
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

QUALIDADE DE DADOS DO SATÉLITE TRMM PARA
ESPACIALIZAÇÃO DAS CHUVAS NA MICRORREGIÃO
DE ITAPARICA-PE

RAFAEL SILVA DOS ANJOS

Recife

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

RAFAEL SILVA DOS ANJOS

**QUALIDADE DE DADOS DO SATÉLITE TRMM PARA
ESPACIALIZAÇÃO DAS CHUVAS NA MICRORREGIÃO DE
ITAPARICA-PE**

Dissertação de Mestrado

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Coorientador: Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega

Recife

2017

A599q Anjos, Rafael Silva dos.
Qualidade de dados do satélite TRMM para espacialização das chuvas na microrregião de Itaparica-PE / Rafael Silva dos Anjos. – 2017.
100 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

Coorientador: Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.

CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2017.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Sensoriamento remoto. 3. Precipitação. 4. Semiárido. 5. Interpolação. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra. (Orientadora). II. Nóbrega, Ranyére Silva. (Coorientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-86

FOLHA DE APROVAÇÃO

QUALIDADE DE DADOS DO SATÉLITE TRMM PARA ESPACIALIZAÇÃO DAS CHUVAS NA MICRORREGIÃO DE ITAPARICA-PE

POR

RAFAEL SILVA DOS ANJOS

Dissertação defendida em 02/ 02/ 2017.

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Orientadora)

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega (Coorientador)

Departamento de Ciências Geográficas - Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Examinadora Interna)

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Weronica Meira de Souza (Examinadora Externa)

Departamento de Ciências Geográficas - Universidade Federal de Pernambuco

Dedico a toda minha família que de maneira direta e indireta
contribuíram para a conclusão
dessa dissertação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me iluminar durante toda essa jornada, proporcionando-me experiências ímpares que fizeram-me sentir uma pessoa melhor a cada dia.

Agradeço a minha mãe Alice e ao meu pai Riva (*in memoriam*), que com seus ensinamentos, sempre estão presentes em minha vida, ajudando-me a sempre enfrentar os obstáculos ao longo da minha vida.

Agradeço a minha irmã Aline que sempre me ajudou e esteve do meu lado nos momentos mais complicados, fazendo-me compreender o verdadeiro significado de um amor fraternal.

Agradeço a Franciele, por sempre estar ao meu lado, dando-me suporte para ultrapassar os empecilhos encontrados, assim como encontrar na minha felicidade a sua também, mostrando-me assim, o sentido de compartilhar as emoções.

Agradeço a Professora Ana Lúcia por ter contribuído para o desenvolvimento do trabalho, sempre me concedendo vivências importantes que levarei na minha vida acadêmica e profissional.

Agradeço ao Professor Ranyére Nóbrega, que desde o início de minha graduação esteve presente, sempre disposto a ajudar-me, mostrou-me valores a serem seguidos, tornando-se decisivo em toda minha trajetória acadêmica

Agradeço a todos os funcionários do Departamento de Engenharia Cartográfica, em especial a Elizabeth Galdino, que por causa da sua dedicação profissional e atenção com os alunos, sempre terá o meu apreço.

Agradeço a todos os meus colegas de pós-graduação que me concederam trocas de experiências que iam além do mundo acadêmico, e que serão levadas por toda a minha vida. Compartilhar o mestrado com todos foi uma vivência inenarrável.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento e apoio à pesquisa.

*São Francisco, meu amigo
Na corrente do destino
O teu saldo é positivo
Pois molha uva, manga e melão
Salve o São Francisco
Que salva toda a plantação
Salve o São Francisco
Que não merecem o que jogam em meu rio
Salve o São Francisco
É represa, é desvio
Salve o São Francisco
Rio da integração
Salve o São Francisco
Quer amor, a morte não*

(Trecho da música São Francisco Help – composição de Geraldo Azevedo e
Luiz Galvão)

RESUMO

ANJOS, R. S. QUALIDADE DE DADOS DO SATÉLITE TRMM PARA ESPACIALIZAÇÃO DAS CHUVAS NA MICRORREGIÃO DE ITAPARICA-PE. Recife, 2017, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

A proposta dessa dissertação foi avaliar as estimativas do satélite TRMM na microrregião de Itaparica, localizada no semiárido pernambucano, mostrando-a como alternativa para complementação de dados de precipitação. A presente pesquisa está dividida em três etapas principais: averiguação das diferenças entre as estimativas e os dados observados em toda Microrregião de Itaparica, análise do comportamento das taxas de chuvas convectivas e estratiformes e sua relação com a qualidade das estimativas em Belém de São Francisco, e o estudo da distribuição espacial das chuvas, utilizando o *Precipitation Radar*. Para isso foram utilizados dados dos postos pluviométricos, taxas dos tipos de chuvas estratiformes e convectivas (Algoritmo 3A25), estimativas mensais de precipitação (Algoritmo 3B43) além do mapeamento da precipitação em três dimensões (2A25) para posteriormente fazer o processo de interpolação dos dados e análise estatística. Foi identificado que as diferenças entre as estimativas e os dados possuem variações espaço-temporais de acordo com algumas variáveis: quantidade precipitada, localização geográfica, série histórica. Além disso foi verificado que as taxas de chuvas convectivas e estratiformes apresentam maiores índices durante a estação chuvosa, podendo estar relacionadas com os erros mensais das estimativas totais de precipitação. Com a análise das estimativas do *Precipitation Radar* foi possível fazer uma análise prévia da distribuição horizontal e vertical das nuvens e sua relação com fatores climáticos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Precipitação. Semiárido. Interpolação.

ABSTRACT

ANJOS, R. S. QUALIDADE DE DADOS DO SATÉLITE TRMM PARA ESPACIALIZAÇÃO DAS CHUVAS NA MICRORREGIÃO DE ITAPARICA-PE. Recife, 2017, Dissertation (Master Degree in Geodetic Science and Geoinformation Technologies) - Center of Technology and Geosciences, Federal University of Pernambuco, Brazil.

The propose of this dissertation it was to evaluate the estimates of the TRMM satellite in Itaparica Microregion, localized at semiarid of Pernambuco, and to show how the estimates could be used for complementation of observed dates. The present research is divided in three principal steps: recognition of the differences between the estimates and observed dates, analyze of the behavior of rates of convective and stratiform rains and their relation with the quality of the estimates in Belém de São Francisco, and the application of Precipitation Radar to analyze of rains spatial distribution. For this, it was utilized dates of rain gauges, rates of stratiform and convective rain (Algorithm 3A25), monthly precipitation estimates (Algorithm 3B43), including the mapping 3D rain (2A25). With this dates, it was made the interpolations and statistics analyses. It was identified that the differences between the estimates and the observed dates have space-temporal variations, according with some factors: precipitation quantity, geographic localization, historic series. Besides, it was verified that the convective and stratiform rates had the biggest indices during the rainy season, it may be connected with the monthly errors of the precipitation estimates. Through analyzes of Precipitation Radar estimates, it was possible to make an previous observation of vertical e horizontal distribution of the clouds and your relations with climatic factors.

Keywords: Remote Sensing. Precipitation. Semiarid. Interpolation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pluviômetro automático no município de Itacuruba em Pernambuco	21
Figura 2 - Postos pluviométricos distribuídos espacialmente nas mesorregiões de Pernambuco	24
Figura 3 - Precipitação com possibilidade de formação de um Ciclone Tropical Atlântico.....	25
Figura 4 - Parâmetros de um semivariograma	28
Figura 5 -Nuvem Cumulonimbus, típica da precipitação convectiva	31
Figura 6 – Instrumentos do satélite TRMM e o raio de alcance de cada sensor	33
Figura 7 - Localização da Microrregião de Itaparica	39
Figura 8 - Climograma da Região de Itaparica baseados nas médias anuais dos municípios	42
Figura 9 – Relevos residuais e o Rio São Francisco visto do município de Itacuruba	44
Figura 10 - Níveis de altitude na Microrregião de Itaparica e seus ventos predominantes.....	45
Figura 11 - Hidrografia da Microrregião de Itaparica	47
Figura 12- Fluxograma da metodologia.....	53
Figura 13 - Postos pluviométricos e pontos das estimativas utilizados	54
Figura 14 - Distribuição dos pontos com dados de 1998 a 2014.....	55
Figura 15 - Distribuição dos pontos com dados de 2005 a 2014.....	56
Figura 16 - Médias anuais para a área de estudo em mm.	56
Figura 17 - Localização das estimativas do 3B43, 3A25 e do Posto Pluviométrico.....	60
Figura 18 - Precipitação observada e estimada em (mm), diferença (mm), erro médio (mm/mês), raiz do erro quadrático médio (REQM), pontuação de eficiência (PE) e período dos dados em ordem crescente do erro médio, em destaque os municípios da Microrregião de Itaparica.....	62

