

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA DO
MEIO AMBIENTE



LIDIANE BATISTA DE MORAIS

**BANCO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS INTEGRADOS POR DADOS DA
PLATAFORMA TRMM E ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NOS ESTADOS
DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL**

Goiânia - GO

2014

LIDIANE BATISTA DE MORAIS

**BANCO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS INTEGRADOS POR
DADOS DA PLATAFORMA TRMM E ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS NOS ESTADOS DE GOIÁS E DISTRITO
FEDERAL**

Aluna: Lidiane Batista de Moraes

Orientador: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira

LIDIANE BATISTA DE MORAIS

**BANCO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS INTEGRADOS POR DADOS DA
PLATAFORMA TRMM E ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NOS ESTADOS
DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente, aprovada em 27 de agosto de 2014, pela banca examinadora, composta pelos professores:

Prof. Nilson Clementino Ferreira - UFG

Presidente da Banca e Orientador

Prof. Dr. Nilton Ricetti Xavier de Nazareno - IFG

Examinador Externo

Prof. Dr. Eduardo Queija de Siqueira - UFG

Examinador Interno

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M827b

Morais, Lidianie Batista de

Banco de dados pluviométricos integrados por dados da plataforma TRMM e estações pluviométricas nos estados de Goiás e Distrito Federal / Lidianie Batista de Moraes. – Goiânia, GO, 2014.

110 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás – Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA, 2014.

Orientador: Dr. Nilson Clementino Ferreira

1. Sensoriamento Remoto. 2. Pluviometria. 3. TRMM. 3. Estações Pluviométricas. I. Título.

CDD 526.982

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida e a força enviada a mim para que fosse possível a finalização de mais um importante projeto.

À minha família, especialmente meus pais pela força e apoio em todos momentos.

Às minhas amigas e irmãs, Andréa Figueredo, Milene Figueredo, Gláucia Gondim e Yara Cândida, por todos os momentos de apoio durante toda a vida.

Ao meu professor e orientador, Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira, pelas críticas, apoio e presença em todos os momentos da realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Nilton Ricetti Xavier de Nazareno (IFG) e ao Prof. Dr. Eduardo Queija de Siqueira (UFG), pelas contribuições para o enriquecimento do presente trabalho e participação na banca examinadora.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA), em especial aos professores: Prof. Dr. Alexandre Kepler Soares, Prof. Dra. Karla Emmanuela Ribeiro Hora, Prof. PhD José Vicente Granato de Araújo e Prof. Dr. Klebber Teodoro Martins Formiga, pelo conhecimento transferido a mim.

Aos amigos da Coordenação de Geomática do Instituto Federal de Educação Tecnológica do Tocantins (IFTO): Itamara, Patrícia, Heloisa, Zuleide, Eduardo, Luiz Antônio e Jonathan pelo apoio oferecido durante o período de realização do curso de pós-graduação.

Ao meu estagiário, Sávio Ribeiro, ao colega Fabiano Barbosa e à Prof.^a Regina de Amorin Romacheli pela ajuda no desenvolvimento e execução deste trabalho.

Aos amigos do Mestrado: Adriano, Aldrei, Aline, Aristela, Emanuelle, Cláudia, Diogo, Edio, Lívia, Elisa, Neemias, Rafaela, Laís, Luciano, Luane, Rávila, Karina, Samara,

Hugo Ribeiro, Rubens Villar, Kamilla Almeida e especialmente à Nadyelle, pela amizade, companheirismo e conhecimentos compartilhados durante esta jornada.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) juntamente com o Ministério da Educação (MEC) pela concessão de bolsa de mestrado e ao IFTO pela concessão da bolsa do PRÓ-QUALIFICAR.

E finalmente à todos que contribuíram direta ou indiretamente no desenvolvimento e conclusão deste projeto.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

(Madre Teresa de Calcutá)

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Estrutura da Dissertação.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Precipitação.....	20
2.2	TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission).....	22
2.3	TRMM em Diversos Ambientes.....	27
2.4	Utilização do TRMM em Modelos Hidrológicos.....	30
2.5	Comparação entre TRMM e Estações Pluviométricas.....	32
2.6	Utilização de Geoestatística entre dados TRMM e Estações Pluviométricas...36	
3	METODOLOGIA.....	38
3.1	Área de Estudo.....	38
3.1.1	Clima.....	39
3.1.2	Recursos Hídricos.....	40
3.1.3	Uso do Solo.....	40
3.1.4	Altimetria.....	42
3.2	Processo para coleta e tratamento de dados.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1	Análise anual dos dados de precipitação.....	53
4.2	Análise geral do Banco de Dados.....	69
4.2.1	Período de Seca.....	69
4.2.2	Período de Chuva.....	81
4.3	Análise do metadado.....	93
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	96
	REFERÊNCIAS.....	99
	ANEXO.....	107

RESUMO

MORAIS, L. B. **BANCO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS INTEGRADOS POR DADOS DA PLATAFORMA TRMM E ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NOS ESTADOS DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL**. 2014. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

Em países desenvolvidos é comum o uso de estimativas de precipitação utilizando ferramentas como o Sensoriamento Remoto, mas em países menos evoluídos tecnicamente, como o Brasil, este uso ainda é limitado. A área de estudo se concentra na região centro-oeste do país, que possui uma restrita rede de estações pluviométricas. Os Estados de Goiás e Distrito Federal possuem uma área ampla e sua rede de estações pluviométricas disponível é distribuída irregularmente, possuindo distanciamentos, produzindo apenas dados pontuais, o que pode causar a utilização de informações inadequadas da região, comprometendo o gerenciamento das águas pluviais em áreas urbanas e rurais. Com o advento da tecnologia, os dados do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission*– (TRMM) veio proporcionar mais coerência em relação aos dados pluviométricos, pois se trata de uma cobertura global, eliminando os efeitos dos dados antes pontuais. Este trabalho possui como objetivo principal formular um banco de dados de precipitação provenientes do satélite TRMM (algoritmo 3B42), e dados pluviométricos medidos em campo (estações pluviométricas), no intervalo temporal do ano de 1998 a 2011. A partir destes dados foi possível a elaboração do banco de dados pluviométricos, composto por 4 bandas: Banda 1, que foi composto de mapas de chuvas das estações pluviométricas; Banda 2, representado por mapas de chuvas do TRMM; Banda 3 composto pelos mapas de chuvas produto, que é a junção dos dados das estações pluviométricas com os dados TRMM, e finalmente o banco de dados foi representado pela Banda 4, que são os metadados; neste mapa se encontra os valores dos *pixels* utilizados na banda 3. Os resultados deste estudo mostraram que existe uma concordância entre os dados de estações pluviométricas (banda 1) e TRMM (banda 2) no período de menor frequência de precipitações, diferentemente no período chuvoso, onde o TRMM tende a superestimar aos valores das estações pluviométricas, mostrando correlação de no máximo 94,09% no ano de 2005, e no mínimo 25,52% registrado no ano de 2006. Quando analisada a composição da (banda 3), foi observado que no período seco, foi utilizado um total de até 100% de dados provenientes dos mapas de chuvas das estações pluviométricas, e no período chuvoso utilizou-se até 30% de dados dos mapas de chuvas do TRMM, o que pode ser comprovado pela banda 4. Estes mapas produtos resultaram em uma considerável solução para serem utilizados principalmente nas estações chuvosas, onde nem sempre as estações pluviométricas conseguem captar a precipitação total. O TRMM representou até 30% dos dados nas estações de chuvas, cobrindo possíveis erros das estações pluviométricas.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Pluviometria, TRMM, Estações Pluviométricas.

ABSTRACT

MORAIS, L. B. **PLUVIOMETRIC DATA BANK INTEGRATED BY THE TRMM PLATFORM AND RAINFALL STATIONS IN THE STATE OF GOIÁS AND DISTRITO FEDERAL.** 2014. 110f. Monograph (Master's in Environmental Engineering) - Civil Engineering School, Graduate Program *Sensu strict* in Environmental Engineering, Universidad Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

In developed countries it is common the use of rainfall estimatives by using tools like Remote Sensing, but in technically less advanced countries, like in Brazil, this usage still limited. The study area focuses on the center-west of the country, which has a restricted network of rainfall stations. The State of Goiás and Distrito Federal has a wide area and its network of rainfall stations available is distributed irregularly, having distances, producing only point data, which can cause the use of inadequate information in the region, committing the management of stormwater in urban and rural areas. With the advent of technology, data from the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite - (TRMM) has provided more consistency in relation to rainfall data, because it uses a global coverage, eliminating the effects of prior data points. This work has as main objective to develop a database of rainfall from the TRMM satellite (3B42 algorithm - version 7) and rainfall data measured in the field (rainfall stations), on the interval of 1998 to 2011. From this data was possible the development of rainfall data bank consisting of four bands: Band 1, which was composed by maps of rainfall stations; Band 2, represented by maps of rainfall from TRMM; Band 3 consists on maps of rainfall product, which is to merge the data from rainfall stations with TRMM data, and finally the database was represented by the Band 4, which is the metadata; this map is the pixel values used in band 3. The results of this study showed that there is an agreement between the data of rainfall stations (band 1) and TRMM (band 2) in periods of low rainfall frequency, unlike the rainy season, where the TRMM tends to overestimate the values of rainfall stations, showing correlation of maximum 94.09% in 2005, and at least 25.52% registered in the year 2006. When analyzing the composition of the (band 3), it was observed that during the dry period, a total of up to 100% of data from maps of rainfall stations was used, and in the rainy season it was used by 30% of data from the TRMM rainfall maps, which can be proven by the band 4. These maps resulted in a considerable solution for use mainly in the rainy seasons, where the rainfall stations do not always manage to capture the total precipitation. The TRMM represented 30% of the data in the rainy seasons, covering possible errors of rainfall stations.

Keywords: Remote Sensing, Pluviometry, TRMM, rainfall stations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática dos radares meteorológicos no Brasil	21
Figura 2 - Representação esquemática dos instrumentos a bordo do satélite TRMM ...	25
Figura 3 - Representação da imagem 3B42 do dia 30/01/1998 do satélite TRMM	25
Figura 4 - Localização da Área de Estudo.....	38
Figura 5 - Hidrografia do Estado de Goiás e Distrito Federal.....	40
Figura 6 - Uso do Solo no Estado de Goiás e Distrito Federal.....	41
Figura 7 - Mapa de Altimetria do Estado de Goiás e Distrito Federal	42
Figura 8 - Fluxograma do trabalho	43
Figura 9 - Estações pluviométricas no Estado de Goiás e entorno.....	44
Figura 10 - Mapa de chuvas das Estações Pluviométricas – Banda 1.....	46
Figura 11 - Mapa TRMM mundial.....	47
Figura 12 - Mapa de chuva do TRMM – Banda 2.	48
Figura 13 - Mapa Produto – Banda 3.	50
Figura 14 - Mapa Metadado – Banda 4.	51
Figura 15 – Representação do banco de dados do dia 01-01-1998	52
Figura 16 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 1998.....	54
Figura 17 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 1999.....	56
Figura 18 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2000.....	57
Figura 19 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2001.....	58
Figura 20 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2002.....	59
Figura 21 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2003.....	60
Figura 22 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2004.....	61
Figura 23 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2005.....	62

Figura 24 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2006.....	63
Figura 25 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2007.....	64
Figura 26 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2008.....	65
Figura 27 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2009.....	66
Figura 28 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2010.....	67
Figura 29 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2011.....	68
Figura 30 - Dados no dia 15/04/1998.....	70
Figura 31 - Dados no dia 15/04/2005.....	71
Figura 32 - Dados no dia 15/04/2011.....	72
Figura 33 - Dados no dia 15/06/1998.....	74
Figura 34 - Dados no dia 15/06/2005.....	75
Figura 35 - Dados no dia 15/06/2011.....	76
Figura 36 - Dados no dia 15/09/1998.....	78
Figura 37 - Dados no dia 15/09/2005.....	79
Figura 38 - Dados no dia 15/09/2011.....	80
Figura 39 - Dados no dia 15/10/1998.....	82
Figura 40 - Dados no dia 15/10/2005.....	83
Figura 41 - Dados no dia 15/10/2011.....	84
Figura 42 - Dados no dia 15/12/1998.....	86
Figura 43 - Dados no dia 15/12/2005.....	87
Figura 44 - Dados no dia 15/12/2011.....	88
Figura 45 - Dados no dia 15/03/1998.....	90
Figura 46 - Dados no dia 15/03/2005.....	91
Figura 47 - Dados no dia 15/03/2011.....	92
Figura 48 - Análise gráfica dos metadados no ano de 1998.....	93
Figura 49 - Análise gráfica dos metadados no ano de 2005.....	94
Figura 50 - Análise gráfica dos metadados no ano de 2011.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso do Solo no Estado de Goiás e Distrito Federal	41
Tabela 2 - Estações Pluviométricas de Goiás em Mesorregiões	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações Básicas do TRMM	22
Quadro 2 - Descrição Geral dos Instrumentos a Bordo do TRMM.	24
Quadro 3 - Descrição dos anos de ocorrência de <i>El niño</i>	55
Quadro 4 - Descrição dos anos de ocorrência de <i>La niña</i>	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas
ANUDEM – Programa de Modelo Digital de Elevação
BLDN – Rede Brasileira de Detecção de Raios
CAMS – *Climate Assessment and Monitoring System*
CCM3-IBIS – Modelo de Superfície Terrestre
CERES – *Cloudsand the Earth´s Radiant Energy System*
CMAP – *CPC Merged Analysis of Precipitation*
CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DEM – Modelo Digital de Elevação
EUA – Estados Unidos da América
FDS- Sistema de Detecção de Inundação
GPCC – *Global Precipitation Climatology Center*
GPCP- *Global Precipitation Climatology Project*
GPM – *Global Precipitation Measurement*
GWR – Regressão Geometricamente Ponderada
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBIS – Modelo de Superfície Terrestre
ICEA – Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IDW- *Inverse Distance Weighted*
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
JAXA- *Japan Aerospace Exploration Agency*
LBA – *Large Scale Biosphere*
LIS- *Lightning Imaging Sensor*
MGB – IPH – Modelo Hidrológico
MODIS- *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
NASA- *National Aeronautics and Space Administration*
NCAR – *National Center for Atmospheric Research*
NCEP – *National Center for Environmental Prediction*
NOAA – *National Oceanic atmospheric Administration*
PERSIANN- *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks*
PPGEMA – Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente

PR- *Precipitation Radar*

REDEMETS – Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica

RMS – Erro Médio Quadrático

SDI - Índice de Seca

SEPIN – Superintendência de Estatísticas, Pesquisa e Informações Sócio econômicas

SIEG - Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SRT – Técnica de Referência da superfície

TIROS – *Television and InfraRed Observation Satellite*

TMI – *TRMM Microwave Imager*

TRMM – *Tropical Rainfall Measuring Mission*

UHE – Usina Hidroelétrica

VIRS – *Visible and Infrared Radiometer System*

WGS-84 – *World Geographic System*

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCI – Zona de Convergência Intertropical

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo conhecimento acerca da precipitação mundial, sua distribuição temporal e espacial, é uma atividade de suma importância, pois desta forma é possível modelar e prever o tempo e as mudanças climáticas mundiais (Huffman et al., 1997). Neste sentido, o uso de dados obtidos por sensores remotos orbitais vem possibilitando boa cobertura de espaço e tempo, em nível global, para estimativas de precipitação (MASSAGLI, VICTORIA e ANDRADE, 2011; GUIMARÃES et al., 2000).

Para a obtenção de dados de propriedades físico-químicas e biológicas de áreas extensas, o sensoriamento remoto vem proporcionando grandes avanços, sendo utilizado na elaboração de múltiplos estudos, pois consegue detalhamento com excelente precisão (CARDOZO et al., 2011; NOVO, 1992).

Atualmente, os sensores orbitais permitem a observação da superfície terrestre nas mais diversas escalas temporais, espaciais e espectrais, fornecendo frequentes fontes de dados confiáveis sobre a paisagem. Gonçalves (2011) alerta que, mesmo com as resoluções cada vez mais refinadas, ainda não existem estimativas de precipitação na ordem de minutos, embora já existam dados disponibilizados em um curto intervalo de horas.

No Brasil, o uso de sensoriamento remoto para estimar dados de precipitação é menor do que nos Estados Unidos, por exemplo, devido principalmente à falta ou conhecimento escasso dos estudiosos sobre esta ferramenta de estimativa de precipitação (CONTI, 2002; JIA et al., 2011). Em contrapartida existem várias instituições que produzem dados sobre precipitação, como a Agência Nacional das Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgãos municipais e institutos de pesquisa. Na região Centro-Oeste do país, os dados de precipitações ainda são insuficientes, possuindo uma malha restrita de estações pluviométricas e poucos estudos sobre a região (REIS et al., 2005). O Estado de Goiás possui uma ampla área contando com 340.111,783 km² (IBGE, 2010), e uma rede de estações pluviométricas, ainda incipiente, distribuída de forma irregular, e com grandes distanciamentos entre as mesmas, o mesmo acontece com o Distrito Federal.

A rede de coleta de dados pluviométricos não promove uma leitura precisa e coerente das informações pluviométricas dos Estados, produzindo apenas

dados pontuais, restritos a área de abrangência das estações, comprometendo a gestão das águas pluviais urbanas e rurais, fato que leva muitas vezes a utilização de informações inadequadas, adotando valores de regiões diferentes da informação real da área de interesse. (REIS et al., 2005)

A busca para se conseguir estimar valores pluviométricos a partir de sensores remotos baseada em satélite começou em 1960 com o satélite meteorológico *Television and Infrared Observation Satellite* (TIROS), lançado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Em 1970 novos componentes começaram a ser instalados a bordo das plataformas geoestacionárias, como radiômetros multi-canais que forneciam imagens infravermelho visíveis e termais da Terra com resoluções temporais e espaciais razoáveis, porém somente nos anos 80 que se iniciaram os trabalhos com instrumentos de radares nestes sensores para a estimativa da precipitação pluvial, sendo esta medida avaliada por vários estudiosos para verificação de sua credibilidade. Assim, os sensores passivos de micro-ondas começaram a ser disponibilizados nos satélites de órbita polar, e as estimativas feitas a partir destes dados foram geralmente consideradas melhores que as observações anteriores. A partir desta época vários algoritmos foram criados para combinar os dados de precipitações provenientes dos satélites (KUMMEROW, et al., 2000, JOYCE et al., 2004 e HUFFMAN et al., 1997)

Em 1997, por meio de uma parceria entre a NASA e a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) foi construído e lançado o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), capaz de obter dados pluviométricos nas regiões tropicais do planeta, por meio da utilização de micro-ondas e radar.

O uso das imagens obtidas pelo satélite TRMM agrega valor aos dados obtidos pelas estações pluviométricas, podendo melhorar a disponibilidade de dados pluviométricos no Estado de Goiás e Distrito Federal. Neste trabalho partiu-se do pressuposto que os trabalhos feitos com dados TRMM, são viáveis, levando em consideração que estes dados são produto de medidas indiretas de precipitação, e utiliza varias variáveis para cálculo deste quantitativo. Por se tratar de imagens gratuitas, com intervalo de tempo diário e não requerer a ampliação da rede de estações pluviométrica dos Estados, o estudo alia viabilidade financeira e confiabilidade de dados. Sendo assim, estes dados poderão de fato contribuir para o

desenvolvimento de estudos que implementarão o conhecimento científico que sejam fonte de informações e possam servir de subsídios a outros estudos ambientais

No presente projeto, ocorreu à avaliação de dados obtidos pelo satélite TRMM, disponibilizado pela NASA, em relação aos dados obtidos em pluviômetros disponibilizados pela ANA, com o objetivo principal de formular um banco de dados sobre o comportamento pluviométrico dos Estados de Goiás e Distrito Federal, no final este banco de dados é composto por imagens diárias, compostas por quatro bandas, onde o usuário poderá escolher sua fonte de dados para estudo, seja por imagens TRMM, ou Estações Pluviométricas e até mesmo a junção destes dois dados. Sendo assim este banco de dados poderá subsidiar a gestão de recursos hídricos nestes estados e poderá também auxiliar em trabalhos de outras áreas, tais como: planejamento urbano, estudos da previsão do tempo e estudos de impactos ao meio ambiente.

1.1 Estrutura da Dissertação

No capítulo seguinte será apresentada uma revisão bibliográfica da pluviometria e a disponibilidade de dados, e ainda a precipitação obtida pelo satélite TRMM. São apresentados trabalhos que fizeram uso desses dados em modelos hidrológicos e na comparação com dados obtidos em pluviômetros.

O capítulo 3 trata da descrição da área de estudo, posteriormente descreve a proposta metodológica adotada, a fim de alcançar os objetivos estabelecidos, descrevendo o processo para coleta e tratamento dos dados utilizados.

O capítulo 4 apresenta os resultados, e no capítulo 5 estão às conclusões obtidas no trabalho, sendo feitas as recomendações para futuros estudos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Precipitação

A precipitação é um dos fatores de grande relevância para a determinação das condições de tempo e clima de uma região, indicando também a disponibilidade de água para seus diversos usos. Sendo assim, é de extrema importância conhecer a quantidade de chuva e sua distribuição no tempo e no espaço, pois estes são subsídios fundamentais para diversas atividades desempenhadas pela sociedade humana em uma determinada região. Além disso, esse é um dado indispensável nas análises de bacias hidrográficas (Doorenbos e Kassan, 1994), tendo em vista que, geralmente as precipitações de alta intensidade e curta duração formam vazões significativas em bacias pequenas de drenagem urbana. Normalmente as chuvas mais intensas também são as mais raras, por este motivo é preciso avaliar este quantitativo pluviométrico para se estimar as condições de risco e impactos sobre uma determinada área (GONÇALVES, 2011).

Collischonn et al. (2007) afirmam que a precipitação é uma das variáveis mais complicadas de se obter no ciclo hidrológico, tendo em vista sua grande variação no espaço e no tempo. A falta de dados quantitativos de precipitação tem sido um problema de longa data para a ciência atmosférica. Esta deficiência na quantificação pluviométrica, muitas vezes resulta em impactos negativos sobre a maioria das ciências da Terra e suas aplicações (KUMMEROW et al., 1998).

Para a análise da precipitação são disponibilizados dados dos pluviômetros, mas estes conseguem apenas abranger uma pequena área de estudo no entorno destes equipamentos (CAMPAROTTO et al., 2013). De acordo com Collischonn et al. (2007) uma das alternativas para a solução destes problemas seria a implantação de radares meteorológicos, porém no Brasil estes dispositivos estão disponíveis em poucos locais.

Atualmente a Rede de Meteorologia do comando da aeronáutica (REDEMET) disponibiliza dados pela internet dos radares disponíveis em 17 regiões do país: Gama-DF, Pico do Couto-RJ, São Roque-SP, Morro da Igreja-SC, Canguçu-RS, Santiago-RS, Boa Vista-RR, Belém-PA, Macapá-AP, Cruzeiro do Sul-AC, Porto Velho-RO, Manaus-AM, Santarém-PA, Tefé-AM, São Gabriel da Cachoeira-AM, São Luis-MA, Tabatinga-AM, e mais 4 regiões em implantação, Três Marias-MG,

Sodré et al. (2013), realizaram um estudo de comparações entre dados de radar e do TRMM com estações na superfície, nas cidades de Santarém no Pará e Macapá no Amapá. Este estudo quantificou precipitações horárias e mensais. No final os autores verificaram o registro dos instrumentos de forma parecida, no entanto o radar superestimou os dados enquanto o TRMM subestimou os valores de precipitação.

2.2 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)

Novo (1992) afirma que, qualquer equipamento que seja capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal que possa ser convertido em informação sobre o ambiente, pode ser definido como sistema de sensor. Segundo Florenzano (2008), a aquisição de dados sobre a superfície terrestre obtida à distância por meio de sensores, é definida como Sensoriamento Remoto. Este Sensor é capaz de receber a radiação eletromagnética (energia) refletida ou emitida pela superfície terrestre ou atmosfera, em vários comprimentos de ondas ou frequências.

Nos últimos anos foram desenvolvidos vários sistemas sensores, que estão instalados a bordo de satélites orbitais, bem como tem sido adotadas diversas metodologias para estimar a precipitação por meio de imagens de satélites (COLLISCHONN et al., 2007). Um exemplo desses satélites é o TRMM.

De acordo com Nóbrega, Souza e Galvinctio (2008), o TRMM tem órbita oblíqua não-heliossíncrona de baixa inclinação e altitude, assim a órbita baixa (antes 350 km, e depois aproximadamente 403 km) permite que o período de translação seja rápido (91 minutos), obtendo alta resolução temporal, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Informações Básicas do TRMM

Data de Lançamento	27 de novembro de 1997
Órbita	Circular, não-síncrona-sol, com uma inclinação de 35 graus em relação ao Equador.
Altitude da Órbita	350 km (27/11/1997 - 08/08/2001) 404 km (24/08/2001 - presente)
Mudança de Altitude	Durante o período de 07/08/2001 a 14/08/2001, a altitude de operação média passou de 350 km a 403 km (referido também como TRMM Boost).

Fonte: adaptada de <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/TRMM>

Figueiredo (2005) relata que a resolução espacial é a capacidade que o sensor tem de identificar o menor espaço entre os objetos imageados. Já a resolução

temporal é a indicação da frequência que um sensor é capaz de captar um mesmo objeto, ou seja, o sincronismo de tempo que o satélite leva para imagear o mesmo local (FLORENZANO, 2008).

A plataforma TRMM dispõe de três sensores principais utilizados na avaliação da precipitação: imageador de micro-ondas TRMM (*TRMM Microwave Imager – TMI*); radar de precipitação (*Precipitation Radar – PR*) e sistema de radiômetro visível e infravermelho (*Visible and Infrared Radiometer System – VIRS*); estes são os principais componentes instrumentais do TRMM que medem nesta mesma ordem a temperatura, potência e radiância. A partir de suas combinações têm-se a estimativa de precipitação (GONÇALVES, 2011)

O TRMM foi projetado para fornecer mapas tridimensionais da estrutura de tempestade. KUMMEROW et al. (2000) informam que o TMI é um sensor de micro-ondas passivo que mede a energia de micro-ondas emitida pela Terra e sua atmosfera em pequenas quantidades, quantifica vapor de água, água de nuvem e intensidade das chuvas na atmosfera. O PR indica a intensidade da chuva, a distribuição e o tipo, bem como a profundidade de tempestade e a altura em que a neve derrete para formar a chuva, sendo o primeiro radar espacial concebido para medir a estrutura vertical da precipitação troposférica (Funk, Ederer e Pedreros, 1998), que também indica que o PR pode proporcionar uma rica base de dados para a meteorologia tropical e para os estudos climáticos.

O sensor VIRS indica a radiação que chega a Terra em cinco regiões espectrais, que podem ser utilizadas para determinar o brilho (visível e do infravermelho próximo) ou temperatura (infravermelho emitido) da fonte. O sensor VIRS também é utilizado para estimar as altitudes dos topos das nuvens e indicar uma probabilidade de precipitação quando avistar os maiores topos das nuvens que aparecem mais frios. Collischonn et al.(2007), associam a temperatura do topo das nuvens baixas a uma taxa maior de precipitação devido a um maior desenvolvimento da nuvem verticalmente. Estas medidas são dadas na faixa infravermelho do espectro eletromagnético.

Segundo Gonçalves (2011), as estimativas nas bandas visíveis e no infravermelho são indiretas, necessitando da ocorrência de chuvas. Já a banda que utiliza micro-ondas, consegue perceber a quantidade de água ou cristais de gelo armazenado nas nuvens. Esta função é explicada pela lei de Planck, na qual há

correlação entre refletância de micro-ondas e a precipitação, sendo estas imagens mais precisas de que as imagens de infravermelho.

O micro-ondas também possui sua desvantagem, já que o período de passagem do satélite sobre o mesmo local (resolução temporal) é demasiadamente grande (geralmente por volta de dois dias, podendo variar de satélite e do local de passagem). Sendo assim, é complicado obter os valores de totais precipitados em períodos longos ou áreas maiores. A sua resolução espacial, também é considerada baixa quando comparada com bandas visíveis e infravermelhos. PETTY (1995 *apud* GONÇALVES, 2011).

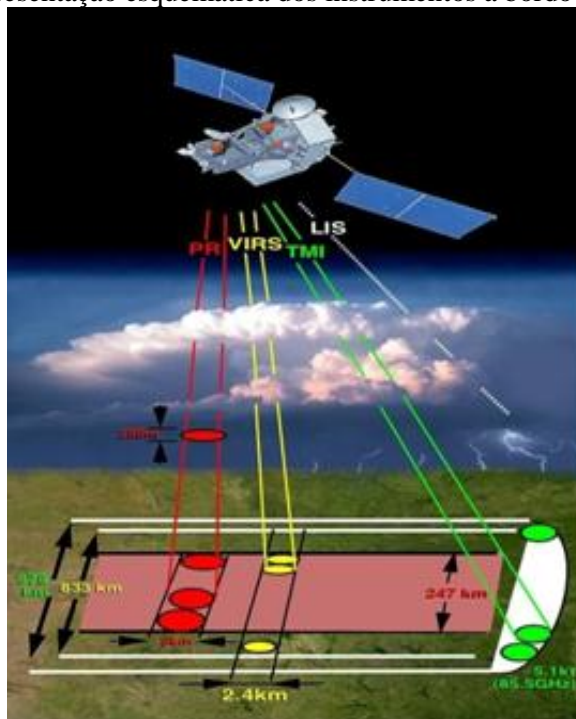
Além dos principais instrumentos para medir a precipitação, o TRMM ainda dispõe do *Lightning Imaging Sensor* (LIS) e *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* (CERES). Estes instrumentos a bordo do TRMM podem funcionar individualmente ou em grupo. O CERES operou por pouco tempo, de janeiro a agosto de 1998 e março de 2000, e foi utilizado em estudos sobre a energia trocada entre o Sol, Atmosfera, superfície da Terra, nuvens e o espaço. O LIS, é o sensor de imagens de raios que detecta e localiza relâmpagos na região tropical, fornecendo uma ferramenta imprescindível para alertas de tempestade. O Quadro 2 disponibiliza uma descrição geral dos principais instrumentos a bordo do TRMM, e na Figura 2 são ilustrados os instrumentos a bordo do satélite TRMM (NASA, 2013).

Quadro 2 - Descrição Geral dos Instrumentos a Bordo do TRMM.

Sistema de Radiômetro visível e infravermelho (VIRS)	VIRS é um radiômetro de varredura de cinco canais, cross-track operando a 0,63; 1,6; 3,75; 10,8 e 12 μm , que fornece observações de alta resolução em cobertura de nuvens, tipo de nuvem e em temperaturas no topo das nuvens.
Imageador Micro-ondas do TRMM (TMI)	O TMI é um radiômetro de micro-ondas passivo multicanal operando em cinco frequências: 10,65; 19,35; 37,0 e 85,5 GHz a dupla polarização e 22,235 GHz a única polarização. A TMI fornece informações sobre o conteúdo integrado de coluna de precipitação, nuvem, água líquida, nuvem de gelo, intensidade da chuva e os tipos de precipitação (por exemplo, estratiformes ou convectivas).
Radar de Precipitação – PR	O PR, o primeiro de seu tipo no espaço, é um radar de varredura eletrônica, operando a 13,8 GHz, que mede a distribuição de chuvas 3-D sobre terra e mar, e definir a profundidade da camada de precipitação.

Fonte: adaptado de <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/TRMM>

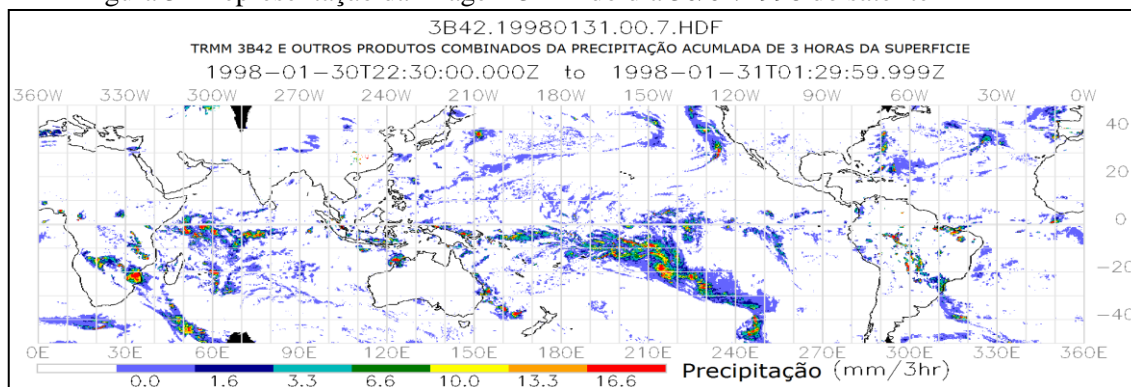
Figura 2 - Representação esquemática dos instrumentos a bordo do satélite TRMM



Fonte: Adaptada de http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/background.html

A NASA disponibiliza gratuitamente as imagens pluviométricas obtidas pelo satélite TRMM por meio do seu *site*². Essas imagens são geograficamente referenciadas no sistema WGS-84 para a amplitude geográfica, compreendendo as latitudes 50° Norte e 50° Sul e longitudes 180° Oeste e 180° Leste, ou 0° a 360° Oeste, para o intervalo temporal entre 1997 e 2014, diariamente ou mensalmente, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Representação da imagem 3B42 do dia 30/01/1998 do satélite TRMM



(Fonte: Adaptada

http://disc2.nascom.nasa.gov/ftp/data/s4pa/TRMM_L3/3B42_BR/1998/030/3B42_BR.19980131.00.7.PNG)

²<http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador>

O produto 3B42 é resultante de um algoritmo de processamento dos dados adquiridos pelos sensores instalados a bordo do satélite TRMM e de outros sensores que integram os dados de micro-ondas, infravermelho de radar. O produto 3B42 é obtido diariamente, e atualmente está disponível na versão 7, produto utilizado neste estudo.

Os produtos 3B42 têm como objetivo disponibilizar dados de precipitação que são capazes de formar séries temporais diárias e mensais, a respeito da intensidade de precipitação média (mm/h) inferida a partir dos dados fornecidos por vários satélites, além do TRMM, como dados de chuva fornecidos pelo *Global Precipitation Climatology Center* (GPCC), produzido pelo Serviço Meteorológico Alemão, e *Climate Assessment and Monitoring System* (CAMS), produzido pela *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA). O objetivo do 3B42 é disponibilizar dados com a melhor estimativa de precipitação com o menor erro médio quadrático possível (RMS). Essas estimativas são disponibilizadas em estrutura de grade, com 0,25 graus em 0,25 graus de resolução espacial e resolução temporal diária (HUFFMAN et al., 1995, HUFFMAN et al., 1997; HUFFMAN et al., 2007; KUMMEROW et al., 2000).

De acordo com Huffman (2007), as estimativas 3B42 são produzidas em quatro fases:

- (1) as estimativas de precipitação de micro-ondas são calibradas e combinadas;
- (2) as estimativas de precipitação infravermelhas são criadas a partir de dados da precipitação de micro-ondas calibrados; nesta fase o 3B42 utiliza dois conjuntos de dados infravermelhos, tendo então a necessidade de ajustá-los;
- (3) o micro-ondas e as estimativas de infravermelho são combinados, prevendo a melhor estimativa local; e
- (4) é aplicada a escala de dados mensais; essa parte envolve a inclusão de dados pluviométricos para combinar com os dados já ajustados.

Existe uma preocupação dos estudiosos na questão desse processo ser visto como lento, considerando que os dados pluviométricos das estações são mensais, pois se os dados forem colocados numa variação menor de tempo, eles podem apresentar densidade insuficiente. Esses dados às vezes não são relatados, resultando em intervalos de observação inconsistentes. Neste sentido, Gonçalves (2011) revela que a desvantagem de se utilizar este produto (3B42) está na

complexidade do algoritmo, que precisa de muitos dados para a geração do produto final, sendo disponibilizado muito tempo depois.

