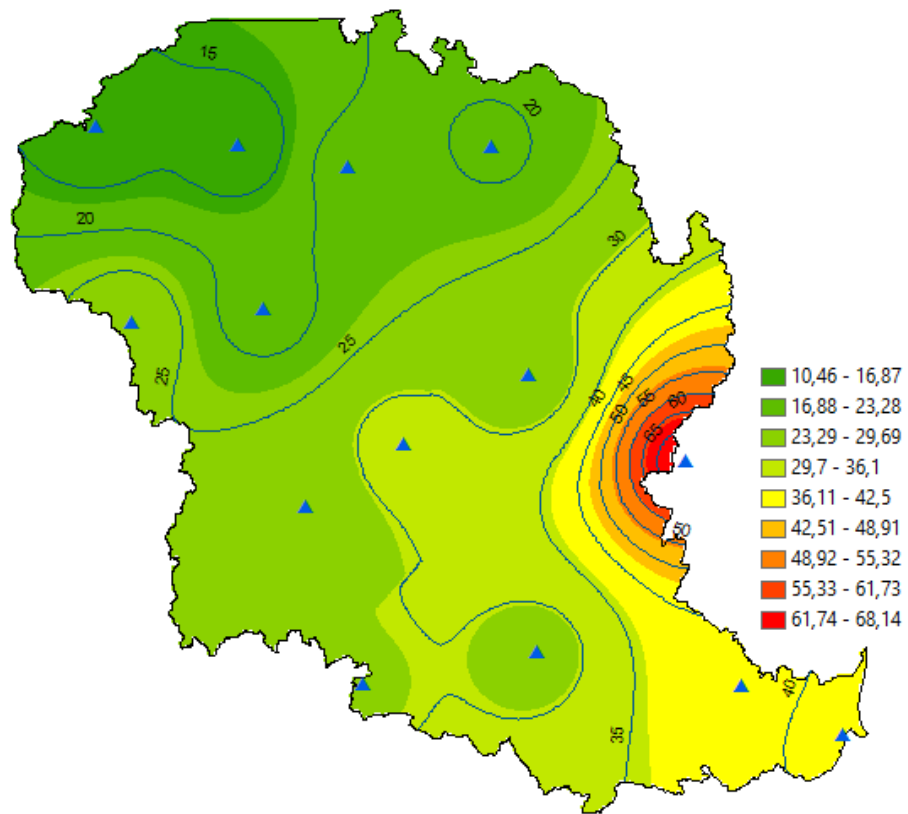


Figura 71 - Mapa da média de longo período para o mês de Julho

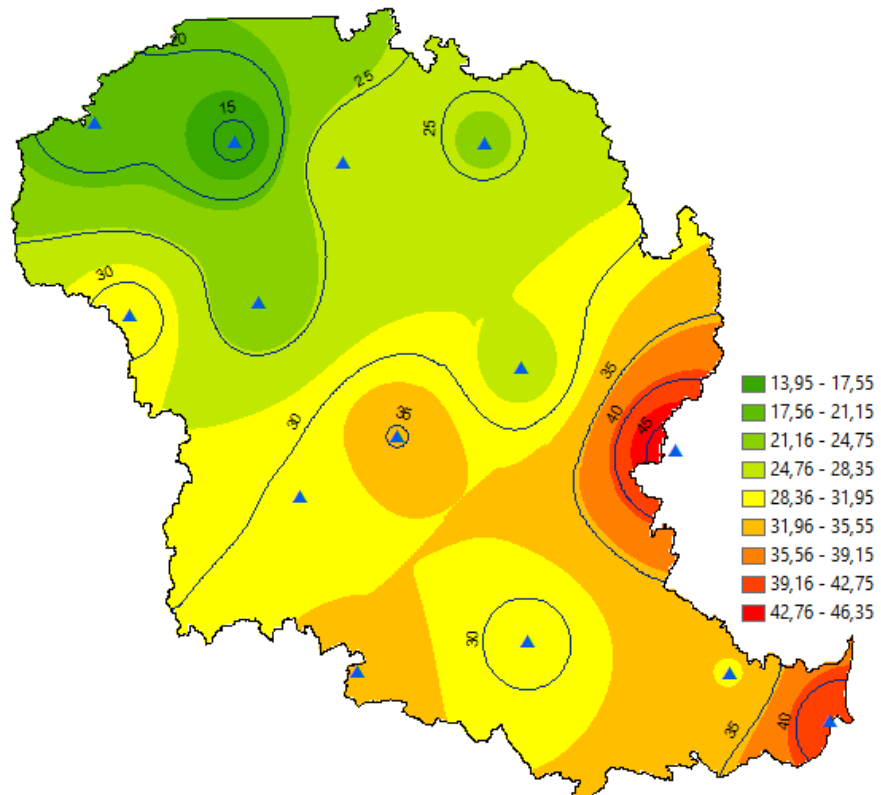


Figura 72 - Mapa da média de longo período para o mês de Agosto

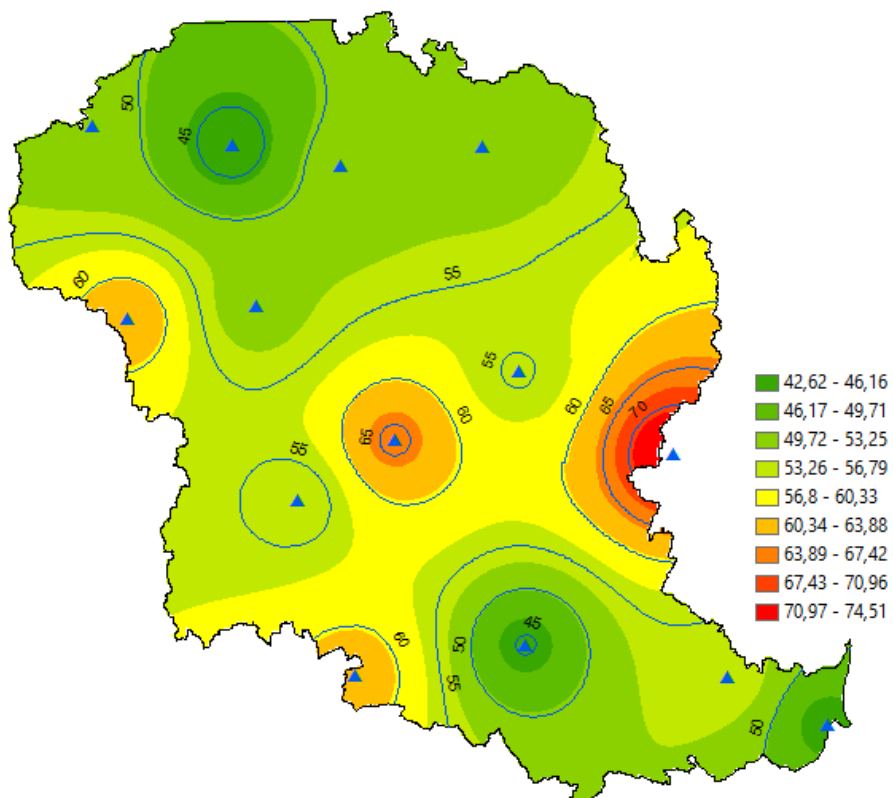