Figura 19 - Erro médio entre as estimativas e os dados observados em ordem crescente (mm/mês), entidade operadora dos postos pluviométricos e o modo de coleta dos pluviômetros.....	64
Figura 20 - Mapa de precipitação acumulada de 1998 a 2014 estimada e observada em (mm)	66
Figura 21 - Mapa da Raiz do Erro Quadrático Médio (mm/mês) entre a estimativa do TRMM e a precipitação observada no período de 1998 a 2014.....	68
Figura 22 - Mapa de precipitação estimada e observada em (mm) acumulada de 2005 a 2014	70
Figura 23 - Mapa da Raiz do Erro Médio Quadrático (mm/mês) entre a precipitação estimada e observada no período de 2005 a 2014.....	71
Figura 24 - Precipitação observada e estimada para os anos de 2008 (chuvoso), 2010 (próximo da média) e 2012 (seco em (mm)).....	73
Figura 25 - REQM anual (mm) de 2008 (chuvoso), 2010 (próximo da média) e 2012 (seco).	75
Figura 26 – Erro Médio por mês dos municípios da microrregião de Itaparica e a total anual de precipitação.....	77
Figura 27 - Média entre as estimativas e os dados observados (mm), e as taxas de chuvas convectivas e estratiformes (mm/hr).	80
Figura 28 – Precipitação mensal de 1998 à 2014, entre a precipitação observada e estimada, e a taxa de chuva convectiva e estratiforme.	81
Figura 29 - Diferenças entre as estimativas mensais e os dados observados (mm) e a média entre os dados do TRMM e do posto pluviométrico em Belém de São Francisco (mm).	82
Figura 30 - Proporção das chuvas mensais estratiforme e convectiva (%), proporção da diferença em relação a média mensal entre a estimativa e os dados observados (%)	82
Figura 31 - Linha de tendência e correlação entre as taxas mensais de chuvas convectivas com as taxas de chuvas estratiformes (mm/h).	83
Figura 32 - Linha de tendência e correlação entre a proporção das taxas mensais de estratiformes (%) em relação às taxas convectivas, com a proporção da	

diferença em relação a média total entre as estimativas e os dados observados. 84

Figura 33 - Linha de tendência e correlação entre a média mensal de precipitação e a proporção da diferença diante da média mensal de precipitação. 85

Figura 34 - Proporção das médias anuais de 1998 a 2014 das taxas convectivas e a sua relação com a proporção da diferença diante da média anual de precipitação estimada e observada. 86

Figura 35 - Estimativa da precipitação através do *Precipitation Radar* em 19 de janeiro de 2004. 88

Figura 36 - Precipitação estimada pelo *Precipitation Radar* em 16 de janeiro de 2004. 90

LISTA DE SIGLAS

CERES - *Clouds and the Earth's Radiant Energy System*

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CPC - *Climate Prediction Center*

Dbz – Decibéis relativos a Z

Et real - Evapotranspiração real

GPS – *Global Positioning System*

IDW - *Inverse Distance Weighting*

JAXA - *Japan Aerospace Exploration Agency*

LANDSAT -*Land Remote Sensing Satellite*

LIS - *Lightning Imaging Sensor*

OMM - Organização Meteorológica Mundial

SEBAL – *Surface Energy Balance Algorithm for Land*

TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*

WGS84 – *World Geodetic System 1984*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

VIRS - *Visible Infrared Radiometer Sensor*

TMI - *TRMM Microwave Imager*

PR - *Precipitation Radar*

REQM - Raiz do Erro Quadrático Médio

TCI -*TRMM Combined Instrument*

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas

VCAS - Vórtice Ciclônico de Ar Superior

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos específicos	18
3	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	18
3.1	Contribuições do Sensoriamento Remoto para as Ciências Climáticas.....	18
3.2	A representação cartográfica dos elementos climáticos	20
3.3	O processo de interpolação de dados de precipitação	26
3.4	Classificação dos tipos de chuva (estratiformes e convectivas)..	30
3.5	Breve histórico do satélite TRMM.....	32
3.6	Algumas aplicações do TRMM para estimativas de precipitação.	35
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	38
4.1	Caracterização da área de estudo	38
4.1	Processo histórico da Microrregião de Itaparica	38
4.2	Clima	40
4.3	Relevo e Vegetação.....	42
4.4	Hidrografia	46
4.5	Dados utilizados do satélite TRMM	48
4.6	Algoritmo 3A25	48
4.9	Algoritmo 3B43.....	50
4.10	Algoritmo 2A25.....	51
4.11	Metodologia	52
4.12	Dados dos postos pluviométricos.....	53
4.13	Série temporal a ser estudada.....	54

4.14	Softwares a serem utilizados	57
4.15	Análise estatística.....	57
4.16	Interpolação da precipitação estimada, observada e REQM	58
4.17	Análise do comportamento das chuvas estratiformes e convectivas	59
4.18	Elaboração do mapa e 3D dimensões da precipitação.....	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1	Precipitação estimada e observada acumulada de acordo com os períodos disponíveis	61
5.2	Produção cartográfica da precipitação estimada e observada e dos erros inerentes as estimativas	64
5.3	Variabilidade anual das estimativas e a REQM de acordo com os postos pluviométricos localizados em Itaparica	76
5.4	Caracterização das chuvas convectivas e estratiformes e sua relação com as diferenças entre as estimativas e a precipitação observada em Belém do São Francisco	79
5.5	Análise da precipitação em 3D e qual a sua contribuição em casos de eventos extremos (Janeiro de 2004)	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICE A – REMQ em (mm) obtidos a partir da validação cruzada dos métodos de Krigagem e IDW para os dados observados e estimados de precipitação acumulada de 1998 a 2014 e 2005 a 2014.	99
	APÊNDICE B – Semivariograma dos dados observados e estimados de precipitação para os dois períodos (1998-2014) e (2005-2014).....	100

1 INTRODUÇÃO

A precipitação é um dos elementos essenciais em estudos climáticos, e também em grande parte de estudos ambientais. A sua importância pode abranger as mais variadas atividades humanas, como Dinku *et al.* (2007) afirma, ela pode ser um recurso crucial para a agricultura. A sua distribuição sobre a superfície terrestre é muito mais complexa que a insolação ou a temperatura do ar. Sendo assim, o padrão de distribuição das chuvas sobre o globo depende de diversos fatores, tais como a topografia, a distância de grandes corpos hídricos, a direção e caráter das massas de ar predominantes, entre outros (AYOADE, 2010).

Os processos formadores da chuva em grande escala estão ligados ao balanço de radiação e ao ciclo energético da atmosfera ao longo do globo. Partindo desse pressuposto, a validação da chuva é um dos mais importantes elementos no uso de modelos climáticos. No entanto, existem diversas dificuldades para se conseguir um “valor real” da chuva devido a sua acentuada variabilidade espacial e temporal (PARK *et al.*, 2007).

O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) atualmente vem sendo bastante usado para monitorar as chuvas dos trópicos. Ele é responsável por avaliar as estimativas das chuvas convectivas e estratiformes com o intuito identificar a dinâmica da chuva numa resolução que permite avaliar o espaço sem descontinuidades e ausência de dados a cada 3 horas. Seus dados interpolados podem gerar mapas de estimativas de chuva que auxiliam na interpretação e na análise dos sistemas que originaram determinados eventos (NASA, 2015).

As estimativas também permitem analisar a distribuição em 3 dimensões da chuva com o objetivo de avaliar os processos formadores da chuva. A partir dessas imagens em 3D, a NASA conseguiu identificar os processos de convecção dentro do furacão Irene no ano de 2011, em Porto Rico (NASA, 2016).

Essa técnica de obter dados climáticos através de satélites vem sendo utilizado com mais frequência nas últimas três décadas, com o desenvolvimento e aprimoramento de satélites ambientais, aumentando a quantidade de informações disponíveis, incluindo estimativas de precipitação. Com melhores

resultados nas estimativas, os produtos têm migrado da pesquisa para o produto operacional, difundido por autores de hidrometeorologia (COLLISCHON, 2006; NÓBREGA *et al.*, 2008).

Por isso, Anagnostou *et al.* (2000) justifica o processo de coleta dos dados de precipitação como uma tarefa de suma importância para a manipulação, processamento e interpretação dos dados para futuras pesquisas, já que dados confiáveis sobre a distribuição espacial e temporal da chuva é essencial para aplicações hidrológicas e climáticas, que vão desde a enchente em tempo real à previsão climática através de simulações atmosféricas.

Segundo Collischonn (2006) a precipitação pode ser considerada como a variável do ciclo hidrológico que apresenta a maior variabilidade espacial, sendo esta dependente, na maioria dos casos, dos postos pluviométricos para sua representação. Ainda que a Organização Meteorológica Mundial (OMM) sugira que os dados de uma estação meteorológica sinótica sejam representativos espacialmente em até um raio de 150 km de distância, alguns fatores climáticos não são levados em conta nessa representação, já que o relevo, tipo de cobertura de solo, altitude, distância do mar podem variar em distância bem menores.

Por isso, para compreensão da variação espacial da precipitação, é necessária sua produção cartográfica. No entanto, alguns desafios se apresentam ao cartógrafo, dentre eles a mudança de informações pontuais (oriundas de postos de precipitação e pontos de estimativas) para espacialização da precipitação numa superfície contínua.