O TRMM está disponível desde o final do ano de 1997 até o presente momento (Agosto de 2014), apresentando sucesso e confiabilidade em sua missão, sendo destacado por vários autores. Considerando este sucesso, a NASA preparou seu sucessor semelhante ao primeiro, porém com maior resolução, denominado *Global Precipitation Measurement* (GPM)³ do produto missão 3IMERGHH. Esta transição estava prevista inicialmente para ocorrer em 2013, entretanto foi postergada e está prevista para acontecer no final de 2014 (HUFFMAN, 2012 e GONÇALVES, 2011).

2.3 TRMM em Diversos Ambientes

A equipe TRMM desenvolve ferramentas e métodos para combinar e analisar dados de precipitação gerados a partir de fontes terrestres e espaciais, publicando produtos de alta qualidade (FUNK, EDERER E PEDREROS, 1998).

Petersen et al.(2000) fizeram um estudo do TRMM utilizando dados do PR e os dados de *Lighting Imaging Sensor* (LIS) para a realização de estudos estatísticos da estrutura vertical de processos de convecção e precipitação, sobre uma grande variedade de regimes de precipitação no mundo. Ao combinar os dados, concluíram que observações do TRMM-PR e LIS sugerem que existe uma grande variedade de regimes de chuvas nos trópicos. Além disso, estes dados combinados permitem identificar diferenças relativas nos perfis de aquecimento diabático de cada regime para ser identificado.

Fuentes et al. (2008) também analisaram os atributos verticais de sistemas precipitantes na África Ocidental e no leste do Oceano Atlântico, e utilizaram como fonte de dados o TRMM e dados do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) na análise de sete anos (1998-2004). Tais dados foram incluídos para obter perfis verticais de refletividade sobre a área de estudo no decorrer da estação chuvosa, correspondendo aos meses de junho a setembro. Na

³<http://pmm.nasa.gov/GPM>

pesquisa, pôde-se concluir que as mudanças regionais nas características verticais de tempestades pré-precipitantes, observadas utilizando os dados de TRMM, são consistentes com as mudanças do ambiente básico estimado a partir de dados de reanálise do NCEP.

Posteriormente, Petersen et al. (2002) observaram os dados obtidos pelo TRMM em regimes convectivos na Amazônia, utilizando um conjunto com dados de raios terrestres para investigar a estrutura vertical, relâmpago e as características de chuvas da Amazônia central e convecção da América do Sul por três estações chuvosas separadas. Os autores fizeram a montagem de um quadro climatológico combinando *Radar Precipitação TRMM* (PR), *Microwave Imager* (TMI), *Lightning Imaging Sensor* (LIS), dados da Rede Brasileira de Detecção de Raios (BLDN) e dados de vento zonal (Reanálise NCEP). Analisando estes dados, chegou-se a conclusão que estes resultados, comparados aos do TRMM-LBA, sugerem que o satélite TRMM captura uma parcela significativa da variabilidade intrasazonal na estrutura convectiva e precipitação sobre a Amazônia.

Meneghini et al. (2004) estudaram a superfície técnica de referência híbrida e sua aplicação ao PR. Para o estudo utilizaram uma área de oceano, pois esta elimina a maioria das descontinuidades no campo do caminho de atenuação. Dois métodos foram utilizados: a técnica de referência da superfície (SRT) e o método Hitschfeld-Bordan. Estes métodos são utilizados para estimar operacionalmente quantitativos de chuva utilizando dados do PR. Cálculos de duas semanas de dados PR mostram que 90% dos eventos de chuva sobre o oceano para o SRT foram classificados como confiáveis.

Kamarianakis et al. (2008) avaliaram as chuvas com sensoriamento remoto estimando e usando modelos mistos não lineares e de regressão geograficamente ponderada (GWR). Ao longo do Mediterrâneo, examinaram a relação entre a verdade terrestre e dados de chuvas derivados de satélite em uma escala local. Os resultados indicaram a existência de três regiões na parte norte, onde o algoritmo obteve um desempenho significativamente melhor do que no resto da região de estudo. O modelo GWR apresentado pode ser utilizado para a calibração se a relação entre os dados pluviométricos e estimativas de satélite for constante ao longo do tempo.

Leivas et al. (2009) estudaram a região de Manaus e fizeram comparações dos dados TRMM, 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, e chegaram à conclusão que os dados do satélite TRMM são consistentes e representaram bem as estações de seca e chuva, mostrando boa acurácia em comparação com dados pluviométricos registrados em superfície.

Hüttich et al.(2009) investigaram a adequação de séries temporais MODIS para mapear tipos de vegetação em ecossistemas de savana seca; um estudo de caso no Kalahari do nordeste da Namíbia (África do Sul), utilizando um mapeamento do tipo de vegetação em uma savana seca com base na escala local, dados de pesquisas botânicas *in-situ* com séries temporais de satélite de alta resolução temporal (MODIS) e baixa resolução temporal (Landsat). A utilização de métricas temporais inter-anual de longo prazo apresentaram as melhores precisões de classificação (Kappa = 0,93). Este índice é uma medida de concordância do valor correto com o valor adquirido, em comparação com as classificações baseadas em conjuntos de características sazonais. A relação entre precisões de classificação e os montantes anuais de precipitação bi-anual foi realizado utilizando dados do TRMM. Em anos com altos índices de precipitação quando comparados às estações secas e chuvosas foram encontrados erros.

Du et al. (2012) realizaram um estudo semelhante na China, utilizando um método de monitoramento da seca global que integra dados MODIS e TRMM, sendo que a seca é um deficit de precipitação na parte norte, exatamente na província de Shandong no período de 2010-2011. Avaliou-se o índice de seca sintetizada (SDI), que é definida como a principal componente, e integra dados do MODIS e TRMM. Os autores provaram que esse índice é um indicador global de monitoramento da seca e pode conter, não só a informação de seca meteorológica, mas também pode refletir a influência da seca na agricultura.

Ji Xuan e Chen (2012) caracterizaram padrões espaciais de precipitação com base de dados corrigidos 3B43 TRMM sobre as montanhas Tianshan da China, descritos com base nos dados mensais de precipitação TRMM 3B43, que subestimaram a precipitação em região de montanha. Os modelos de regressão foram desenvolvidos para melhorar os dados de TRMM 3B43, utilizando a localização

geográfica e variáveis topográficas extraídas através da utilização da tecnologia do Sistema de Informações Geográficas de Modelagem Digital do Terreno (SIG e MDE). A variância explicada na precipitação observada foi melhorada de 64% (a partir de TRMM 3B43 para mais de 82% quando a localização e variáveis topográficas foram adicionadas). Os autores estudaram todos os dados TRMM 3B43 para o período de 1998 a 2009, utilizando os melhores modelos de regressão, e em seguida os padrões de variação da precipitação ao longo das montanhas Tianshan.

Danelichen et al. (2013) fizeram um estudo na região Centro-Oeste do Brasil analisando dados da precipitação pelo satélite TRMM, comparando-os com séries de precipitação obtidas pelo Instituto de Controle de Espaço Aéreo (ICEA) do Comando da Força Aérea. Chegaram à conclusão que o satélite TRMM superestimou a precipitação anual entre 0,6 e 37,4%, principalmente no período seco. No entanto, teve alta correlação com a série medida (0,88) e alto coeficiente de Willmott (0,92), que resultaram em análises de padrão sazonal inverso da precipitação acumulada, com maiores valores no norte do Centro-Oeste na estação chuvosa e no sudeste do Centro-Oeste na estação seca.

2.4 Utilização do TRMM em Modelos Hidrológicos

Para gerenciamento dos problemas que tangem a drenagem urbana, a integração entre geoprocessamento e os modelos hidrológicos tornou-se um aliado, pois podem ser utilizados no controle e previsão de inundações, orientando o planejamento urbano para redução de impactos principalmente em regiões sujeitas a inundações e deslizamentos (GÓES e CIRILO, 2011).

Em estudos hidrológicos é necessário o estudo das precipitações analisadas em séries históricas, avaliando a frequência e a localização do evento, ou seja, sua distribuição espacial e temporal. Esses estudos hidrológicos podem ser realizados por meio de modelos concentrados ou distribuídos. Os modelos concentrados utilizam parâmetros médios para mostrar as características espaciais, e os modelos distribuídos detalham a representação física da bacia por meio de células (VILLELA e MATTOS, 1975; REIS et al.; 2005; GÓES e CIRILO, 2011).

Vários são os modelos hidrológicos disponíveis, e eles servem como subsídio para entendimento de vários fenômenos ocorridos na natureza. Portanto é

necessário saber para que, e qual modelo pode ser melhor aplicado às condições disponíveis.

Collischonn et al. (2007) alertam que o fator determinante nas incertezas dos resultados de diversos modelos hidrológicos que têm sido aplicados no país é a baixa densidade de postos pluviométricos em bacias hidrográficas. Neste caso, os dados de precipitação oriundos de sensores orbitais tornam-se uma ferramenta útil nas estimativas espaciais de precipitação, fornecendo uma boa noção da distribuição espacial das chuvas, mesmo com discrepâncias, quando comparados com valores pontuais medidos no solo. A aplicabilidade do TRMM em modelos hidrológicos tem sido foco de diversas pesquisas, pois o país é carente de dados e informações hidrológicas.

Collischonn et al.(2007) usaram dados de precipitação obtidos pelo satélite TRMM em um modelo hidrológico distribuído na bacia do Rio São Francisco até a Usina Hidroelétrica - UHE Três Marias, que conta com boa rede pluviométrica. Esses dados foram também utilizados na bacia hidrográfica do rio Tapajós, que possui poucos postos pluviométricos. Também foram utilizados dados do TRMM como dados de entrada do modelo hidrológico distribuído MGB-IPH. O modelo alternativo usado com estimativas de satélite, teve desempenho pouco inferior ou mesmo similar ao modelo convencional, usado com dados de pluviômetros.

Coe, Costa e Soares Filho (2009), verificaram a influência do desmatamento passado, futuro e potencial sobre a vazão do rio Amazonas. Processos de superfície da Terra e *feedbacks* atmosféricos fizeram simulações numéricas, uma com o modelo de superfície terrestre IBIS forçada com clima prescrito e outra com a atmosfera totalmente acoplada a circulação geral e modelo de superfície terrestre CCM3-IBIS. Os resultados mostraram a influência do desmatamento na evapotranspiração local e na descarga do Rio Amazonas, com e sem *feedbacks* atmosféricos, e esclareceu alguns pontos importantes sobre o impacto do desmatamento no rio. Como resultado, as mudanças para descarga em ambientes aquáticos com futuro desmatamento da Amazônia provavelmente será significativo, e uma função complexa da quantidade de vegetação que já foi removida.

A validade do sistema de detecção de deflúvio global foi feita por Moffitt et al. (2011), baseado no TRMM em Bangladesh, e utilizou o sistema de detecção de inundação(FDS). Usando vazão medida e dados de precipitação, o estudo analisou a

capacidade de detecção de inundação do espaço por três sistemas fluviais muito distintos em Bangladesh: Ganges, Brahmaputra e Meghna. A avaliação quantitativa mostrou que a eficácia dos FDS baseados no TRMM pode variar em função das características e da estação de drenagem da bacia. No geral, o estudo mostrou que as FDS baseadas no TRMM tem grande potencial para os países sujeitos a inundações como Bangladesh, que são confrontados com enormes dificuldades na gestão da inundação transfronteiriça.

Souza e Reis Junior (2013), estudaram uma bacia hidrográfica que é contribuinte da estação fluviométrica Iguatú, localizada no Estado do Ceará, com aproximadamente 20.000 km². Os autores investigaram a qualidade dos dados TRMM numa simulação de séries de vazões, utilizando modelos hidrológicos, dados de precipitação mensais e diários na bacia hidrográfica. Utilizaram também métricas categóricas e métricas tradicionais de análises de séries contínuas e analisaram sete anos de dados TRMM. Os resultados na escala mensal, a proporção de acertos (PC) da chuva, foi acima de 90%, e a taxa de acertos (H) foi quase 100%, embora com uma tendência à superestimativa. Os autores chegaram à conclusão que as estimativas de precipitação TRMM podem ser utilizadas de forma adequada em regiões onde não existe rede de monitoramento ou esta é esparsa.

2.5 Comparação entre TRMM e Estações Pluviométricas

As precipitações podem ser medidas e estimadas por dois meios, sendo o primeiro por estações meteorológicas de superfície ou por meio de dados obtidos por sensores instalados a bordo de satélites meteorológicos ou de observação da Terra. Os dois meios apresentam vantagens e desvantagens, e devem ser selecionados por cada aplicabilidade conforme os objetivos de cada atividade (MASSAGLI, VICTORIA e ANDRADE, 2011).

Jia et al. (2011) relatam que, em estudos de Hidrologia, Meteorologia e Ecologia é de fundamental importância a disponibilidade de dados de precipitação com alta resolução espacial. Os autores dizem ainda que as medições pontuais baseadas em estações pluviométricas não refletem a variação espacial da precipitação de maneira eficaz. Entretanto, os avanços produzidos pelos satélites meteorológicos têm sido amplos. Collischonn et al. (2007) mostraram que a estimativa por meio de

dados satelitários se tornou uma importante ferramenta para consistência de dados, pois além de dar bons resultados, também pode ajudar a identificar pluviômetros com problemas na leitura ou mal localizados. Vários são os estudos feitos de comparação entre estes dois indicadores, tanto no Brasil quanto no mundo.

Fisch, Vendrame e Hanaoka (2007) e Silva, Freitas e Gielow (2011), fizeram estudos experimentais durante o projeto *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (LBA). Este projeto científico tratou da produção de conhecimentos sobre a Amazônia e dos impactos dos desmatamentos tanto do ponto de vista regional como do ponto de vista global. Realizado no ano de 1999, os estudos concluíram que as precipitações observadas com os sensores orbitais estavam coerentes com os dados dos pluviômetros.

Collischonn et al. (2007) fizeram estudos sobre a bacia do Paraguai superior, localizado no planalto do Paraguai, que influencia diretamente o Pantanal. Foram analisados os dados de campo de 27 postos fluviométricos, situados no interior da bacia e seus arredores e comparados com as imagens de satélites do TRMM. Os resultados foram satisfatórios, mostrando que as estimativas deste satélite podem ser uma fonte alternativa de dados em caso de escassez de informação.

Nobrega, Souza e Galvêncio (2008) estudaram a precipitação da bacia do rio Jamari, no Estado de Rondônia, utilizando dados de 4 estações meteorológicas e 6 pluviômetros que foram comparados com os dados do algoritmo 3B42 do TRMM, chegando a conclusão de uma correlação satisfatória entre os dados, sendo que o TRMM se correlaciona melhor com uma rede mais densa de pluviômetros.

Pinto et al. (2009) compararam produtos de precipitação para a América do Sul no período de 2000 a 2004, considerando a variação meridional, vegetações e bacias hidrográficas, utilizando como dados de análise os produtos TRMM, *CPC Merged Analysis of Precipitation* (CMAP) e *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP), que combinam dados de sensoriamento remoto e pluviômetros e dois dados de reanálise NCEP/NCAR. Os resultados indicaram que a intensidade média de precipitação nestes diversos produtos apresentaram comportamentos diferenciados entre si na variação meridional. O TRMM superestimou os valores para a faixa de latitude de 20°Sul a 40°Sul. Nas vegetações e bacias hidrográficas os dados obtidos pela combinação entre sensoriamento remoto e estações pluviométricas também apresentaram comportamentos semelhantes. No entanto,

todos os produtos analisados conseguiram expressar a sazonalidade existente nas áreas estudadas. Os autores ressaltam que deve haver cautela ao se utilizar produtos TRMM em latitudes extratropicais, pois estes indicam valores de precipitação mais altos que todos os outros produtos, muitas vezes comprometendo a identificação da sazonalidade.

As incertezas de estimativas do satélite TRMM em uma área da Carolina do Sul e do Norte, nos Estados Unidos, foram verificadas por Aghakouchak, Nasrollahi e Habib (2009), que desenvolveram um modelo estocástico para análise de incerteza de campos de precipitação por satélite. Os conjuntos gerados foram então comparados com as estimativas iniciais de satélite em relação a propriedades estatísticas e dependências espaciais. O modelo apresentado foi validado usando subamostras aleatórias das observações, com base na técnica de *bootstrap*. Os resultados indicam que o modelo executa razoavelmente bem, com diferentes números de pluviômetros disponíveis.

Hand e Shepherd (2009) analisaram a variabilidade espacial das chuvas de estação quente ao redor da cidade de Oklahoma (EUA), e realizaram um estudo de 9 anos de observações (1998-2006) no período de junho a setembro, utilizando dados pluviométricos diários do TRMM e estações pluviométricas, e encontraram coeficientes de correlação (r) de 0,42. No entanto, a correlação melhora significativamente quando a análise se restringe a média diária, com (r) em torno de 0,94. O estudo mostrou que produtos TRMM subestimam ligeiramente a precipitação registrada por estações, mas a correlação melhora quando a análise é restrita à estimativas de precipitação diárias a partir de células da grade urbanas que contenham várias estações de medição. Neste estudo os autores conseguiram confirmar que a modificação da precipitação pelo ambiente urbano pode ser mais dominante do que as influências agrícolas ou topográficas.

Os autores também verificaram que os algoritmos dos satélites podem apenas detectar chuvas em convecção com temperaturas frias e gelo perto do topo da nuvem, podendo não detectar chuvas rasas ou quentes, levando a uma subestimação da acumulação de precipitação. O estudo é um método de protótipo para a utilização de estimativas de precipitação por satélite para análises da modificação de chuva pela urbanização, em escalas grandes ou pequenas, ou em qualquer lugar do mundo que

não possuem instrumentos como redes pluviométricas ou radares. (HAND e SHEPHERD, 2009)

Almazroui (2010) calibrou o TRMM sobre a climatologia de precipitação da Arábia Saudita durante 1998-2009. Para isso, utilizou os dados de precipitação do TRMM em relação aos dados de calibração de chuvas registradas em 29 estações em todo o país. O coeficiente de correlação de chuvas entre o TRMM e dados dos pluviômetros é cerca de 0,90, com um nível de significância de 99% na escala mensal. A precipitação média anual do país medida pelo TRMM foi de 89,42 milímetros, enquanto que os dados observados foram de 82,29 milímetros. Assim, as chuvas na Arábia Saudita são sugeridas como sendo o valor TRMM multiplicado por 0,93 mais 0,04. Após esta calibração, a precipitação TRMM medida é de quase 100% dos dados observados, confirmando assim que os dados de TRMM podem ser usados em diversas aplicações relacionadas a recursos hídricos na Arábia Saudita.

Silva, Lúcio e Spyrides (2012) avaliaram a precipitação para o Rio Grande do Norte em um período de 10 anos, de 1998 a 2008, utilizando do algoritmo 3B43_V6 e dados da Universidade de Delaware, que são extraídos de estações pluviométricas diversas, variando de 4.100 a 23.300 estações. O trabalho resultou na subestimação da precipitação no litoral e superestimou a precipitação nas regiões mais áridas, obtendo bons resultados, porém apresentou deficiência na identificação de eventos intensos.

Anderson et al.(2013)estudaram a precisão das versões 6 e 7 do produto 3B43 do TRMM. Comparado com 33 estações de medição de chuva do INMET, os dados são de parte da Amazônia Legal brasileira. O período analisado foi de janeiro de 1998 a dezembro de 2010, em dados mensais. Depois de varias análises, chegaram à conclusão que o TRMM 3B43 tende a superestimar a baixa precipitação e subestimar alta pluviosidade. No entanto, parece haver um melhor desempenho do TRMM em áreas com maior sazonalidade, como na região do cerrado.

Em uma análise de dados TRMM e estações pluviométricas para todo o Brasil, Pereira et al. (2013) analisaram os dados de 183 estações meteorológicas distribuídas no país, (dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)), comparados com dados TRMM no período de 1998 a 2010, e chegaram a uma concordância de aproximadamente 97% dos dados, embora os dados TRMM superestimaram a

precipitação mensal em 15%. Mesmo assim as estimativas de precipitação mostraram variação sazonal muito similar aos dados das estações meteorológicas.

Muitos são os esforços para que os satélites meteorológicos melhorem seus resultados, chegando ao ápice de os estudos serem apoiados apenas com base em seus dados, pois sempre ocorre escassez de estações pluviométricas. Vários Estados brasileiros têm suas redes de pluviômetros mal distribuídas, o que pode resultar em deficiência espacial na produção de dados pluviométricos. Por outro lado, mesmo com o avanço significativo dos satélites meteorológicos, as suas baixas resoluções espaciais podem comprometer análises em áreas relativamente pequenas (JIA et al., 2011).

2.6 Utilização de Geoestatística entre dados TRMM e Estações Pluviométricas

A Geoestatística é a junção de métodos que ajudam a compreender a modelagem da variabilidade espacial que correspondem a um processo de interesse, e é a base de muitas disciplinas científicas como a Engenharia Ambiental e outras semelhantes (GOTWAY et al. 1996). Sua origem se deu por volta de 1951, a partir dos estudos de Daniel C. Krige, engenheiro de minas, que trabalhando numa jazida de ouro concluiu que somente a análise da variância seria insuficiente para seu estudo. Assim, foi necessário analisar também a distância entre os dados analisados. Os métodos que envolvem a geoestatística levam em consideração a correlação espacial entre os dados, a aleatoriedade dos dados em estudo e os erros cometidos então podem ser avaliados (ANDRIOTTI, 2005).

Andriotti (2005) relata que a geoestatística emprega técnicas que consistem na análise exploratória dos dados, análise estrutural (que interpreta a correlação espacial e/ou temporal que pode ser correlacionada com outros valores) e de inferência das variáveis não amostradas, por meio da Krigagem ou simulações condicionais.

A geoestatística é uma ferramenta muito empregada no geoprocessamento, pois quantifica e analisa geograficamente os fenômenos utilizados. Wagner et al. (2012) relatam que muitas aplicações ambientais necessitam de dados de precipitação precisos. Medições pontuais são interpoladas para fornecer espacialmente dados pluviométricos distribuídos. Contudo, na medição de redes

pluviométricas de baixas densidades, a utilização de diferentes métodos de interpolação pode resultar em grandes diferenças e desvios a partir da distribuição espacial real da precipitação.

Kizza et al. (2012) fizeram uma estimativa de chuva sobre o Lago Victoria e sua bacia, que contribuem significativamente para o fluxo do rio Nilo, usando dados terrestres e dados de satélite. Os autores utilizaram uma grade de dados mensais de chuva com uma resolução espacial de 2 km, cobrindo o período de 1960 a 2004, e também 315 estações pluviométricas, localizadas nas proximidades da bacia, além de dados derivados de dois produtos da precipitação por satélite para obter um conjunto de dados de precipitação mensal para toda a bacia, TRMM 3B43 e *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN), incluindo o lago.

Foram utilizados dois métodos de interpolação espacial para a geração de um conjunto de dados de precipitação em grade: o método de ponderação do inverso da distância, e o método de krigagem universal. O segundo método mostrou-se ligeiramente melhor em relação ao primeiro método. As discrepâncias encontradas nas estimativas da precipitação por dados TRMM 3B43 foram maiores do que as discrepâncias observadas a partir dos dados obtidos pelo PERSIANN, mas a sua correlação foi maior com uma melhor representação da variabilidade intra-anual. (KIZZA et al., 2012)

Wagner et al.(2012) compararam e avaliaram sistemas de interpolação espacial de precipitação diária em regiões com dados de precipitação escassos. O trabalho foi elaborado na bacia hidrográfica de Mula e Rio Mutha (2.036 km²) a montante da cidade de Pune, na Índia. Eles utilizaram dados de chuvas obtidos por 16 pluviômetros, que foram espacialmente interpolados usando sete métodos diferentes, incluindo polígonos de Thiessen, abordagens estatísticas e geoestatística. Os métodos baseados em regressão apresentaram o melhor desempenho.

Os resultados mostraram que a decisão sobre o adequado esquema de interpolação não só deve basear-se na comparação com as medições de ponto, mas deve também ter a representatividade de uma dada rede de medição, bem como da distribuição das chuvas no interpolador espacial. O estudo resultou em uma aplicação bem sucedida dos métodos de interpolação com base em regressão, usando o TRMM como covariável (WAGNER et al.,2012)

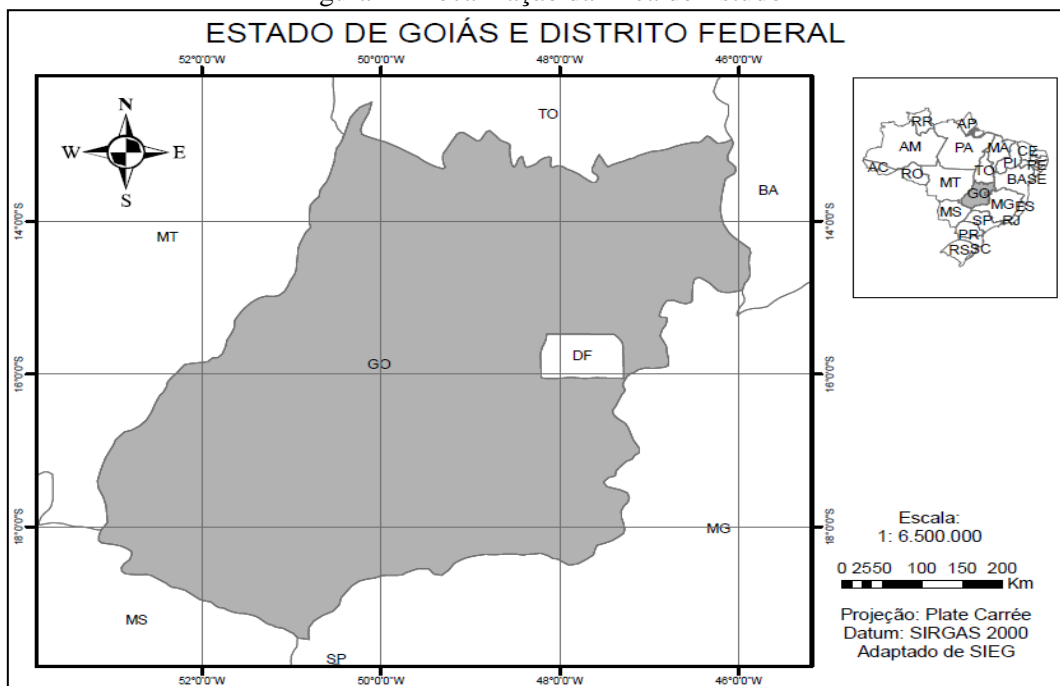
3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

O Estado de Goiás e Distrito Federal estão localizados no planalto central brasileiro. Em 2010 Goiás possuía uma população de 6.003.788 habitantes e em 2013 a população estimada é de 6.434.048 habitantes, em uma área de 340.111,783 km², com densidade demográfica de 17,65 hab/km², em um total de 246 municípios, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2014). A capital do Estado é o município de Goiânia, que de acordo com o Censo (2010) possui 1.302.001 habitantes, aproximadamente 21,7% do total da população do Estado. Já o Distrito Federal em 2010 possuía uma população de 2.570.160 habitantes e em 2014 a população estimada é de 2.852.372 habitantes, em uma área de 5.779,999 km², com densidade demográfica de 444,66 hab/km² IBGE (2014).

O Estado de Goiás e Distrito Federal estão localizados na região Centro-Oeste e é caracterizado por temperaturas variando entre 18°C e 26°C. (Governo de Goiás, 2012), Goiás está situado entre as latitudes 12° a 20° Sul e longitudes 46° a 53° Oeste, e ainda faz divisa ao norte com o Estado de Tocantins; Sudeste com Minas Gerais e Mato Grosso do Sul; Leste com Bahia e Minas Gerais; Oeste com Mato Grosso e Sudoeste com Mato Grosso do Sul, ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Localização da Área de Estudo



Fonte: Adaptado do SIEG

3.1.1 Clima

O Estado de Goiás e Distrito Federal possuem clima predominantemente tropical com duas estações bem definidas, verão úmido (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro).

Nimer (1989) elucida acerca da variação do clima na região centro-oeste do país. Segundo o autor, o período de seca está relacionado com a influência do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e de pequenas dorsais que se formam sobre a parte do continente Sul Americano. Mas a ocorrência do período chuvoso está relacionada ao deslocamento para sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCI), em direção ao Trópico de Capricórnio. As temperaturas altas que geram instabilidade durante o ano estão influenciadas pela massa de ar tropical marítima e equatorial.

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007) as forças atmosféricas atuantes no cerrado, na região centro-oeste, é a massa de ar equatorial que apresenta efeitos térmicos com elevadas umidades, provocando chuvas, massa polar atlântica que traz acúmulo de ar polar e a massa tropical atlântica que traz chuvas no verão. Já os regimes de precipitação goiano são complexos, variando no espaço e no tempo, pois reflete os sistemas de tempo da América do Sul, entre os principais sistemas atmosféricos presentes em Goiás, estão as frentes polares e a zona de convergência do Atlântico sul (ZCAS), que é responsável pelo mecanismo de chuvas nesta parte do Brasil (REBOITA et al., 2010)

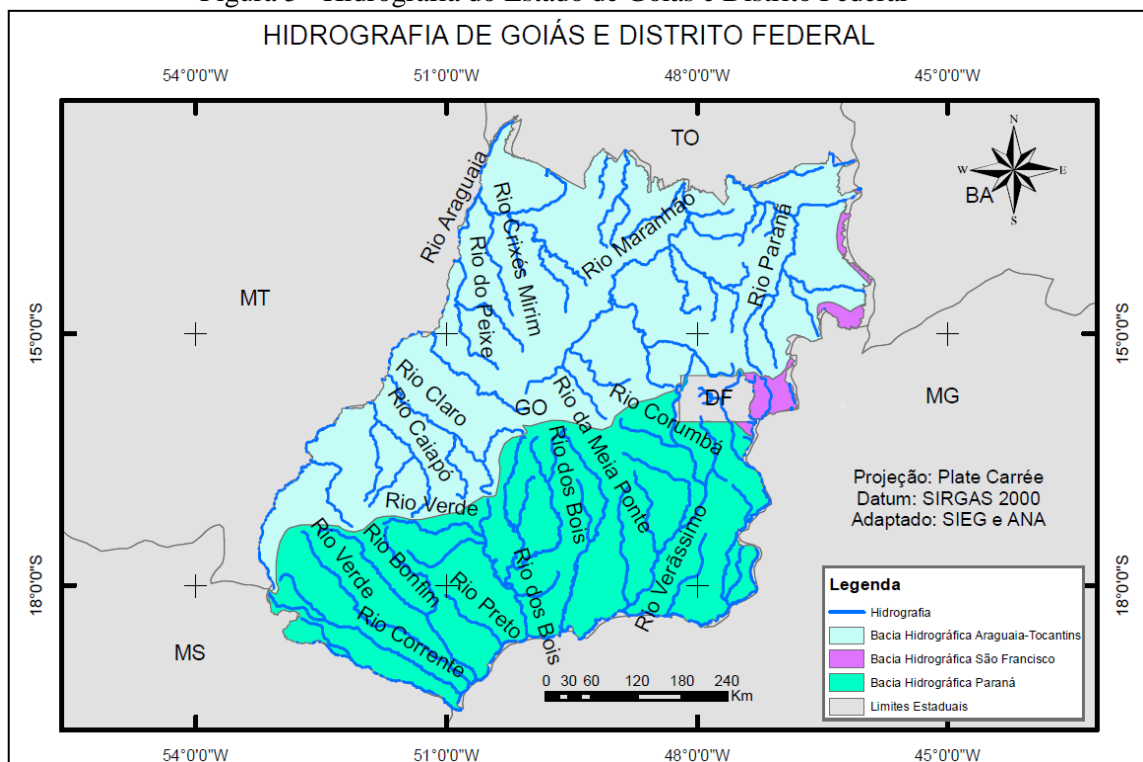
Segundo Marcuzzo et al. (2012) o clima que predomina nesta região do país é o tropical sazonal com inverno seco. As temperaturas podem chegar à máxima de 40°C não variando muito durante o ano, e a mínima de até 0° ou menos, principalmente nos meses de maio, junho e julho, ficando entre 22 a 23°C, a temperatura média anual.

A precipitação média durante o ano na região do cerrado fica entre 1200 e 1800 mm (MARCUIZZO et al., 2012). Já a Seplan (2012) afirma que a precipitação média anual para Goiás é de 1.532mm, sendo que as precipitações variam no período seco de 20 mm a 200 mm enquanto, no período chuvoso, a variação é de 1.100 mm a 2.100 mm. Reboita et al.(2010) confirmam que a precipitação anual excede a 1500 mm/ano.

3.1.2 Recursos Hídricos

De acordo com a Seplan (2012), Goiás possui uma rica rede hidrográfica, da qual faz parte o aquífero Guarani que é o maior do mundo, com área total de 1,4 milhões de km². Nascem em Goiás, rios formadores das três mais importantes bacias hidrográficas do país (Figura 5). A bacia Araguaia/Tocantins conta com cerca de 196.609,00 km² de área, sendo a maior, seguida pela bacia do Paraná que constitui 144.596,23 km² e por fim a bacia do São Francisco, que abrange a menor parte, cerca de 4.454,41 km² (ANA,2013), todas estas bacias hidrográficas também fazem parte do Distrito Federal.

Figura 5 - Hidrografia do Estado de Goiás e Distrito Federal



Fonte: adaptado de SIEG e ANA

3.1.3 Uso do Solo

Os Estados de Goiás e Distrito Federal fazem parte do bioma cerrado, que é o segundo maior do país, ocupando 25% do território nacional (FARIAS et al., 2013). Destaca-se pela agricultura, responsável pela produção de algodão, que está em 3ª lugar, cana de açúcar, milho, soja e produção de grãos, que estão em 4ª lugar na colocação geral de produção no Brasil (SEPIN, 2010). Ferreira, Ferreira e Silva (2012), alertam que a vegetação nativa do bioma cerrado está fortemente ameaçada, tendo sua conservação comprometida pelas ações antrópicas, pois perdeu cerca de 50%

de sua área para o cultivo principalmente de pastagens por volta dos anos 70, levando em consideração que este cenário pode provocar conversões de mudanças no regime de chuvas.

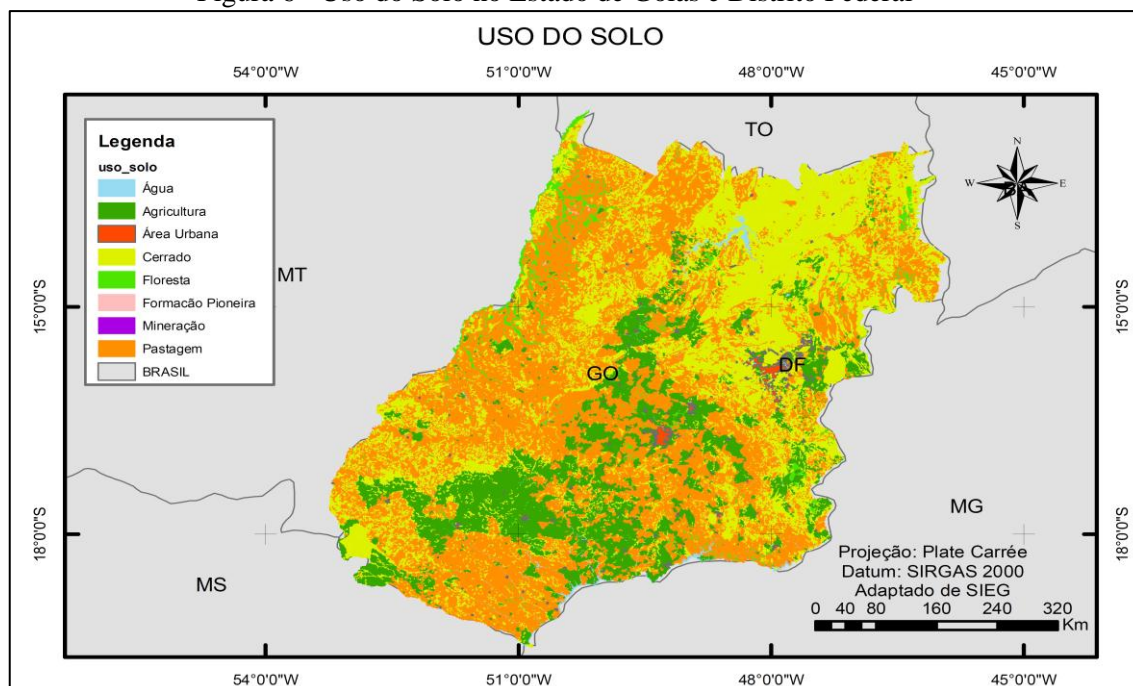
Predominam na maior parte da área de estudo as pastagens, representando 45% da área, seguido pelo cerrado com 33,48%, e posteriormente a agricultura representando 18,10% da área de estudo, o restante como água, área urbana, floresta, formação pioneira e mineração, juntos representam 3,41% da área do Estado de Goiás e do Distrito Federal, ou seja, aproximadamente 11.871,03m² (conforme Tabela 1 e Figura 6).