Figura 73 - Mapa da média de longo período para o mês de Setembro

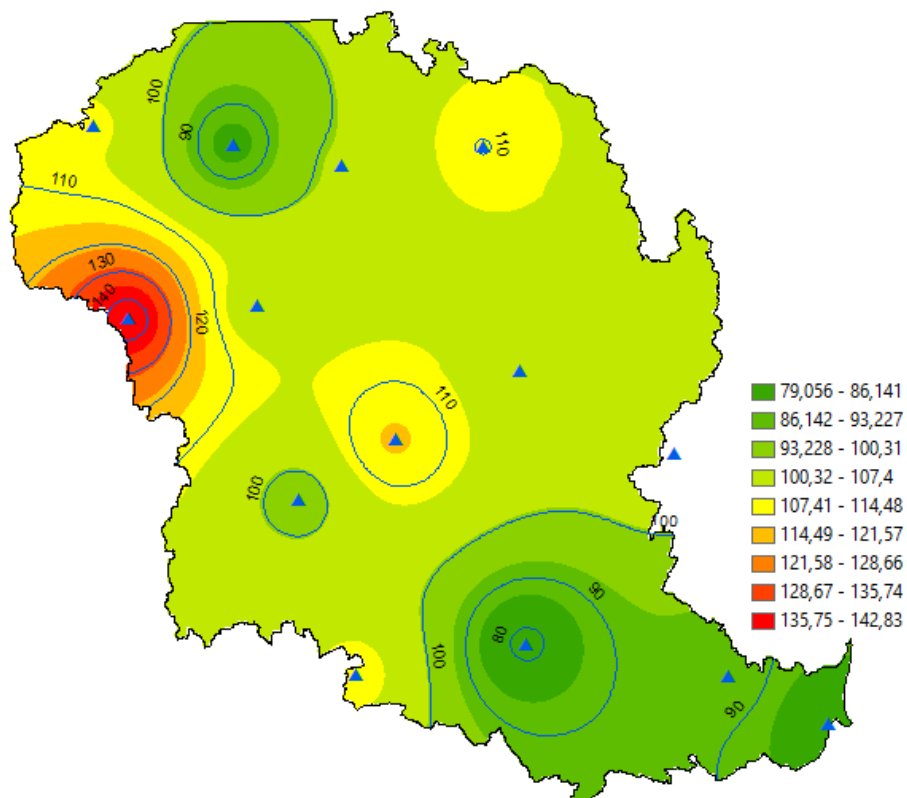


Figura 74 - Mapa da média de longo período para o mês de Outubro

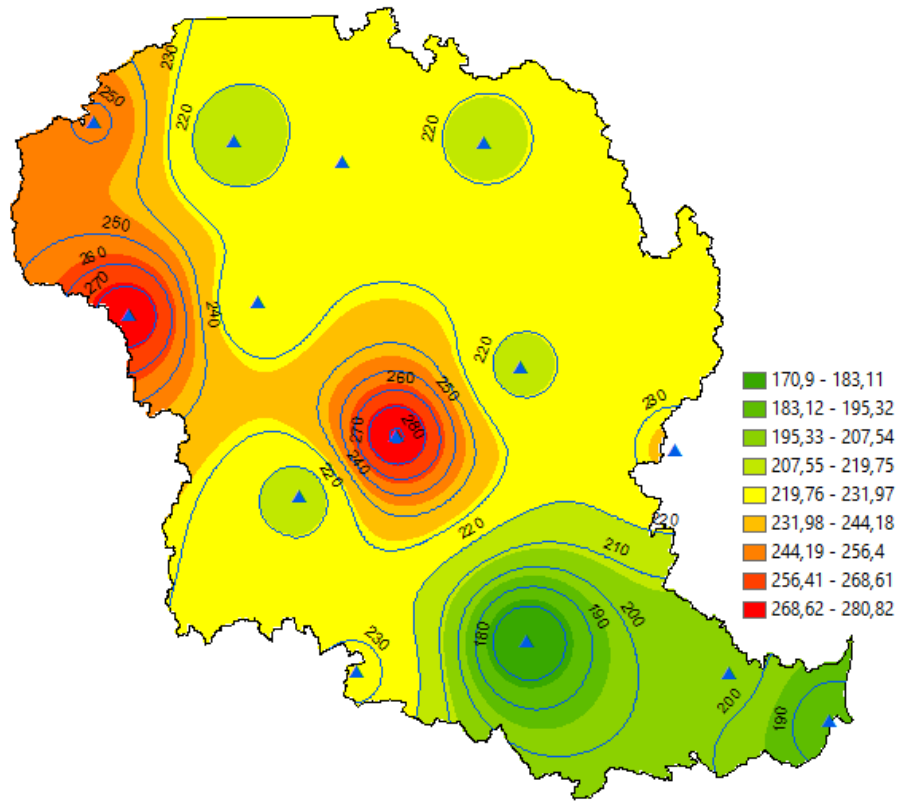


Figura 75 - Mapa da média de longo período para o mês de Novembro