É partindo desse princípio que Lucas *et al.* (2013) ressaltam a importância do desenvolvimento do SIG (Sistema de Informação Geográfica) e o aprimoramento de técnicas de geoprocessamento na modelagem de dados espaciais, permitindo transformar dados discretos em contínuos, pôr meio de interpolação matemática dos dados pontuais. Diante disso, segundo os autores, a espacialização da precipitação requer a escolha do melhor método de interpolação para que se possa entender a variabilidade espacial de diferentes eventos com distintas durações e acumulados de chuva, identificando suas características espaciais.

A microrregião de Itaparica, localizada na mesorregião pernambucana do Sertão do São Francisco, é uma das regiões mais secas do estado. Embora tenha disponibilidade de água oriunda do Rio São Francisco, a poucos quilômetros de distância do seu curso é perceptível como a baixa e concentrada precipitação afeta a população residente nos municípios que a compõe, comprometendo a agricultura, pecuária e o consumo humano de água. É válido ressaltar que uma maior disponibilidade de dados climáticos representados cartograficamente possibilita que estratégias sejam tomadas para mitigar os efeitos da escassez de água de maneira mais efetiva, pois identificaria as áreas que demandariam de uma política pública mais direcionada.

É válido acrescentar que a importância de espacializar a chuva através do sensoriamento remoto não se deve apenas a acurácia das estimativas, o processo de interpolação é de notável relevância para resultar num produto cartográfico que apresente a variação espacial o mais próximo do real possível. Na microrregião de Itaparica, a baixa densidade de postos pluviométricos com uma série histórica de dados curta, pode comprometer a análise do comportamento espacial da precipitação ao longo dos anos. Por isso, o satélite TRMM pode ser uma alternativa para complementação de dados de pluviosidade, uma vez que seja comprovada a acurácia das estimativas e sua variação espaço-temporal.

No projeto INNOVATE (*INterplay between the multiple use of water reservoirs via inNOVative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems*), um dos seus principais objetivos é a compreensão das relações entre mudanças climáticas e formas de uso da terra e da água na região do Reservatório de Itaparica. Tal busca, promove um comprometimento maior da presente dissertação, podendo contribuir com seus resultados de como a dinâmica da precipitação se comporta utilizando dados de sensoriamento remoto de maneira integrada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade das estimativas de chuvas do satélite TRMM para a Microrregião de Itaparica, no estado de Pernambuco.

2.2 Objetivos específicos

Comparar as estimativas de precipitação pluviométrica do satélite com os dados observados;

Verificar a variação espaço-temporal dos erros de acordo com a quantidade precipitada.

Avaliar a influência das chuvas convectivas e estratiformes na acurácia das estimativas totais de precipitação;

Analisar a distribuição da chuva em três dimensões em casos de eventos extremos;

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 Contribuições do Sensoriamento Remoto para as Ciências Climáticas

Para avaliar a dinâmica dos elementos atmosféricos de uma região, o Sensoriamento Remoto torna-se uma ciência para contrapor as problemáticas referentes ao uso de estações meteorológicas. Para Rudorff (2015) o sensoriamento remoto é um termo usado para definir a obtenção de imagens a distância, adquiridos através dos sensores remotos, que por sua vez estão a bordo de aeronaves ou satélites.

Karimi e Bastiaanssen (2015) avaliaram a importância do uso do sensoriamento remoto para a evapotranspiração, uso do solo e precipitação. Os autores verificaram que os dados de precipitação são os que possuem maior erro em relação aos dados observados, porém salienta que os erros humanos no processo de coleta de dados nos postos convencionais podem influenciar nos erros correspondentes a comparação entre as estimativas e os dados observados.

Em relação aos dados de evapotranspiração adquiridos por sensoriamento remoto, Karimi e Bastiaanssen (2015) ressaltaram o erro relativamente pequeno além da versatilidade desses dados, podendo servir como entrada para modelos hidrológicos, média para calibrar as simulações, embora erros locais possam ocorrer. No mapeamento do uso do solo com o sensoriamento remoto, eles afirmaram que é uma das maneiras mais recentes de se obter informações relacionados ao meio ambiente, tornando instrumento para gerenciamento de recursos hidrológicos e agricultura.

Vários estudos vêm sendo feitos ultimamente para avaliar a qualidade dos dados estimados a partir de sensores remotos, conseguindo identificar boas correlações entre os dados observados e os dados de satélite (NÓBREGA, 2008; COLLISCHONN, 2006; DINKU et al., 2007). Em termos de praticabilidade, a utilização desses dados dá-se de maneira diferenciada nos mais variados trabalhos científicos, ora servindo como complementação para os dados observados, ora sendo utilizado de modo efetivo após sua validação.

Como exemplo de aplicação das estimativas de chuvas, Silva *et al.* (2011) utilizam três fontes de dados de precipitação, sendo duas através de sensores remotos (radar S-POL e o algoritmo 3B42_V6), para avaliar o ciclo diário de precipitação em Rondônia. Os autores concluíram que os diferentes sensores utilizados têm suas potencialidades distintas em relação a acurácia e resolução espacial. Portanto, há uma diversidade de sensores que disponibilizam dados de precipitação embora tenham suas particularidades.

Uma das contribuições desse tipo de dado seria a possibilidade de criar modelos de análise espacial, onde muitas vezes a disponibilidade de dados é escassa. Para melhorar os resultados do algoritmo que calcula a evapotranspiração real, conhecido como *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL), Nicácio *et al.* (2009) utilizaram as estimativas do satélite TRMM para verificar se as condições de temperatura do ar e umidade relativa do ar teriam um fluxo de calor latente igual a zero. Usados como dados de entrada para um modelo de análise espacial, as estimativas auxiliaram El Magd *et al.* (2010) a identificar áreas de possíveis enxurradas na região oeste do Mar Vermelho, no Egito.

É relevante considerar a importância dessas estimativas de chuvas e sua aplicação para prevenção e mitigação de possíveis impactos, revertendo em benefícios e potencializando a capacidade de aproveitamento dos recursos hídricos. Além disso, é válido salientar que diante das atuais discussões acerca da mudança do clima global, o uso de sensores remotos vem tornando-se imprescindível para a compreensão da variabilidade climática e, por sua vez, o entendimento de como o clima estaria mudando e quais os agentes que provocam tal ocorrência, além das projeções futuras.

3.2 A representação cartográfica dos elementos climáticos

Um dos principais desafios da Cartografia é representar os fenômenos geográficos presentes na superfície terrestre, de maneira que se aproximem da sua realidade espaço-temporal o máximo possível.

É evidente que o desenvolvimento tecnológico permite, de modo geral, uma boa representação cartográfica, o que a torna mutável ao longo do tempo. Esse fato fica claro quando observamos as limitações das primeiras representações cartográficas dos elementos atmosféricos na época das grandes navegações no século XV, onde de forma bem genérica e criativa representavam a circulação geral dos ventos (OLIVEIRA e NASCIMENTO, 2011).

Um dos métodos de medição da precipitação é por meio de pluviômetros, dentre os quais podem ser diferenciados de acordo com a tecnologia integrada ao equipamento. Para Ayoade (2010) o volume de chuva captado por um pluviômetro em determinado local depende de numerosos fatores, tais como a sua altura em relação ao solo, a velocidade do vento e a taxa de evaporação. Segundo o autor, alguns estudos mostram que quanto maior a altura do pluviômetro, menor é o volume de chuva captado. Segundo o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2016), são três categorias de pluviômetros:

- 1- Convencionais: elas armazenam a quantidade de chuva, sendo necessária a medição registrada manualmente.
- 2- Semiautomáticos: mede e armazena a informação sobre a quantidade das chuvas e a leitura é feita a partir de um painel digital.

3- Automáticos: mede, armazena e transmite automaticamente a informação sobre a quantidade precipitada (Figura 1). Em alguns casos, esses tipos de pluviômetros estão integrados a outros instrumentos de medição de elementos climáticos, como no caso das Plataformas de Coletas de Dados (PCD's).

Figura 1 - Pluviômetro automático no município de Itacuruba em Pernambuco



Fonte: Autor (2015)

Diante de tecnologias diferenciadas, é válido considerar que as qualidades dos dados podem ser variadas de acordo com o equipamento utilizado. Em termos de disponibilidade de dados observados, alguns órgãos públicos destacam-se nessa tarefa, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Agência Nacional das Águas (ANA) e a nível estadual, a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), sendo esta responsável pelo fornecimento de dados de precipitação de postos pluviométricos ao longo de todo o estado de Pernambuco.

É válido destacar que os dados para essa produção cartográfica na maioria das vezes são oriundos de postos pluviométricos. No entanto, esses dados estão sujeitos a erros humanos, além disso, a representação cartográfica

pode ser comprometida devido à má distribuição dos postos pluviométricos por motivos econômicos e de difícil acesso (ANJOS et al., 2016).

Partindo desse princípio, o uso do sensoriamento remoto torna-se uma técnica que contribui para facilitar o planejamento no âmbito de gestão hídrica - incluindo prevenção e mitigação dos eventos extremos - além de solucionar os problemas referentes a má densidade dos postos e de possíveis erros nos dados de precipitação. O método para a representação cartográfica dos elementos atmosféricos como precipitação, temperatura do ar e pressão atmosférica sofreram mudanças ao longo do tempo. Tais representações necessitavam de dados levantados em campo com instrumentos específicos para cada elemento como: termômetro, pluviômetro e barômetro. No entanto, a sofisticação desses instrumentos passando do método analógico para o digital, permitiu uma maior precisão do levantamento melhorando o resultado final em sua representação.