Tabela 1 - Uso do Solo no Estado de Goiás e Distrito Federal

USO DO SOLO	ÁREA (m ²)	PORCENTAGEM DA ÁREA NOS ESTADOS DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL
Água	1983,86	0,571
Agricultura	62835,599	18,099
Área Urbana	2437,637	0,701
Cerrado	116249,741	33,482
Floresta	7389,432	2,127
Formação Pioneira	54,726	0,016
Mineração	5,381	0,002
Pastagem	156240,531	45,002

Fonte: Adaptado de SIEG.

Figura 6 - Uso do Solo no Estado de Goiás e Distrito Federal



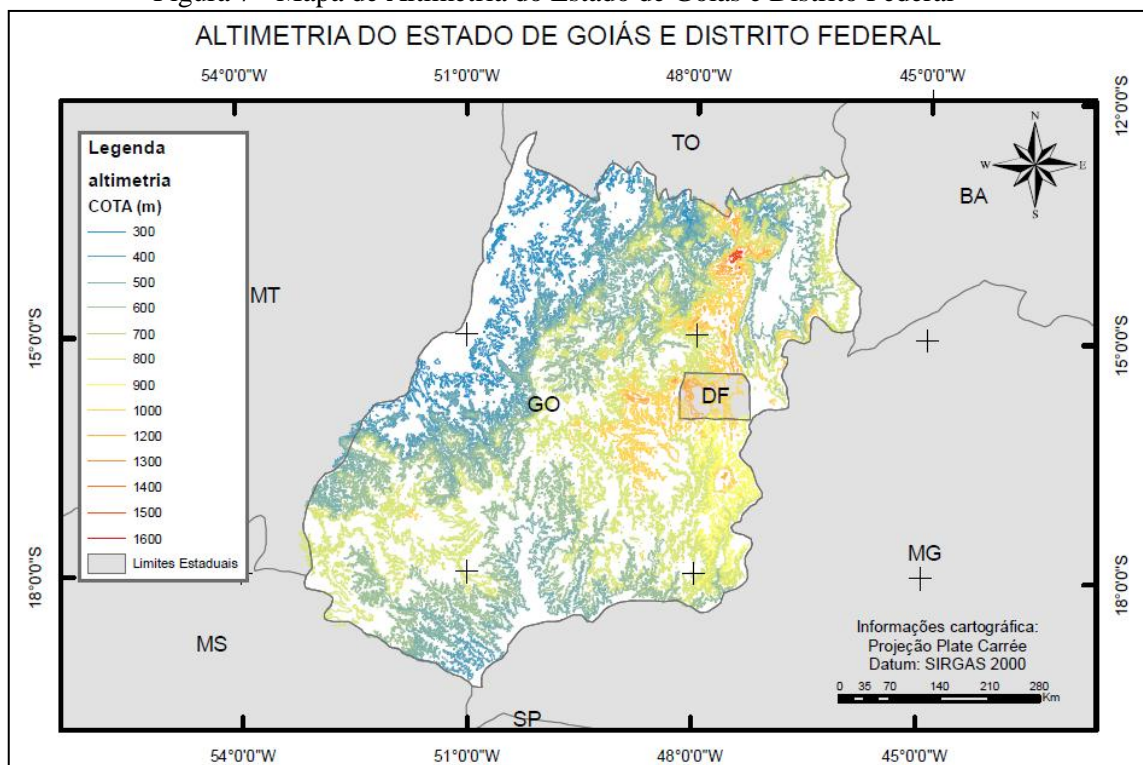
Fonte: Adaptado de SIEG

3.1.4 Altimetria

Marcuzzo et al. (2012) revelam que um fator importante que ajuda a definir o clima de uma determinada região é a altitude. Em Goiás as altitudes não variam muito, a região mais baixa conta com altitude mínima de 300m e está localizado no Noroeste, próximo ao curso do Rio Araguaia. A região de altitude mais alta atinge 1600 m, e está na região do Nordeste, na Chapada dos Veadeiros, próximo do Distrito Federal, onde se concentram as altitudes mais elevadas.

Segundo SEPIN (2010), Goiás e Distrito Federal não possuem grandes diferenças de altitudes do relevo, que variam entre 300 a 1600 metros de altitude, conforme ilustrado no mapa altimetrico na figura 7, onde se pode observar que 44,95% das altitudes estão abaixo de 700 metros, representados pelas cores azuis ao verde e 55,05% restante estão acima de 800 metros de altitude, representados pelas cores amarelas ao vermelho, conforme dados do SIEG.

Figura 7 - Mapa de Altimetria do Estado de Goiás e Distrito Federal

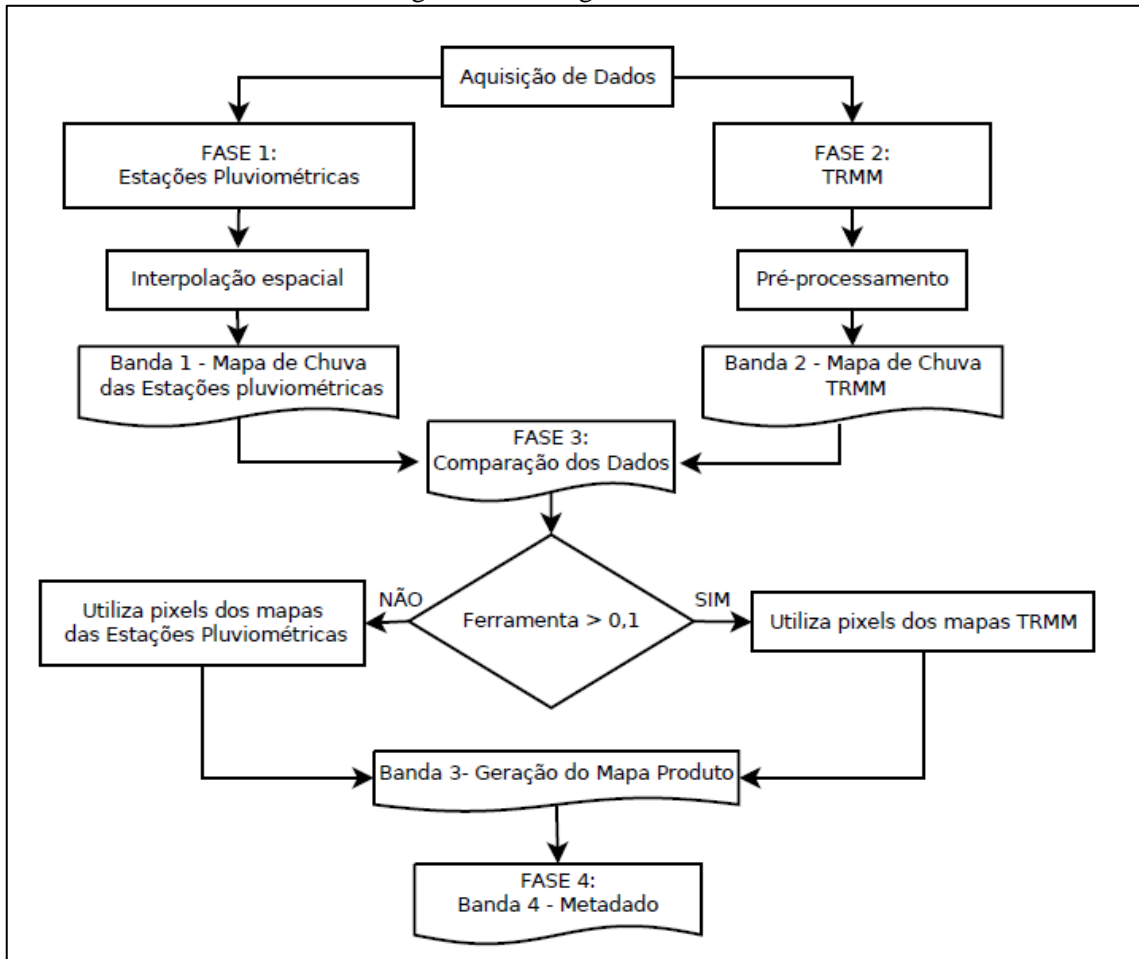


Fonte: Adaptado de SIEG

3.2 Processo para coleta e tratamento de dados

Para atender os objetivos propostos, a metodologia constituiu em uma combinação de procedimentos organizados, conforme o fluxograma na figura 8.

Figura 8 - Fluxograma do trabalho



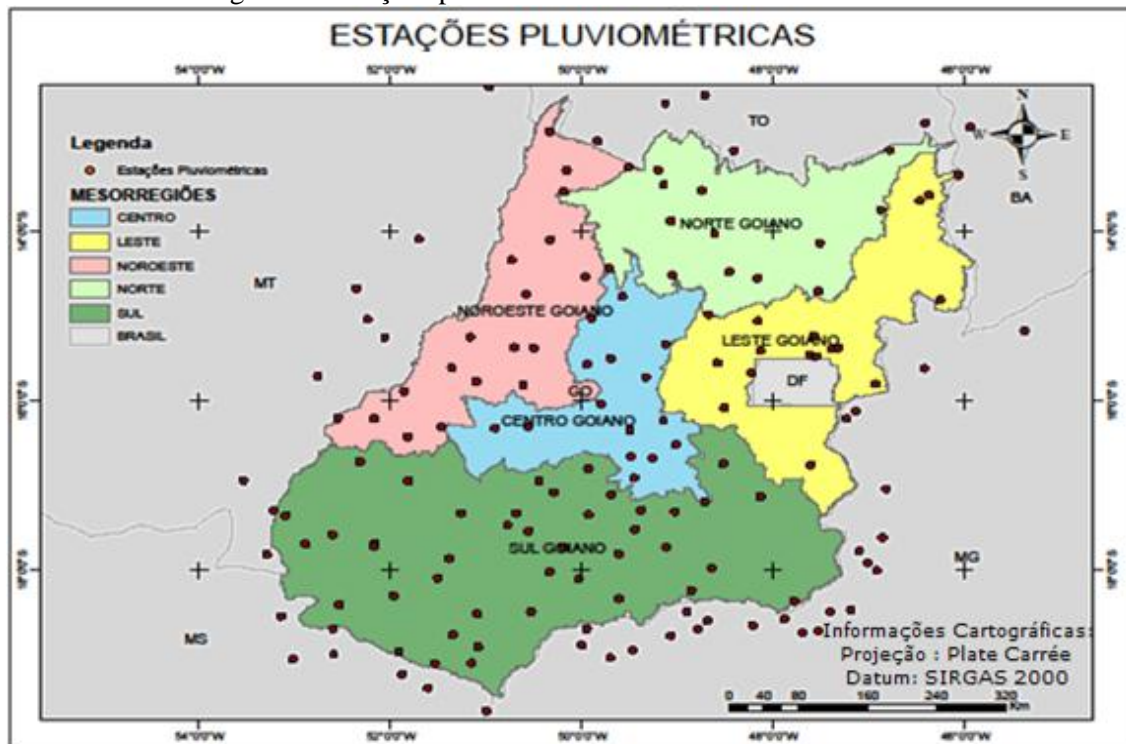
O objetivo deste trabalho é a construção de um banco de dados pluviométricos para o estado de Goiás e Distrito Federal, que consiste na geração de mapas diários compostos por quatro bandas, realizados em quatro fases, no período de dados correspondente à série histórica de 14 anos, entre 1998 e 2011.

Primeiramente foi organizada uma base de dados diários de precipitação, composta por dados pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA), e dados de imagens do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

A primeira fase constituiu na coleta de dados oriundos das estações pluviométricas, que foram obtidos por meio da Rede Hidrometeorológica Nacional

da ANA, adquiridos a partir da Hidroweb⁴, onde são disponibilizados os dados hidrológicos em séries históricas. Esses dados disponibilizados oferecerem informações diárias e mensais de todas as estações pluviométricas, disponíveis por regiões, desde a data de seu início de funcionamento. Cada estação apresenta um período de funcionamento diferente, tornando necessária a organização dos arquivos individualmente, totalizando 153 estações pluviométricas distribuídas pelo Estado de Goiás e o entorno, que são apresentadas no apêndice 1 e na figura 9. Sendo, que o período de dados analisados corresponde à mesma série histórica, entre 1998 e 2011.

Figura 9 - Estações pluviométricas no Estado de Goiás e entorno.



Fonte: Autora

A partir do levantamento dos dados espaciais e temporais destas estações pluviométricas foi possível gerar imagens diárias, a partir de interpolação espacial. De acordo com Conti (2002), este método considera as estimativas de precipitação para áreas que estão mais distantes do ponto medido, sem que haja qualquer indício físico sobre a precipitação ocorrida.

Um dos métodos de interpolação é o TOPO to RASTER, neste caso uma ferramenta do *software* ArcGIS, que foi utilizado para interpolar os dados das

⁴<http://hidroweb.ana.gov.br/>

estações pluviométricas, indicados por Marcuzzo et al.(2011) como sendo o método mais adequado para interpolação de dados pluviométricos. Os dados são interpolados em grade regular, gerando grades menores, minimizando a rugosidade e a soma do quadrado dos resíduos, este método foi criado especificamente para Modelos Digitais de Elevação (MDE), baseados no programa ANUDEM desenvolvido por Hutchinson (1988, 1989), método também utilizado em modelos hidrológicos. Atualmente existem outros modelos disponíveis de interpolação matemática como o *Inverse Distance Weighted* – Ponderação do Inverso da Distancia (IDW), Krigagem e Spline de Tensão (MARCUIZZO et al. 2011).

O Cálculo do método TOPO to RASTER é dado pelas equações 2, 3 e 4, dada por (HUTCHINSON et al., 2009):

$$z_i = f(x_i, y_i) + w_i \varepsilon_i \quad (2)$$

Onde:

$f(x,y)$ é a função de interpolação;

w_i representa o erro de discretização do ponto i , é uma constante positiva;

ε_i é a amostra de uma variável aleatória de média zero e desvio padrão igual a um.

w_i é localizada aleatoriamente na célula, sendo definida por:

$$w_i = \frac{h s_i}{\sqrt{12}} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n [(z_i - f(x_i, y_i)) \div w_i]^2 + \lambda J(f) \quad (4)$$

h é o espaçamento da grade;

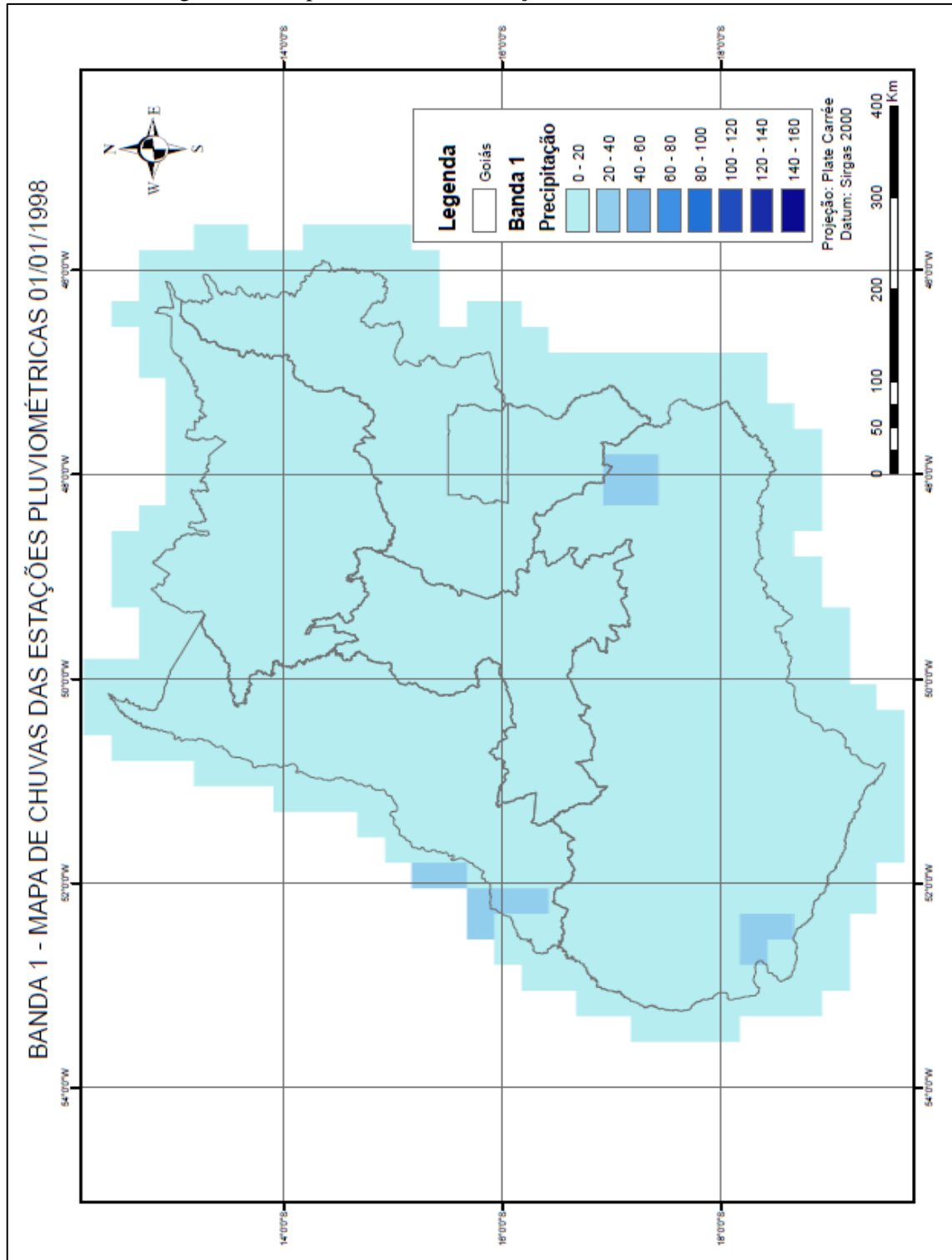
s_i é a medida de inclinação da célula da grade associada com o ponto (x_i, y_i) ;

J é a função de suavização da função $f(x,y)$ e

λ é o parâmetro de suavização.

Estes arquivos das imagens das estações pluviométricas interpoladas, agora chamados mapas de chuvas das estações pluviométricas, compõem a banda 1 (um) do banco de dados, ilustrado na figura 10.

Figura 10 - Mapa de chuvas das Estações Pluviométricas – Banda 1.

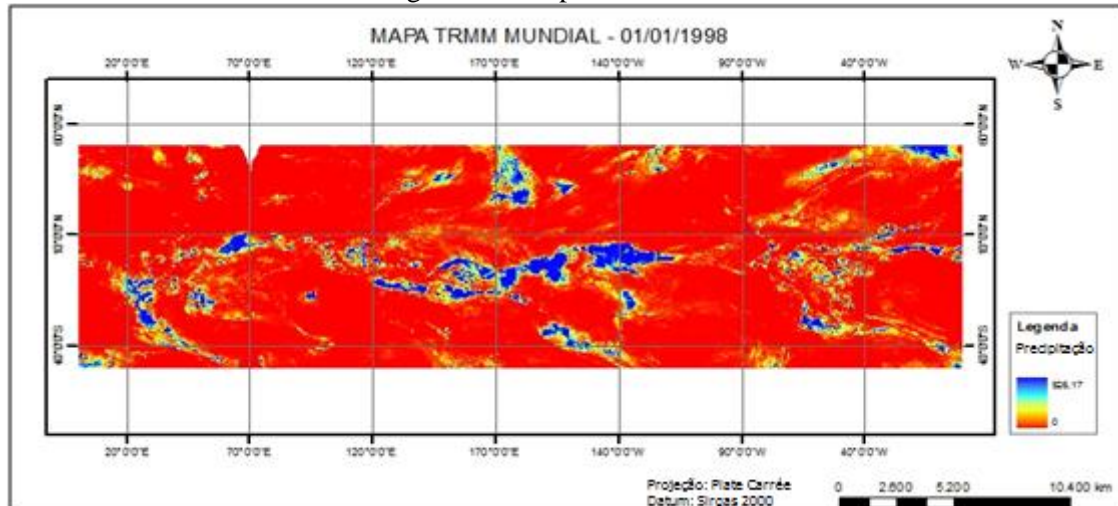


Fonte: Autora

A segunda fase constituiu na organização de uma base de dados primários a partir da aquisição das imagens TRMM que são disponibilizadas por

meio do *site* da NASA⁵. Os dados TRMM utilizados são produzidos a partir do algoritmo 3B42, versão 7, que estão armazenados no formato de dados hierárquico (.HDF), juntamente com os respectivos metadados. As imagens disponibilizadas compreendem faixas de intervalo de latitude 50° Norte e 50° Sul e longitude 180° Oeste e 180° Leste, ilustrado na figura 11.

Figura 11 - Mapa TRMM mundial.

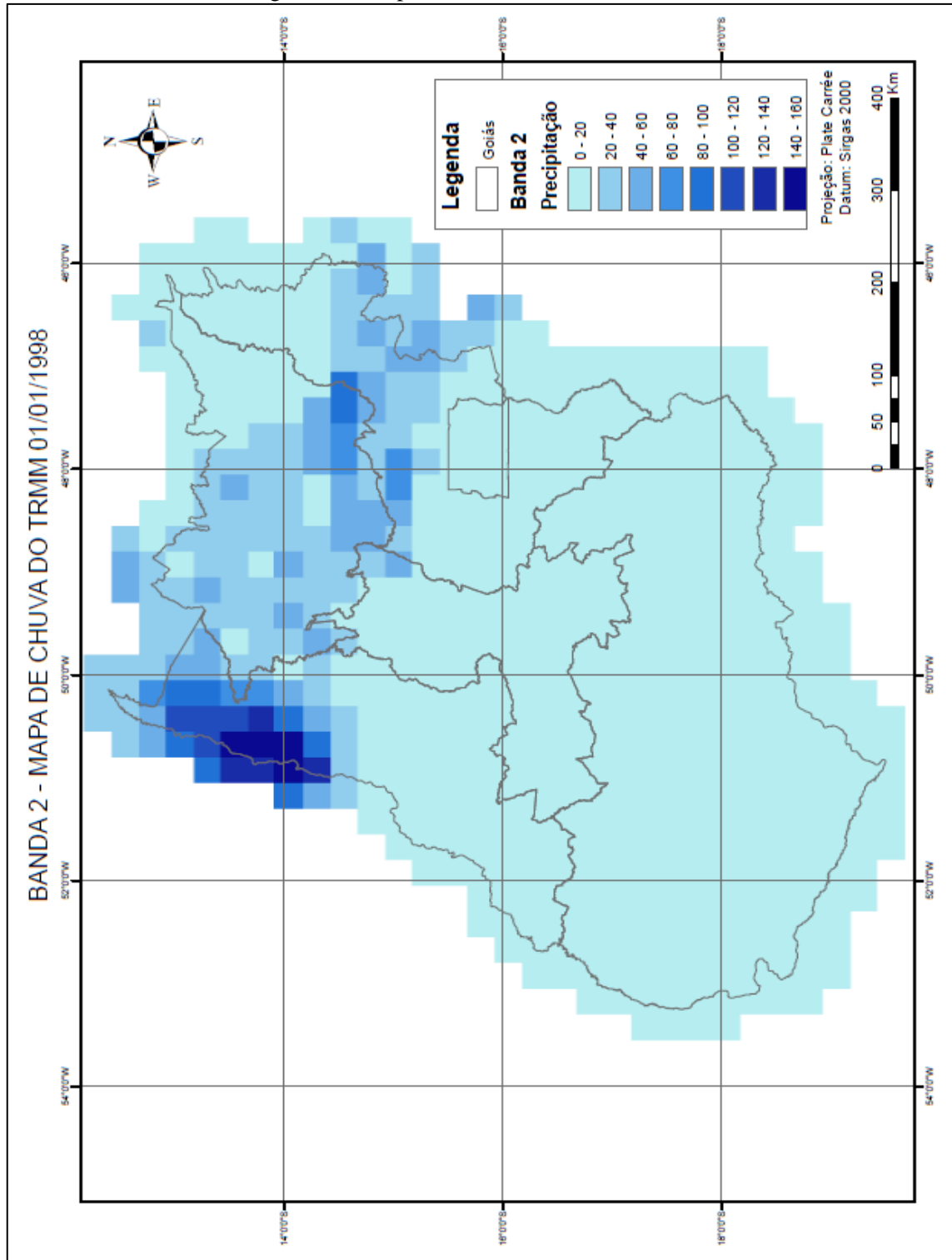


Fonte: Adaptado da NASA

Posteriormente, foi realizado o pré-processamento das imagens TRMM que consistiu no recorte destas imagens, considerando os limites geográficos do Estado de Goiás e Distrito Federal, observando que os limites foram acrescidos em 40 quilômetros para não ocorrer escassez de informações em nenhuma área do perímetro analisado. Os dados pré-processados foram então armazenados em formato *Tagged Image File Format* (.TIFF), conforme ilustrado na figura 12.

⁵http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/data/datapool/TRMM_DP/

Figura 12 - Mapa de chuva do TRMM – Banda 2.



Fonte: Autora

Foram selecionados dados de estimativa de 14 anos de observações diárias, de Janeiro de 1998 a Dezembro de 2011, totalizando 5106 imagens que foram processadas por meio do *software* ArcGIS. É importante mencionar que, este procedimento também pode ser realizado em outros softwares de geoprocessamento,

tais como o ENVI, SPRING, Supergeo, gvSIG, Quantum GIS, entre outros. Estes arquivos das imagens TRMM compõem a banda 2 do banco de dados.

Na terceira fase foi feita a comparação destes dados (análise das discrepâncias), mapas de chuvas das estações pluviométricas e mapas de chuvas do TRMM, resultando na geração de um mapa produto. Isso foi feito por meio de uma ferramenta que faz comparação entre os *pixels* dos mapas de chuvas de estações pluviométricas em relação aos *pixels* dos mapas de chuvas do TRMM. Obtendo as diferenças pluviométricas desses dados, foi possível verificar o melhor comportamento de chuva para cada dia, gerando um mapa produto híbrido (Banda 3).

Na ferramenta gerada para esta comparação, o usuário pode definir o limiar do seu estudo para toda série histórica, ou seja, a ferramenta traz maleabilidade para o usuário definir a partir de seus resultados o grau de confiança de sua análise. Neste trabalho foram adotados valores de 10% ou 0,1. Assim foi verificado o comportamento dos dados:

Se o TRMM for menor que 0,1 existe baixa dispersão;

Se o TRMM for maior que 0,1 existe alta dispersão.

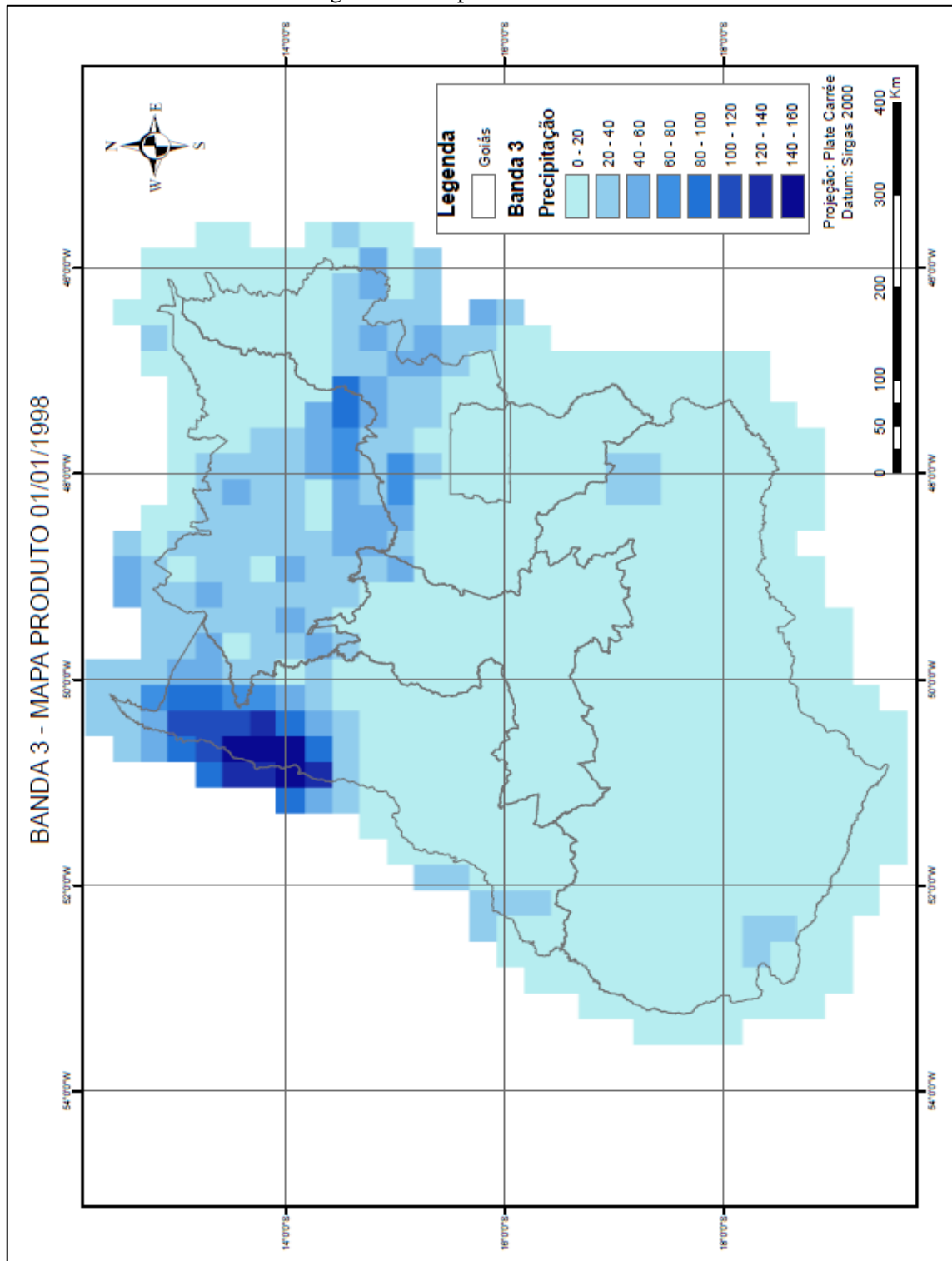
No caso de dados com baixa dispersão, ou quando não houve diferenças entre os dados, foram utilizados valores do mapa de chuvas das estações pluviométricas. Nos casos onde houve diferenças maiores que 10%, então os *pixels* dos mapas de chuvas das estações pluviométricas foram desprezados e utilizados o valor dos *pixels* dos mapas de chuvas do TRMM.

Essa diferenciação na quantidade de precipitação entre mapas de chuvas de estações pluviométricas e mapas de chuvas do TRMM, pode ocorrer pelo fato das estações pluviométricas serem pontuais, isto é, só conseguem captar a precipitação ocorrida no local onde estão localizadas. Já as imagens TRMM, conseguem captar a presença de precipitação no seu *pixel*, que na região tropical mede 27km, assim o *pixel* do TRMM mede aproximadamente 729 km², uma área amplamente maior se comparada à área de captação do pluviômetro. Então, quando os valores das imagens TRMM foram maiores que os valores das imagens dos mapas de chuvas das estações pluviométricas, pode ter ocorrido chuvas convectivas na região, assim a estação pluviométrica não conseguiu captar, mas o TRMM registrou esse quantitativo. Outro fato a ser levado em consideração desta diferenciação de valores é que em algumas estações pluviométricas pode haver erros durante sua operação, falseando seu

resultado. Nestes casos adotou-se o pressuposto que os mapas de chuvas do TRMM obtiveram resultados melhores que os mapas de chuvas das estações pluviométricas.

Os arquivos destes produtos compõem a banda 3 do banco de dados, observado na figura 13.

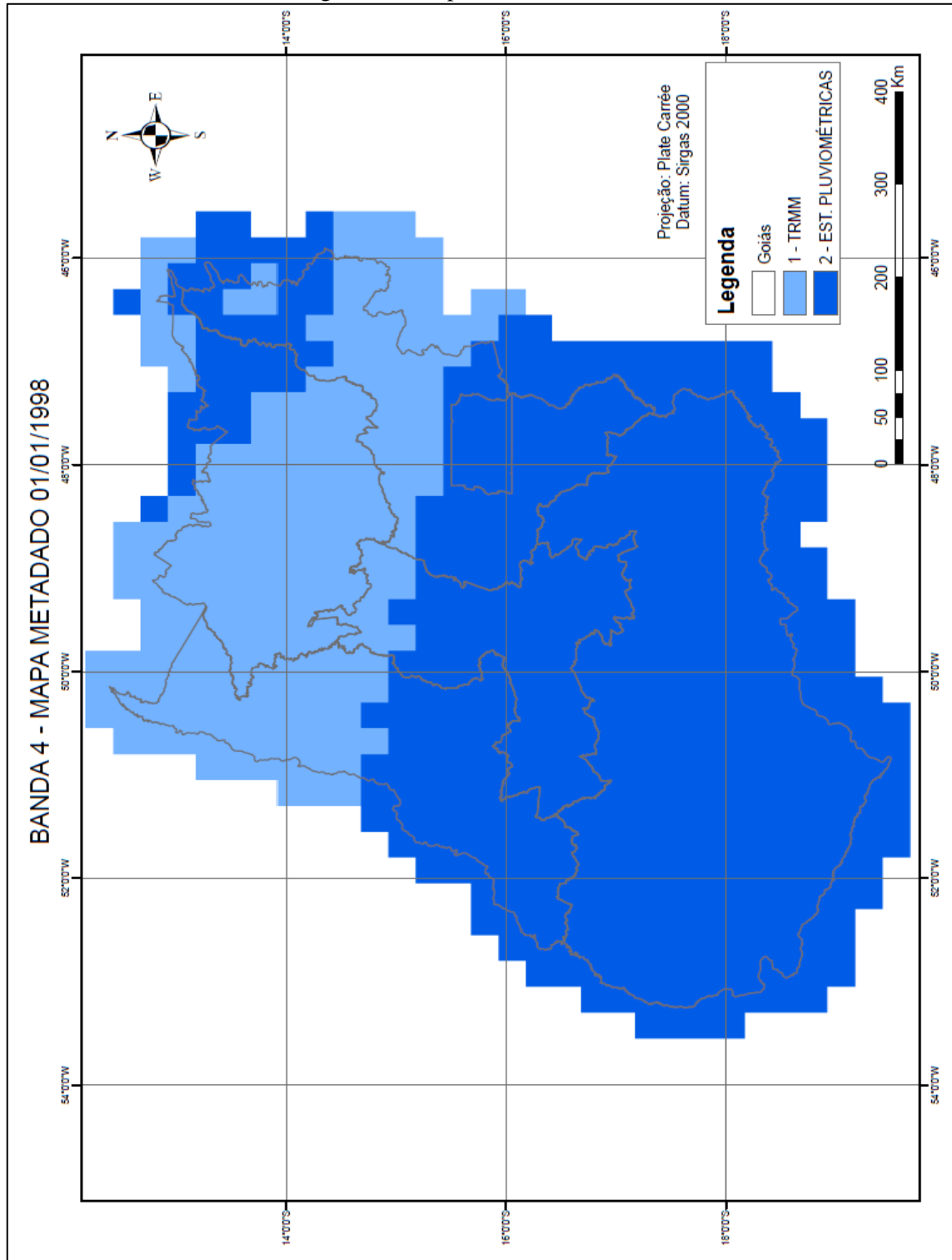
Figura 13 - Mapa Produto – Banda 3.