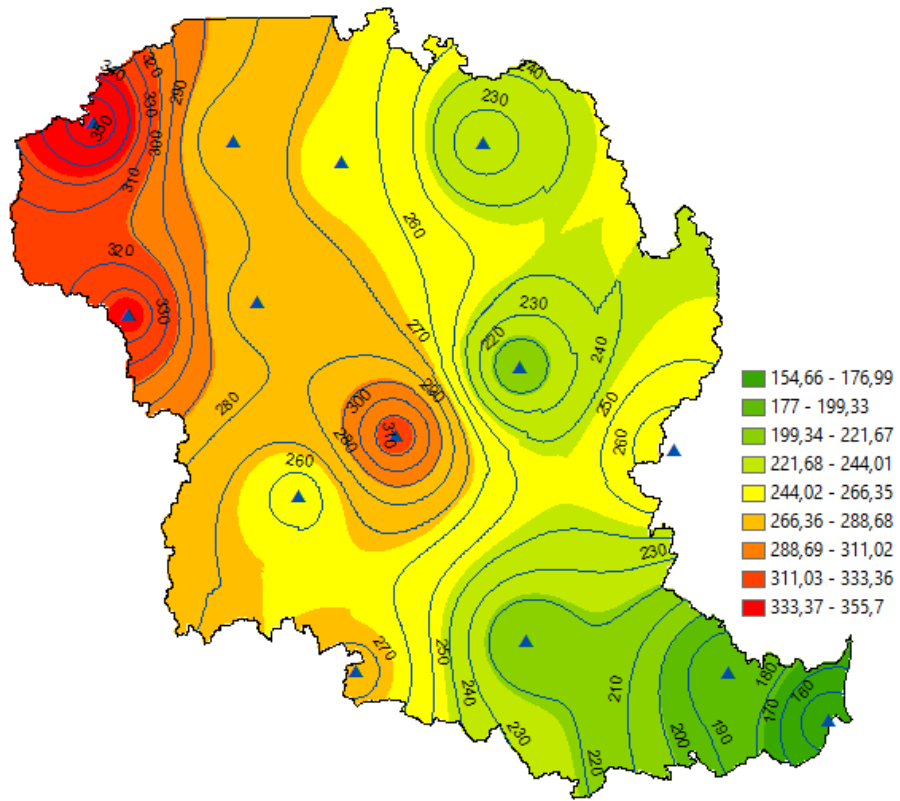


Figura 76 - Mapa da média de longo período para o mês de Dezembro

APÊNDICE G - MAPAS DE PRECIPITAÇÃO PARA MÉDIAS DE LONGO PERÍODO GERADAS PELA MANIPULAÇÃO DAS IMAGENS DO SATÉLITE TRMM