É válido salientar que a integração desses dados levantados em campo com dados estimados a partir do sensoriamento remoto teve seu início no século XX, principalmente a partir da sua última metade. O investimento no desenvolvimento da tecnologia para o levantamento cartográfico deu um grande salto promovido pela disputa entre os Estados Unidos e a União Soviética no período denominado como Guerra Fria, contribuindo para o lançamento de satélites de modo que os primeiros registros por sensoriamento remoto foram possíveis, com as primeiras publicações das imagens do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT), na década de 60 (CLOUD, 2002).

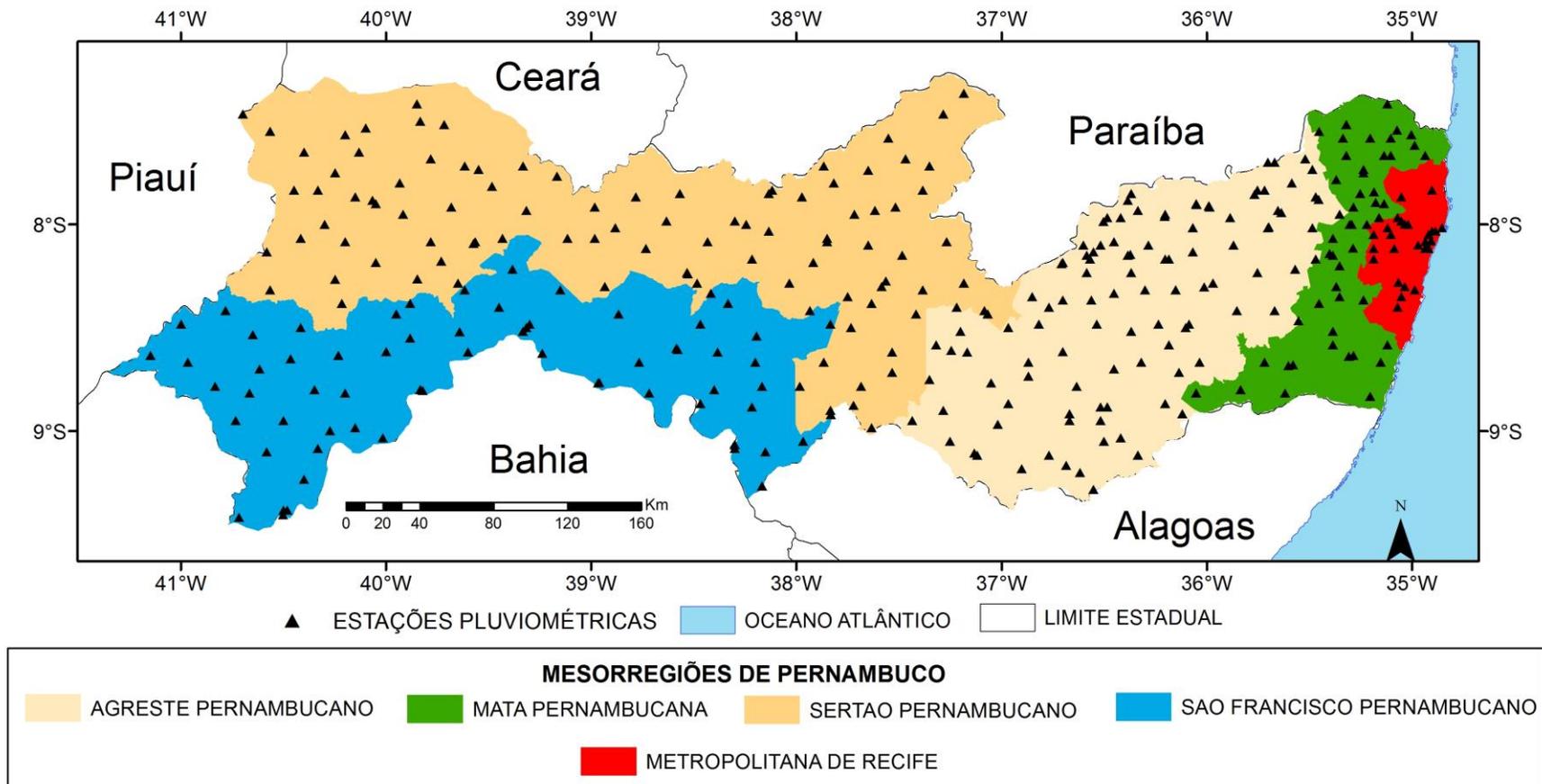
Atualmente, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) permite a visualização e download de dados climáticos para todo o mundo, como: temperatura da superfície do mar, anomalia da temperatura da superfície terrestre, cobertura na superfície de neve. Entre os satélites que disponibilizam esses dados climáticos, destacamos o *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT), *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), *Gravity Recovery And Climate Experiment* (GRACE), TERRA (NASA, 2015).

Sabendo que a representação dos dados climáticos em um mapa exige alguns parâmetros na sua espacialização, a metodologia cartográfica deve seguir um processo para que na sua transformação de quantitativa (números)

para qualitativa (mapas) possa deixar claro as variações climáticas ao redor do globo para que possua uma linguagem única em relação aos seus resultados. Sherbinin (2014) afirmam que ao produzir um mapa de mudanças climáticas com elementos visuais visíveis torna mais fácil a interpretação do público em relação ao texto.

Além dos desafios atrelados ao método de apresentação do mapa final, está o de acurácia dos dados e de um número suficiente de estações meteorológicas na região que se queira representar. Apesar da Figura 2 apresentar uma boa distribuição espacial das estações meteorológicas no estado de Pernambuco, é válido considerar que existem postos pluviométricos que possuem uma série histórica de dados curta e com ausência de dados, comprometendo a análise do comportamento climático. Ressalta-se que apesar da boa distribuição espacial, existe uma maior densidade de postos pluviométricos na Região Metropolitana do Recife, principalmente no município de Recife, enquanto no Sertão do São Francisco há uma menor densidade de estações.

Figura 2 - Postos pluviométricos distribuídos espacialmente nas mesorregiões de Pernambuco



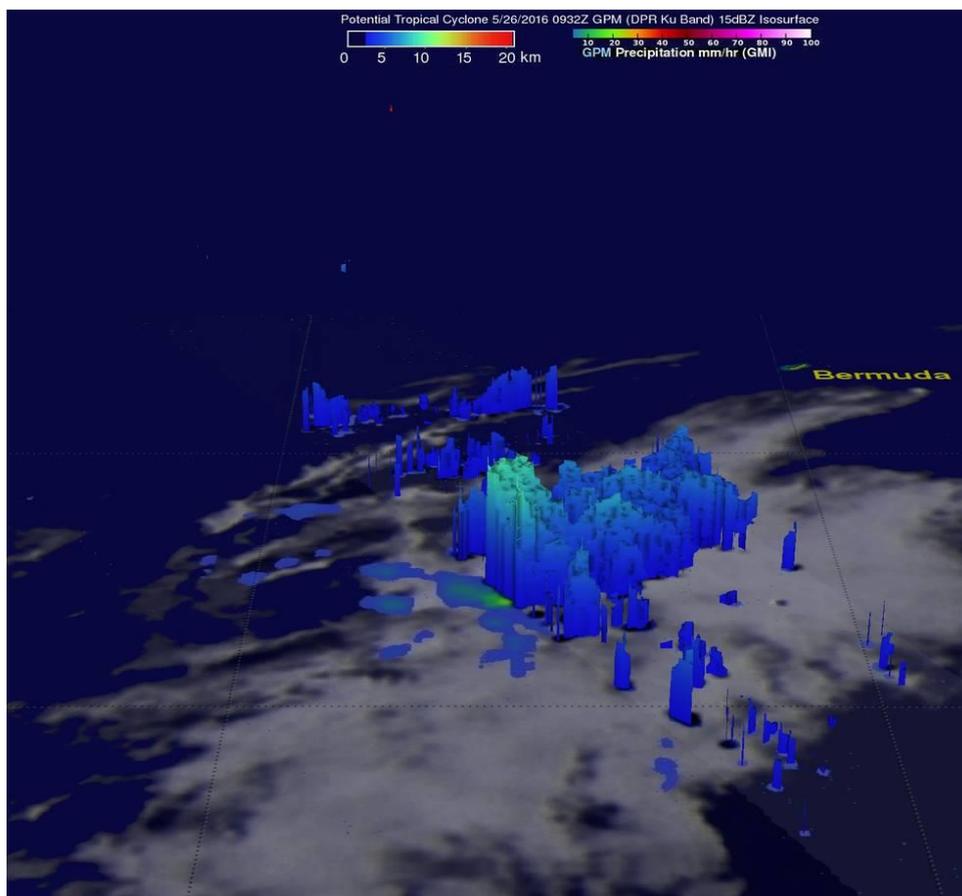
SISTEMA DE COORDENADAS GEODÉSICAS DATUM: SIRGAS 2000
BASE DE DADOS DO INSTITUTO BRASILEIRO
DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Dessa forma, aconselha-se a utilizar a integração dos dados observados com estimativas de satélites visto que, embora existam estações meteorológicas espalhadas em Pernambuco, muitas encontram-se com lacunas no histórico dos dados precisando de complementação.