Fonte: Autora

Por fim, a quarta fase constituiu na geração dos metadados. Conforme Lino e Martins (2012) estes são dados que descrevem as informações como: qualidade, conteúdo, e demais características destas informações. Ilustrado na figura 14.

Figura 14 - Mapa Metadado – Banda 4.



Fonte: Autora

Esta fase compõe a banda 4 do banco de dados, onde a imagem descreve as quantidades e origens de *pixels* utilizados (estações pluviométricas e TRMM).

Composição de valores de *pixels*:

- 1- Dados das imagens TRMM, representado pela cor azul claro;
- 2- Dados das estações pluviométricas, na figura caracterizada na cor azul escuro;

Os produtos finais apresentados pelo trabalho são: mapa pluviométrico diário, armazenados em estrutura matricial, para cada dia do intervalo de tempo considerado no trabalho, ilustrado pela figura 15. Cada mapa pluviométrico é composto por quatro bandas:

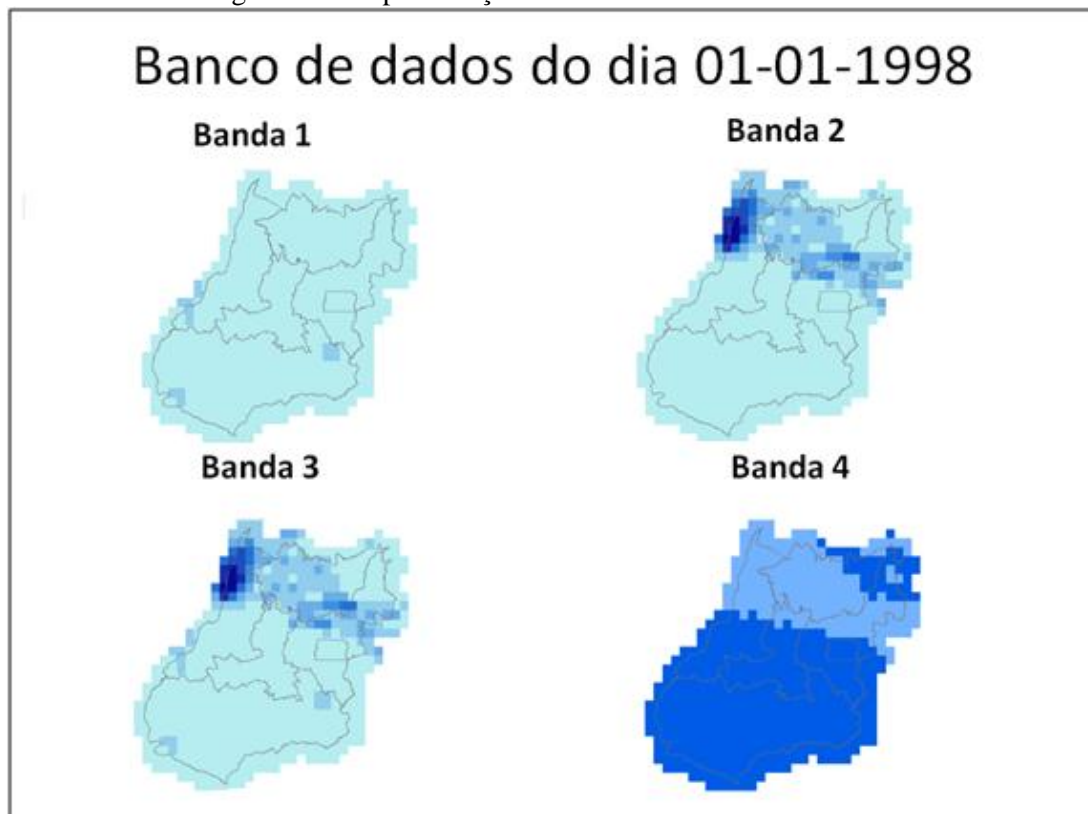
Primeira banda: constituem os mapas de chuvas das estações pluviométricas;

Segunda banda: constituem os mapas de chuvas do TRMM;

Terceira banda: constituem os mapas do produto (dados de mapas de chuva das estações pluviométricas e mapas de chuvas do TRMM);

Quarta banda: constitui o metadado.

Figura 15 – Representação do banco de dados do dia 01-01-1998



Fonte: Autora

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão descritos os resultados e discussões obtidos através deste trabalho, com a apresentação de análises que elucidam a metodologia aplicada, identificando e quantificando as áreas pluviométricas dos Estados de Goiás e Distrito Federal.

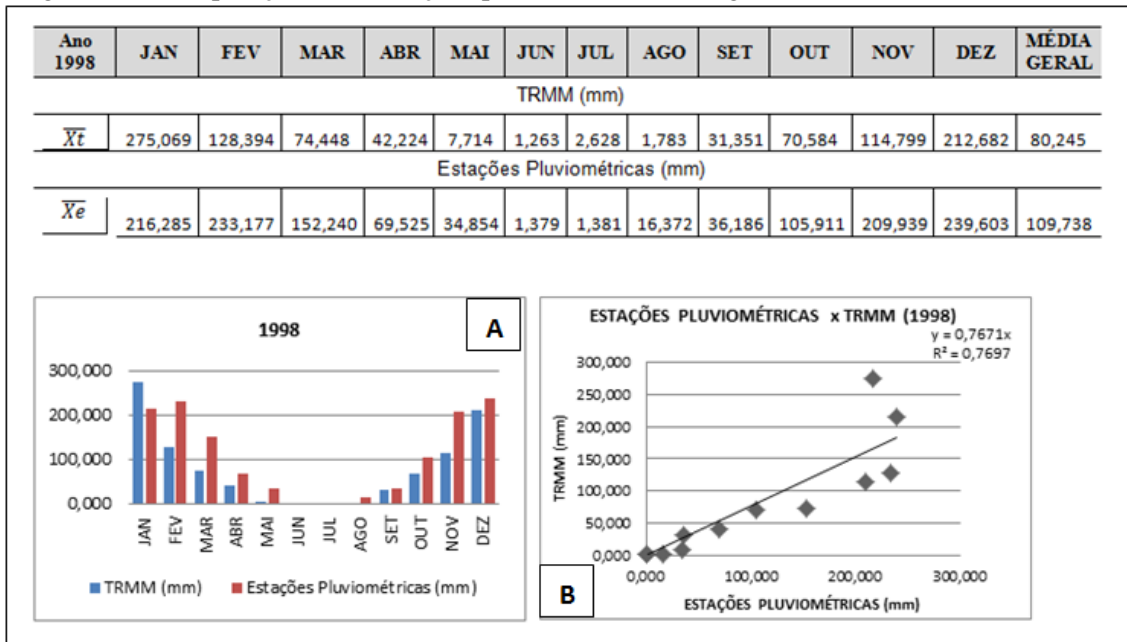
4.1 Análise anual dos dados de precipitação

Os resultados obtidos mostram as avaliações feitas entre a estimativa de precipitação por satélite TRMM (produto 3B42, Versão 7) e a precipitação oriunda da rede de estações pluviométrica da ANA, permitindo uma análise exploratória de todo o Estado de Goiás e Distrito Federal para os anos de 1998 a 2011.

Para exemplificar esta análise, foram montadas figuras que são compostas de uma planilha e dois gráficos para cada ano analisado, sendo um deste o diagrama de dispersão, o qual apresenta a correlação de pontos no espaço cartesiano plano. Esses pontos correspondem simultaneamente a duas variáveis, neste caso TRMM e estações pluviométricas, permitindo um quantitativo de correlação entre as duas variáveis por meio de análise de regressão linear.

O cálculo do valor médio da precipitação para cada mês registrado pelo TRMM no ano de 1998, quando comparado com os valores das estações pluviométricas, apresenta um comportamento semelhante, conforme pode ser observado da figura 15, com diferenciação de 29,493mm a mais para as estações pluviométricas. Se forem considerados os valores médios de precipitação observados pelo sensor TRMM (\bar{X}_t), é possível observar que nos períodos secos, de abril a setembro, os valores TRMM corresponderam aos valores das estações pluviométricas (\bar{X}_e).

Figura 16 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 1998.



Observando a figura 16, gráfico B, pode-se concluir que no ano de 1998 existiu uma correlação positiva e linear com o intercepto partindo de 0. O valor do coeficiente de determinação (R^2) é outro fator considerável, pois explicita a porcentagem da variação (76,97%) da variável dependente (precipitação média observada pelo sensor TRMM nos meses de 1998) explicada pela variável independente (estações pluviométricas nos meses de 1998).

Em estudos relacionados à pluviometria, devem-se observar alguns fenômenos, que podem alterar o tempo e o clima de uma região, estes são chamados *El niño* e *La niña*. O primeiro se caracteriza por aquecer as águas do oceano pacífico, afetando o clima na esfera regional e até mesmo mundial. O *El niño*, afeta diretamente os regimes de chuvas, principalmente nas regiões tropicais, no entanto o fenômeno *La niña* é inverso, causando resfriamento nas águas do oceano pacífico. É importante ressaltar que nem sempre um local afetado pelo *El niño* trará impactos representativos, devido ao fenômeno *La niña*, que pode lhe afetar diretamente. (MELO, 2009).

O ano de 1998 foi marcado como um dos anos históricos de *El niño* (considerado forte) e *La niña* (considerado moderado) conforme exemplificado nos quadros 3 e 4, que descrevem os anos de ocorrências destes fenômenos.

Quadro 3 - Descrição dos anos de ocorrência de *El niño*

Ocorrência de El Niño	
1877 - 1878	1888 - 1889
1896 - 1897	1899
1902 - 1903	1905 - 1906
1911 - 1912	1913 - 1914
1918 - 1919	1923
1925 - 1926	1932
1939 - 1941	1946 - 1947
1951	1953
1957 - 1959	1963
1965 - 1966	1968 - 1970
1972 - 1973	1976 - 1977
1977 - 1978	1979 - 1980
1982 - 1983	1986 - 1988
1990 - 1993	1994 - 1995
1997 - 1998	2002 - 2003
2004 - 2005	2006 - 2007
2009 - 2010	-

Legenda: Forte Moderada Fraco

Fontes de Informações
Rasmusson e Carpenter 1983, Monthly Weather Review, Ropelewski e Halpert 1987, Monthly Weather Review. Cold episode sources Ropelewski e Halpert 1989, Journal of Climate. Climate Diagnostics Bulletin. A intensidade dos ventos é baseada no padrão e magnitude das anomalias da TSM do Pacífico Tropical.

Fonte: http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml

Quadro 4 - Descrição dos anos de ocorrência de *La niña*

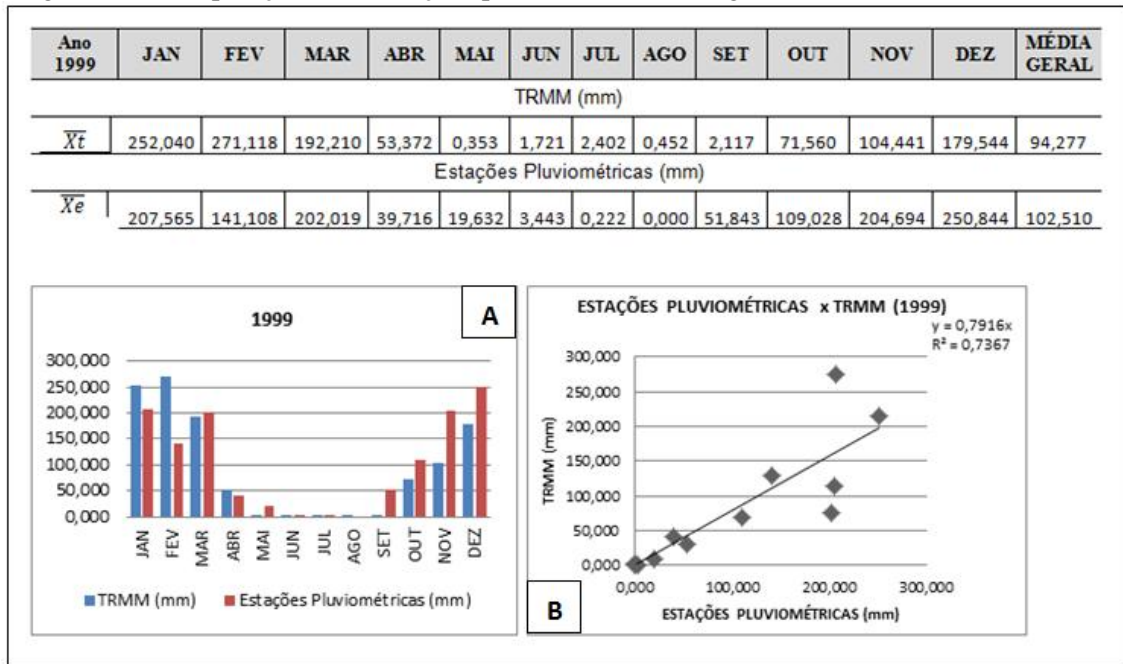
Ocorrência do La Niña	
1886	1903 - 1904
1906 - 1908	1909 - 1910
1916 - 1918	1924 - 1925
1928 - 1929	1938 - 1939
1949 - 1951	1954 - 1956
1964 - 1965	1970 - 1971
1973 - 1976	1983 - 1984
1984 - 1985	1988 - 1989
1995 - 1996	1998 - 2001
2007 - 2008	-

Legenda: Forte Moderada Fraco

Fontes de Informações
Rasmusson e Carpenter 1983, Monthly Weather Review, Ropelewski e Halpert 1987, Monthly Weather Review. Cold episode sources Ropelewski e Halpert 1989, Journal of Climate. Climate Diagnostics Bulletin. A intensidade dos ventos é baseada no padrão e magnitude das anomalias da TSM do Pacífico Tropical.

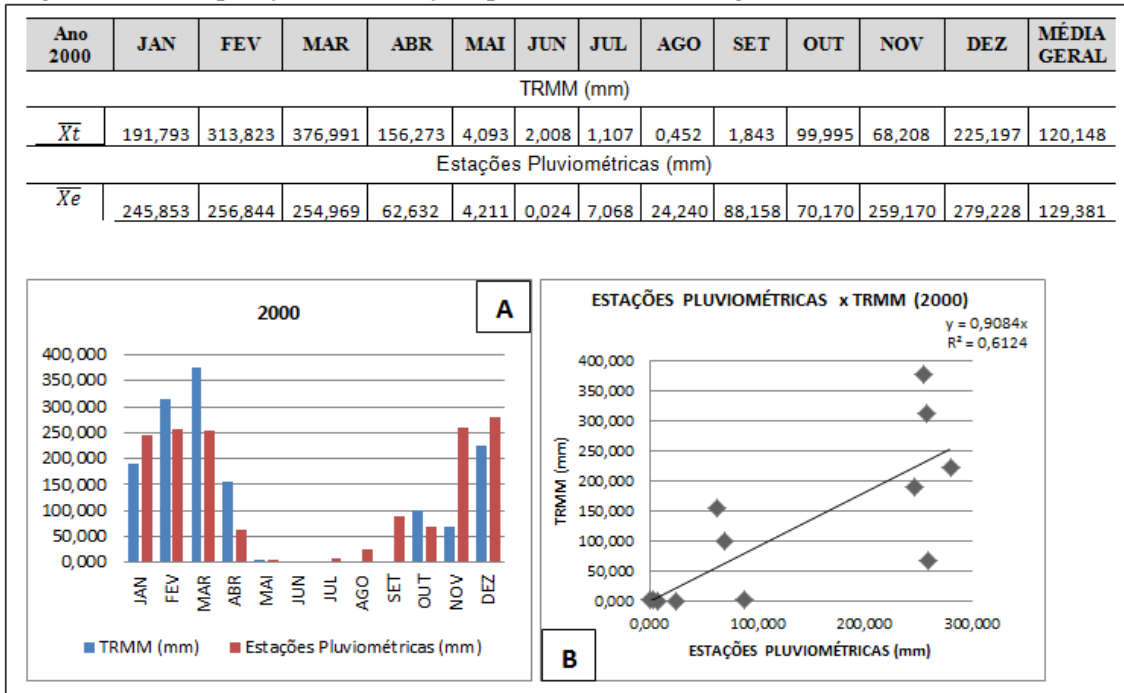
Fonte: http://enos.cptec.inpe.br/tab_lanina.shtml

Figura 17 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 1999.



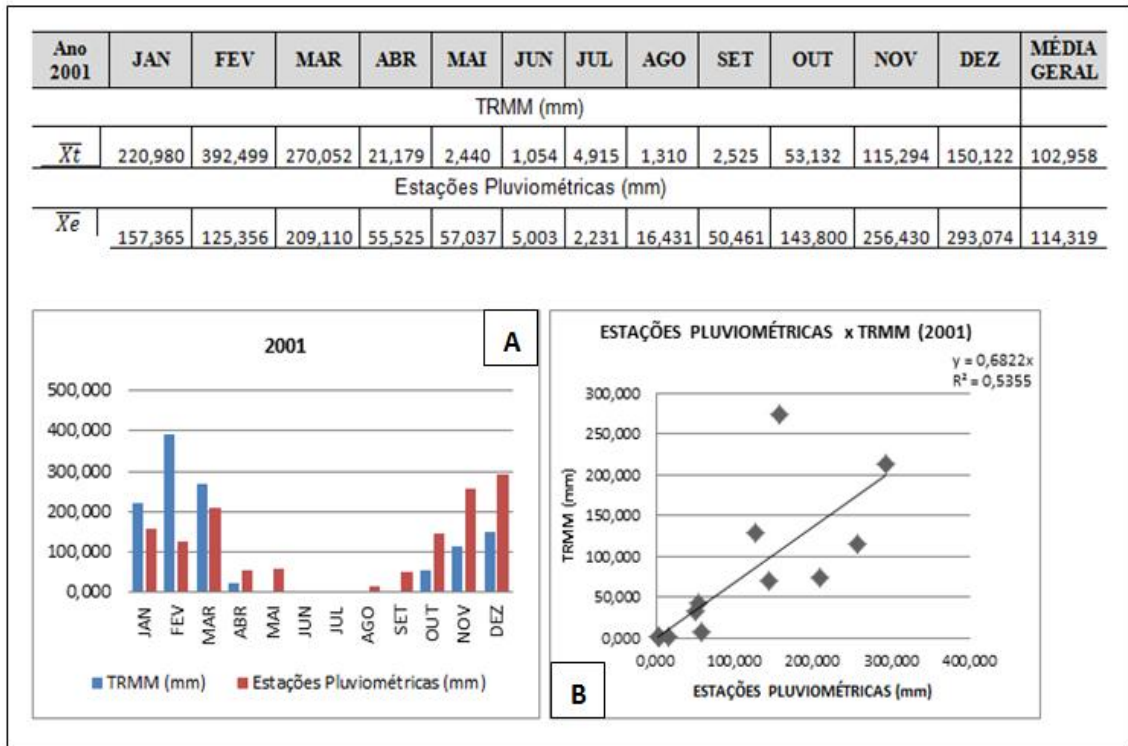
No ano de 1999 a diferença entre os dados de precipitação foi de 8,233mm a mais para estações pluviométricas, na tabela da figura 17. No primeiro trimestre do ano os dados TRMM foram maiores que os dados das estações pluviométricas, praticamente se igualando ao período de seca e subestimando em relação às estações pluviométricas no último trimestre, conforme (figura 17, gráfico A). O grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas no ano de 1999 é observado na figura comum a correlação positiva e linear, com o intercepto 0. O valor do coeficiente de determinação (R^2) apresenta a porcentagem da variação (73,67%) da variável dependente (precipitação média observada pelo sensor TRMM nos meses de 1999) explicada pela variável independente (estações pluviométricas nos meses de 1999).

Figura 18 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2000.



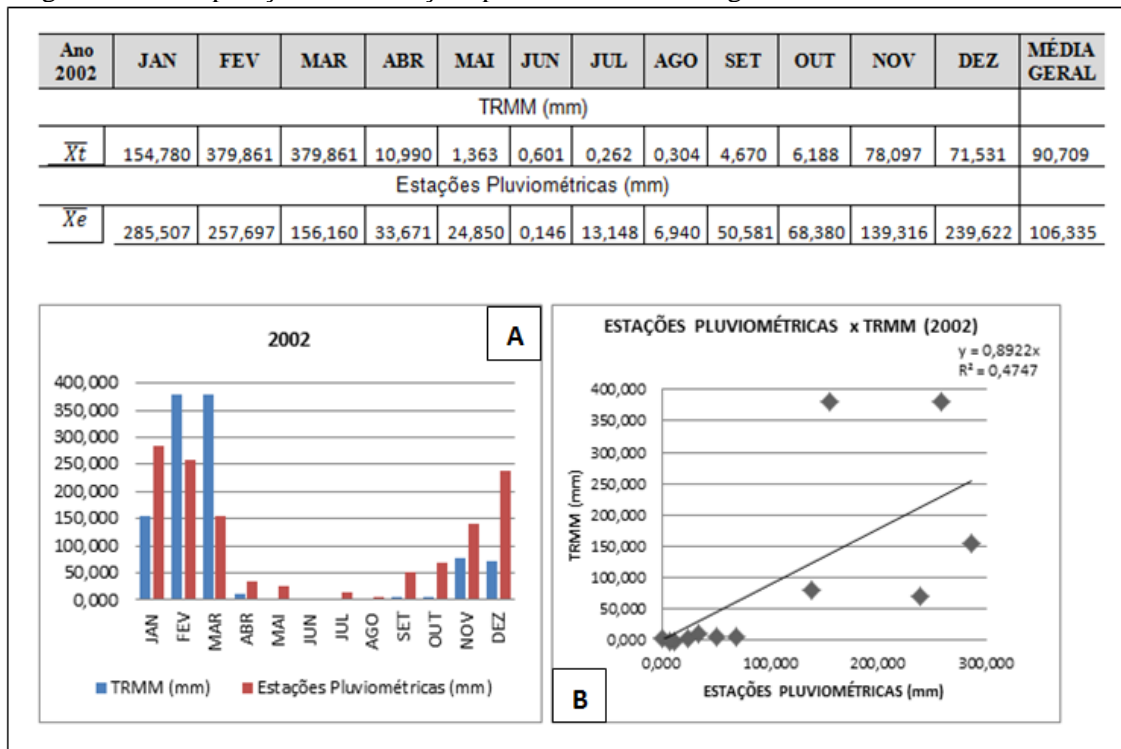
Conforme se pode observar na figura 18, gráfico B, o grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas no ano 2000, existe uma correlação positiva e linear, com o coeficiente de determinação (R^2) apresentando variação de (61,24%). A diferença entre os dados de precipitação foi de 9,233mm ao ano a mais para estações pluviométricas. No primeiro trimestre do ano os dados TRMM chamaram a atenção no mês de março, onde a diferença foi de 122,022mm a mais em relação aos dados das estações pluviométricas. No período de seca os dados não apresentaram variações expressivas, mas no mês de novembro outro dado foi extravasado com diferenças de 190,962mm a mais para as estações pluviométricas. Os dados apresentados podem ser vistos através da figura 18, gráfico A.

Figura 19 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2001.



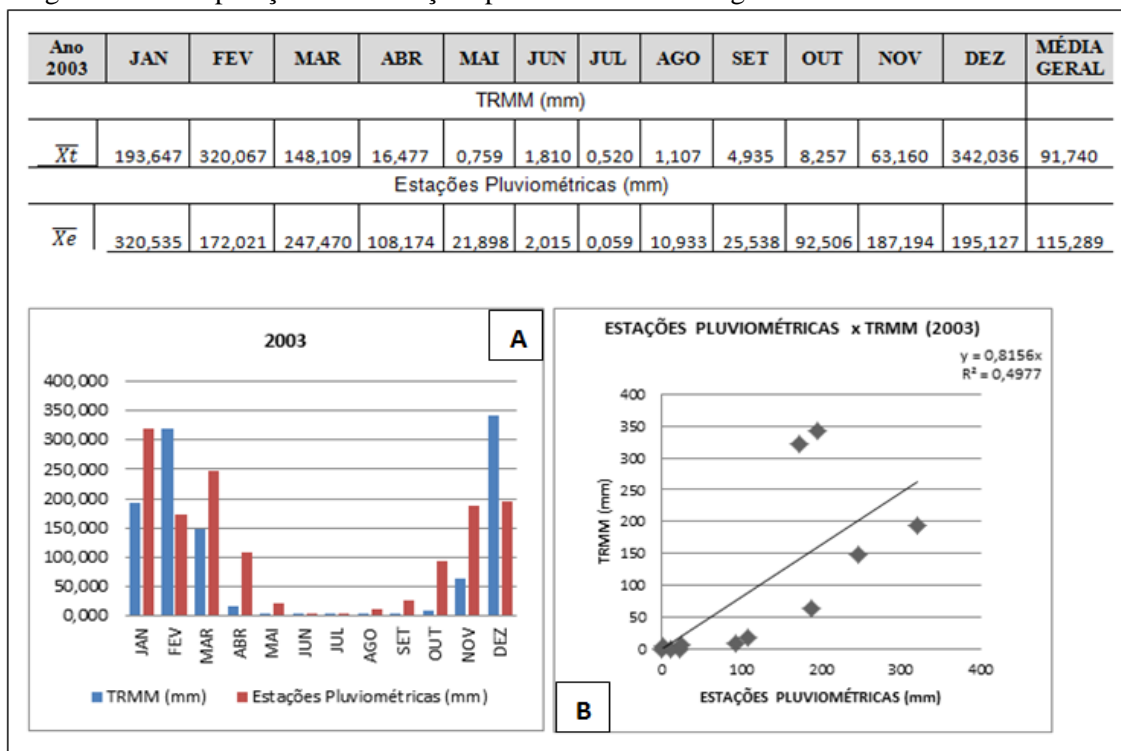
No ano de 2001 a diferença entre os dados de precipitação foi de 11,361mm ao ano a mais para estações pluviométricas. Conforme a figura 19, gráfico A, no primeiro trimestre do ano os dados TRMM superestimaram os dados das estações pluviométricas. No início e no fim da seca os dados das estações pluviométricas apresentaram pequenas variações a mais que os dados TRMM, e continuaram aumentando no último trimestre. Ainda neste ano verificou-se uma ocorrência do fenômeno *La niña* moderado (Quadro 4). O coeficiente de determinação (R^2) apresentou uma porcentagem de variação de (53,55%).

Figura 20 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2002.



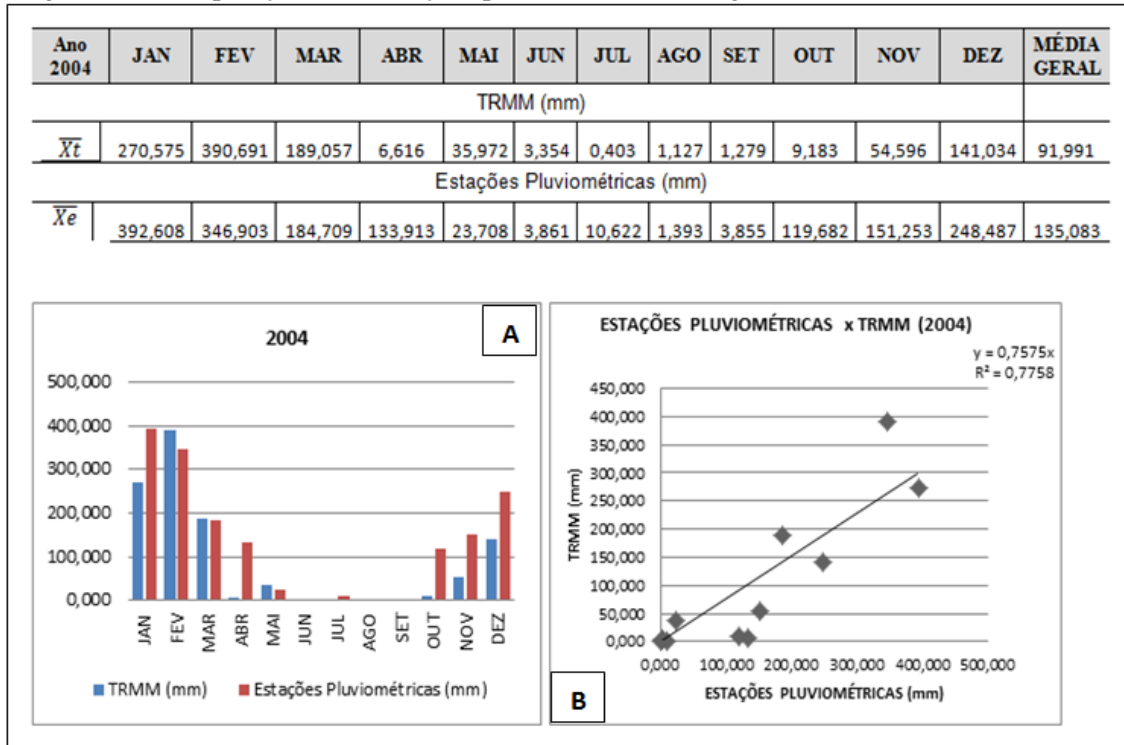
Em 2002 o grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas obteve um coeficiente de determinação (R^2) apresentando a porcentagem da variação (47,47%). A diferença entre os dados de precipitação foi de 15,626mm ao ano a mais para estações pluviométricas, conforme pode-se observar na figura 20. No mês de janeiro houve uma diferenciação de 130,727mm a mais para estações pluviométricas, o que não ocorreu nos meses posteriores do trimestre, dando destaque ao mês de março que teve uma diferença de 223,701mm a mais para o TRMM. O período seco não apresentou grandes diferenças, já no último trimestre (período chuvoso), os dados das estações pluviométricas ficaram acima dos valores do TRMM (figura 20, gráfico A). Em 2002 houve efeitos do *El niño* moderado (quadro 3).

Figura 21 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2003.



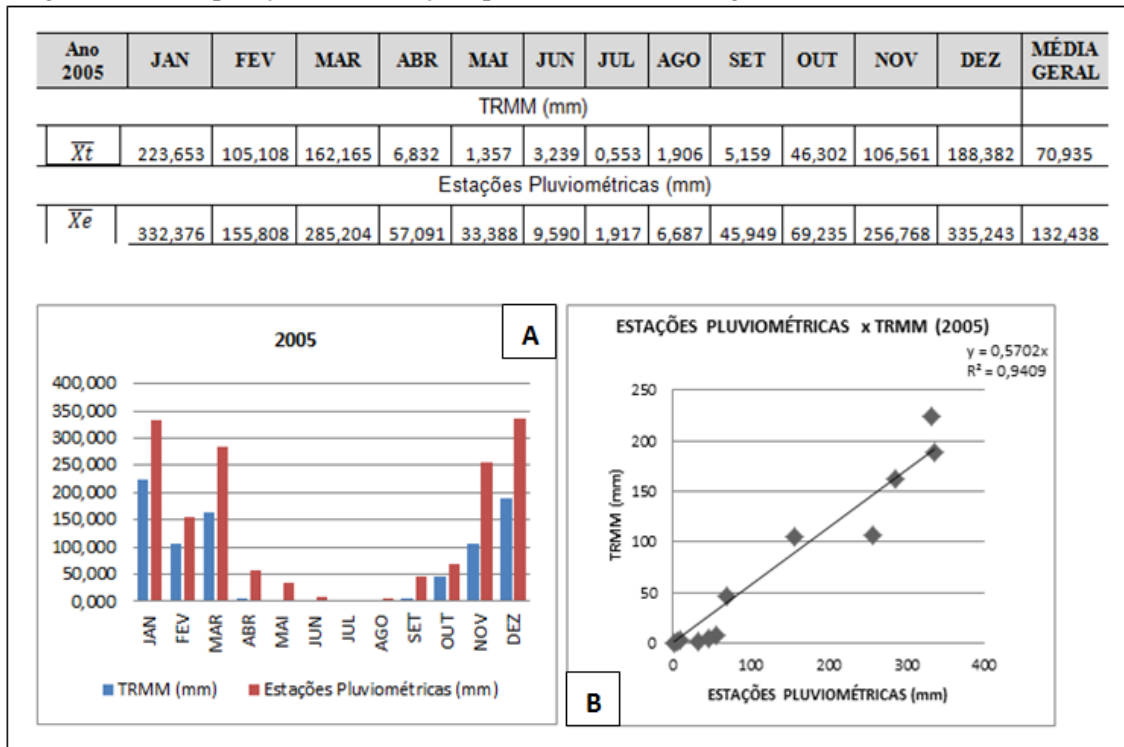
No ano de 2003 a diferenciação dos dados de precipitação foi de 23,549mm a mais para estações pluviométricas. Pode-se verificar na figura 21 que no mês de janeiro houve uma diferenciação de 126,888mm a mais para estações pluviométricas, havendo uma inversão no mês de fevereiro onde a diferença foi de 148,046mm a mais para TRMM, o que não ocorreu nos meses posteriores, onde os valores das estações pluviométricas sobressaíram em relação ao TRMM. Entretanto, no mês de dezembro o TRMM obteve uma variação a mais de 146,909mm. O grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas (figura 21, gráfico B) obtiveram um coeficiente de determinação (R^2) variando (49,77%). Esta baixa correlação de dados, pode ter relação com o fenômeno *El niño*, pois neste ano foi considerado moderado (quadro 3).

Figura 22 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2004.



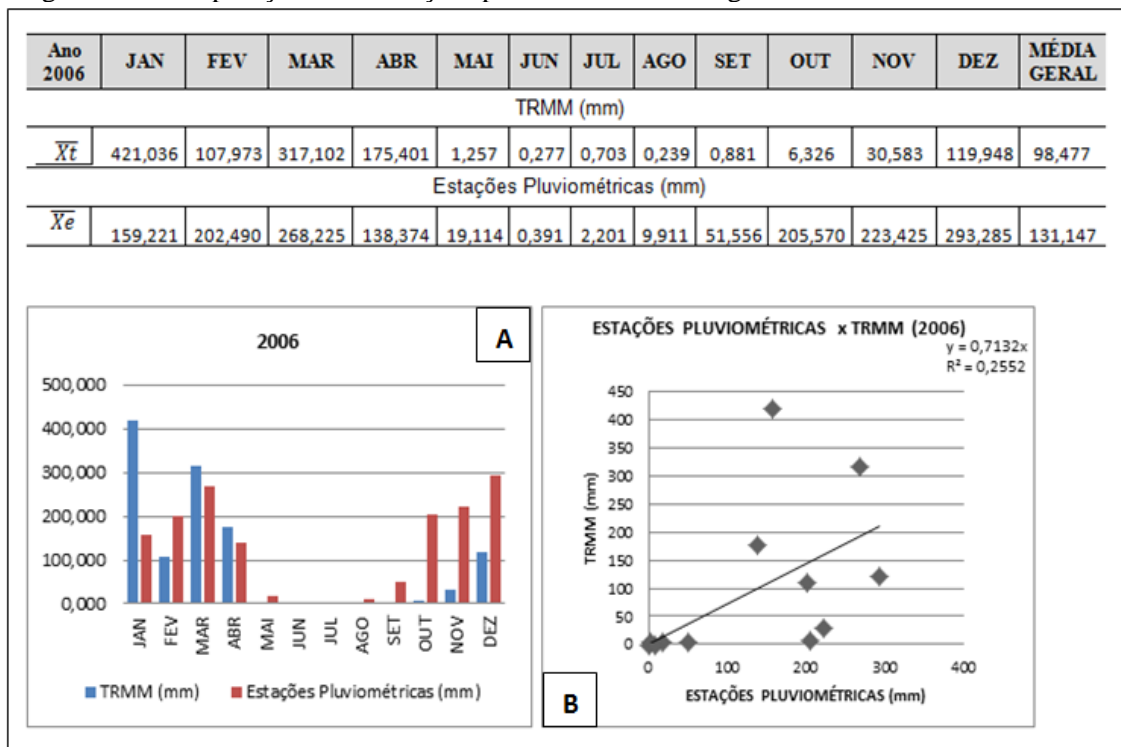
Em 2004 o grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas obteve um coeficiente de determinação R^2 variando (77,58%). A diferença dos dados de precipitação anual foi de 43,092 mm a mais para estações pluviométricas, conforme observado na tabela da figura 22. No mês de janeiro houve uma diferenciação de 122,033 mm a mais para estações pluviométricas e os dados continuaram com poucas variações até o mês de abril, onde o TRMM registrou um valor menor em relação às estações pluviométricas, com diferença de 127,297mm. No período seco não houve grandes variações e no último trimestre os valores das estações pluviométricas se destacaram em relação ao TRMM (figura 22, gráfico A). Neste ano *El niño* foi considerado fraco (quadro 3).