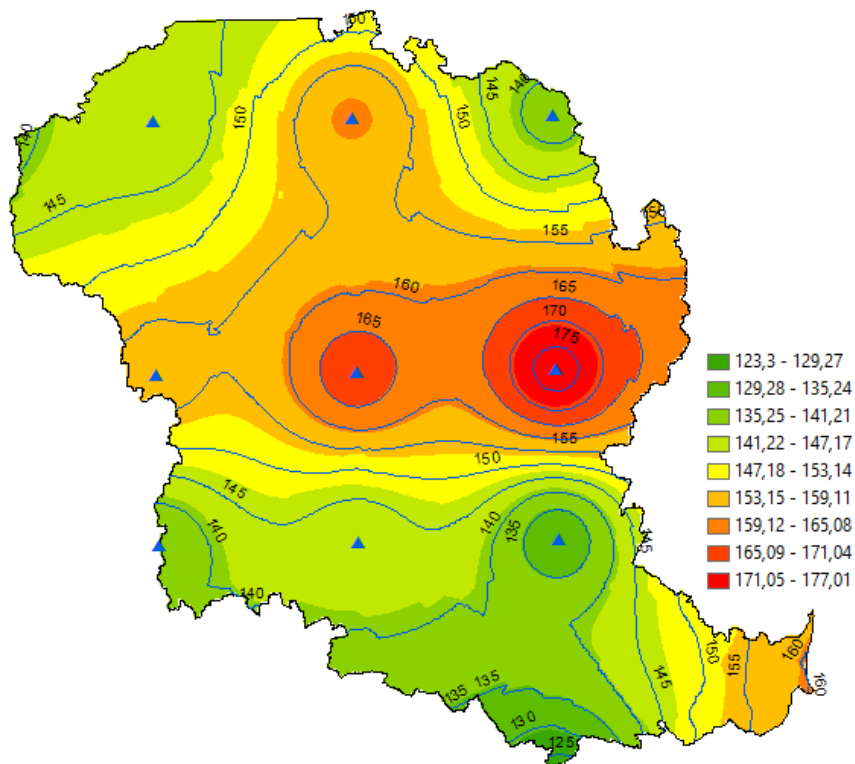


Figura 77 – Mapa da média de longo período para o mês de Janeiro

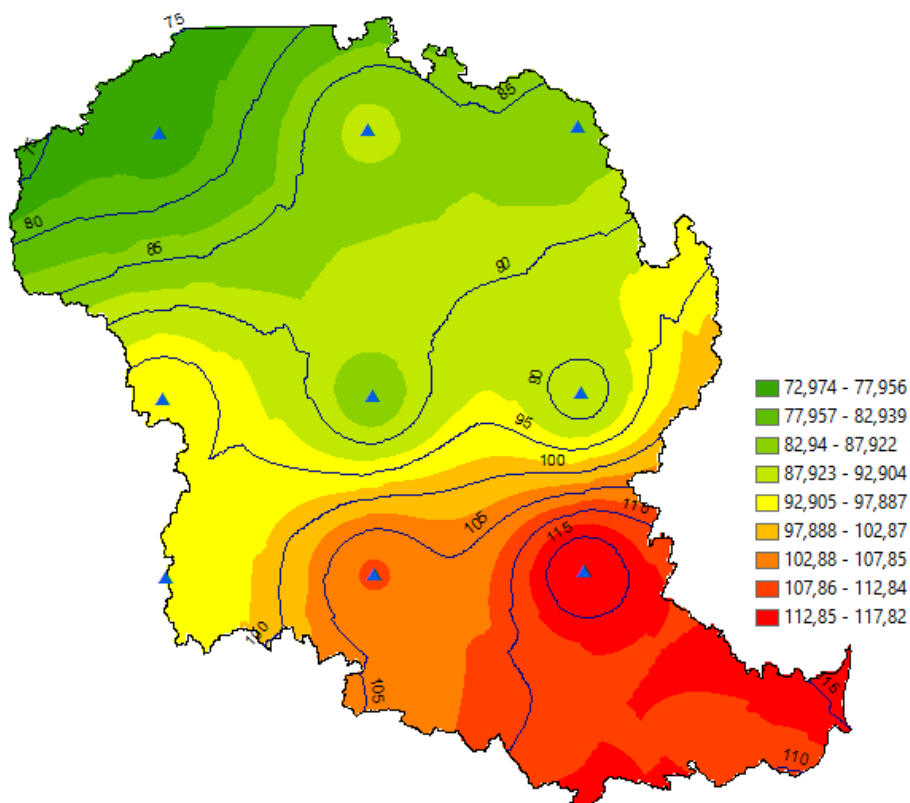


Figura 78 - Mapa da média de longo período para o mês de Fevereiro

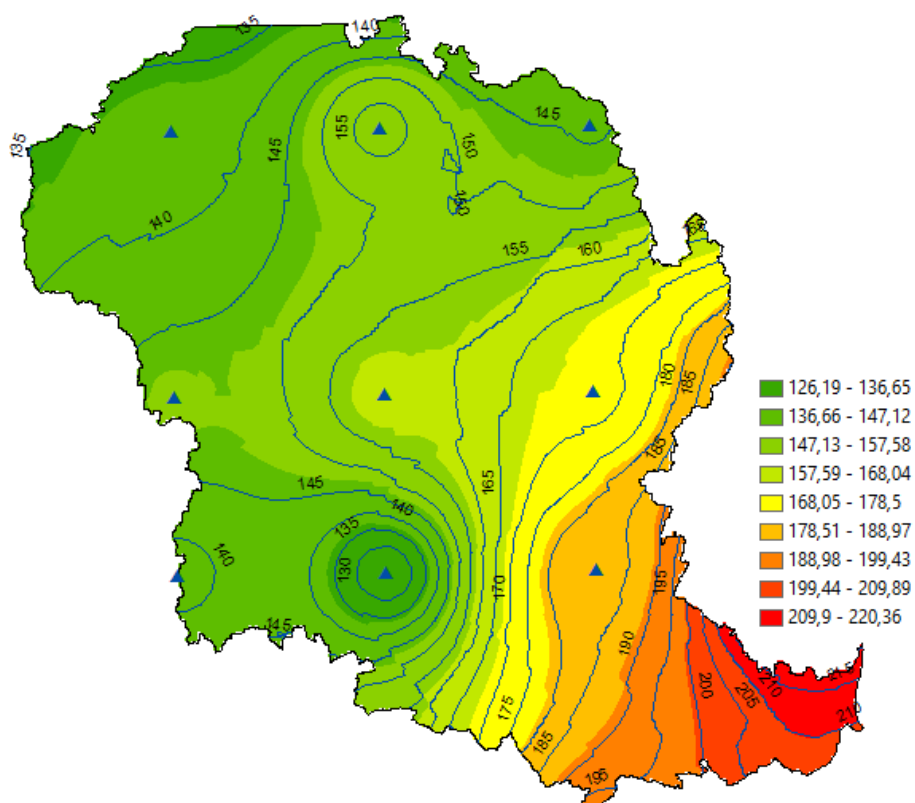