Um dos métodos mais recentes de representação cartográfica dos elementos climáticos vem no sistema cartesiano de três eixos (x,y e z). Assim é possível visualizar, através de modelagens, a distribuição espacial em 3D das chuvas, por exemplo (Figura 3). Através dessa espacialização da chuva é possível compreender o desenvolvimento vertical das chuvas, facilitando o processo de monitoramento de eventuais tempestades e, em alguns casos, a formação de ciclones.

Figura 3 - Precipitação com possibilidade de formação de um Ciclone Tropical Atlântico



Fonte: NASA (2016)

É válido ressaltar que a produção cartográfica é apenas um instrumento constituinte de um determinado planejamento. Por isso, para uma gestão mais efetiva, além dos mapas é necessária a interpretação das características físicas

e humanas da área a ser estudada, as quais se inclui o regime de chuvas mensal e anual, relevo, temperaturas médias e principais atividades humanas na região. Se apenas os mapas forem considerados, corre-se o risco de desconsiderar outros fatores que influenciam no determinado fenômeno representado, que não estão contidos no mapa.

3.3 O processo de interpolação de dados de precipitação

A quantidade de precipitação média de longo prazo, para o mês, estação ou ano dificilmente indica a regularidade e confiabilidade na quantidade a ser precipitada. Tal fato, torna-se mais frequente em áreas de latitudes baixas e em áreas mais secas, onde a precipitação tende a ter uma variação espaço-temporal mais acentuada (AYOADE, 2010).

Diante dessa variabilidade já citada, ainda há o processo de representar a chuva a partir de dados de estações pluviométricas, em que dados pontuais precisariam ser interpolados para resultar em um mapa de precipitação numa superfície contínua. O principal desafio nesse processo é compreender as dinâmicas da precipitação de maneira que o número de estações meteorológicas seja o suficiente para representar o mais próximo do real as chuvas numa determinada região.

O processo de interpolação de dados espaciais consiste em espacializar para uma superfície contínua, um conjunto de dados pontuais que representa aquele dado fenômeno. Para que essa espacialização do fenômeno seja o mais próximo do real é necessário modelar sua variabilidade espacial. Camargo *et al.* (2004) explicitaram que esses modelos que geram as superfícies, representam a variável em estudo baseando-se na combinação da variabilidade em pequena e larga escala. Além disso, os autores citam três tipos principais de modelos de interpolação de dados espaciais, cujas suas diferenciações baseiam-se nesse princípio:

- Modelos determinísticos de efeito local: nesse modelo, os pontos são interpolados a partir das amostras mais próximas, predominando assim os efeitos locais. Uma de suas funções são o Inverso do Quadrado da Distância. Em alguns softwares de geoprocessamento esse método é conhecido como IDW (*Inverse Distance Weighting*).

- Modelos determinísticos de efeito global: o princípio desse modelo é a variabilidade espacial em larga escala. Por isso, é comum os interpoladores serem de tendências, pois os mesmos desconsideram os efeitos locais no processo de interpolação.
- Modelos estatísticos de efeitos globais e locais (krigagem): os pontos da superfície são interpolados pelas amostras mais próximas. No entanto os estimadores estatísticos levam em consideração a variabilidade local e global. Esses tipos de estimadores são caracterizados por não serem tendenciosos e de procurar minimizar os efeitos inferenciais.

Fazendo uma revisão bibliográfica acerca da aplicação do tema, os principais métodos de interpolação de dados de precipitação são a Krigagem e o Inverso Quadrático da Distância (conhecido como IDW).

Para avaliar a qualidade do interpolador podem ser utilizados vários métodos geoestatísticos, dentre eles está o método de validação cruzada. Esse método consiste em avaliar a previsibilidade que um determinado modelo tem em estimar as amostras. Para isso, retira-se o valor amostrado e obtém-se o método de interpolação para estimar aquele ponto onde a amostra foi retirada. Esse processo é realizado em todas as amostras. O gráfico gerado a partir da validação cruzada permite avaliar a quantidade do valor amostrado e a estimativa calculada pelo interpolador, apresentando o erro da estimação (SANTANA e SANTOS, 2016).

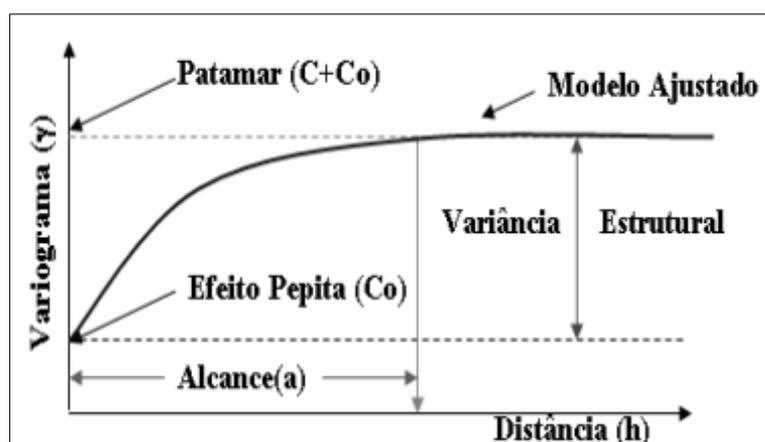
Alguns softwares já disponibilizam os erros inerentes a cada interpolador. Uma das maneiras de se avaliar esse erro por meio da validação cruzada é através da raiz do erro quadrático médio (REQM) ou *root mean square error* (RMSE). Ela é uma medida da magnitude média dos erros estimados tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, melhor o interpolador (ALVES e VECCHIA, 2011).

O gráfico gerado dos valores das amostras e os estimados pelo interpolador, oferece uma opção facilmente interpretável, quando o modelo consegue ser bem-sucedido, através da análise da linha de tendência para todas as amostras. Se a linha possuir um ângulo em relação ao eixo (x) de 45°, o

modelo tende a ter uma boa previsão de estimativa para todas as amostras calculadas.

Em interpoladores que utilizam a dependência espacial dos valores amostrados, como a krigagem, é necessária a análise de uma ferramenta de avaliação de dependência espacial entre esses valores. O semivariograma (Figura 4) é considerado como uma ferramenta básica de suporte a técnica de krigagem, porque permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (CAMARGO *et al.*, 2004). Wanderley *et al.* (2012) afirmam que o semivariograma expressa a dependência espacial através da medida da variância dos valores amostrais, separados por uma distância. Os autores destacam os parâmetros do semivariograma na Figura 4:

Figura 4 - Parâmetros de um semivariograma



Fonte: Wanderley *et al.* (2012)

Onde, o patamar ($C+Co$) é tido como o ponto de estabilização do semivariograma. É a partir desse ponto que não há dependência espacial entre as amostras, porque a variância entre as amostras mostra-se independente da distância entre elas. O alcance (a) é a distância em que as amostras se encontram dependentes espacialmente. O Efeito Pepita (Co) é o ponto onde o variograma toca o eixo das coordenadas. A Variância Estrutural (C) é a diferença entre o patamar ($C+Co$) e o efeito pepita (Co).

Uma vez detectada a dependência espacial, é possível usar a técnica de krigagem. Esse interpolador usa o semivariograma para encontrar os pesos a

serem associados às amostras como os valores conhecidos que irão estimar os pontos desconhecidos (WANDERLEY *et al.*, 2012). A diferença desse método em relação aos outros é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras, enquanto no IDW os pesos são ajustados pelo inverso do quadrado da distância, a krigagem utiliza os pesos a partir do semivariograma (CAMARGO *et al.*, 2004).

O Inverso do Quadrado da Distância generaliza a ideia de média móvel local, sugerindo que a densidade do fenômeno varia localmente de forma suave, sem picos nem descontinuidades. Seu objetivo é produzir uma superfície mais suavizada (CAMARGO *et al.*, 2004). No entanto, Alves e Vecchia (2011) o definem tanto como um interpolador exato, como suavizador, dependendo da influência daquele determinado ponto, que por sua vez será determinada pelo inverso da distância. Quanto maior for a distância entre a amostra e o ponto a ser estimado, menor será a influência da amostra. É válido acrescentar que nesse método se existirem duas amostras próximas com valores discrepantes, a superfície torna-se pouco suavizada.

Alguns estudos avaliam a acurácia dos interpoladores para a representação cartográfica da precipitação. Wanderley *et al.* (2012), baseando-se na validação cruzada, identificaram que a krigagem ordinária possuiu o melhor desempenho em interpolar a chuva no estado de Alagoas.

Os interpoladores krigagem, IDW e modelos estatísticos no geral, tiveram baixa dispersão utilizando o coeficiente de dispersão para a interpolação da chuva em Minas Gerais. Viola *et al.* (2010) perceberam que a época das chuvas interferia nos erros absolutos médios.