Figura 23 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2005.



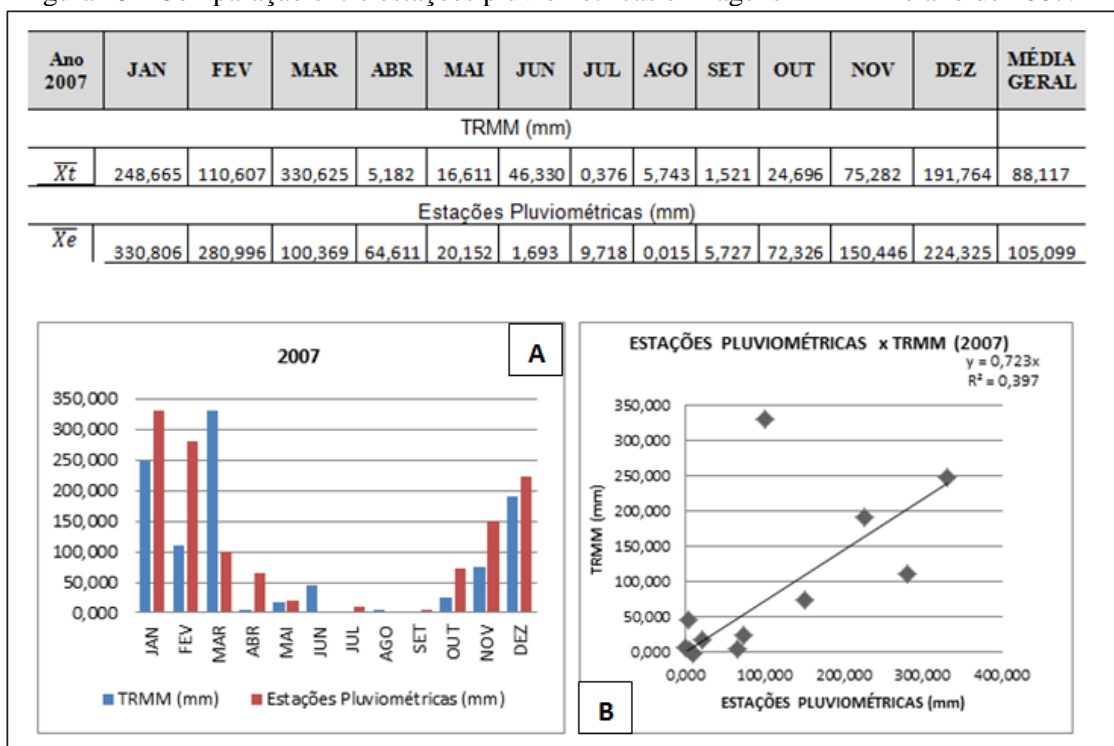
Em 2005, pode-se observar que a diferença entre os dados de precipitação foi de 61,503mm a mais para estações pluviométricas. Neste ano, os dados das estações pluviométricas foram maiores que os dados TRMM, principalmente nos meses chuvosos (figura 23, gráfico A). O grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas no ano de 2005 é observado na (figura 23, gráfico B), com R^2 apresentando uma porcentagem de variação (94,09%) da variável dependente (precipitação média observada pelo sensor TRMM em 2005) explicada pela variável independente (estações pluviométricas em 2005). No ano de 2005 *El niño* foi considerado fraco (quadro 3).

Figura 24 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2006.



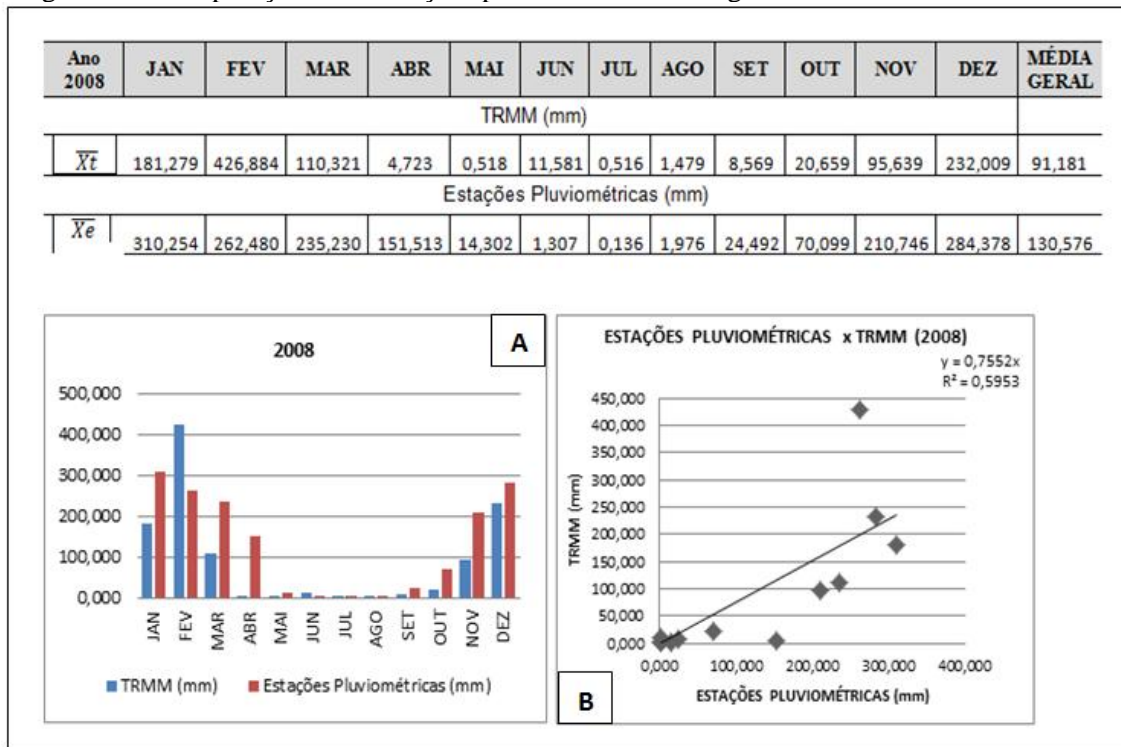
Em 2006, o grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas obteve um R^2 de aproximadamente (25,52%). A diferença entre os dados de precipitação foi de 32,670mm ao ano a mais para estações pluviométricas, conforme tabela da figura 24. No mês de janeiro houve a maior discrepância anual, com uma diferença de 261,815mm a mais para o TRMM, porém em fevereiro as estações pluviométricas ficaram com valores superiores. Nos meses de março e abril o TRMM superestimou em relação às estações pluviométricas e no período seco não ofereceu grandes diferenças. Já no último trimestre (período chuvoso), os dados das estações pluviométricas ficaram acima dos valores do TRMM (figura 24, gráfico A), é importante ressaltar que neste ano, o *El niño* foi considerado fraco, porém apresentou anomalias na precipitação sobre o Centro-Oeste do Brasil (Clima análise, 2006).

Figura 25 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2007.



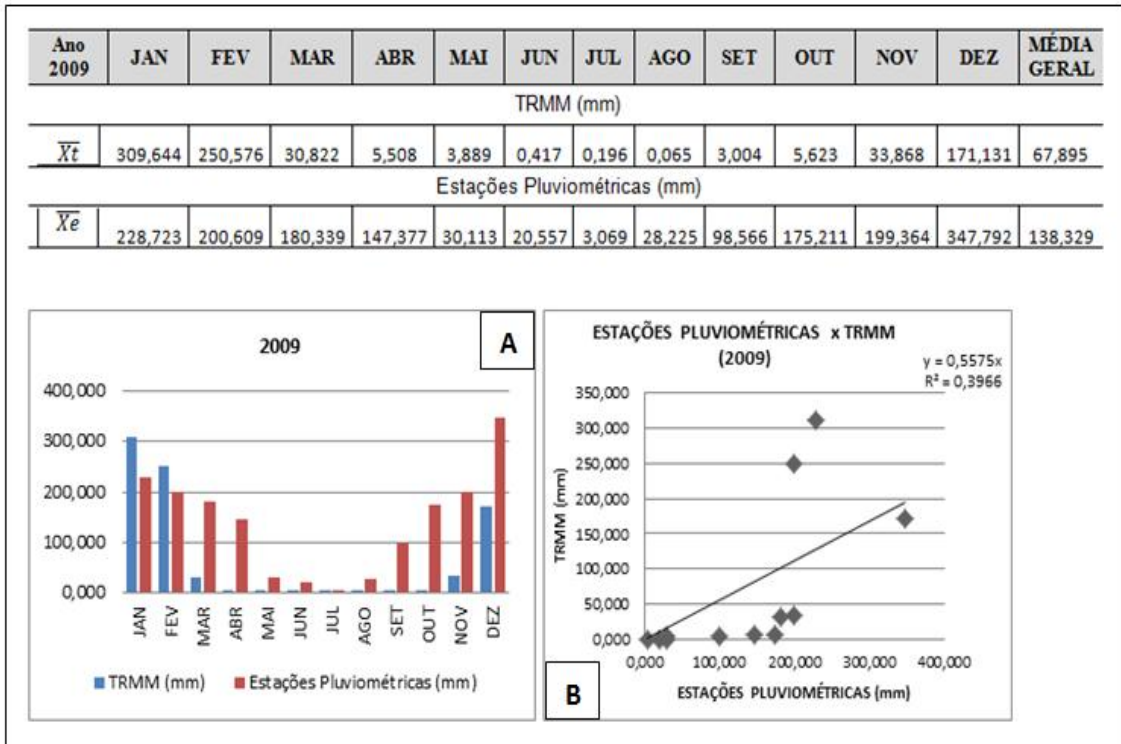
No ano de 2007 a diferença entre a média geral dos dados de precipitação foi de 16,982mm ao ano a mais para estações pluviométricas, conforme mostrado na tabela da figura 25. Nos meses de janeiro e fevereiro houve uma diferenciação dos dados a mais para as estações pluviométricas, já em março as estações pluviométricas ficaram com valores inferiores a 230,256mm. No início da seca, em abril, o TRMM foi inferior e em junho foi superior às estações pluviométricas. No último trimestre (período chuvoso), os dados das estações pluviométricas ficaram acima dos valores do TRMM, conforme figura 25, gráfico A. O grau de correlação entre os dados de precipitação (figura 25, gráfico B) obteve um coeficiente de determinação R^2 apresentando a porcentagem da variação (39,70%). Esta baixa porcentagem de variação, apresentada para este ano pode ter influências com os fenômenos *El niño* que neste período foi considerado fraco (quadro 3), mas em compensação *La niña* foi considerado forte (quadro 4).

Figura 26 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2008.



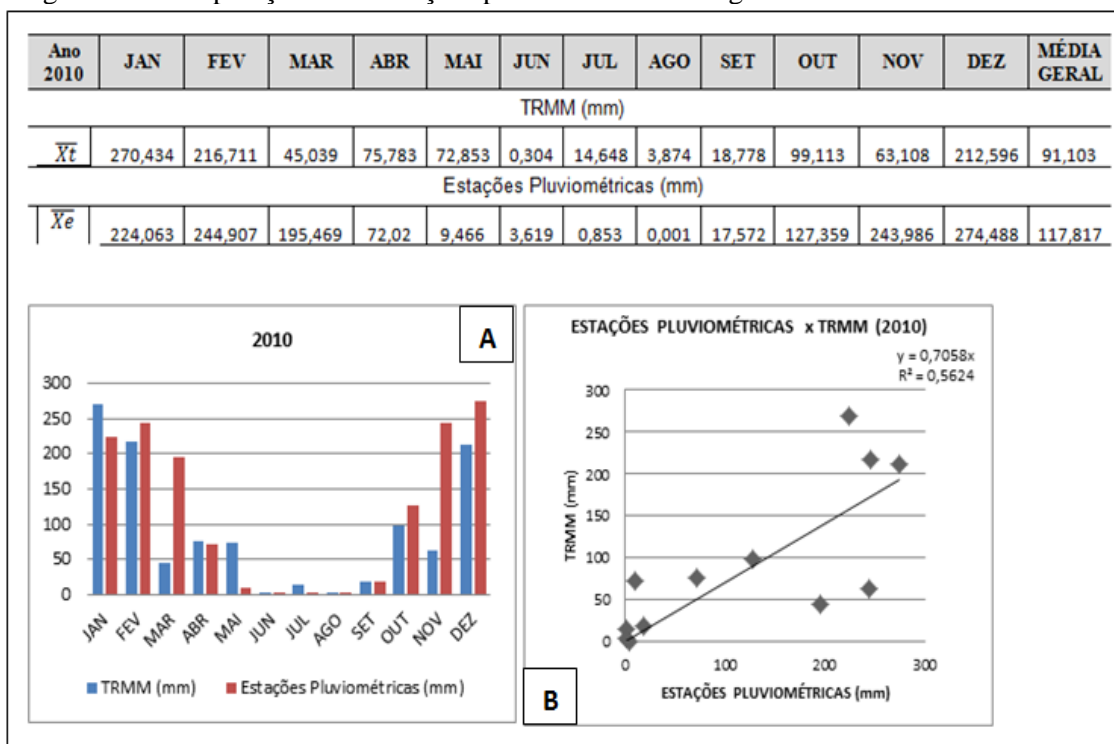
No ano de 2008, o grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas obteve um coeficiente de determinação R^2 com variação de (59,53%). A diferença entre os valores médios de precipitação foi de 39,395mm ao ano a mais para estações pluviométricas. No primeiro trimestre do ano, os dados TRMM ficaram abaixo dos dados das estações pluviométricas, destacando o mês de Fevereiro onde o TRMM ficou 164,404mm acima. No mês de abril, as estações pluviométricas registraram 151,513mm e o TRMM 4,723mm, apresentando grande diferenciação (146,790 mm). Já na estação de seca, os dados não apresentaram grandes variações, e no último trimestre as estações pluviométricas continuaram com valores superiores aos dados TRMM (figura 26, gráfico B). O fenômeno *La niña* neste ano foi considerado forte (quadro 4).

Figura 27 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2009.



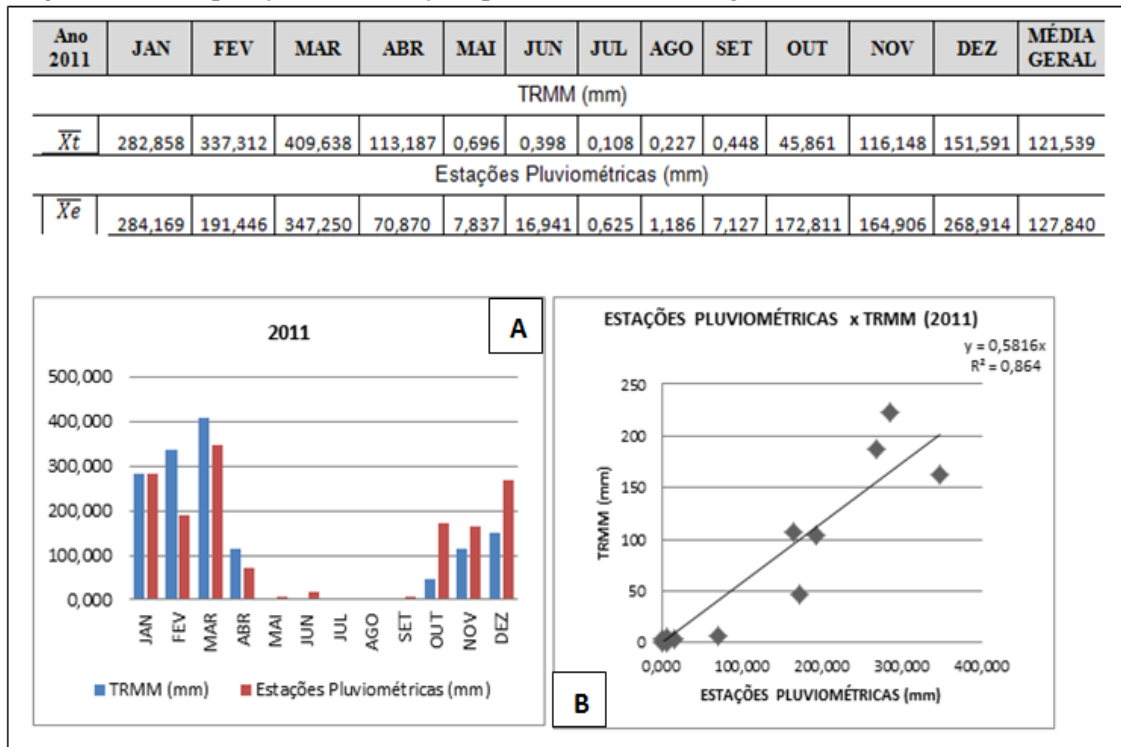
Em 2009, a diferença entre os dados de precipitação foi de 70,434mm ao ano, a mais para estações pluviométricas. Nos dois primeiros meses do ano, os dados TRMM ficaram acima dos dados das estações pluviométricas, já no restante dos meses as estações pluviométricas permaneceram com valores acima em relação ao TRMM, destacando-se mais nos meses chuvosos (figura 27, gráfico A). O grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas (figura 27, gráfico B) disponibilizou um coeficiente de determinação R^2 com variação de (39,66%). O fenômeno *El niño* neste ano foi considerado fraco (quadro 3).

Figura 28 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2010.



No ano de 2010 o grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas (figura 28, gráfico B) obtiveram um R^2 variando (56,24%). Os dados de precipitação no ano tiveram 26,714mm de diferença a mais para estações pluviométricas, conforme tabela da figura 28. No mês de janeiro, houve uma pequena diferença de 46,371mm a mais para o TRMM, invertendo no mês de março, onde houve uma discrepância de 150,430mm a mais para as estações pluviométricas. Em maio as estações pluviométricas registraram valores abaixo se comparado ao TRMM (63,387 mm). No período de seca, não houve grandes mudanças, e no último trimestre, quando novamente começaram as chuvas, as estações pluviométricas se destacaram ao TRMM, ressaltando o mês de novembro onde a diferença foi de 180,878mm (figura 27, gráfico A). Em 2010 o *El niño* foi considerado fraco (quadro 3).

Figura 29 - Comparação entre estações pluviométricas e imagens TRMM no ano de 2011.



Neste ano de 2011, a diferença entre os dados de precipitação foi de 6,301mm a mais para estações pluviométricas, apresentando diferença mínima com os dados TRMM. No primeiro trimestre do ano, os dados TRMM foram maiores que os dados das estações pluviométricas, praticamente se igualando ao período de seca e subestimando em relação às estações pluviométricas no último trimestre (figura 29, gráfico A). O grau de correlação entre os dados TRMM e as estações pluviométricas no ano de 2011 é observado na figura 29, gráfico B com uma correlação positiva e linear. O valor do coeficiente de determinação R^2 apresenta a porcentagem da variação (86,40%) da variável dependente (precipitação média observada pelo sensor TRMM nos meses de 2011) explicada pela variável independente (estações pluviométricas nos meses de 2011).

De acordo com os dados analisados no trabalho, pode-se comprovar que nos Estados de Goiás e Distrito Federal há um período bastante úmido, que vai de outubro até março, e um período bastante seco, que vai de abril até setembro. Este comportamento climático é descrito pelas estações pluviométricas (dados terrestres) e também pelos dados TRMM (dados orbitais).

No geral, constatou-se que no período de seca (maio a agosto), todos os anos tiveram valores baixos de precipitação, variando de zero a 57mm. As maiores quantidades de precipitações verificadas para as estações pluviométricas no período chuvoso foram em janeiro de 2004, com precipitação de 392,608mm, e para o TRMM foi em fevereiro de 2008, quando apresentou 426,884mm. Quando analisado à variação mensal entre a precipitação, foram constatadas diferenças significativas no período chuvoso, nos meses de janeiro e dezembro para 2003, 2006 e 2009 (Figuras 21, 24 e 27), e no início da seca, no mês de maio, para os anos de 1998, 2001 e 2005 (Figuras 16, 19 e 23).

4.2 Análise geral do Banco de Dados

O banco de dados pluviométricos gerado para os Estados de Goiás e Distrito Federal trouxeram seus dados demonstrados em figuras. Como o volume de informações é considerado grande, foram feitas amostragens e escolhido o período de três anos para demonstração (1998, 2005 e 2011), que representaram o início, meio e final do período estudado. Dentre estes anos, foram destacados três meses de cada sazonalidade (chuva e seca), e dentre cada um destes meses foi escolhido um dia para demonstração (dia 15). Nas figuras são demonstradas as quatro bandas de cada imagem, onde primeiramente foram analisadas as figuras da estação de seca, que nos Estados de Goiás e Distrito Federal, conforme dito anteriormente, compreende os meses de abril a setembro.

4.2.1 Período de Seca

Nas figuras 30, 31 e 32 são representados os meses de abril, do período de amostragem, compreendendo o início da estação seca.

Figura 30 - Dados no dia 15/04/1998

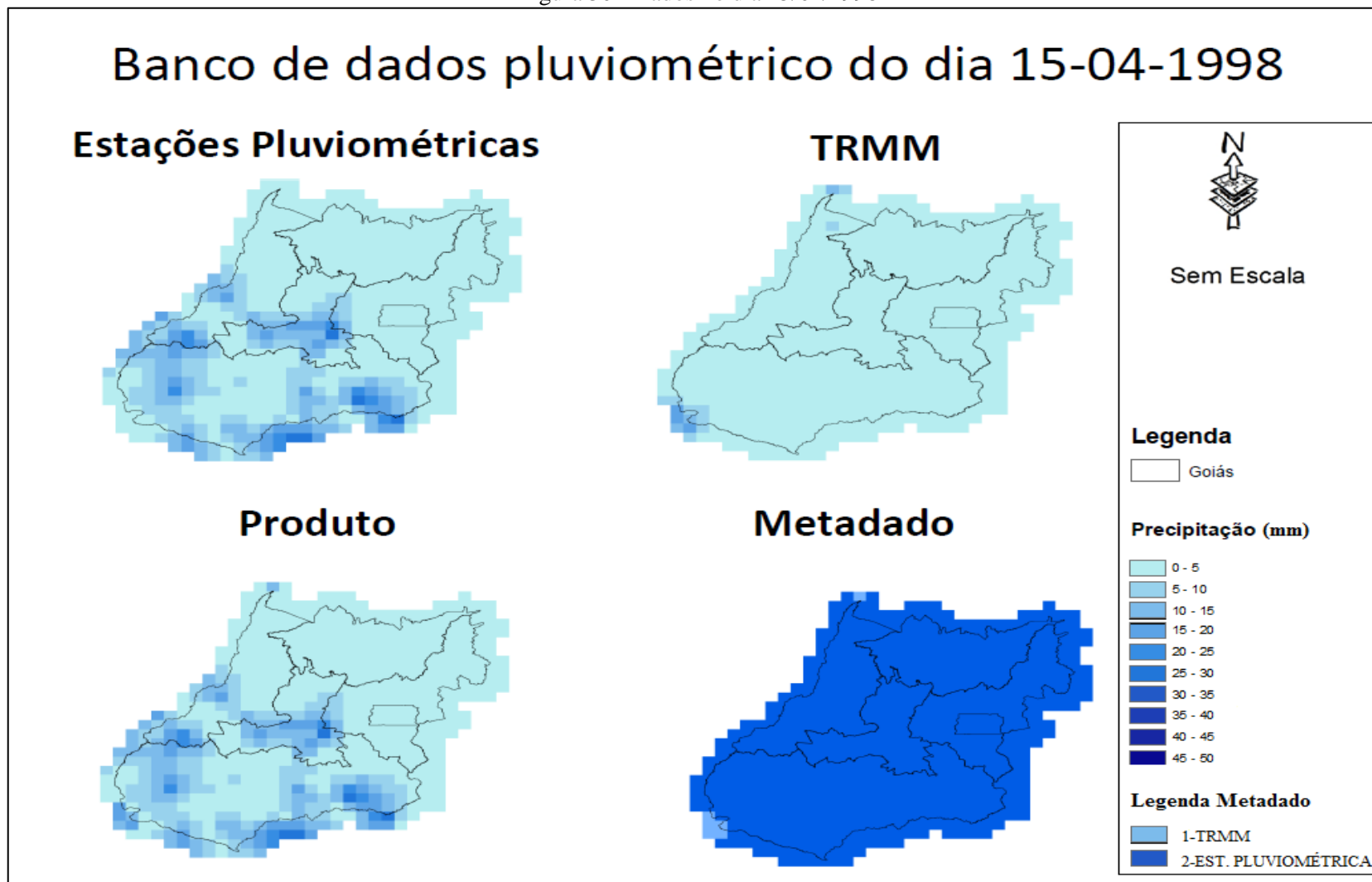


Figura 31 - Dados no dia 15/04/2005

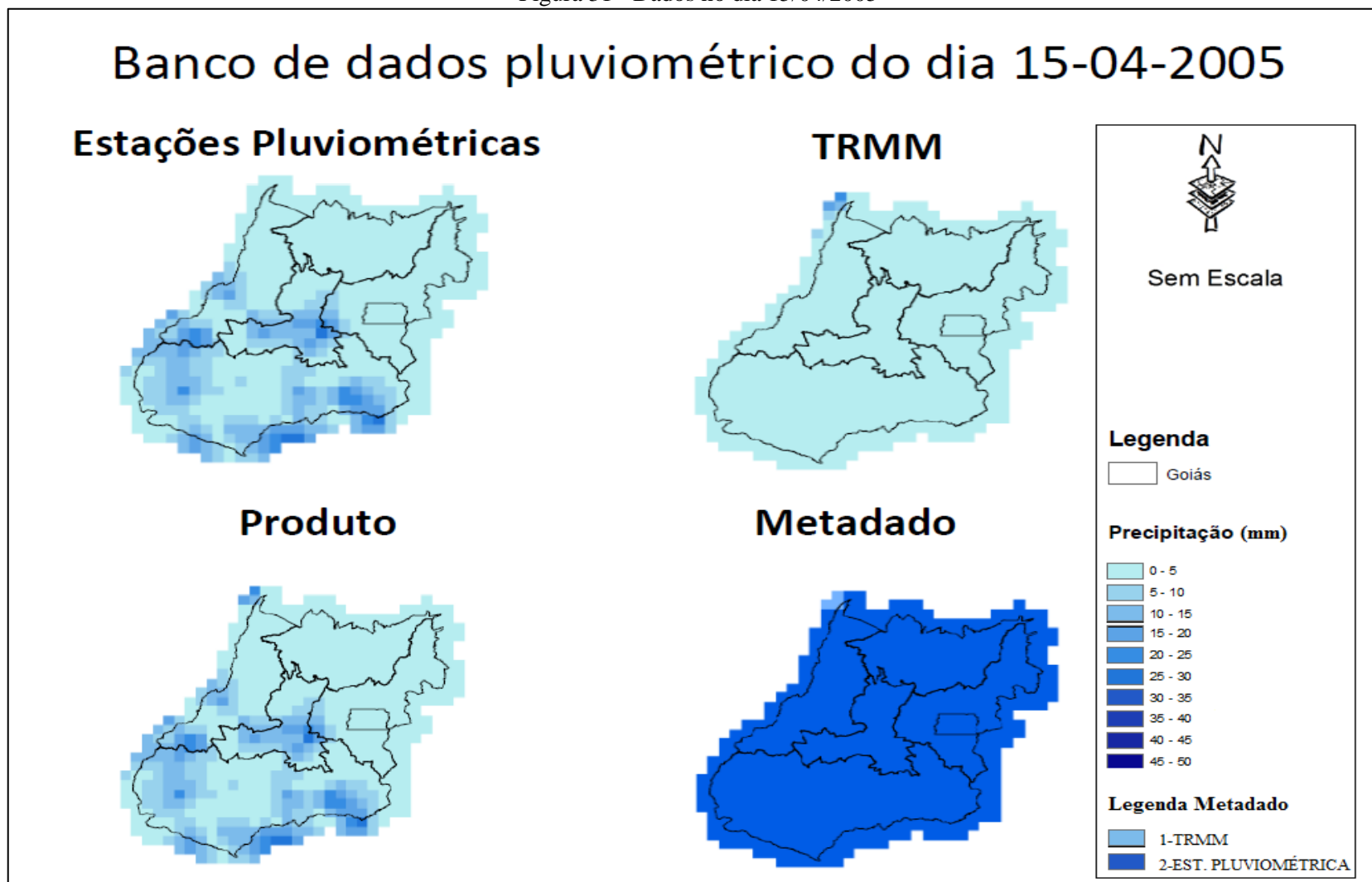
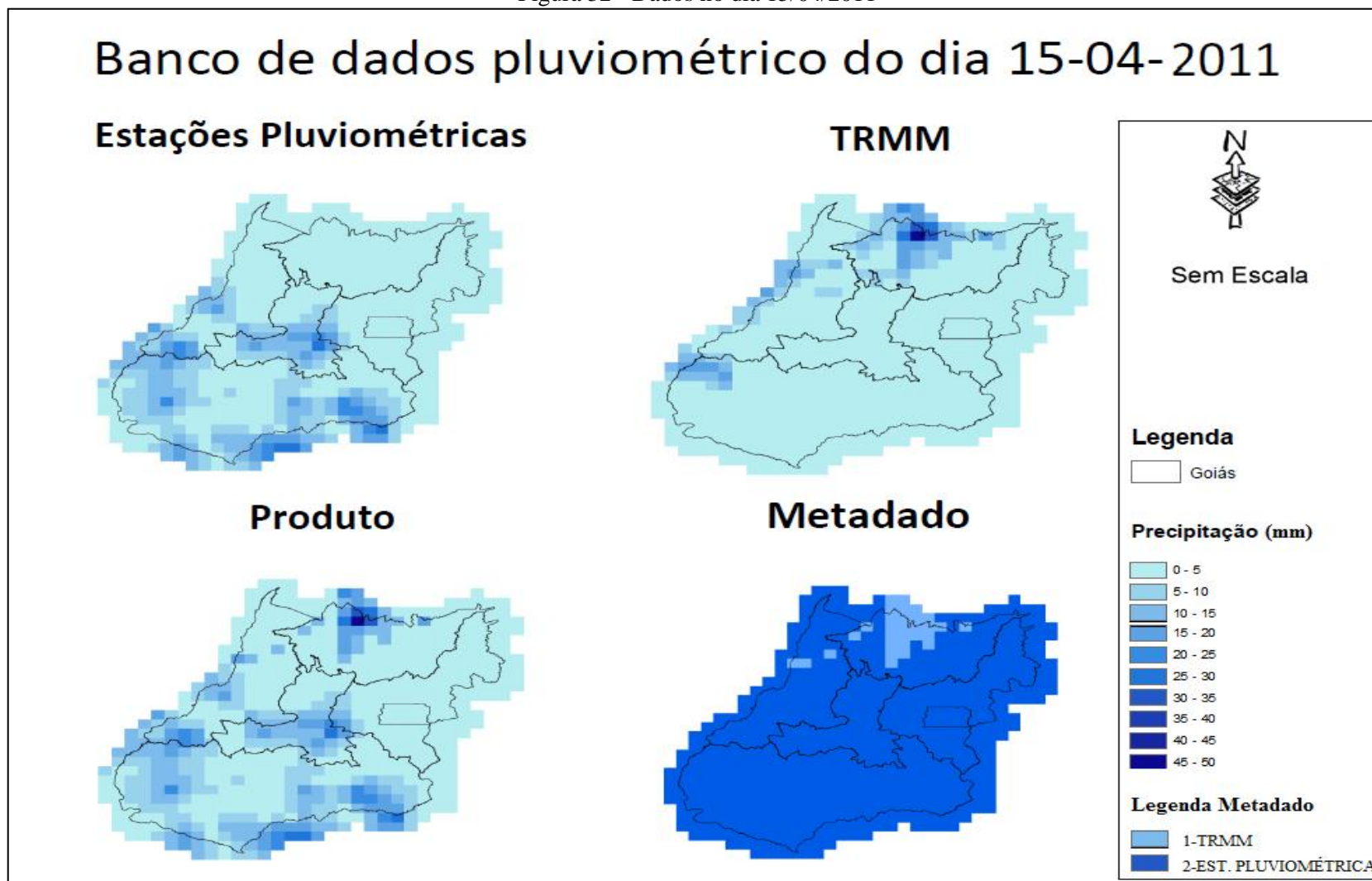


Figura 32 - Dados no dia 15/04/2011



Nas figuras 30, 31 e 32 que representam o início da estação seca (abril), é notável uma presença pequena de precipitação nos Estados de Goiás e Distrito Federal em torno de 28 a 29 mm para os mapas de chuvas das estações pluviométricas. Na figura 32 a precipitação é mais expressiva, por volta de 45 mm para o TRMM. Nota-se que a banda 3 (produto), é composta principalmente de valores dos mapas de chuvas das estações pluviométricas, comprovados pela banda 4 (metadado).

Nas Figuras 33, 34 e 35 são representados os meses de junho do período analisado, compreendendo o meio da estação seca.