Figura 79 - Mapa da média de longo período para o mês de Março

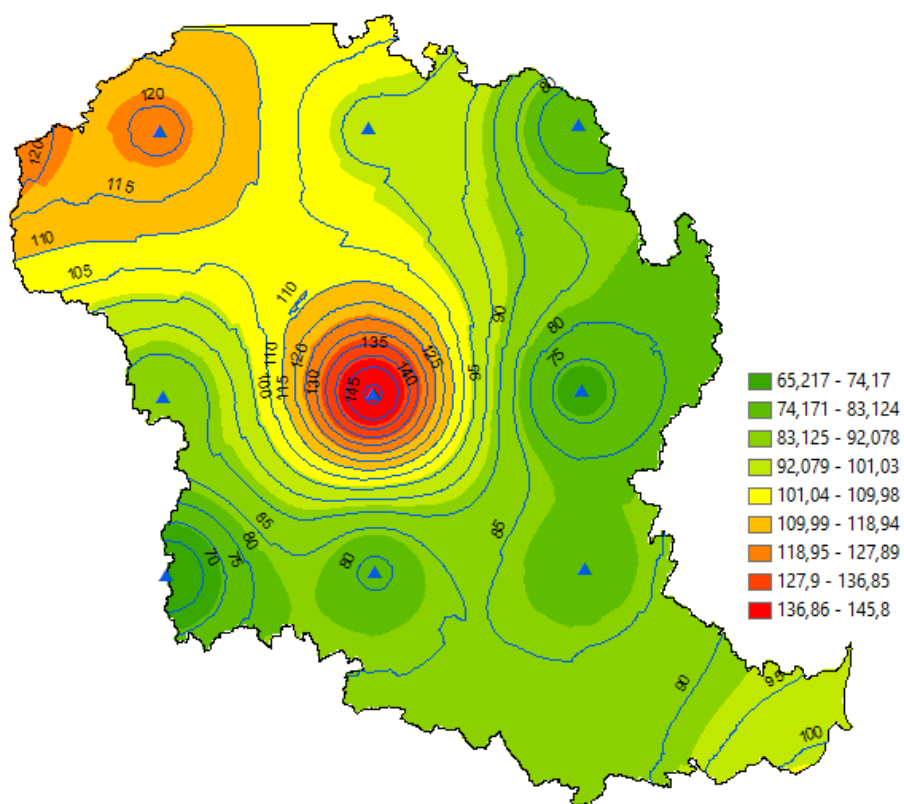


Figura 80 - Mapa da média de longo período para o mês de Abril

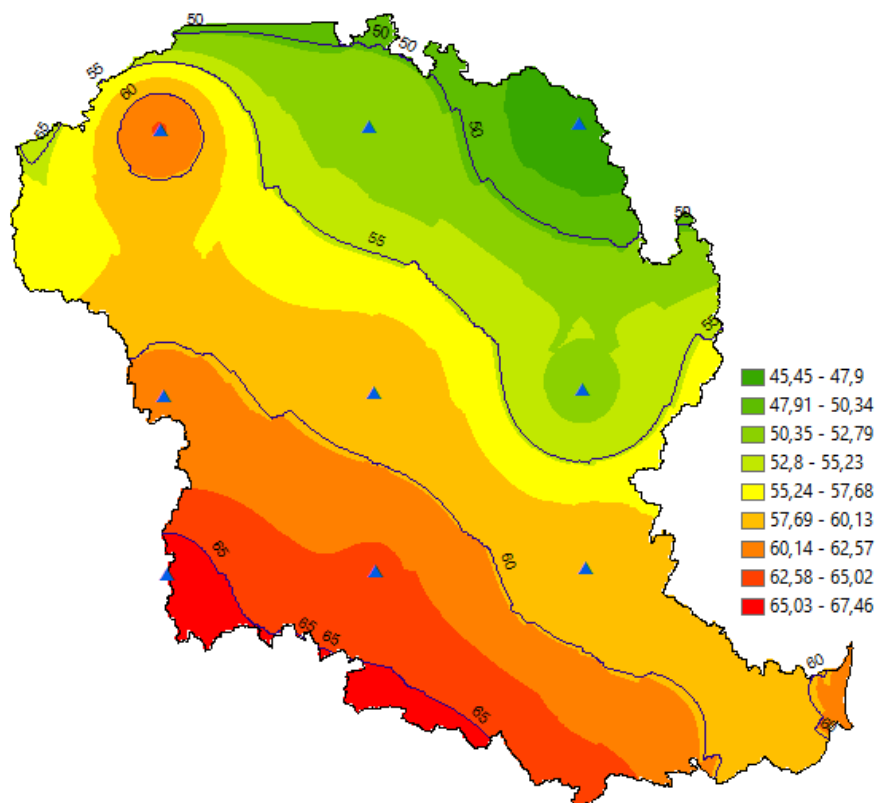


Figura 81 - Mapa da média de longo período para o mês de Maio