Para interpolar os dados de precipitação no estado de Goiás, Alves e Vecchia (2011) verificaram que dentre os interpoladores de Triangulação, Krigagem, Mínima Curvatura e IDW, o último apresentou melhores resultados na validação cruzada.

Magalhães *et al.* (2016) verificaram no Espírito Santo que dentre os interpoladores IDW, Krigagem esférica, Spline e Trend, o IDW foi o que apresentou menor erro associado a validação cruzada. O Trend foi o que apresentou o maior erro.

3.4 Classificação dos tipos de chuva (estratiformes e convectivas)

Distintos padrões de refletividade obtidos pelos radares de precipitação têm sido associados a dois principais tipos de precipitação: convectiva e estratiforme. A precipitação convectiva é caracterizada pela sua elevada altura, desenvolvimento vertical acentuado, forte gradiente de refletividade horizontal e consideráveis variações no tempo e no espaço (LEARY e HOUZE, 2014). As precipitações definidas como “*continuous*” ou estratiformes possuem uma velocidade vertical mais baixa em relação as chuvas convectivas, sendo caracterizadas por abrangerem extensas áreas e uma distribuição dos índices de refletividade mais uniforme.

Do ponto de vista da velocidade vertical dos ventos existem equações que diferenciam esses dois tipos de chuva através desse parâmetro. Onde para a formação da chuva estratiforme é necessário tal condição:

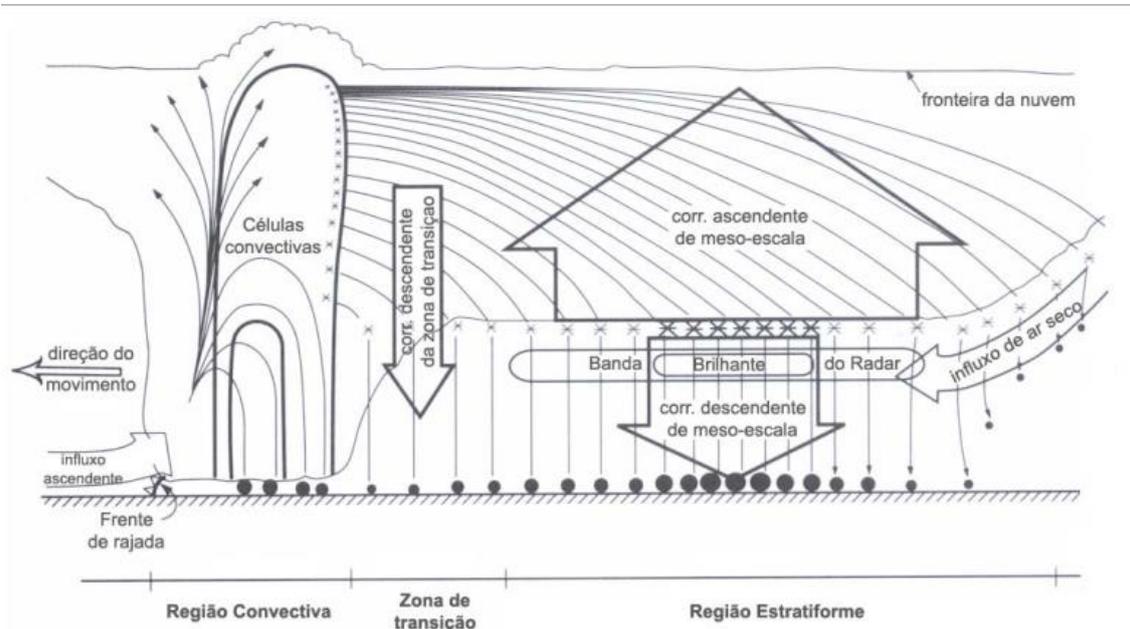
$$[W] \ll [V_t]$$

Em que w é a velocidade vertical dos ventos e V_t é a velocidade terminal das partículas de neves ($\sim 1-3 \text{ ms}^{-1}$). Nesta condição, partículas de gelos nas regiões mais altas devem precipitar, pois não podem se sustentar ou carregadas para cima pelos movimentos verticais, enquanto crescem (ALBRECHT e DIAS, 2014).

Em sistemas de nuvens tropicais, a precipitação estratiforme geralmente está associada sistemas de convecção intensos e profundos, e não como um fenômeno separado (Figura 5).

A precipitação de origem convectiva está associada ao tipo de nuvem cumulonimbus (Figura 6) e juntamente com ela as tempestades com presença de relâmpagos, granizos, rajadas de ventos e até mesmo tornados (COTTON, 2010).

Figura 5 - Modelo conceitual da trajetória da precipitação convectiva e estratiforme e seus movimentos verticais médios. Asteriscos representam hidrometeoros e os círculos cheios a intensidade de precipitação



Fonte: Albrecht & Dias, 2014

Figura 5 -Nuvem Cumulonimbus, típica da precipitação convectiva



Fonte: NASA (2016).

As chuvas convectivas por serem bastante intensas, causam impactos significativos na sociedade ocasionando alagamentos, deslizamento de terra gerando transtornos quando se faz presente. Num desses eventos de chuvas convectivas, destaca-se o que ocorreu nos dias 7 e 8 de junho de 2006, causado por um conglomerado de *cumulus* em um sistema convectivo de mesoescala, causando uma morte por choque elétrico e perdas comerciais de até 70% no município de Olinda, em Pernambuco (JORNAL DO COMÉRCIO, 2006 *apud* ARAGÃO; ARAÚJO; LACERDA, 2014).

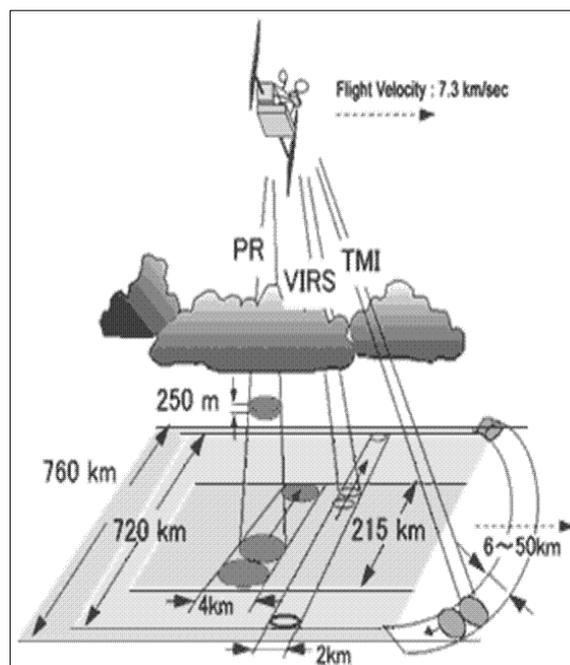
3.5 Breve histórico do satélite TRMM

O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foi criado através de uma parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), sendo lançado em 27 de novembro de 1997 com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia no clima global. A órbita polar baixa do satélite (inicialmente 350 km e desde 2001, 403 km), juntamente com o período curto de translação (91 minutos) permite uma alta resolução temporal e espacial do imageamento (NASA, 2015). Em março de 2015, o satélite entrou em fase de desativação concluindo sua missão, após 17 anos. Apesar disso, as observações da precipitação foram substituídas pelo *Global Precipitation Measurement* (GPM) que foi lançado em fevereiro de 2014, substituindo o projeto do TRMM.

Os dados de satélites compreendem um núcleo de informações que permite estimar a precipitação em escala global, sendo possível criar estimativas a partir de apenas um sensor, ainda que a utilização de mais sensores possa aumentar a acurácia cobertura e resolução dos dados.

Ao todo são cinco sensores a bordo do satélite TRMM: o *Visible Infrared Radiometer* (VIRS), *TRMM Microwave Imager* (TMI), *Precipitation Radar* (PR), *Lightning Imaging Sensor* (LIS) e o *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* (CERES) (Figura 6).

Figura 6 – Instrumentos do satélite TRMM e o raio de alcance de cada sensor



Fonte: University of Utah, (2016)

O VIRS é um radiômetro de varredura de faixa transversal passivo, com cinco canais centrados nos comprimentos de ondas (0,63), (1,6), (3,75), (10,8) e 12 μm , fornecendo observações de alta resolução espacial da cobertura das nuvens, a temperatura do topo da nuvem e o seu tipo (MORALES e ALBRECHT, 2014).

O TMI é um radiômetro de micro-ondas passivo que fornece informações sobre o conteúdo integrado da coluna de precipitação, água líquida da nuvem, intensidade da chuva e os tipos de precipitação (convectiva e estratiforme).

O PR foi o primeiro radar projetado especificamente para monitoramento de chuvas para operar a partir do espaço. Apesar do pequeno histórico de dados e sofrer das mesmas incertezas acerca da acurácia das estimativas de chuva como fazem radares baseados em terra, o sensor emitiu informações do tamanho das gotículas nas nuvens, oferecendo informações da estrutura vertical da precipitação (KUMMEROW, 2000).