Figura 33 - Dados no dia 15/06/1998

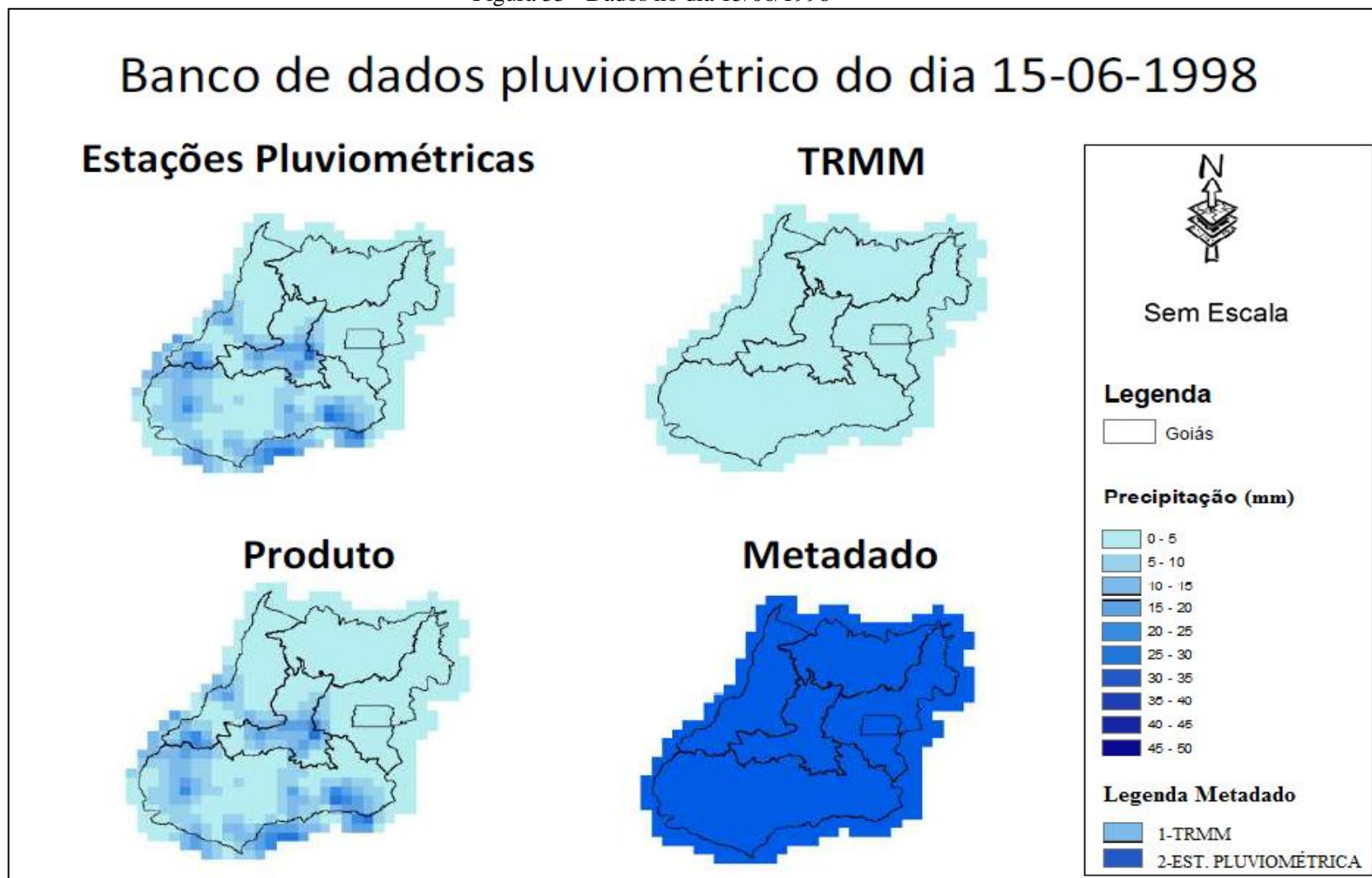


Figura 34 - Dados no dia 15/06/2005

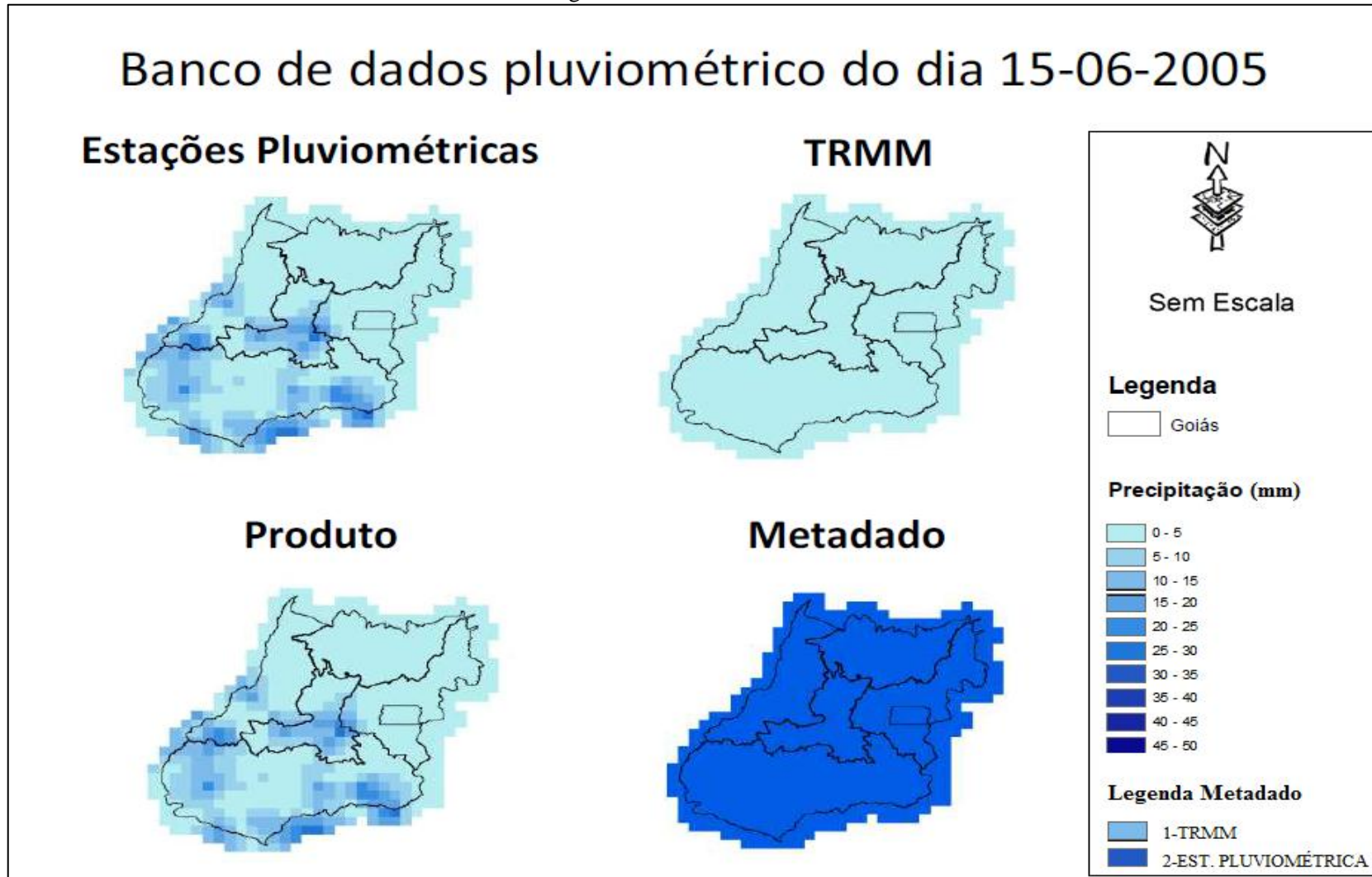
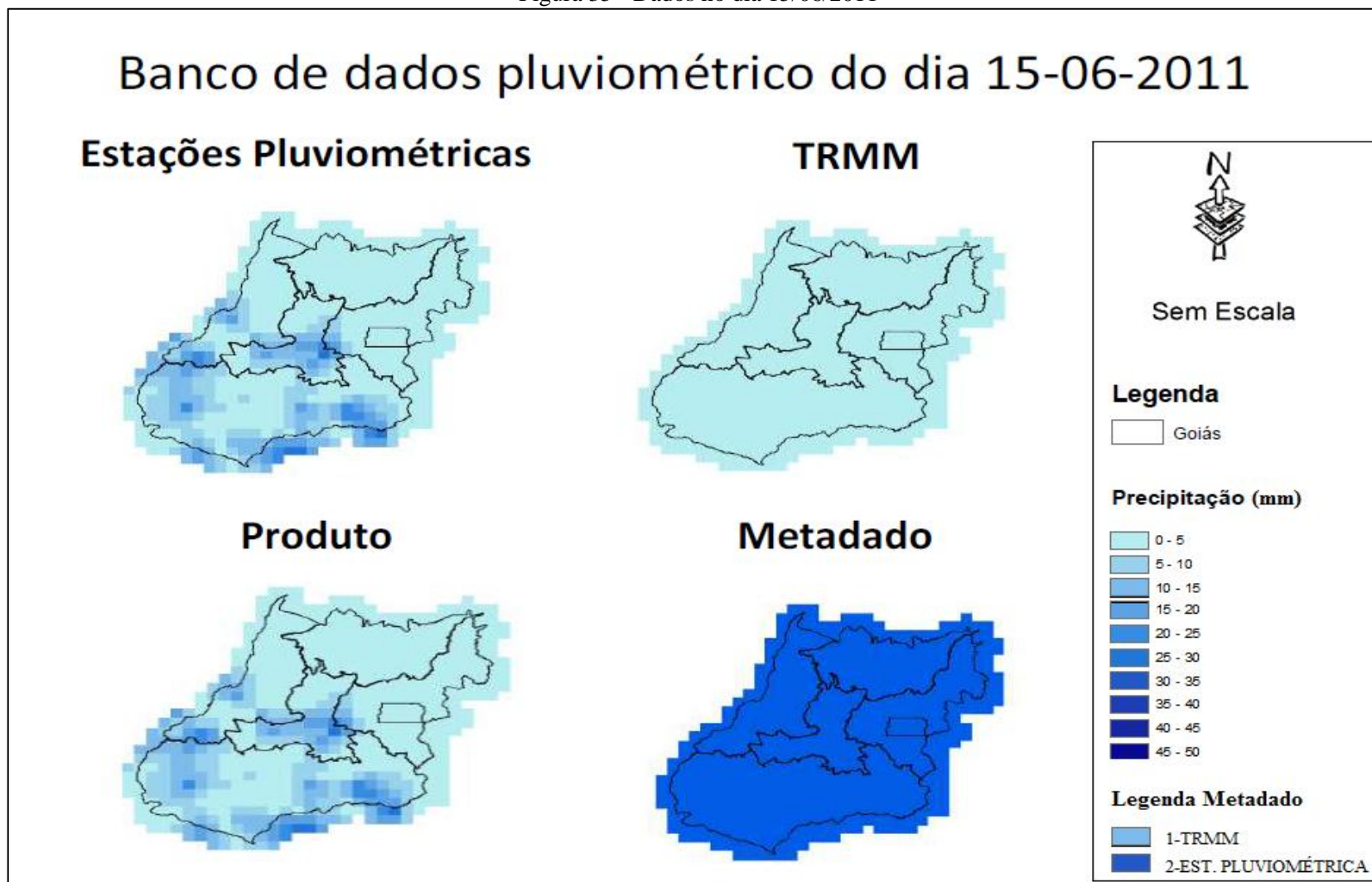


Figura 35 - Dados no dia 15/06/2011



Nas figuras 33, 34 e 35 que representam o meio da estação seca (junho), verifica-se a baixa precipitação, variando entre 28 a 29 mm. É possível observar também que as bandas 3 são compostas principalmente de valores dos mapas das estações pluviométricas.

Nas Figuras 36, 37 e 38 são representados os meses de setembro, do período de amostragem, compreendendo o final da estação seca.

Figura 36 - Dados no dia 15/09/1998

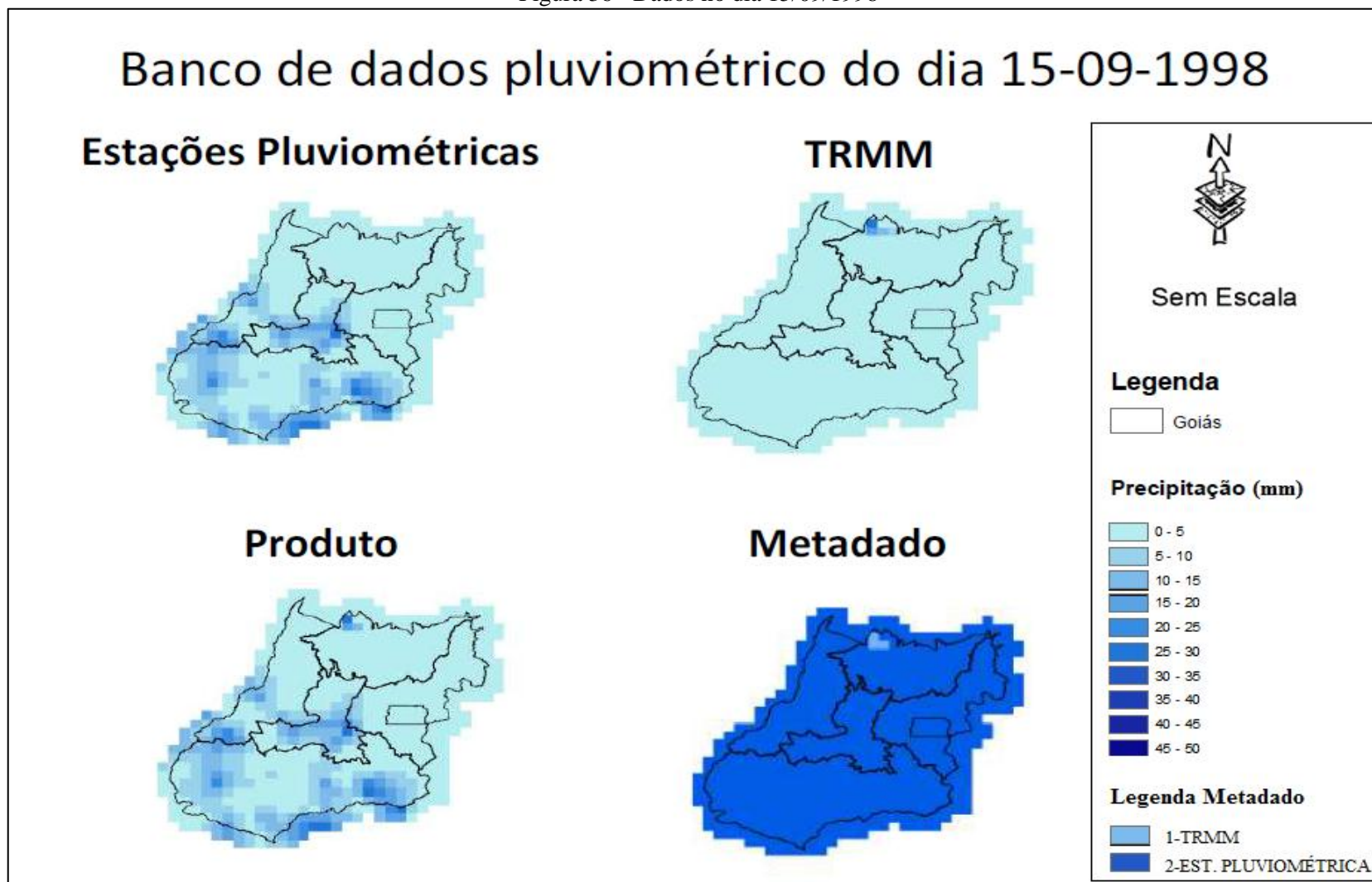


Figura 37 - Dados no dia 15/09/2005

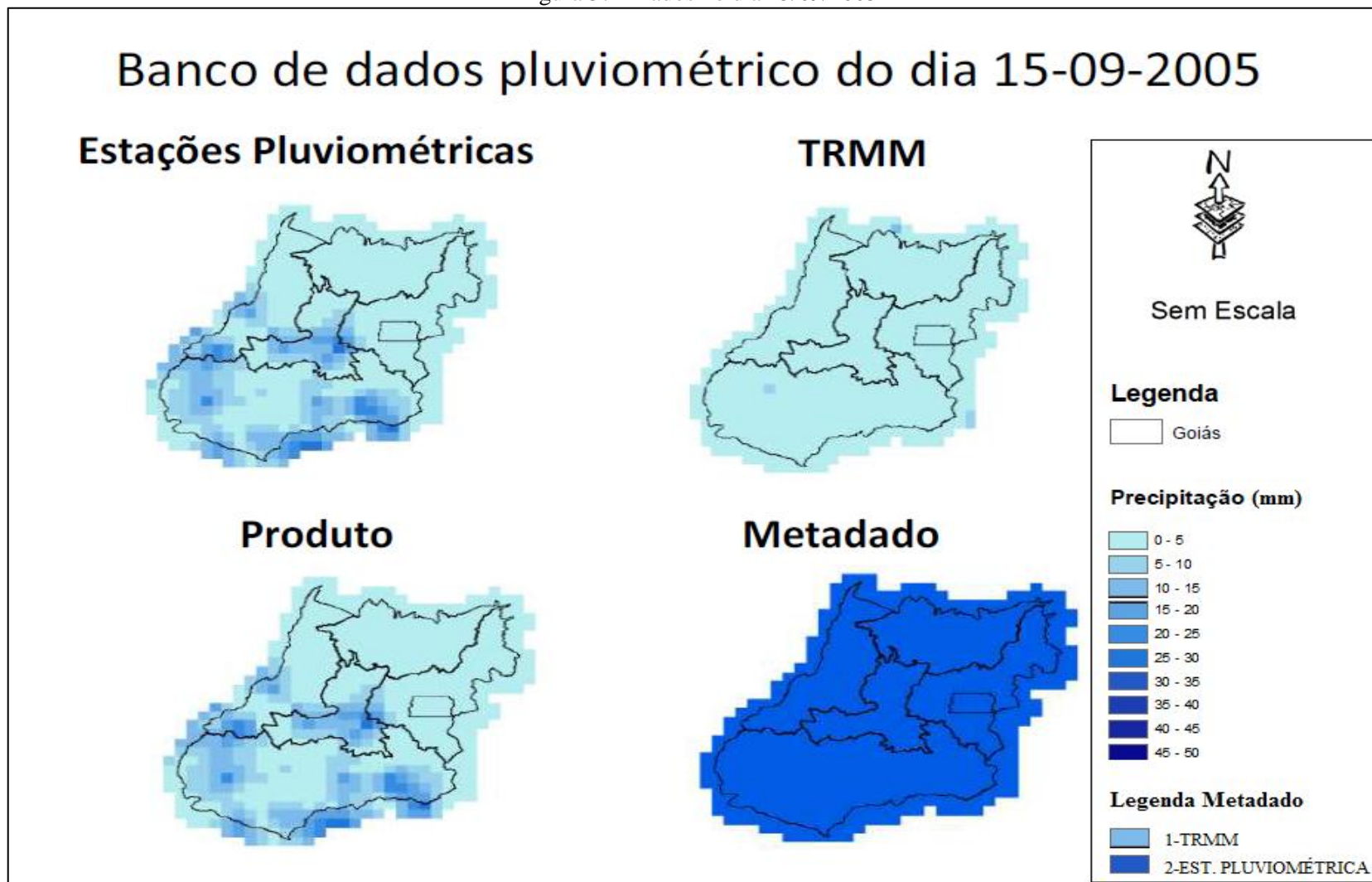
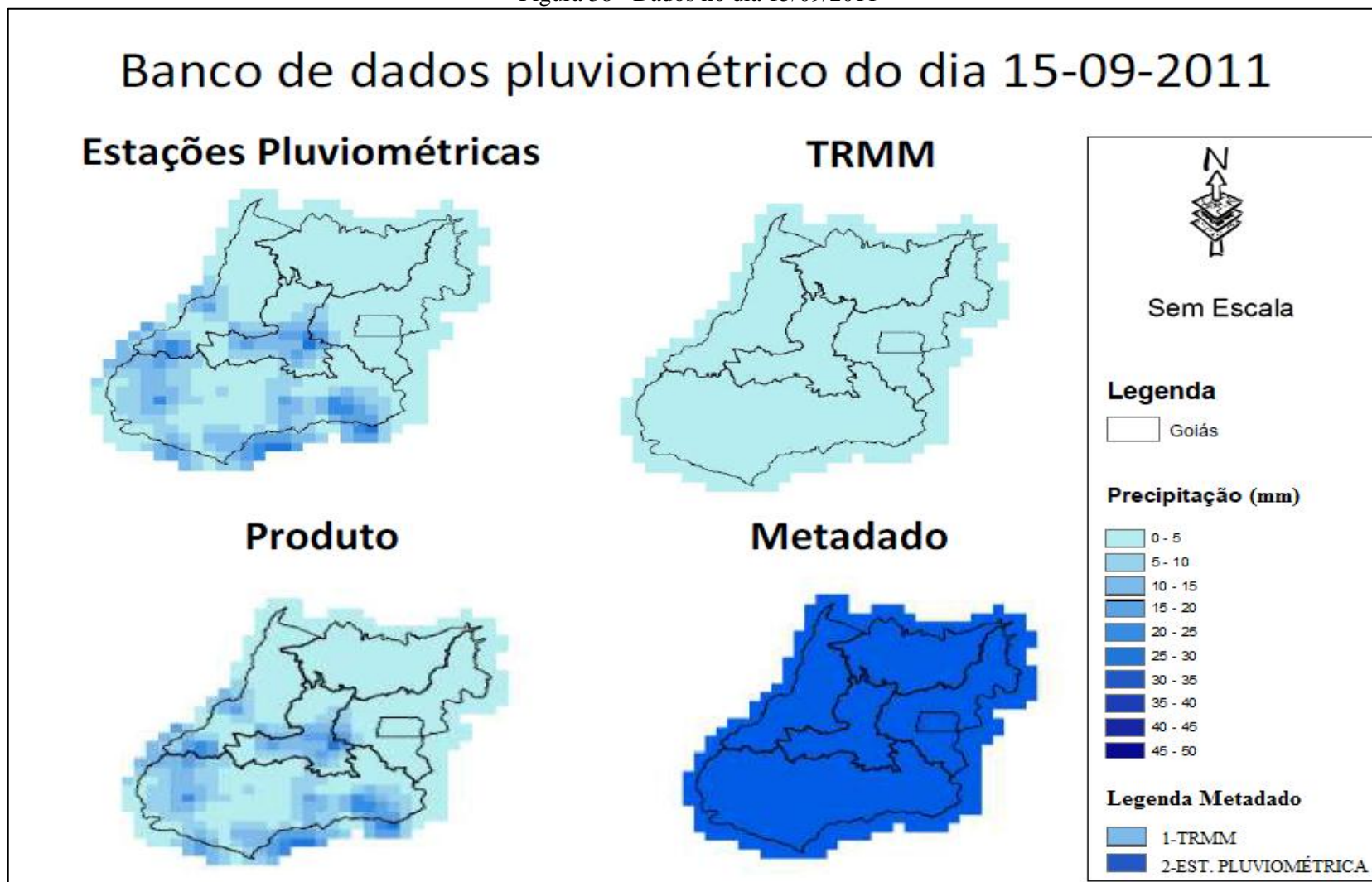


Figura 38 - Dados no dia 15/09/2011



No final da estação seca (setembro), as precipitações também variam entre 28 mm e 29 mm. No ano de 1998 (figura 36), a banda 3 foi composta por valores dos mapas das estações pluviométricas e uma pequena parcela de valores dos mapas TRMM. Já em 2005 (figura 37) e 2011 (figura 38), a banda 3 foi composta exclusivamente por valores dos mapas de chuvas das estações pluviométricas, o que pode ser comprovado pela banda 4.

4.2.2 Período de Chuva

Nesta etapa do projeto serão analisadas as figuras da estação chuvosa, que nos Estados de Goiás e Distrito Federal, compreende os meses de outubro a março. Nas Figuras 39, 40 e 41 são representados os meses de outubro, do período de amostragem dos três anos analisados.

Figura 39 - Dados no dia 15/10/1998

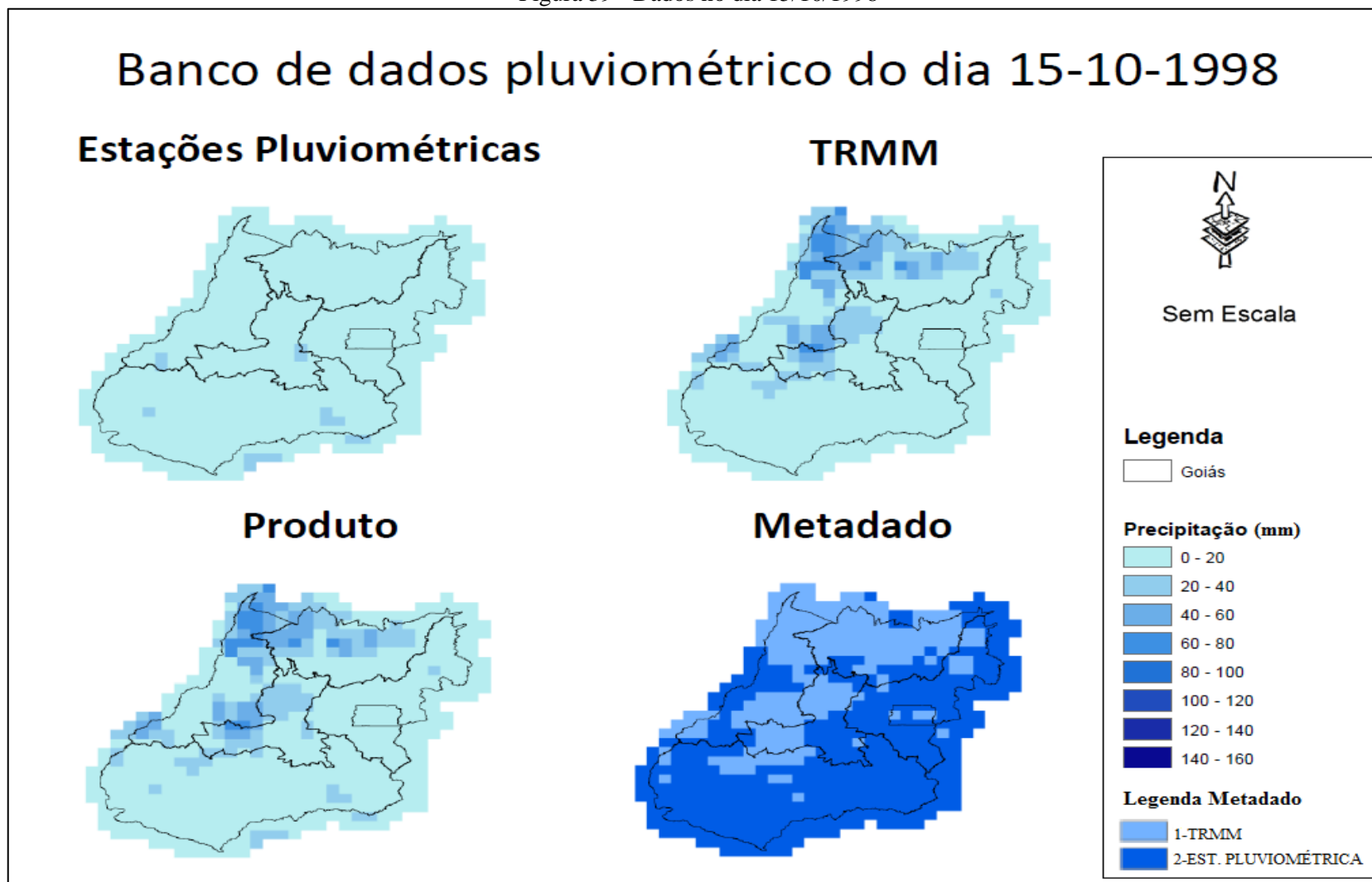


Figura 40 - Dados no dia 15/10/2005

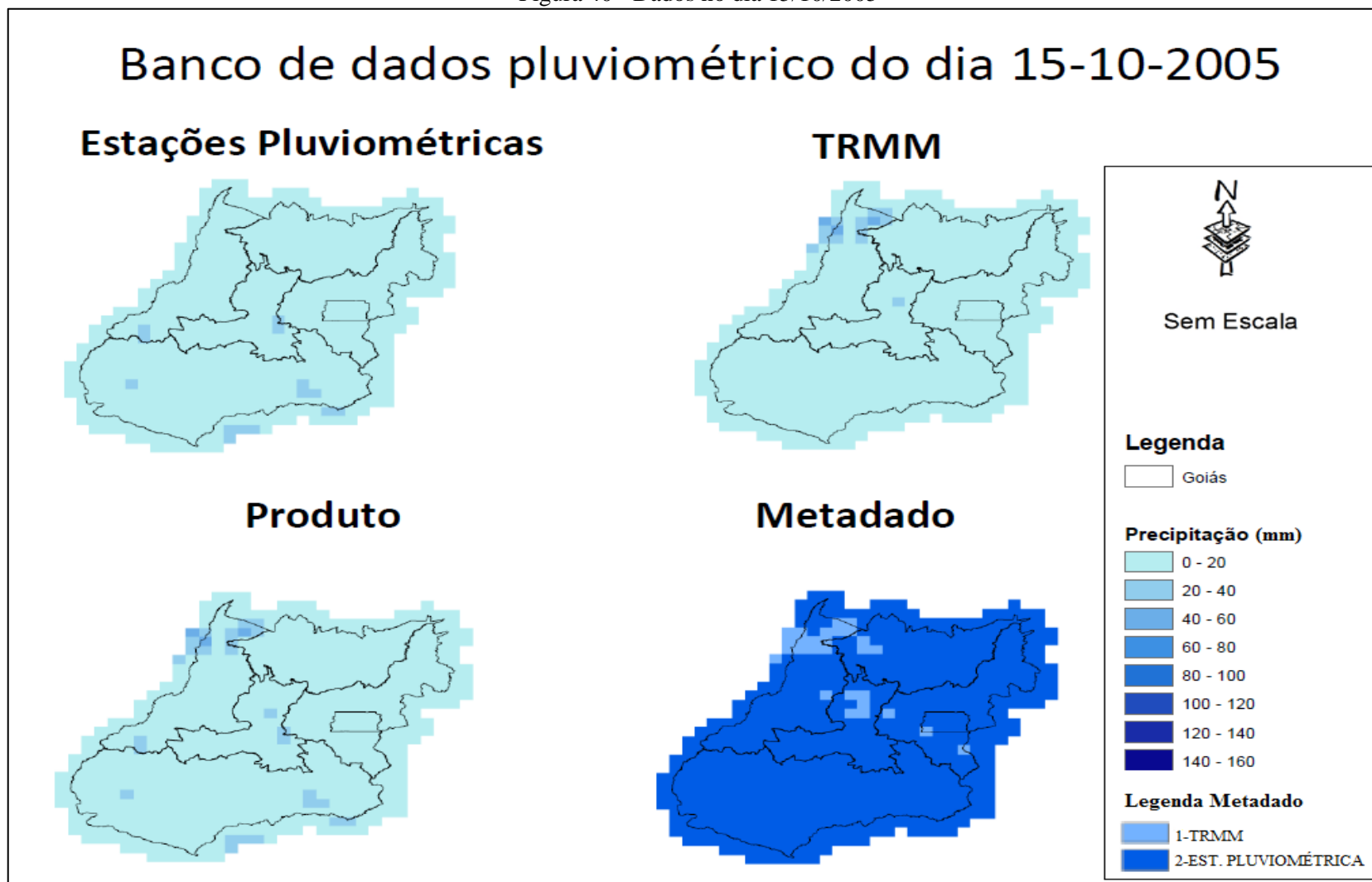
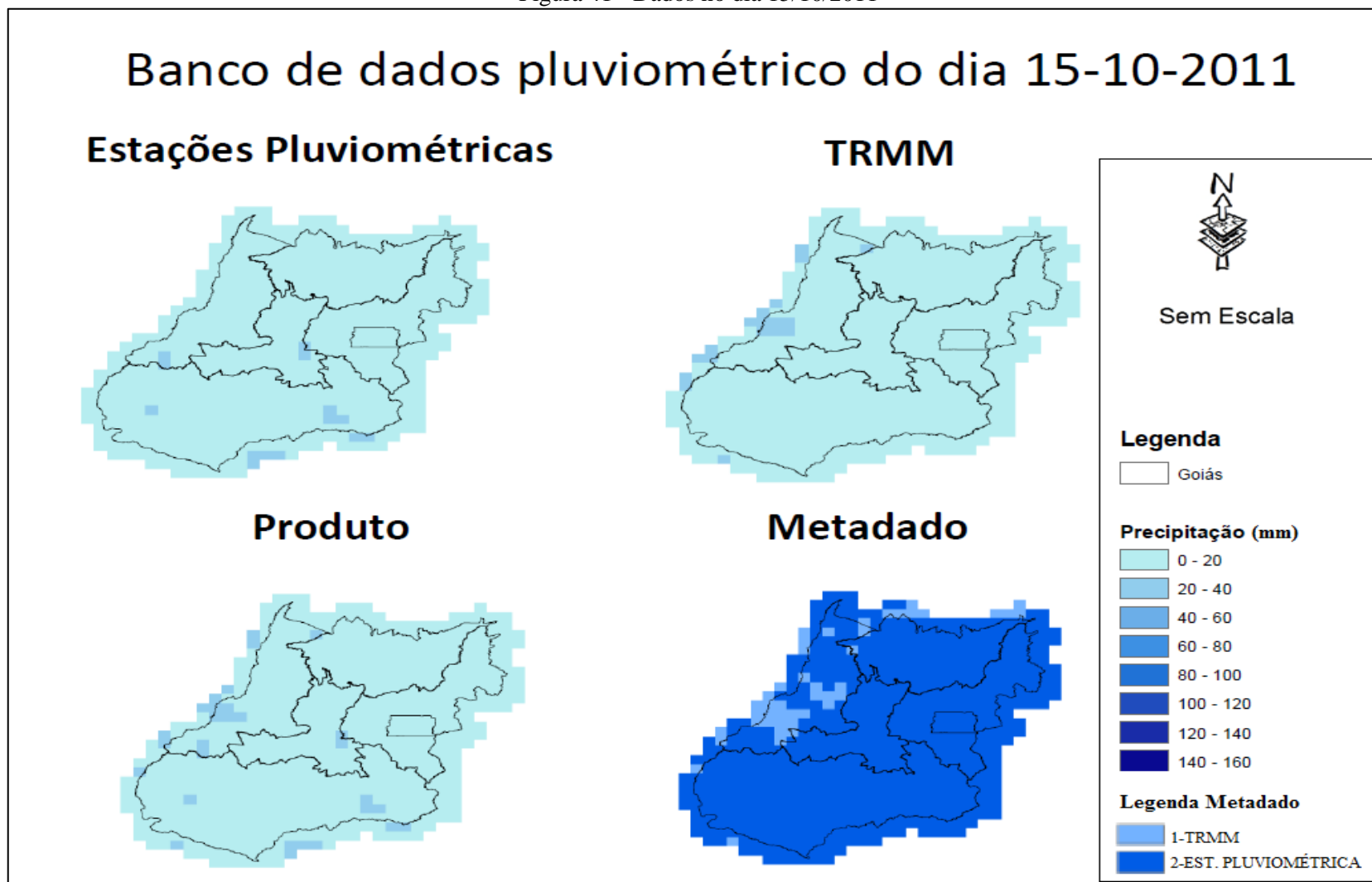


Figura 41 - Dados no dia 15/10/2011



Através das figuras 39, 40 e 41 verifica-se a presença de precipitação nos Estados de Goiás e Distrito Federal, em torno de 28 mm a 29 mm para os mapas de chuvas das estações pluviométricas e 55 a 72 mm para os mapas de chuvas TRMM. Na figura 39, a banda 3 (produto), é composta principalmente de valores dos mapas de chuvas do TRMM, o que pode ser comprovado se verificado a banda 4 (metadado). Porém, nas figuras 40 e 41 a banda 3 foi composta principalmente de valores dos mapas de chuvas das estações pluviométricas.

Nas Figuras 42, 43 e 44 são representados os meses de dezembro, compreendendo o meio da estação chuvosa, do período de amostragem.