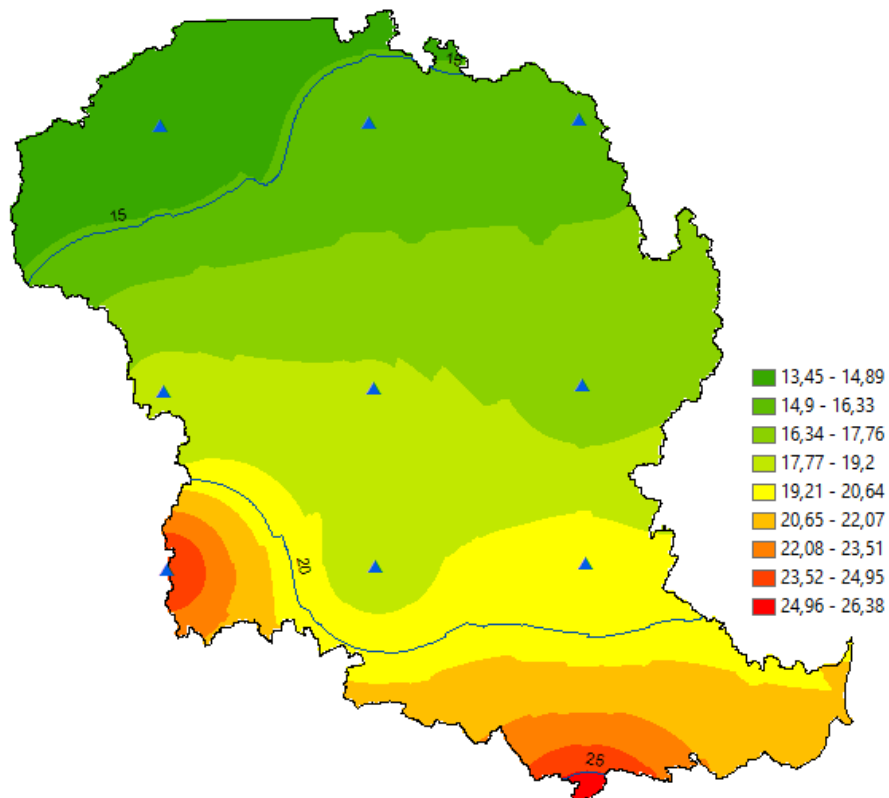


Figura 82 - Mapa da média de longo período para o mês de Junho

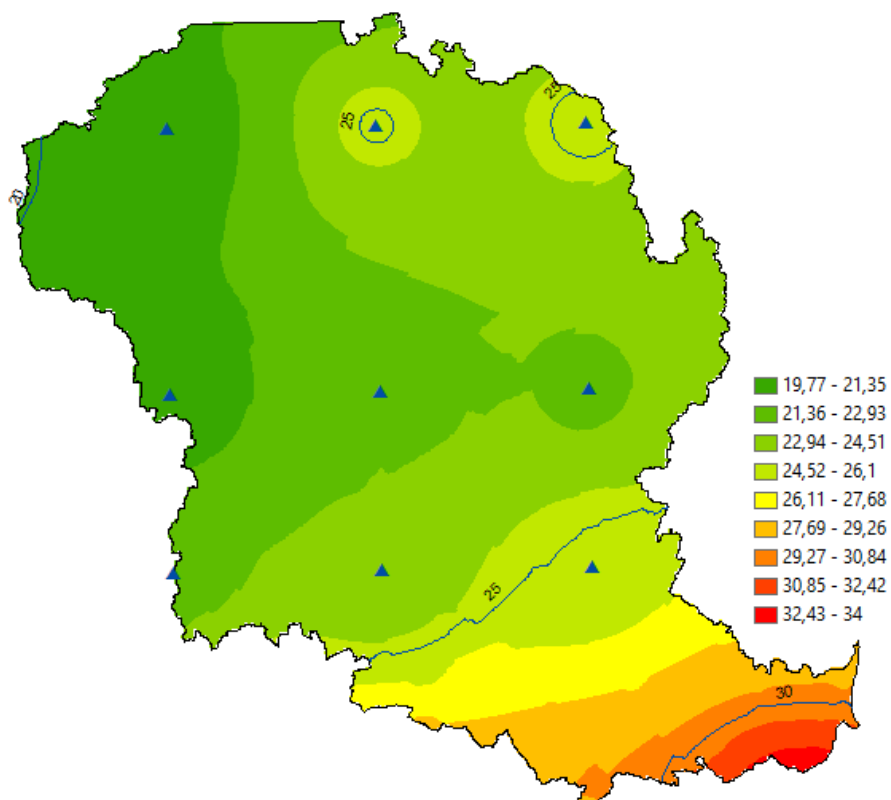


Figura 83 - Mapa da média de longo período para o mês de Julho

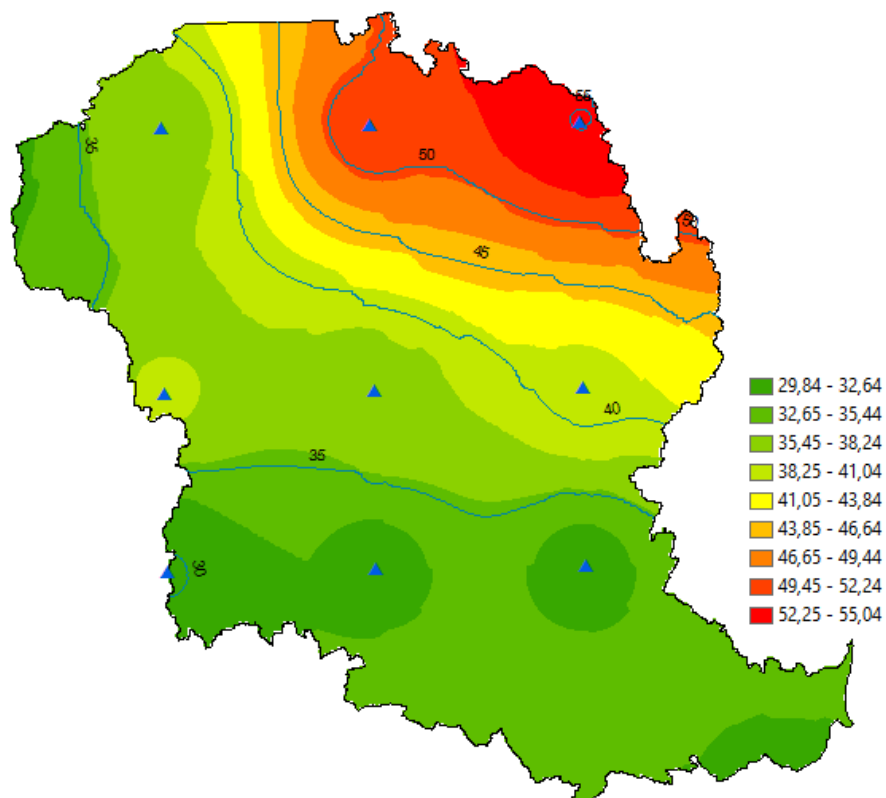