O sensor fornece a intensidade da chuva com resolução horizontal de 4,3 km no nadir e resolução vertical de 250m da superfície da Terra até 20 km de

altitude. Além disso, os dados contêm informações dos tipos de chuva baseados nos padrões verticais. Com isso, ele permite medir a precipitação em formato tridimensional, a espessura da camada e a precipitação que chega a superfície. Sua resolução espacial permite que ele capte sistemas convectivos superiores a 16 km², e devido ao fato da resolução temporal ser baixa sugere-se que ele realize amostragens de sistemas convectivos de longa duração (YOSHIDA, 2009).

O LIS é um sensor óptico passivo que detecta e localiza eventos de raios na faixa do oxigênio (0,777) μm.

Os dados do instrumento CERES podem ser usados para estudar a energia trocada entre o Sol, a atmosfera e a superfície terrestre. No entanto, o sensor só funcionou de janeiro de 1998 à março de 2000, portanto, o registro de dados disponíveis é bastante curto (NASA, 2015).

Para estimar a precipitação, o satélite TRMM combina os dados de microondas passivo (HQ – *High Quality Microwave Estimates*) com dados de infravermelho (VAR – *Variable Rain Rate IR Estimates*) (BIAZETO, 2007).

Estudos vêm sendo realizados para obter medidas de precipitação para a Amazônia, comparando dados de superfície e dados de radar meteorológico, e até integração entre dados de superfície e de satélite (NÓBREGA *et al.*, 2008).

Vários resultados relacionados a validação do uso do TRMM na estimativa da precipitação foram encontrados, como pode-se citar a análise feita por Collischonn (2006) que encontrou erros relativos de 9% para a precipitação acumulada anual comparada por dados de superfície, sendo esse resultado aproximado com o de Nóbrega *et al.* (2008) em que comparou os dados do TRMM com os de “*Climate Prediction Center*” (CPC), assim como os das estações meteorológicas da Sub-Bacia da Amazônia Ocidental.

Em um estudo comparativo com dados de postos pluviométricos e estimativas do TRMM, Anjos e Nóbrega (2013) observaram que as raízes do erro médio quadrático, entre os dados estimados e observados, diminuem do litoral para o sertão em Pernambuco.

3.6 Algumas aplicações do TRMM para estimativas de precipitação

Alguns trabalhos que utilizam dados do TRMM vêm se destacando pela validação dessas estimativas comparando-as com dados observados, além da sua aplicabilidade nas mais variadas atividades humanas, incluindo agricultura e uso e ocupação do solo.

Baseando-se nessas aplicabilidades, Costa e Souza (2012) avaliaram a qualidade das estimativas do TRMM para subsidiar na avaliação da mudança no uso do solo em Ourém, no Pará. A partir da confirmação da boa qualidade estatística das estimativas, os autores conseguiram identificar as variações espaciais no uso do solo, a partir dos dados de precipitação. No que concerne a utilização das estimativas para avaliação agrometeorológica, Fuzzo *et al.*, (2015) avaliaram a qualidade dos dados do satélite e verificaram que a sua qualidade na acurácia e na resolução espacial permitem o seu uso como dados de entrada para modelagem de produtividade de soja no estado de São Paulo.

Anjos e Nóbrega (2013) compararam dados observados no estado de Pernambuco com as estimativas diárias do satélite TRMM entre os anos de 1998 e 2010. As maiores diferenças foram encontradas próximos ao litoral do estado, onde foram subestimadas as estimativas, enquanto nos pontos situados mais ao interior possuíram as melhores estimativas, porém com superestimação.

Com resultados semelhantes, Soares *et al.* (2016) verificaram que as variações espaciais e sazonais das chuvas estimadas no estado da Paraíba são próximas dos dados observados. É válido acrescentar que os autores encontraram também uma tendência de diminuição dos erros de pontos em regiões litorâneas para os que estão localizados no interior do estado. Além disso, eles concluíram que no período seco na Paraíba, as estimativas tendem a se aproximar dos dados observados.

Abrangendo escalas geográficas maiores, Pereira *et al.* (2013) identificaram que a variação espacial e sazonal das chuvas dar-se-á de maneira diferenciada de acordo com as Regiões no Brasil. No Nordeste, os valores das estimativas do satélite TRMM superestimaram os dados observados em aproximadamente 9%, mostrando boa concordância entre os dados. É válido

acrescentar que algumas regiões como o Centro-Oeste e o Norte, tiveram correlações estatísticas maiores no período mais seco do ano.

No entanto, Louzada *et al.* (2015) identificaram que as estimativas na Bacia do Rio Doce, localizada entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, tendiam a ter menores correlações estatísticas nos períodos secos (Junho, Julho, Agosto). Tais evidências contraditórias acerca do período que o satélite tende a estimar melhor as chuvas, reflete uma complexidade nas possíveis causas que promovam essa variação espacial e sazonal dos erros.

Com o intuito de verificar quais os tipos de chuvas (estratiformes e convectivas) atuantes no estado de Pernambuco, Anjos *et al.* (2016) perceberam que as intensidades das chuvas stratiformes diminuem a medida que se distanciam do litoral, o que não acontece com as chuvas convectivas. Tal fato poderia estar relacionado às variações dos erros das estimativas ao longo do estado de Pernambuco como Anjos e Nóbrega (2013) identificaram.

Buscando análises em escalas cartográficas maiores, Anjos *et al.* (2016), verificaram que em Petrolândia, na microrregião pernambucana de Itaparica, as estimativas tendiam a se distanciar dos dados observados nos meses mais secos (Junho à Agosto), evidenciando semelhanças acerca do período de maiores erros com o trabalho de Louzada *et al.* (2015). Os autores ainda identificaram que as taxas de intensidade das chuvas convectivas e stratiformes são mais evidentes na estação chuvosa, estando as chuvas formadas por processos de convecção em maiores quantidades. Além disso, foi percebido que apesar de em março a quantidade precipitada de chuvas convectivas tem seu maior pico no ano, as maiores proporções são de chuvas stratiformes.

Javanmard e Jamli (2015) utilizaram as estimativas do TRMM no Irã e verificaram que haviam maiores superestimações durante os meses mais frios. Utilizando comparações de chuvas mensais, os autores identificaram que as contribuições das chuvas convectivas são maiores, em comparação com a stratiforme, no entanto, essas contribuições tende a ser maior durante os meses frios.

Ochoa *et al.* (2014) utilizaram as estimativas das versões 6 e 7 do algoritmo 3B42 no oeste do Equador e Peru e perceberam que a gênese das chuvas e suas variações espaciais iriam contribuir para que a acurácia das estimativas se diferenciasssem de acordo com sua localização geográfica.

Indur e Kumar (2014) fizeram análises das frequências do TMI, sensor do satélite TRMM responsável por levantar dados a partir da radiação microondas com 20 combinações de canais, para avaliar a estimativa das chuvas na Índia. Perceberam que as estimativas se aproximam mais dos dados observados em canais de baixas frequências do que os canais com frequência maior que 85 Ghz.

Shrestha *et al.* (2015) usaram as estimativas do algoritmo 3A25 para avaliar a precipitação na região central do Himalaia. Foi identificada a relação entre a topografia, frequência das chuvas, intensidade da precipitação na região central do Himalaia.

Duan *et al.* (2015) analisaram os dados de postos pluviométricos localizados nas Montanhas Apalachianas comparando-os com as estimativas de precipitação e os tipos de chuvas estratiformes e convectivas atuantes na região. Houve uma concordância entre os dados, mas essa será determinada pelo regime de chuvas, incluindo as características das chuvas e sua intensidade. Os autores abordaram a importância em considerar as características do terreno para o satélite obter bons resultados nas estimativas.

Uma vez comprovada a eficácia da precisão das estimativas de chuva do TRMM, as mesmas podem ser utilizadas nas observações acerca de determinados fenômenos climáticos. Silva e Ferreira (2013), por exemplo, produziram mapas anuais de precipitação com estimativas do satélite TRMM para avaliar as variações espaço-temporal da chuva no Bioma Cerrado. Foi verificado a influência de fenômenos climáticos como El Niño e La Niña na distribuição das chuvas. Os autores verificaram que quanto maior fosse a quantidade de chuva, mais concentrada espacialmente era.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo abrange a Microrregião de Itaparica que está inserida no Semiárido Brasileiro e faz parte das microrregiões do estado de Pernambuco (Figura 7). É composta por sete municípios: Itacuruba, Belém de São Francisco, Floresta, Jatobá, Tacaratu, Itacuruba e Carnaubeira da Penha. Sua população ao total é de 134.933 habitantes (IBGE, 2016).