Figura 42 - Dados no dia 15/12/1998

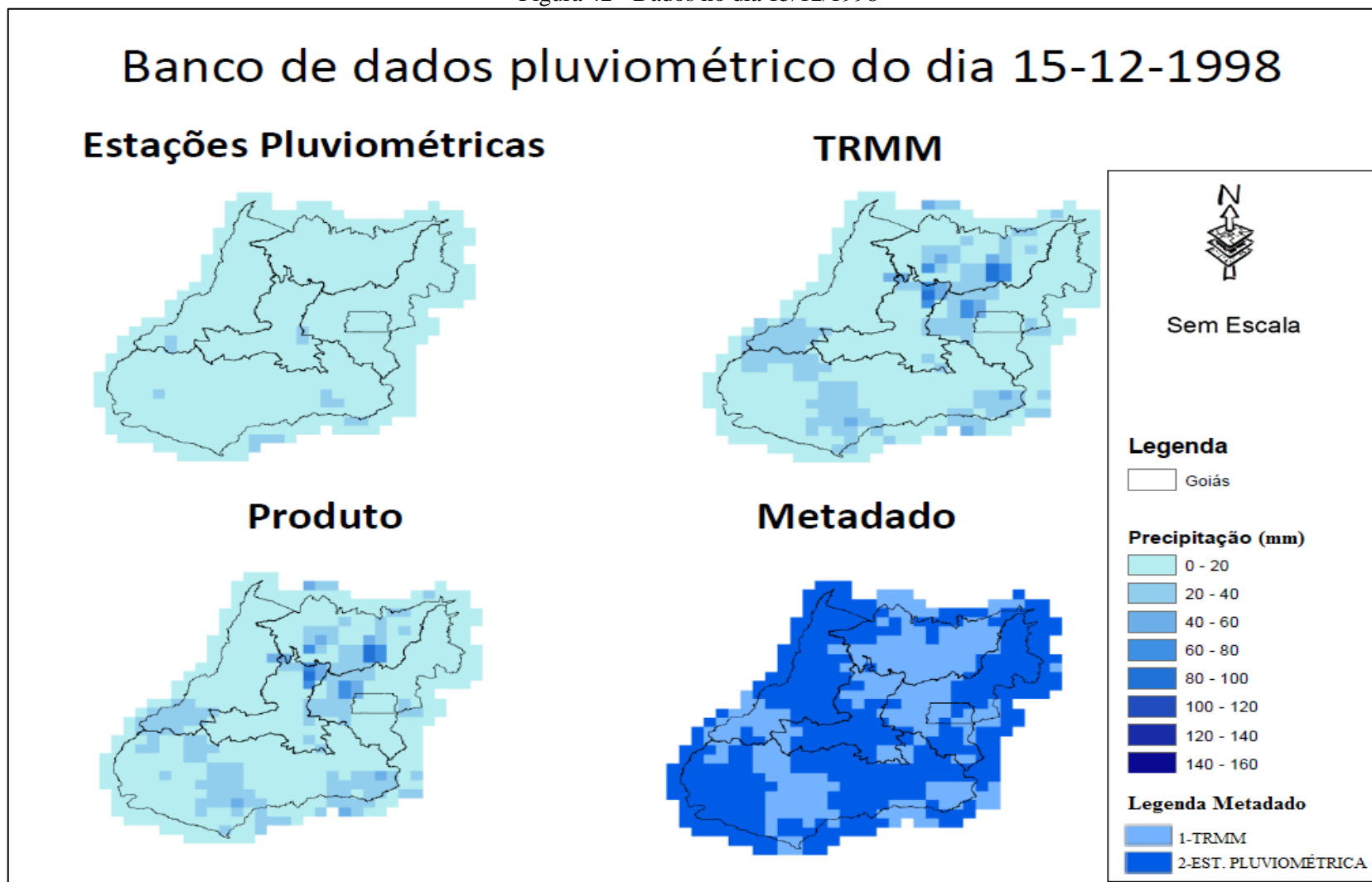


Figura 43 - Dados no dia 15/12/2005

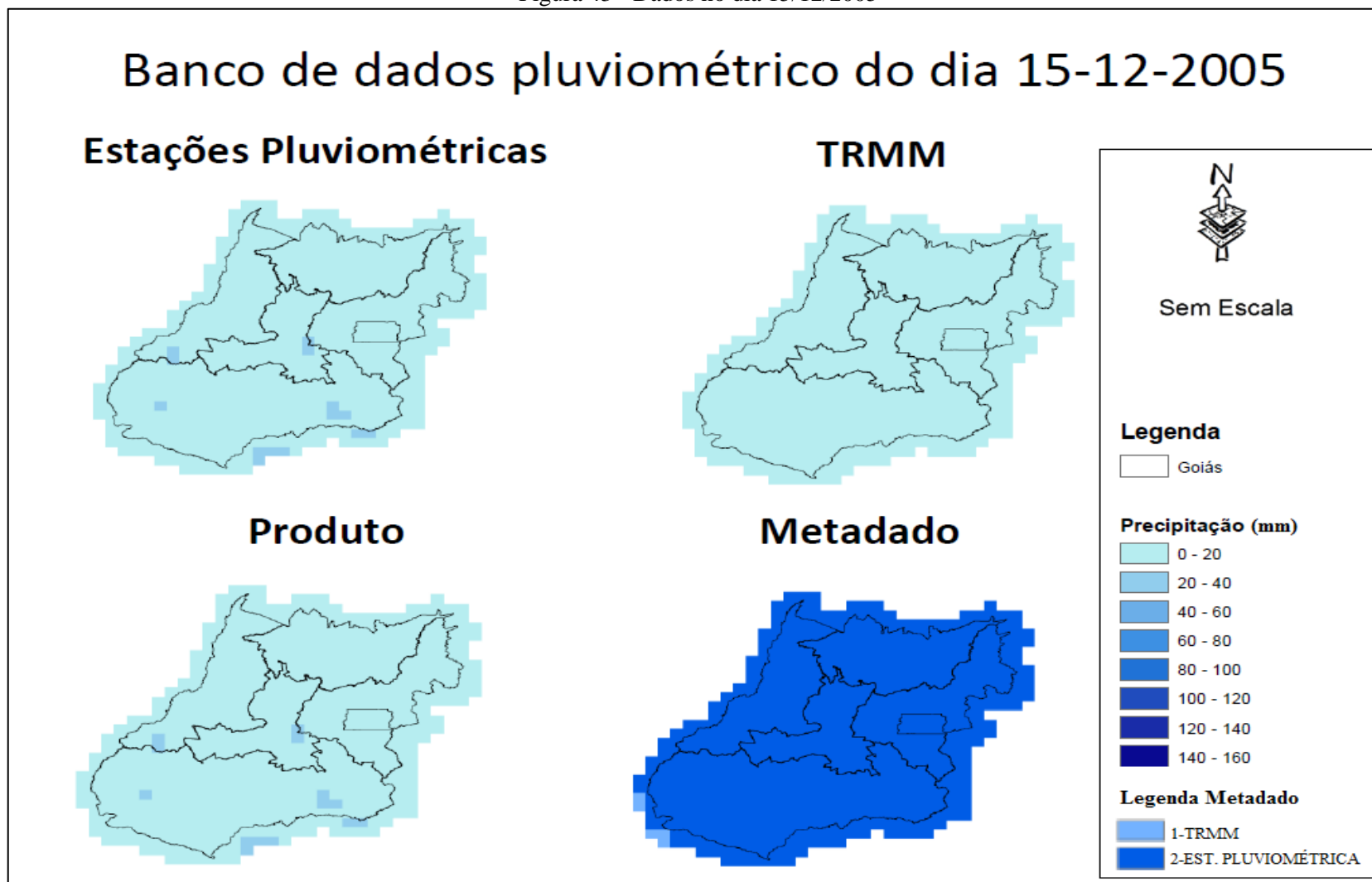
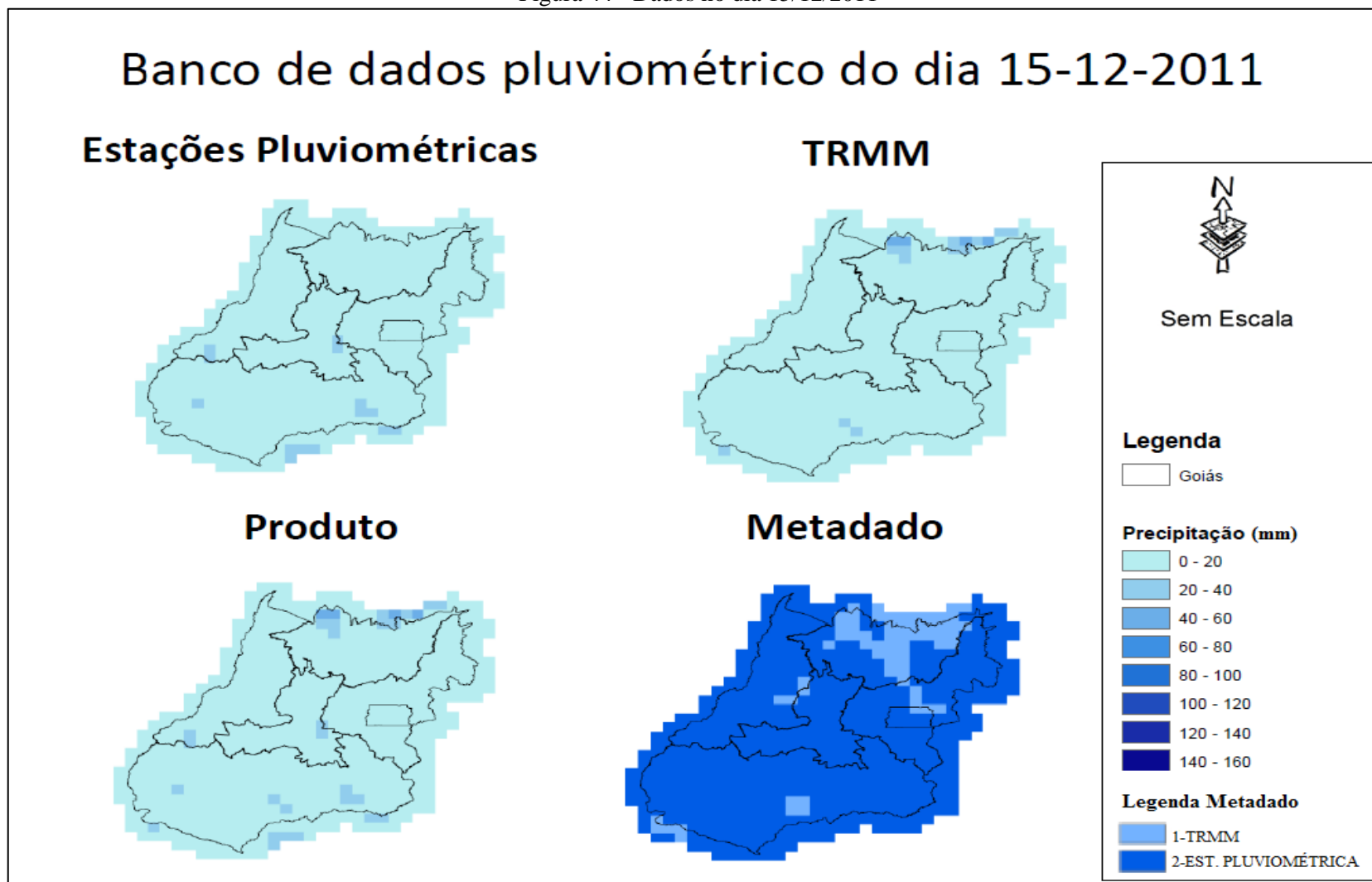


Figura 44 - Dados no dia 15/12/2011



Verifica-se que as precipitações nestes meses, variam de 28 a 29 mm para as estações pluviométricas e entre 16 a 92 mm para o TRMM, e nota-se na figura 42, que a banda 3 é composta principalmente de valores dos mapas do TRMM, e nos anos de 2005 e 2011, prevalecem os valores dos mapas de chuvas de estações pluviométricas.

Nas Figuras 45, 46 e 47 são representados os meses de março, compreendendo o final da estação chuvosa, do período de amostragem.

Figura 45 - Dados no dia 15/03/1998

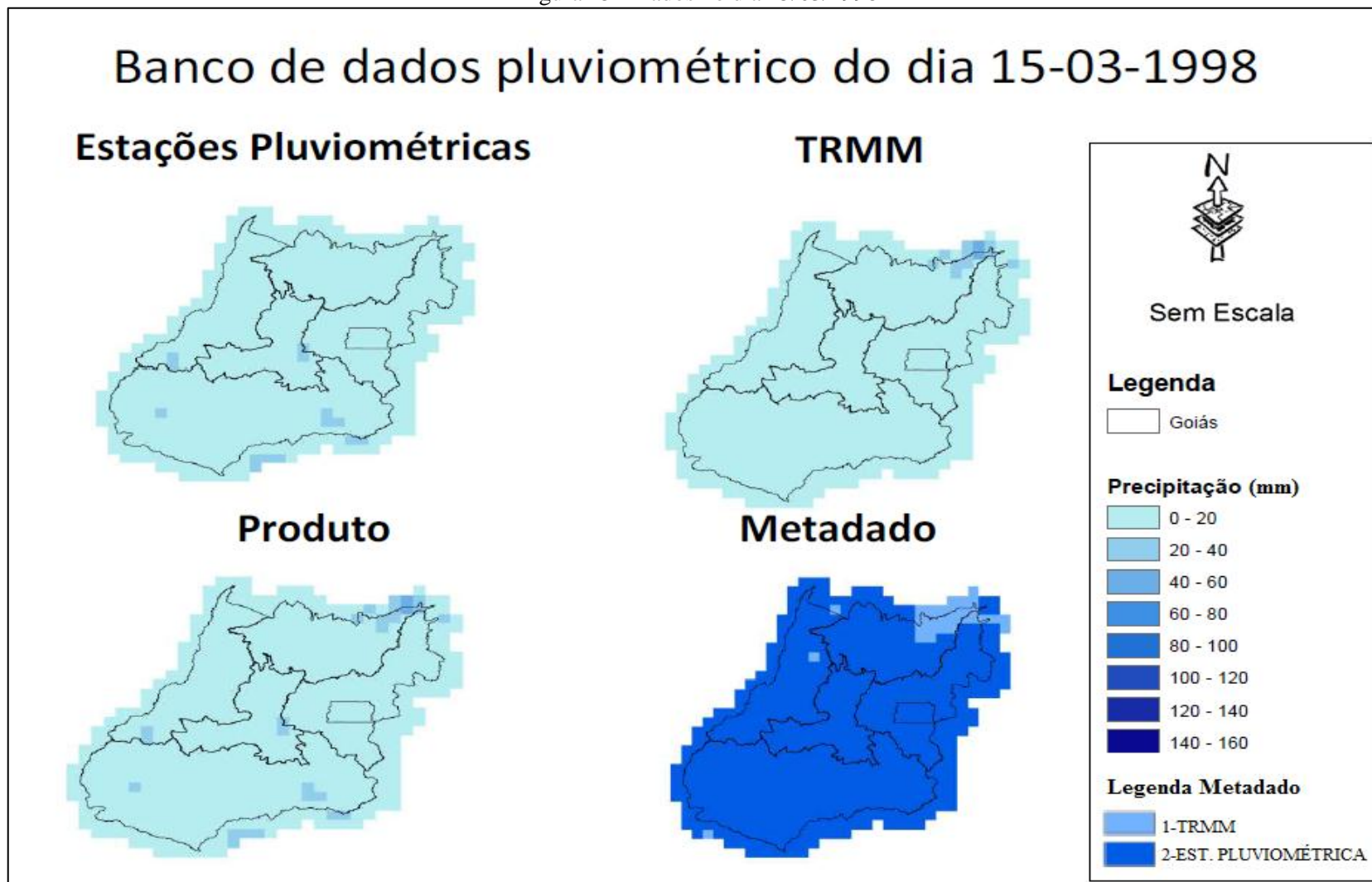


Figura 46 - Dados no dia 15/03/2005

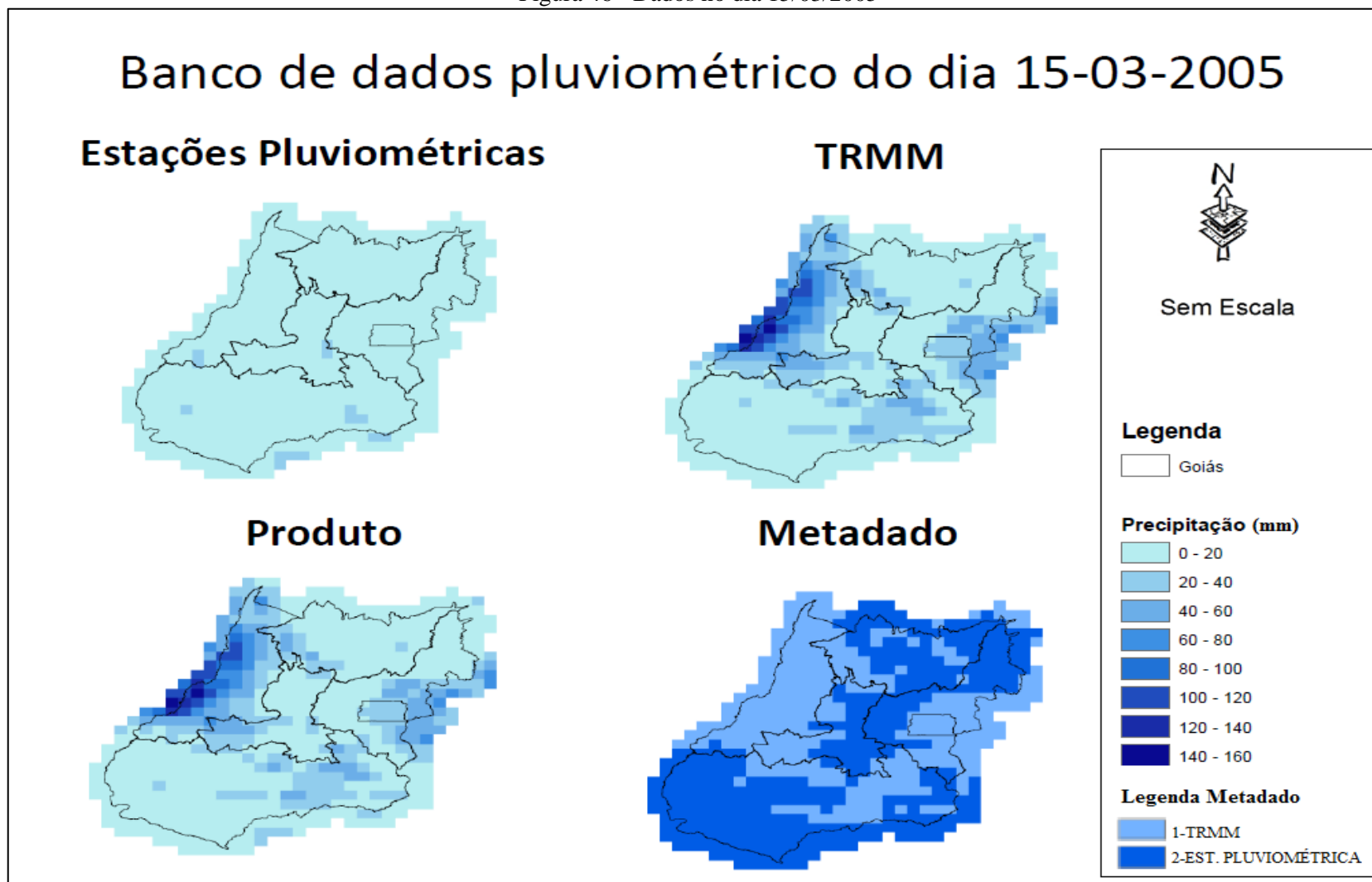
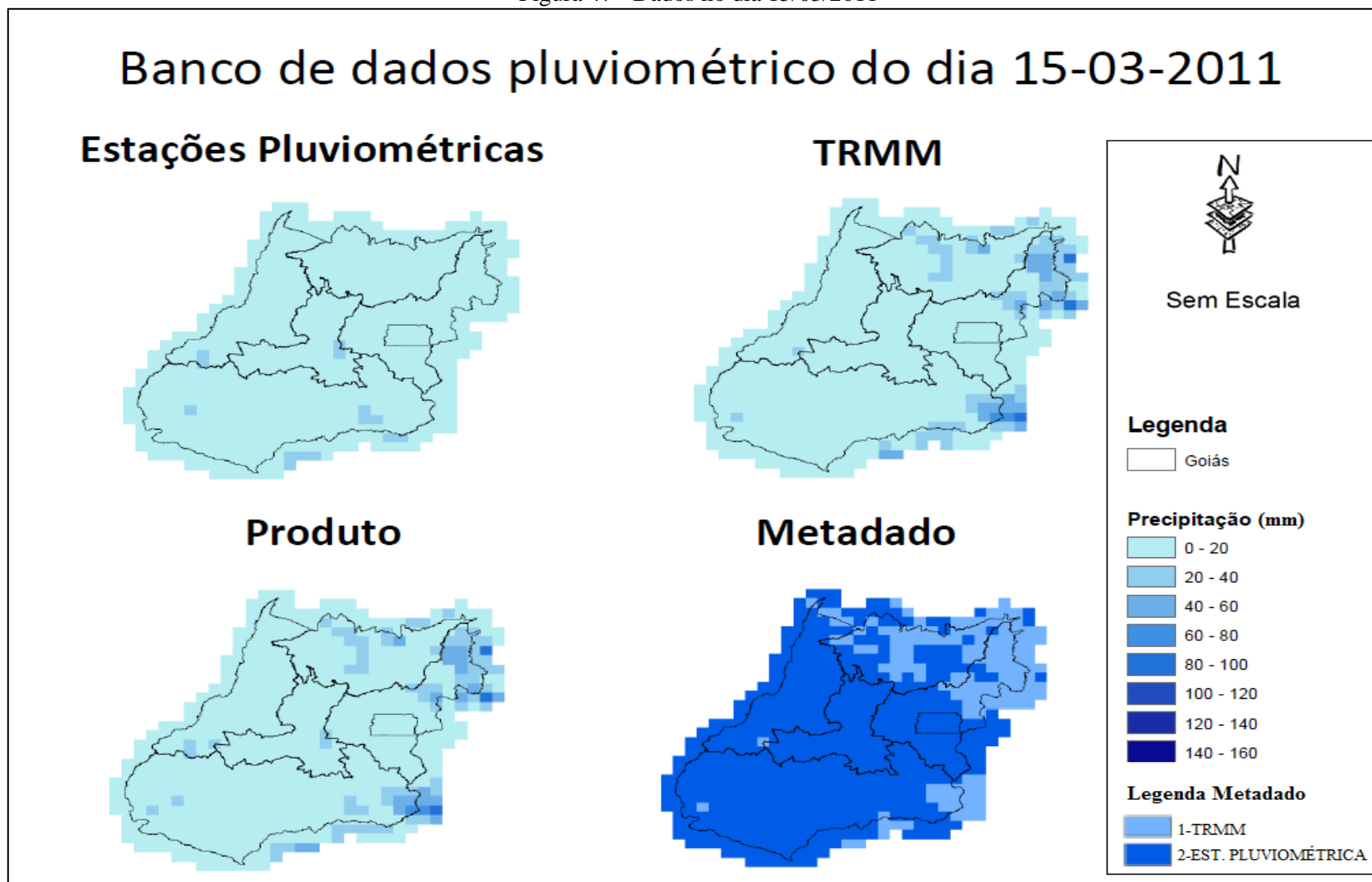


Figura 47 - Dados no dia 15/03/2011



Nas Figuras 45, 46 e 47 são representados os meses de março, compreendendo o final da estação chuvosa. As precipitações variam entre 28 e 29 mm para estações pluviométricas e 16 a 92 mm para TRMM. No ano de 2005 (figura 46), a banda 3 foi composta na maior parte por valores do TRMM, já em 1998 (figura 45) e 2011 (figura 47), a banda 3 foi composta principalmente por valores dos mapas de chuvas das estações pluviométricas.

4.3 Análise do metadado

Os metadados são representados pela banda 4 do banco de dados e correspondem aos valores dos *pixels* usados na geração do mapa produto (banda 3). Com a quantidade de *pixels* utilizados, durante estes três anos (1998, 2005 e 2011), foram computados e calculados a porcentagem que utilizaram dados do TRMM e dados das estações pluviométricas e estes foram agrupados mensalmente. Através dos resultados obtidos, foram então verificadas graficamente as duas fontes de dados, conforme as figuras 48, 49 e 50.

Figura 48 - Análise gráfica dos metadados no ano de 1998.

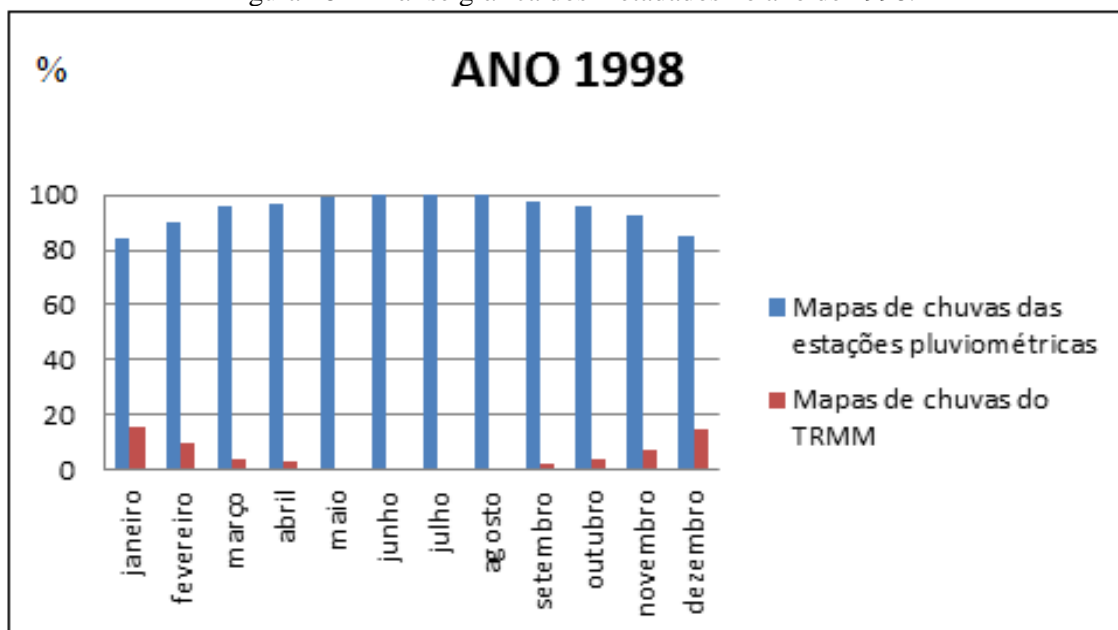


Figura 49 - Análise gráfica dos metadados no ano de 2005.

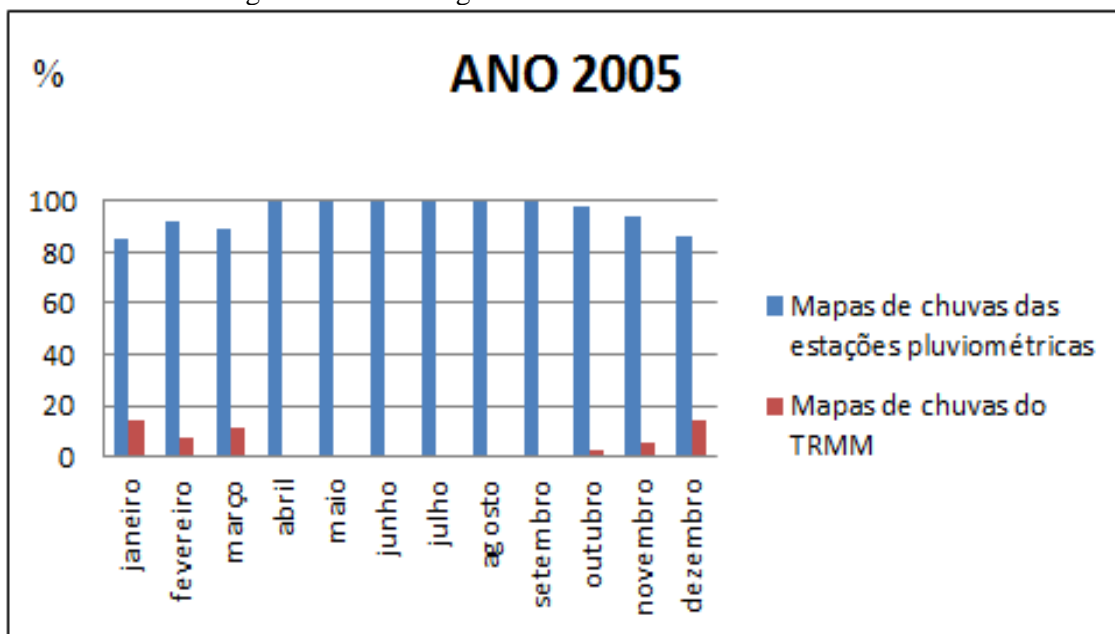
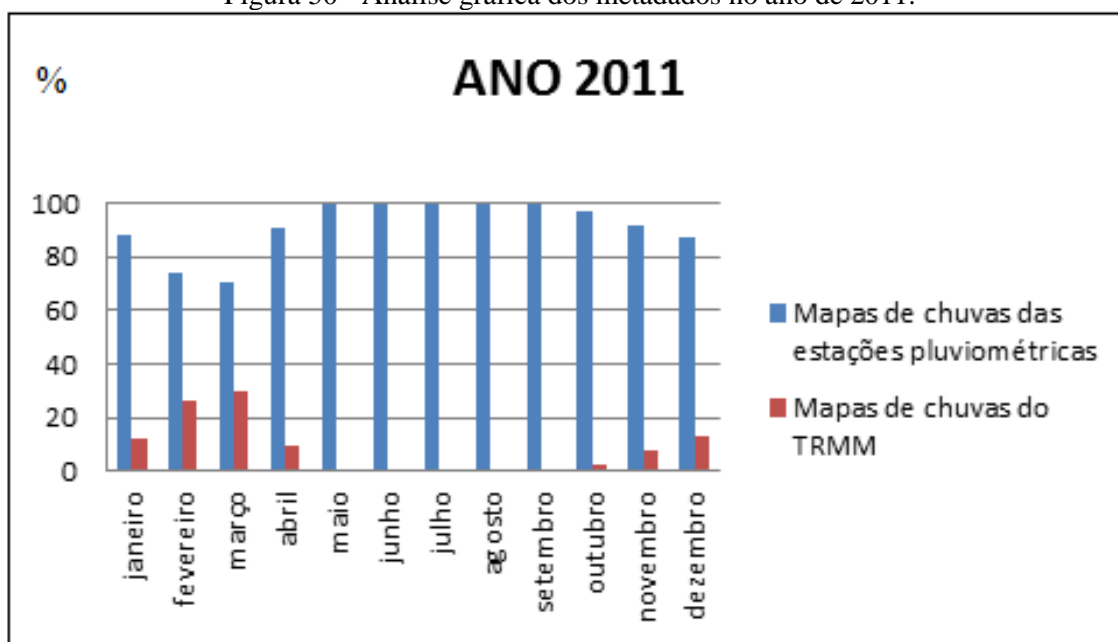


Figura 50 - Análise gráfica dos metadados no ano de 2011.



Nas figuras 48, 49 e 50, pode-se verificar que existe um efeito sistemático na análise dos anos, e mais *pixels* advindos das estações pluviométricas, principalmente no período de chuva, onde as estações pluviométricas têm valores superiores ao TRMM, isto é, as estações pluviométricas registraram mais chuvas do que o TRMM, por isso seus valores são adotados.

Foi observado, em alguns meses chuvosos, que os mapas de chuvas do TRMM captaram mais precipitações do que alguns mapas de chuvas das estações

pluviométricas, de 2% até 30% (ano de 2011). Isso significa que nos meses chuvosos no mapa produto, até 30% dos dados vem do TRMM e os 70% restantes ainda continuam advindo das estações pluviométricas. No mapa produto, o TRMM contribui em até 30%, pois substitui os valores das estações pluviométricas que podem conter algum problema, seja por falha na operação ou por ser informação pontual, não registrando as chuvas convectivas que podem ter ocorrido em suas redondezas. Nestes casos, o TRMM cobre até 30% destes problemas.

Quando analisadas as bandas 4, foi possível verificar que a maior parte de dados TRMM inseridos, estão na região norte do Estado de Goiás, alguns ao norte das regiões noroeste e leste. Este fato pode ter ocorrido por esta região ser a segunda maior área de mesorregiões, com 56.509,394 km² e a menos favorecida de estações pluviométricas, apenas 14 e mais 5 no entorno, totalizando 19, chegando a uma distância de aproximadamente 55 km de uma estação a outra (Tabela 2). Isso poderia ser solucionado mediante a instalação de novas estações pluviométricas no local ou através de um estudo para verificar se estes equipamentos estão sendo manuseados de forma correta. Outro fator a ser levado em consideração é que nesta região ocorrem chuvas convectivas, e neste caso, as estações pluviométricas só conseguem registrar o quantitativo precipitado pontualmente.

Tabela 2 - Estações Pluviométricas de Goiás em Mesorregiões

Estações Pluviométricas em Goiás e Distrito Federal						
Mesorregião	Estações	Estações no entorno	Total	Área (km ²)	Área de abrangência média das estações (km ²)	Área de abrangência média das estações (km)
Norte	14	05	19	56509,394	2974,179	54,54
Noroeste	19	08	27	55641,200	2060,785	45,39
Leste	16	06	22	55520,399	2523,655	50,23
Centro	15	00	15	40836,704	2722,447	52,18
Sul	43	27	70	131579,001	1879,700	43,35

Fonte: Autora

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da utilização de imagens de satélite (TRMM) cedidas pela NASA e dos dados de estações pluviométricas, cedidos pela ANA, como explanado anteriormente, foi possível a elaboração de um banco de dados com 4 bandas:

Banda 1- mapas de chuvas (estações pluviométricas);

Banda 2- mapas de chuvas (TRMM);

Banda 3 - mapa de chuvas (produto);

Banda 4 – metadados.

Na banda 1, os mapas de chuvas gerados a partir de estações pluviométricas foram obtidos por meio de método de geoestatística para interpolação espacial de dados (*Topo to raster*), o que possibilitou a distribuição de informações em toda a área do Estado de Goiás e Distrito Federal, não só pontualmente, como antes da interpolação. Garantiu também a visualização espacial das características presentes na área, apresentando como vantagem o aspecto multitemporal, ou seja, esta banda foi utilizada nos 14 anos de estudos.

Na banda 2, os mapas de chuvas gerados a partir de imagens do satélite TRMM foram obtidos por meio do processamento destas imagens, onde foi feita a delimitação da área de estudo (Estado de Goiás e Distrito Federal), e possibilitou a quantificação de informações em toda a área. Garantiu também, a visualização espacial e temporal das precipitações presentes, contemplando os 14 anos de estudos.

Na banda 3, os mapas de chuvas (produto) são oriundos da junção de imagens dos mapas de chuvas, (TRMM e estações pluviométricas), neste momento foi desenvolvida uma ferramenta que possibilitou a comparação *pixel a pixel* dos dois mapas de chuvas, onde o mapa de chuvas TRMM apresentou 10% a mais nos valores de pluviometria em relação aos mapas de chuvas das estações pluviométricas, o *pixel* do TRMM foi utilizado. Quando a diferença não ultrapassou 10%; o *pixel* do mapa de chuvas das estações pluviométricas foi conservado. Estes mapas produtos resultaram em uma considerável solução para serem utilizados principalmente nas estações chuvosas, onde nem sempre as estações pluviométricas conseguem captar a precipitação total da região como as imagens TRMM conseguem.

Com a análise da Banda 3 (mapa de produto), conseguimos obter os resultados que até 30% dos dados TRMM contribuiriam para cobrir possíveis erros das

estações pluviométricas (operação ou tamanho da área). Tal ferramenta (banda 3), apresenta vantagens com relação ao custo, disponibilidade e agilidade, mostrando-se uma ferramenta com potencial para aplicações pluviométricas, como: a identificação e localização das áreas mais ou menos afetadas pelas chuvas, mapeamento e estimativa de áreas e o mais importante: fornece um mapa pluviométrico com dados mais confiáveis.

Na banda 4 do metadado, encontram-se os valores dos *pixels* que foram utilizados na banda 3, tanto dos mapas de chuvas do TRMM (Valor 1) quanto os mapas de chuvas das estações pluviométricas (Valor 2), pois foi através dele que foi possível computar a porcentagem de dados de cada um dos mapas utilizados, (figuras 48, 49 e 50). Foi quantificado um total de até 100% de dados dos mapas de chuvas das estações pluviométricas no período seco e até 30% de dados dos mapas de chuvas do TRMM no período chuvoso.

No geral, os anos analisados graficamente mostraram uma concordância entre os dados de estações pluviométricas (banda 1) e TRMM (banda 2) no período de seca. Contudo, no período chuvoso não existe esta concordância dos dados; em vários momentos os valores do TRMM superestimaram aos valores das estações pluviométricas, mostrando que existem divergências. Os resultados mostraram que a correlação entre os totais médios de precipitação do TRMM e estações pluviométricas foi no máximo 94,09% no ano de 2005, e no mínimo 25,52% registrado no ano de 2006, onde os fenômenos *El niño* e *La niña* possivelmente tiveram influência.

Algumas das ferramentas disponíveis no *software* ArcGIS permitiram que a partir de uma planilha contendo o levantamento de pontos de pluviometria e seus quantitativos, fossem geradas imagens interpoladas, onde nenhuma área de estudo fosse desprezada. A partir destes dados, foi possível fazer comparações entre a estimativa de chuvas, das imagens TRMM e das estações pluviométricas, evidenciando diferenças relativas entre as mesmas, resultante da falta de informação das estações pluviométricas.