Figura 84 - Mapa da média de longo período para o mês de Agosto

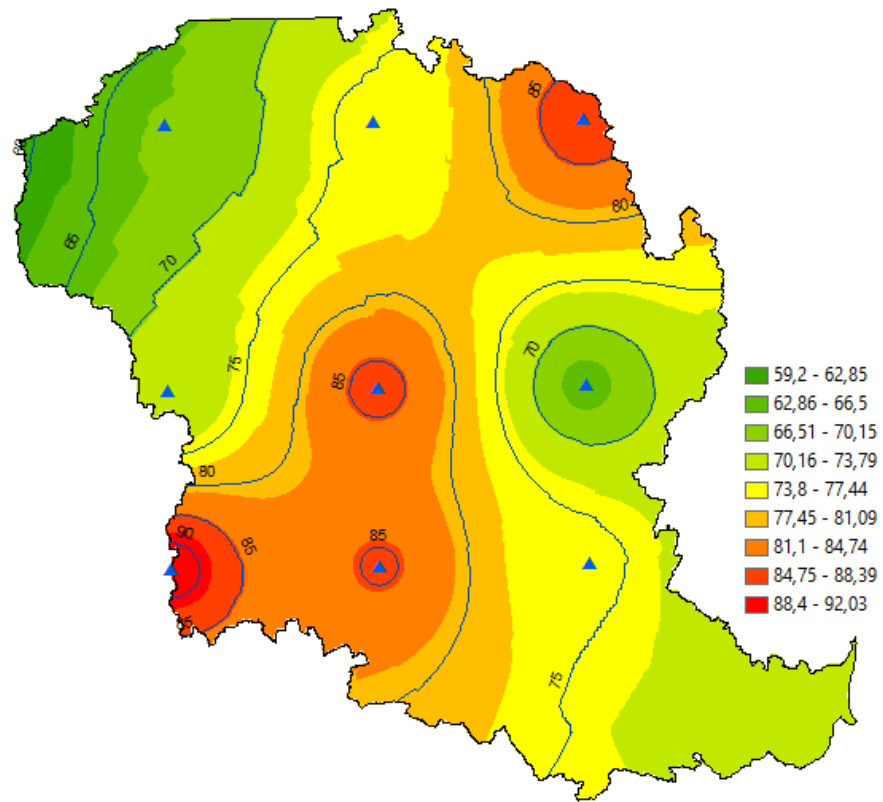


Figura 85 - Mapa da média de longo período para o mês de Setembro

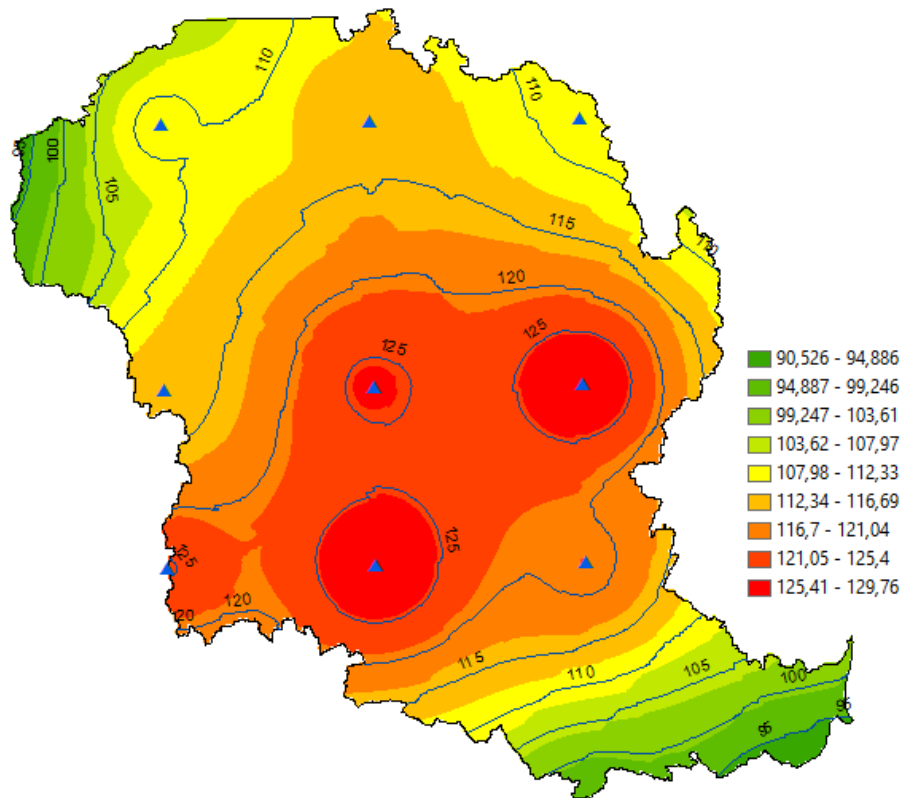