Estas informações dos mapas de chuvas, após a sua finalização, transformaram-se em uma única base de dados, permitindo que se apresentasse de forma dinâmica. Cabe ressaltar que futuramente esta base de dados poderá ser atualizada, originando novos produtos, já que é uma ferramenta importante de planejamento e pode ser utilizada por estudantes para conhecimento das precipitações na área de estudo, e poderá também ser utilizado por órgãos públicos e empresas privadas, oferecendo informações quanto à localização das estações pluviométricas no

Estado de Goiás e Distrito Federal, assim como o quantitativo de precipitação diário, tanto das imagens TRMM quanto das estações pluviométricas, ou também de sua combinação. A partir dos dados dos mapas de chuvas, é possível realizar os cálculos sobre aumento ou diminuição de chuvas, que podem servir como fonte de consulta a diversos órgãos vinculados a agricultura, planejamento urbano, estudos da previsão do tempo e estudos de impactos ao meio ambiente.

Para trabalhos futuros que envolvam precipitação, sugere-se que sejam envolvidas mais informações de precipitação, como exemplo: dados de radares meteorológicos. No Estado de Goiás isso não foi possível, pois não existe a disponibilidade destes equipamentos, e no Distrito Federal existe apenas um radar. Mas não é essa a realidade de outros Estados brasileiros, que de posse destas informações dos radares, possibilitaria um estudo mais detalhado sobre a precipitação na área de estudo. Recomenda-se também, a geração de uma ferramenta que seja capaz de melhorar a escala das imagens TRMM que é aproximadamente (27 x 27 km), permitindo o refinamento e melhor detalhamento dos resultados. Também seria interessante fazer um estudo voltado para os fenômenos *El niño* e *La niña*, no Estado de Goiás e Distrito Federal, que comprovassem se estes fenômenos têm mesmo influências nesta região, pois Melo (2009) relata que na região centro-oeste, a precipitação não é homogênea, e que *El niño* pode não oferecer influências, mas sim outros tipos de fenômenos de grandes escalas.

REFERÊNCIAS

AGHAKOUCHAK, A.; NASROLLAHI, N.; HABIB, E. (2009) **Accounting for Uncertainties of the TRMM Satellite Estimates. Remote Sens.** **2009**, **1**(3), 606-619; doi:10.3390/rs1030606 Disponível em: <<http://www.mdpi.com/sci-hub.org/2072-4292/1/3/606>> Acesso em: 30 Mar. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) ANA. (2013) **HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas.** Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>> Acesso em: 16 Jul. 2013.

ALMAZROUI, M.(2010) **Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009.** Atmospheric Research, doi:10.1016/j.atmosres.2010.11.006 Disponível em: <<http://46.38.63.192/mail/lg.php?doi=10.1016/j.atmosres.2010.11.006&url=aHR0cDovL2xpYmdlbi5vcmcvc2NpbWFnNC8xMC4xMDE2L2ouYXRtb3NyZXMuMjAxMC4xMS4wMDYucGRm>> Acesso em: 30 Mar. 2013.

ANDERSON, L.O.; ARAGÃO, L.E.O.; ARAI, E. (2013) **Avaliação dos dados de chuva mensal para a região Amazônica oriundos do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* produto 3b43 versões 6 e 7 para o período de 1998 a 2010.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/3ERPFQRTRW34M/3E7GL8M?ibiurl.language=en>> Acesso em: 03 Mai. 2014.

ANDRIOTTI, J. L. S. (2005) **Fundamentos de Estatística e Geoestatística.** Editora Unisinos, 2005, 166 p.

CAMPAROTTO, L.B.; BLAIN G.C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M.B.P. (2013) **Validação de dados termopluiométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.17, n.6, p.665–671, 2013. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v17n06/v17n06a13.pdf>> Acesso em: 17 Jul. 2013.

CARDOZO, F.S.; SHIMABUKURO, Y.E.; PEREIRA, G.; SILVA, F.B. (2011) **Using Remote Sensing Products for Environmental Analysis in South America. Remote Sens.**2011, **3**, 2110-2127. Disponível em:<<http://www.mdpi.com/sci-hub.org/2072-4292/3/10/2110> > Acesso em: 25 Mar. 2013.

COE, M.T.; COSTA, M.H.; SOARES-FILHO, B.S.; (2009) **The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks.** Journal of Hydrology 369 (2009) 165–174 Disponível em:<<http://www.whrc.org/resources/publications/pdf/CoetalJHydrol.09.pdf> > Acesso em: 26 Mar. 2013.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA D.; COLLISCHONN W.; TUCCI C.E.M. (2007) **Desempenho do Satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai Superior.** Revista Brasileira de Cartografia No 59/01, Abril 2007. (ISSN1808-0936) Disponível em: <http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_59_2007/59_01_11.pdf > Acesso em: 23 Abr. 2013.

CONTI,G.N. (2002) **Estimativas de precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3000> > Acesso em: 25 Mar. 2013.

- CLIMANÁLISE (2006) **Aspectos Climáticos e Sinóticos no Brasil**. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1106.shtml> > Acesso em: 20 Jul. 2014.
- DANELICHEN, V.H.M.; MACHADO, N.G.; SOUZA, M.C.; BIUDES, M.S. (2013) **TRMM satellite performance in estimating rainfall over the midwest region of Brazil**. Revista Brasileira de Climatologia *Ano 9 – Vol. 12 – JAN/JUL 2013*. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/revistaabclima/article/download/31203/21504> > Acesso em: 05 Mai. 2014.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. (1994) **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB; FAO, 1994. 306 p. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem. Volume: 33).
- DU, L.; TIAN Q.; YU, T.; MENG Q.; JANCOS T.; UDVARDY P.; HUANG Y.; (2012) **A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 0303-2434/\$ Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2012.09.010> > Acesso em: 25 Mar. 2013.
- EL NIÑO E LA NIÑA. (CPTEC) Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Efeitos Globais**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 21 Jun. 2014.
- FARIAS, S.E.M; ARANTES, A.E.; FERREIRA JUNIOR L.G.; SANO, E.E.; BARROS J.R.; (2013) **Avaliação das Estimativas de Precipitação do satélite TRMM para o Estado de Goiás: uma abordagem climatológica**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1015.pdf>> Acesso em: 10 Jun. 2013.
- FERREIRA, M.E.; FERREIRA, L.G.; SILVA, D.P., (2012) **Annual precipitation assessment in the Brazilian savanna (2000 – 2010) based on TRMM satellite data at the scale of regional watersheds**. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International, vol., no, pp.335,337, 22-27 July 2012 doi: 10.1109/IGARSS.2012.6350907 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6350907&ÉNUM=6350328> > Acesso em: 15 Jun. 2013.
- FIGUEIREDO, D. (2005) **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf > Acesso em: 26 Mai. 2014
- FISCH, G.; VENDRAME, I. F.; HANAOKA, P. C. M. (2007) **Variabilidade Espacial da Chuva Durante o experimento LBA / TRMM 1999 na Amazônia**. *Acta Amaz* [online]. vol.37, n.4, pp 583-590. ISSN 0044-5967. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672007000400013> > Acesso em: 20 Mar. 2013.
- FLORENZANO, T.G (Org). (2008) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos.
- FUENTES, J. D., GEERTS, B.; DEJENE, T.; D'ODORICO, P., JOSEPH, E., (2008) **Vertical attributes of precipitation systems in West Africa and adjacent Atlantic Ocean**. *Theor. Appl. Climatol.* 92, 181–193 (2008), DOI 10.1007/s00704-007-0318-0 Disponível em: <libgen.org/scimag2/10.1007/s00704-007-0318-0.pdf > Acesso em: 25 Mar. 2013.

FUNK, C.; EDERER, G.; PEDREROS, D.(1998)"**The Tropical Rainfall Measuring Mission**" Disponível em: <http://www.drought.gov/workshops/remotesensing/abstracts/chris_funk.pdf > Acesso em: 25 Mar. 2013.

GÓES, V.C.; CIRILO, J.A. (2011) **Geração de base de dados espaciais para estudos de drenagem urbana na região metropolitana de Recife, Pernambuco**. Revista Brasileira de Cartografia No 63/04, 2011. (ISSN 1808-0936) Disponível em:<sci-hub.org/pdfcache/033246d0114424a1d4be6d330ea3554d.pdf > Acesso em: 13 Jul. 2013.

GONÇALVES, L. S. (2011) **Relações Intensidade-Duração-Frequência com base em estimativas de precipitação por satélite**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, RS. 135f. Disponível em:<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/49152/000829742.pdf?sequence=1> > Acesso em: 13 Mai. 2014.

GOVERNO DE GOIÁS (2012). **Conheça Goiás**. Disponível em:<<<http://www.goias.gov.br/paginas/conheca-goias/>>. Acesso 03 mai. 2012.

GOTWAY, C.A., FERGUSON, R.B., HERGERT, G.W., PETERSON, T.A. (1996) **A comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters for variable rate nitrogen application**. *Soil Science Society of America Journal*, 60:1237-1247. Disponível em: <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3160463>. > Acesso em:13 Jun. 2013.

GUIMARÃES, M; DORADO, A.J.; COUTINHO, A.C.(2000) **Utilização de dados TM-Landsat para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal**. GISBRASIL 2000: Show de Geotecnologias, 6., A era da informação geográfica, 2000, Salvador. **Anais em CD-ROM**. Curitiba: Fator GIS, 2000. 8p.

HAND,L.M.; SHEPHERD, J.M.,(2009) **An Investigation of Warm-Season Spatial Rainfall Variability in Oklahoma City: Possible Linkages to Urbanization and Prevailing Wind**. *Journal of applied meteorology and climatology* [1558-8424] Hand, LM ano:2009 vol:48 fasc:2 pág:251 -269 Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2008JAMC2036.1> >Acesso em: 04 Mai. 2014.

HUFFMAN, G. J.; ADLER R.F.; RUDOLF B.; SCHNEIDER U.; KEEHN P.R.; (1995) **Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information**. *J. Climate*, 8, 1284–1295. Disponível em:<<http://sci-hub.org/pdfcache/aea58cc14304a3ad59d68f417216d2e3.pdf>> Acesso em: 21 Jul. 2013.

HUFFMAN, G. J.; ADLER R.F.; ARKIN P.; CHANG A.; FERRARO R.; GRUBER A.; JANOWIAK J.; MCNAB A.; RUDOLF B.; SCHNEIDER U.; (1997) **The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset** *Bulletin of the American Meteorological Society* Vol. 78, No. 1, January 1997.p.5-20Disponível em: <<http://libgen.org/scimag5/10.1175/1520-0477%25281997%2529078%253C0005%253ATGPCPG%253E2.0.CO%253B2.pdf> >Acesso em: 20 Jul. 2013.

HUFFMAN, G.J., R.F. ADLER, D.T. BOLVIN, G. GU, E.J. NELKIN, K.P. BOWMAN, Y. HONG, E.F. STOCKER, D.B. WOLFF, (2007) **The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine**

Scale. *J. Hydrometeor.*, 8(1), 38-55. Disponível em:
<<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JHM560.1>> Acesso em: 21 Mai. 2014.

HUFFMAN, G.J. (2012): **Algoritmo Teórica Documento Base (ATBD) Versão 3.0 para a Global Precipitation Measurement NASA (GPM) Integrados Multi-satélite Retrievals para GPM (I-MERG)**. GPM Projetos, Greenbelt, MD, 29 pp Disponível em:
<http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V4.1.pdf> Acesso em: 21 Mai. 2014.

HUTCHINSON, M.F. (1988) **Calculation of hydrologically sound digital elevation models**. Third International Symposium on Spatial Data Handling, Sydney, International Geographical Union, Columbus, p.117- 133.

HUTCHINSON, M.F. (1989) **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits**. *Journal of Hydrology* n° 106: 211-232. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169489900735>> Acesso em: 13 Jul. 2013.

HUTCHINSON, M. F.; STEIN, JOHN A.; STEIN, JANET L.; XU, T. (2009) **Locally Adaptive Gridding of Noisy High Resolution Topographic Data**. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia. Disponível em: <<http://mssanz.org.au/sci-hub.org/modsim09/F13/hutchinson.pdf>> Acesso em: 13 Jul. 2013.

HÜTTICH, C.; GESSNER, U.; HEROLD, M.; STROHBACH, B.J.; SCHMIDT, M.; KEIL, M.; DECH, S.(2009) **On the Suitability of MODIS Time Series Metrics to Map Vegetation Types in Dry Savanna Ecosystems: A Case Study in the Kalahari of NE Namibia**. *Journal Remote Sens.* 2009, 1, 620-643; doi:10.3390/rs1040620 Disponível em:<<http://www.mdpi.com/sci-hub.org/2072-4292/1/4/620>> Acesso em: 30 Mar. 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014). **Estados**. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=go>> Acesso em: 25 Mar. 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010) Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Censo 2010** Disponível em:
<<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6&uf=00>> Acesso em: 28 Jun. 2014.

Jl, XUAN, CHEN, Y.; (2012) **Characterizing Spatial Patterns of Precipitation Based on Corrected TRMM 3B43 Data over the Mid Tianshan Mountains of China**, *J. Mt. Sci.* (2012) 9: p.628–645 DOI: 10.1007/s11629-012-2283-z Disponível em:
<<http://46.38.63.192/mail/lg.php?doi=10.1007/s11629-012-2283-z&url=aHR0cDovL2xpYmdlbi5vcmcvc2NpbWFnNS8xMC4xMDA3L3MxMTYyOS0wMTItMjl4My16LnBkZg%3D%3D>> Acesso em: 30 Mar. 2013.

JIA, S.; ZHU, W.; LU A.; YAN T.;(2011) **A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China**. *Remote Sensing of Environment*, pag.3069-3079 Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.009>> Acesso em: 25 Mar. 2013.

JOYCE, R.J.; JANOWIAK, P.A.; ARKIN, P.A.; XIE, P.; (2004) **CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution**. *Jornaul Hydrometeor.*, 5, 487–503. Disponível em:<<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1525-7541%282004%29005%3C0487%3ACAMTPG%3E2.0.CO%3B2>> Acesso em: 25 Mai. 2014.

KAMARIANAKIS, Y.; FEIDAS, H.; KOKOLATOS, G.; CHRYSOULAKIS, N.; KARATZIAS, V. (2008) **Evaluating remotely sensed rainfall estimates using nonlinear mixed models and geographically weighted regression.** *Environmental Modelling & Software*. Volume 23, Issue 12, December 2008, Pages 1438–1447 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/sci-hub.org/science/article/pii/S1364815208000686>> Acesso em: 30 Mar. 2013.

KIZZA, M.; WESTERBERG, I.; RODHE, A.; NTALE, H.K. (2012) **Estimating areal rainfall over Lake Victoria and its basin using ground-based and satellite data.** *Journal of Hydrology* 464–465 (2012) 401–411 Disponível em: <<http://46.38.63.192/mail/lg.php?doi=10.1016/j.jhydrol.2012.07.024&url=aHR0cDovL2xpcYmdlbi5vcmcvc2NpbWFnNS8xMC4xMDE2L2ouamh5ZHJvbC4yMDEyLjA3LjAyNC5wZG Y%3D>> Acesso em: 30 Mar. 2013.

KUMMEROW, C.; BARNES, W.; TOSHIKI KOZU, SHIUE, J.; SIMPSON, J., (1998) **The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package.** *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 15, 809–817. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0426\(1998\)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0426(1998)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2)> Acesso em: 25 Mar. 2013.

KUMMEROW C.; SIMPSON J., THIELE O.; BARNES W.; CHANG A.TC; STOCKER E.; OLSON R.S.; ZIPSER E.; SMITH E.A.; WILHEIT T.T.; NORTE G.; KRISHNAMURTI T.; NAKAMURA K.; (2000) **The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit.** *Journal of Applied Meteorology*, 39, p. 1965-1982. Disponível em: <<http://libgen.org/scimag5/10.1175/1520-0450%25282001%2529040%253C1965%253ATSOTTR%253E2.0.CO%253B2.pdf>> Acesso em: 21 Jul. 2013.

LAPIG - Laboratório de processamento de Imagens e Geoprocessamento (2012). **Imagens TRMM.** [Universidade Federal de Goiás – Laboratório de processamento de Imagens e Geoprocessamento- LAPIG Curso de Pós-Graduação em Geografia, 2012]. Disponível em: <http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php?option=com_content&view=article&id=76&Itemid=67> Acesso em: 04 Jul. 2012

LEIVAS, J.F.; RIBEIRO, G.G.; SOUZA, M.B.; ROCHA FILHO, J. (2009) **Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus.** *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1611-1616. Disponível em: <<http://Mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.40/doc/1611-1616.pdf>> Acesso em: 04 Mai. 2014.

LINO, N.C.; MARTINS, P.R.C. (2012) **Metadados.** [Relatório de pesquisa – Universidade Federal de Goiás – Laboratório de processamento de Imagens e Geoprocessamento- LAPIG Curso de Pós-Graduação em Geografia, 2012]. Disponível em: <<http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php/produtos/material-didatico/viewdownload/12-tutoriais/273-metadados>> Acesso em: 16 Jun. 2013.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. (2011) **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso.** *Revista Brasileira de Geografia Física, América do Norte*, v.4, n.4, p. 696 - 710, 2011. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/art_marcuzzo_metodos.pdf> Acesso em: 15 Jun. 2013.

MARCUZZO, F.F.N.; CARDOSO, M.R.D.; FARIA, T.G. (2012) **Chuvas no cerrado da região centro-oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura.** *Ateliê Geográfico Goiânia-GO*

v. 6, n. 2 ago/2012 p.112-130 Página 112, disponível em:<http://www.cprm.gov.br/publique/media/Art_Cerrado_Marcuzzo.pdf > Acesso em: 13 de Mai. 2014.

MASSAGLI,G.O.; VICTORIA, D.C.;ANDRADE,R.G.(2011) **Comparação entre a precipitação medida em estações pluviométricas e estimada pelo satélite TRMM. 5º** Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2011 9 a 11 de agosto de 2011 – Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br/5ciic/anais/Artigos/RE11507.pdf> > Acesso em: 04 Jul. 2011.

MELO, M. L. (2009) **Impacto do fenômeno El Niño sobre a região Centro-Oeste do Brasil.** Congresso Brasileiro de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-7c93b48f3a1118d43738fccc6dcd2876.pdf>> Acesso em: 21 Jun. 2014.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. (2007) **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** Oficina de Textos, São Paulo: 2007, p. 206.

MENEGHINI, R. JONES,J.A.; IGUCHI,T.; OKAMOTO,K.; KWIATKOWSKI,J. (2004) **A hybrid surface reference technique and its application to the TRMM precipitation radar.** Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 21, n. 11, p. 1645-1658, 2004.Disponível em: <<http://libgen.org/scimag5/10.1175/jtech1664.1.pdf> >Acesso em: 30 Jun. 2013.

MOFFITT, C.B., HOSSAINA, F.; ADLERB, R.F., YILMAZB, K.K., PIERCEC, H.F. (2011) **Validation of a TRMM-based global Flood Detection System in Bangladesh,** International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 13 (2011) 165–177 Disponível em: <<http://46.38.63.192/mail/lg.php?doi=10.1016/j.jag.2010.11.003&url=aHR0cDovL2xpYmdlbi5vcmcvc2NpbWFnNC8xMC4xMDE2L2ouamFnLjIwMTAuMTEuMDAzLnBkZg%3D%3D> >Acesso em: 30 Mar. 2013.

NASA (2013) **Projeto TRMM,** Disponível em: <<http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?tree=project&project=TRMM&CGISESSID=6c374cd5c104b6111ebce1a9bcb44274>> Acesso em: 01 Fev. 2013.

NIMER, E. (1989) **Clima.** Geografia do Brasil Região Centro - Oeste. IBGE. Rio de Janeiro.1989. V.1.

NÓBREGA, R.S.; SOUZA E.P.; GALVÍNCIO J. D. (2008) **Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental.** Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, no 1, jan/abr. 2008. Disponível em:<<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/viewFile/184/78>> Acesso em: 10 Ago. 2012.

NOVO, E. M. L. M. (1992) **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações.** Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, Brasil, 1992.

OLIVEIRA, F.H.; PINTO, J.F.; WOSNY, G.C.; DAL SANTO, M.A. (2004) **Utilização de Geotecnologias para Avaliação do Risco Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi – Florianópolis/SC.** Anais do Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. Florianópolis - SC. Anais. Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 212-223. (CD-ROM). 2004.

PEREIRA, G.; SILVA, M.E.S.; MORAES E.C.; CARDOZO, F.S. (2013) **Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18 n.3 –Jul/Set 2013,139-148. Disponível em:

<http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/d048c00bdaedc63c049413cff59b4209_55d02d0208b13874ecb3648e589459c0.pdf> Acesso em: 20 Mai. 2014.

PETERSEN, W.A., RUTLEDGE, S.A., CIFELLI, R.C., CAREY, L. D.,(2000)**Vertical profiles of tropical convection as observed by the TRMM satellite**, AMS 24th Conf. On Hurricanes and Tropical Meteorology. 29 May – 2 June, 2000, Ft. Lauderdale, Florida. Disponível em:<<http://lba.cptec.inpe.br/lba/eng/trmm/publ/tropconfpaper00-1.PDF>> Acesso em: 23 Abr. 2013.

PETERSEN, W.A. ; NESBITT, S.W. ; BLAKESLEE, R.J. ; CIFELLI, R ; HEIN, P RUTLEDGE, S.A.(2002) **TRMM observations of intraseasonal variability in convective regimes over the Amazon**, Journal of Climate [0894-8755] Petersen, W.A. ano:2002 vol:15 fasc:11 pág:1278 -1294 Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/sci-hub.org/doi/abs/10.1175/1520-0442%282002%29015%3C1278%3ATO0IIVI%3E2.0.CO%3B2>>Acesso em: 23 Abr. 2013.

PINTO, L. I. C.; COSTA M.H.; LIMA F.Z.; DINIZ L.M.F.; SEDIYAMA G.C.; PRUSKI F.F.(2009) **Comparação de Produtos de precipitação para à América do Sul**. *Rev. bras. meteorol.* [online]. 2009, vol.24, n.4, pp 461-472. ISSN 0102-7786. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v24n4/a08v24n4.pdf>> Acesso em: 10 Mar. 2013.

REBOITA, M.; GAN, M., ROCHA, R., AMBRIZZI, T. (2010) **Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica**. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v. 25, p. 185-204, 2010. Disponível em: <www.rbmetorg.br/port/revista/revista_dl.ph> Acesso em: 10 jun. 2013.

REDEMET - **Rede de Metereologia do comando da aeronáutica** (2014). Radares meteorológicos. Disponível em: <<http://www.redemetaer.mil.br/#>> Acesso em: 20 Mai. 2014

REIS, M.H.; GRIEBELER, N.P.; SARMENTO, P.H.L.; OLIVEIRA, L.F.C.; OLIVEIRA, J.M. (2005) **Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal**. Anais XII, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p.229-236 Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.04.36/doc/229.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2013.

SEPIN. Superintendência de Estatísticas, Pesquisa e Informações Socioeconômicas (2010). **Estado de Goiás no Contexto Nacional**. Disponível em:<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/viewcad.asp?id_cad=4415&id_not=2>. Acesso em: 23 jun. 2012.

SEPLAN, Secretaria de Planejamento (2012). **Goiás em Dados - 2011**. Disponível em:<<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/down/godados2011.pdf>> Acesso em: 04 jul. 2012.

SIEG, **Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás** (2012). Download, Disponível em:<<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em: 04 jul. 2012.

SILVA, C. M. S. E.; FREITAS, S. R. E GIELOW, R. (2011) **Ciclo Diário da precipitação estimada através de um radar de banda S e pelo algoritmo 3B42_V6 do projeto TRMM durante a estação chuvosa de 1999, no Sudoeste da Amazônia**. *Rev. bras.meteorol.* [online]. 2011, vol.26, n.1, pp 95-108. ISSN 0102-7786. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000100009>> Acesso em: 10 Mar. 2013.

SILVA, C. M.S.; LUCIO, P. S.; SPYRIDES, M. H. C.(2012) **Distribuição Espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: Estimativas via Satélites e Medidas por pluviômetros.** *Rev. bras. meteorol.* [online]. 2012, vol.27, n.3, pp 337-346. ISSN 0102-7786. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000300008>. > Acesso em: 10 Mar. 2013.

SODRÉ, G.; BORGES, L.; VENTURA, J.;MELLO, F.(2013) **Análise Quantitativa e Qualitativa Horária de Dados do Radar, TRMM e Estações Meteorológicas na Região Amazônica.** *Revista Brasileira de Geografia Física* V. 06, N. 01 (2013) 110-117. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/372> > Acesso em: 20 Mai. 2014.

SOUZA, G.S.G.C.; REIS JUNIOR, D. S. (2013) **A qualidade da precipitação obtida pelo satélite TRMM e suas repercussões na modelagem hidrológica,** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – 17 a 22 de Novembro de 2013 –Bento Gonçalves –RS. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/SuMar.ios/3453b365ac64f6aa9d0dd1de1bf1d642_4080d6424d851cd436aa7f3eb570508f.pdf > Acesso em: 04 Mai. 2014.

TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*),**DADOS3B42.** Disponível em: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/data/datapool/TRMM_DP/ > Acesso em: 10 Jun. 2013.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. (1975) **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraaw Hill do Brasil, 1975. 245p.

WAGNER, P.D.; FIENER, P.; WILKEN, F.; KUMAR, S.; SCHNEIDER, K. (2012) **Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions.** *Journal of Hydrology* 464–465 (2012) 388–400 Disponível em: <<http://46.38.63.192/mail/lg.php?doi=10.1016/j.jhydrol.2012.07.026&url=aHR0cDovL2xpYmdlbi5vcmcvc2NpbWFnNS8xMC4xMDE2L2ouamh5ZHJvbC4yMDEyLjA3LjAyNi5wZGY%3D> > Acesso em: 30 Mar. 2013.

ANEXO

Anexo 1 - Estações Pluviométricas de Goiás e entorno

CÓDIGO	NOME	LATITUDE	LONGITUDE
1250000	FAZENDA PIRATININGA	-12,8206	-50,3361
1346001	NOVA ROMA (FAZENDA SUCURI)	-13,7422	-46,8775
1346002	FAZENDA INGAZEIRO	-13,5681	-46,3672
1346004	CAMPOS BELOS	-13,0358	-46,7769
1346005	SÃO VICENTE	-13,6336	-46,4672
1348003	TROMBAS	-13,5117	-48,7450
1349000	ESTRELA DO NORTE	-13,8717	-49,0714
1349001	NOVO PLANALTO	-13,2358	-49,5081
1349002	PORANGATU (DESCOBERTO)	-13,4453	-49,1447
1349003	ENTRONCAMENTO SÃO MIGUEL	-13,2689	-49,2011
1350001	RIO PINTADO (FAZ.PONTAL)	-13,5289	-50,1883
1350002	SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA	-13,2739	-50,1606
1446004	SITIO D'ABADIA	-14,8039	-46,2533
1447000	ALTO PARAISO DE GOIÁS	-14,1347	-47,5117
1447002	SAO JOÃO D'ALIANÇA	-14,7072	-47,5236
1448001	NIQUELÂNDIA	-14,4750	-48,4583
1448002	PONTE QUEBRA LINHA	-14,9775	-48,6756
1448004	MOQUEM - FAZENDA VÉU DA ONÇA	-14,5478	-48,1656
1448005	PALMEIRINHA	-14,0222	-48,6111
1449000	PILAR DE GOIÁS	-14,7644	-49,5789
1449001	PORTO URUAÇU	-14,5192	-49,0489
1449002	SANTA TEREZINHA DE GOIÁS	-14,4333	-49,7061
1449003	CRIXÁS	-14,5325	-49,9628
1450000	LAGOA DA FLECHA (FAZENDA)	-14,3328	-50,7303
1450001	MOZARLÂNDIA (CHAC. FOGUEIRA)	-14,7414	-50,5772
1450002	GOVERNADOR LEONINO	-14,0975	-50,3331
1546005	CABECEIRAS	-15,8008	-46,9247
1547002	PLANALTINA	-15,4533	-47,6133
1547027	SÃO GABRIEL DE GOIÁS	-15,2328	-47,5739
1548001	MIMOSO	-15,0575	-48,1594
1548011	FAZENDA MARAJÁ	-15,5531	-48,5772
1549001	GOIANÉSIA	-15,3289	-49,1206
1549002	ITAPURANGA	-15,5642	-49,9436
1549003	JARAGUÁ	-15,7197	-49,3289
1549004	NOVA AMÉRICA	-15,0208	-49,8922
1549009	URUANA	-15,4961	-49,6908
1550000	ITAPIRAPUÃ	-15,8158	-50,6086
1550001	JEROAQUARA	-15,3731	-50,5003
1550002	TRAVESSÃO	-15,3689	-50,7047

1551000	BRITÂNIA	-15,2467	-51,1636
1551001	MONTES CLAROS DE GOIÁS	-15,6056	-51,3567
1551002	PERES	-15,8897	-51,8528
1551003	SANTA FÉ	-15,7672	-51,1044
1647002	CRISTALINA	-16,7564	-47,6061
1647008	FAZENDA LIMEIRA	-16,1232	-47,1357
1648001	PONTE ANÁPOLIS – BRASÍLIA	-16,0833	-48,5083
1648002	VIANÓPOLIS	-16,7464	-48,5247
1649001	ARAGOIÂNIA	-16,9119	-49,4522
1649004	GOIANÁPOLIS	-16,5164	-49,0203
1649006	INHUMAS	-16,3464	-49,4942
1649007	ITABERÁI	-16,0303	-49,8003
1649009	OURO VERDE DE GOIÁS	-16,2281	-49,1436
1649010	PALMEIRAS DE GOIÁS	-16,8031	-49,9286
1649012	TRINDADE	-16,6594	-49,4864
1649013	GOIÂNIA	-16,6736	-49,2639
1650001	CÓRREGO DO OURO	-16,2986	-50,5567
1650002	ISRAELÂNDIA	-16,3164	-50,9053
1651000	CAIAPÔNIA	-16,9489	-51,8103
1651002	PIRANHAS	-16,4233	-51,8214
1651003	SÃO FERREIRA	-16,3025	-51,4694
1652000	BOM JARDIM DE GOIÁS	-16,2086	-52,1683
1652003	DOVERLÂNDIA	-16,7217	-52,3197
1748000	CRISTIANÓPOLIS	-17,1919	-48,7144
1748004	MARZAGÃO	-17,9828	-48,6414
1748005	MONTES CLAROS	-17,1297	-48,1333
1749000	EDEIA (ALEGRETE)	-17,3414	-49,9303
1749001	FAZENDA BOA VISTA	-17,1069	-49,6883
1749002	JOVIÂNIA	-17,8100	-49,6169
1749003	MORRINHOS	-17,7325	-49,1153
1749004	PONTALINA	-17,5167	-49,4411
1749005	PIRACANJUBA	-17,3072	-49,0256
1749009	CROMÍNIA	-17,2911	-49,3789
1750000	BARRA DO MONJOLO	-17,7322	-50,1808
1750001	FAZENDA NOVA DO TURVO	-17,0792	-50,2894
1750003	PONTE RIO VERDÃO	-17,5414	-50,5561
1750004	PONTE RODAGEM	-17,3258	-50,6819
1750008	FAZENDA PARAÍSO	-17,4658	-50,7742
1750013	PARAUNA	-16,9489	-50,4469
1751001	PONTE RIO DOCE	-17,8608	-51,3900
1751002	BENJAMINBARROS	-17,6858	-52,1692
1751004	MONTIVIDIU	-17,3283	-51,2608
1752002	FAZENDA SÃO BERNARDO	-17,6881	-52,8828
1752003	PONTE DO CEDRO	-17,5794	-52,6014

1752006	BOM JARDIM	-17,7178	-52,1692
1753002	FAZENDA BABILENIA	-17,3519	-53,0914
1847006	TRÊS RANCHOS	-18,3628	-47,7794
1848007	CORUMBAZUL	-18,2419	-48,8583
1849016	PONTE MEIA PONTE	-18,3389	-49,6108
1850001	FAZENDA ALIANÇA	-18,1047	-50,0314
1850002	QUIRINÓPOLIS	-18,4983	-50,5286
1850003	MAURILÂNDIA	-18,0186	-50,3372
1851000	CACHOEIRA ALTA	-18,9086	-51,0836
1851001	CAMPO ALEGRE	-18,5178	-51,0931
1851002	ITARUMÃ	-18,7647	-51,3472
1851004	POMBAL	-18,0950	-51,4969
1851005	SERRANÓPOLIS	-18,3050	-51,9658
1852000	APORÉ	-18,9667	-51,9100
1852001	FAZENDA FORMOSO	-18,4067	-52,5325
1951000	CANASTRA	-19,1000	-51,1494
1951001	ITAJÁ	-19,1061	-51,5336
1246001	AURORA DO NORTE	-12,7139	-46,4086
1248001	COLONHA	-12,3878	-48,7114
1248003	PALMEIRÓPOLIS	-13,0419	-48,4069
1249000	ALVORADA	-12,4836	-49,1244
1249001	ARAGUAÇU	-12,9311	-49,8294
1249003	BARREIRA DO PEQUI	-12,0986	-49,9475
1552002	TORIQUEJE	-15,2503	-52,0547
1652002	TORIXOREU	-16,2014	-52,5500
1653004	ALTO GARÇAS	-16,9442	-53,5336
1753000	ALTO ARAGUAIA	-17,3000	-53,2194
1250001	SANTO ANTÔNIO DO LEVERGER	-12,2917	-50,9631
1351000	TRECHO MÉDIO	-14,0867	-51,6964
1452000	XAVANTINA	-14,6722	-52,3547
1552006	PINDAIBA	-15,0356	-52,2375
1245015	RODA VELHA	-12,7653	-45,9439
1346007	FAZENDA PRAINHA (FAZ.ANTAS)	-13,3303	-46,0622
1545004	GAUCHOS	-15,1742	-45,3736
1646001	BURITIS – JUSANTE	-15,6158	-46,4150
1647008	FAZENDA LIMEIRA	-16,2089	-47,2325
1746017	FAZENDA POÇÕES	-17,0419	-46,8178
1746018	FAZENDA LIMOEIRO	-17,9156	-47,0106
1746019	FAZENDA CÓRREGO DO OURO	-17,6133	-46,8586
1846015	VAZANTE	-18,0050	-46,9111
1548000	BRAZLÂNDIA (QUADRA 18)	-15,6711	-48,2219
1747005	GUARDA-MOR	-17,7725	-47,0986
1847000	MONTE CARMELO	-18,7206	-47,5244
1847001	ESTRELA DO SUL	-18,7381	-47,6900

1847003	ABADIA DOS DOURADOS	-18,4911	-47,4064
1847007	CASCALHO RICO	-18,5789	-47,8792
1847008	COROMANDEL	-18,4711	-47,1883
1848004	FAZENDA CACHOEIRA	-18,6983	-48,7819
1848006	TUPACIGUARA	-18,6008	-48,6908
1848008	BRILHANTE	-18,4922	-48,9028
1848010	ARAGUARI	-18,6511	-48,2092
1849000	ITUIUTABA	-18,9411	-49,4631
1849002	IPIAÇU	-18,6919	-49,9486
1849006	AVANTIGUARA	-18,7719	-49,0697
1849026	PONTE BR-365 (FAZ. BOA VISTA)	-18,8869	-50,0003
1852002	INDA • IA GRANDE	-18,9967	-52,5872
1852003	CIDADE CHAPADÃO GAÚCHO	-18,6917	-52,5939
1853000	FAZENDA TAQUARI	-17,8114	-53,2889
1853004	COSTA RICA	-18,5472	-53,1353
1949006	PONTE DO PRATA	-19,0353	-49,6967
1950017	PORTO ALENCASTRO	-19,6617	-50,9964
1951003	FAZENDA PINDORAMA	-19,3908	-51,6089
1951004	ÁRVORE GRANDE	-19,2292	-51,8750
1953004	PORTO DE PEDRAS	-19,0550	-53,0150
1552001	GENERAL CARNEIRO	-15,7111	-52,7544
1446004	SITIO DA ABADÍA	-14,8039	-46,2533
1547002	PLANALTINA	-15,3835	-47,3930
1547004	BRASILIA	-15,4724	-47,5522
1547013	TAQUARA	-15,3756	-47,3113
1548000	BRAZLÂNDIA	-15,4016	-48,1319

Fonte: ANA(2012)