Figura 86 - Mapa da média de longo período para o mês de Outubro

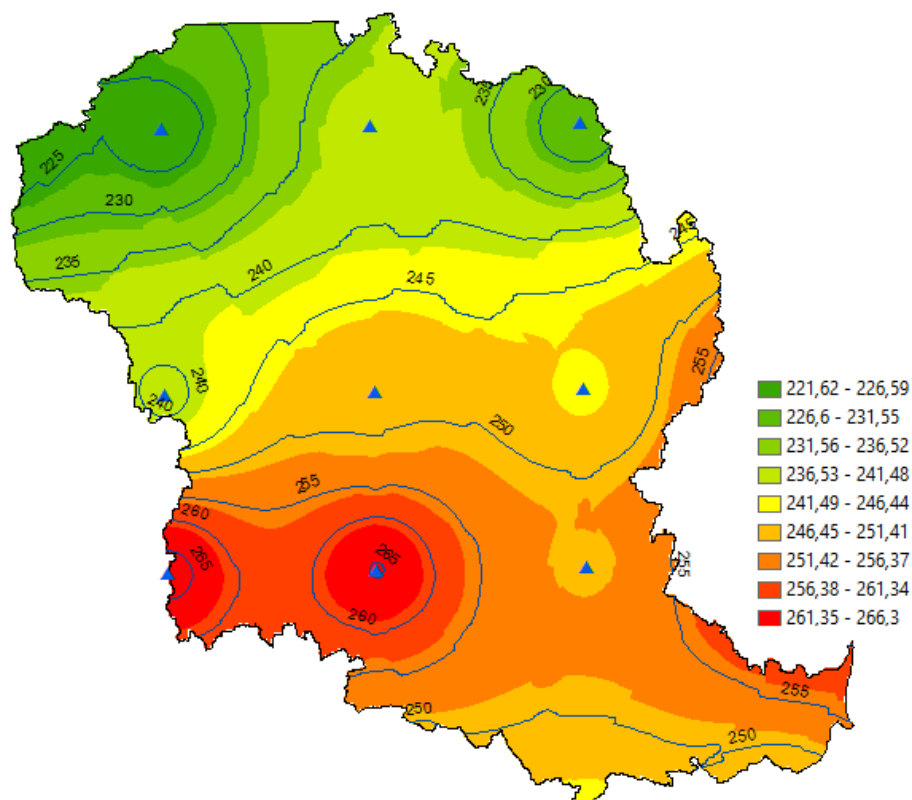


Figura 87 - Mapa da média de longo período para o mês de Novembro

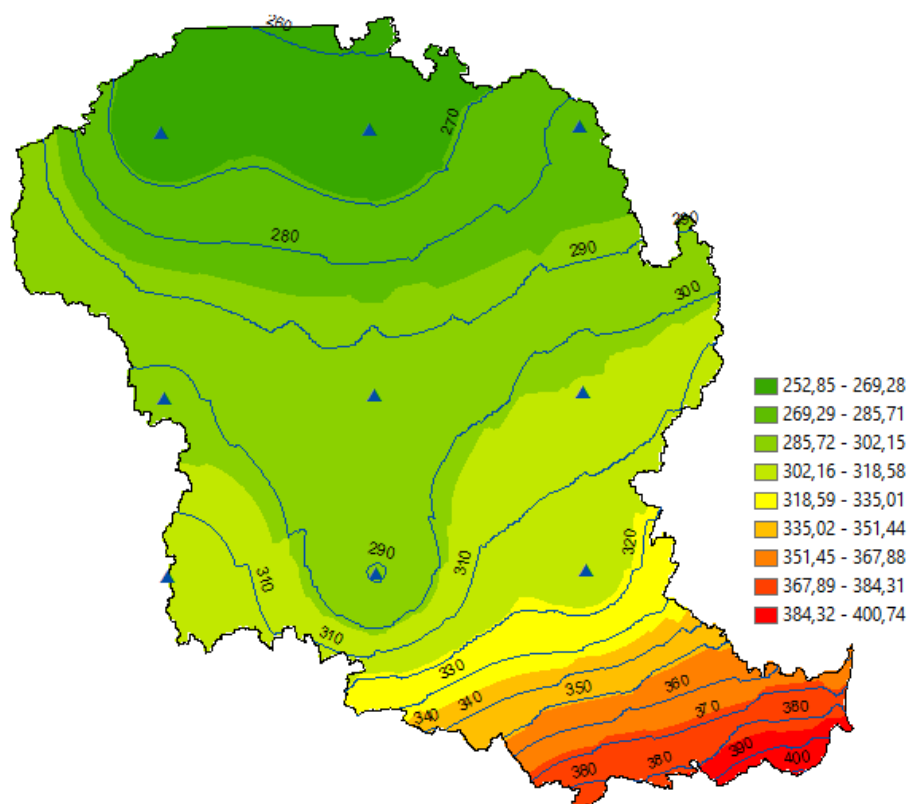


Figura 88 - Mapa da média de longo período para o mês de Dezembro