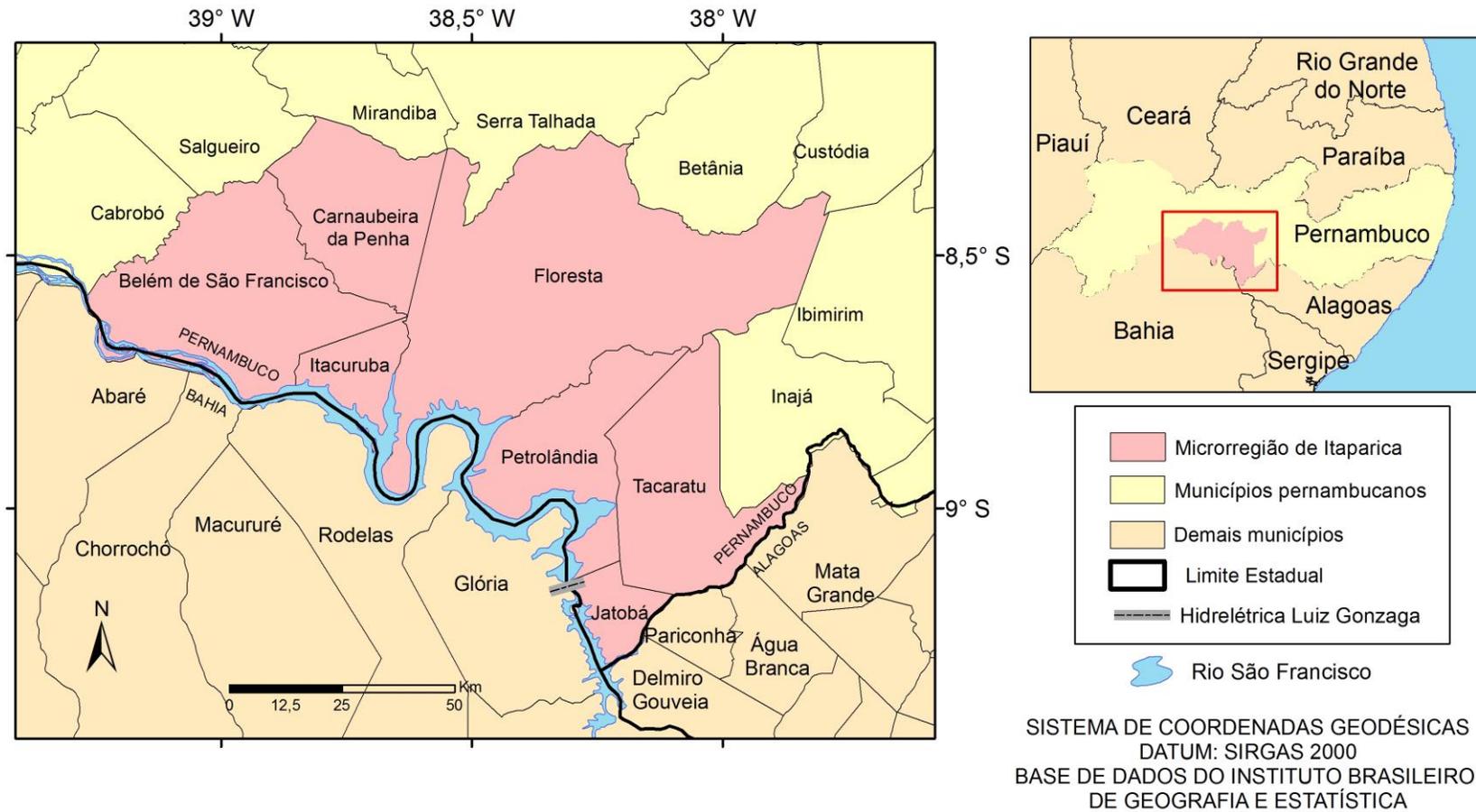
4.1 Processo histórico da Microrregião de Itaparica

A região que compreende a Microrregião de Itaparica teve seu primeiro impacto antrópico, entre 8.000 e 7.000 anos atrás, com migrações de populações que vinham das escarpas de planaltos sedimentares (São Raimundo Nonato), das cavernas e grutas existentes de pequenos maciços calcários residuais. Essas migrações páleo-indígenas se deslocaram do Piauí em direção ao leste e centro-sul e se estabeleceram nas margens alongadas das depressões interplanálticas, em área de sopé de escarpamento, buscando um conhecimento sobre os recursos naturais (AB' SABER, 1989).

A permanência dessas populações na ribeira do médio São Francisco pode ser justificada pelas condições favoráveis que se apresentavam naquele trecho do rio. Dentre essas condições, destacam-se: piscosidade, várzea brejosa com barreiros imensos e as terras firmes com floresta arbórea, em fase de readaptação às novas condições ambientais, que substituíam às que serviram de suporte à megafauna, extinta ou em extinção àquela época (SILVA, 2003).

Os vestígios deixados por esses povos pré-históricos servem de base para o entendimento do processo de ocupação de Itaparica. Muitos sítios arqueológicos encontrados ao longo da margem do São Francisco, evidenciam a presença de assentamentos humanas, que com a acelerada atividade pecuária, juntamente com a instalação da barragem Luiz Gonzaga, colocaram em risco a manutenção desses vestígios (SILVA, 2003). Alguns desses registros, são de populações ceramistas que viviam em aldeias, que também eram caracterizadas pela agricultura nos setores de várzea que estavam localizados entre a foz do rio Pajeú e a sede do município de Belém de São Francisco.

Figura 7- Localização da Microrregião de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Apesar desses indícios pré-históricos, os primeiros registros dessa região, através da escrita, começaram no início do século XVII quando ocorreram as primeiras expedições missionárias de capuchinos franceses e, posteriormente, italianos. No entanto, vale ressaltar que comunidades indígenas já estavam presentes no processo de demarcação das terras (IBGE, 2016).

No que concerne ao processo de colonização portuguesa na região, Silva (2003) afirma que a população indígena passou por um processo de *aportuguesamento* através da cristianização de maneira lenta, desenvolvendo-se por mais de dois séculos. A autora ressalta que muitas vezes a associação a extinção desses povos dá-se de maneira equivocada, visto que as estratégias de dominação portuguesa camuflavam a sua existência levando a crer que sua extinção teria sido concretizada. O que houve na verdade, foram trocas culturais caracterizadas pela necessidade do português em se adaptar no meio geográfico, assim como a adesão de técnicas portuguesas pelas populações indígenas.

Com uma trajetória de agricultura de subsistência e atividade pecuária, a presença dos rios São Francisco e Pajeú tornaram-se um recurso importante para região. Esse dinamismo regional, teve seu ápice quando as atividades da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), em 1988, promoveram a criação da Usina Hidrelétrica de Itaparica ocasionando a inundação de cidades – como a de Petrolândia - assim como a criação de outras para suportar os funcionários para a execução da obra (IBGE, 2016). A Usina Hidroelétrica de Itaparica, chamada atualmente de UHE Luiz Gonzaga, entrou em operação com seis turbinas em 1990, produzindo 1500 MW de potência instalada (CODEVASF, 2015).

4.2 Clima

Para Ab'Saber (2003), as causas para a existência de uma região semiárida no centro de um continente úmido são bastante complexas. Para o autor, de modo geral, há uma certa importância da Massa Equatorial Continental (mEC) regar as depressões interplanálticas brasileiras. Apesar disso, células de alta pressão da atmosfera penetram fundo no espaço dos sertões durante o inverno austral, a partir das condições meteorológicas do Atlântico centro-

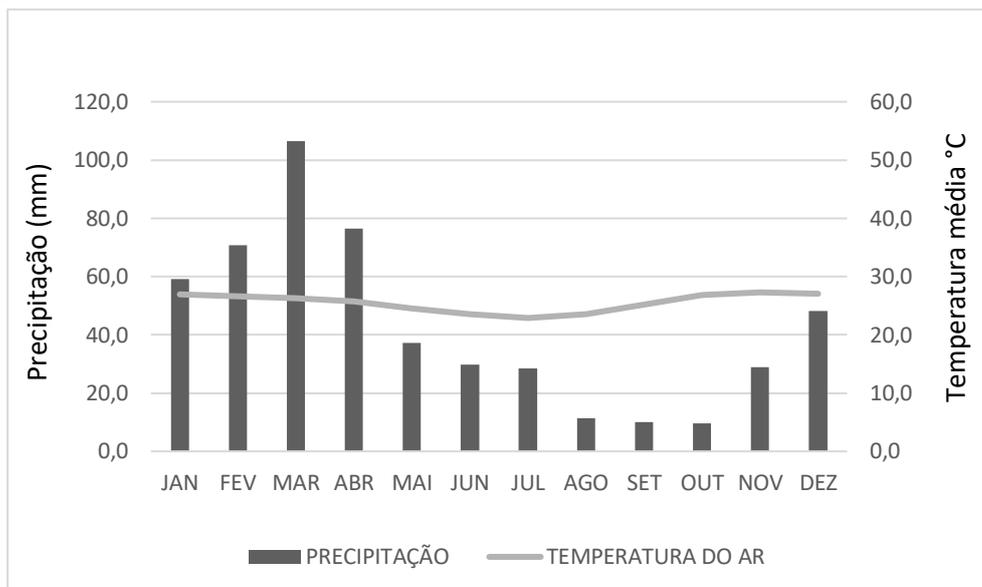
ocidental. No momento que a Massa Tropical Atlântica tem baixa condição de penetrar de leste para oeste as chuvas concentram-se apenas no Litoral e Zona da Mata no inverno. É válido ressaltar que o relevo possui papel primordial na distribuição das chuvas no semiárido nordestino, onde o Planalto da Borborema é caracterizada por uma barreira orográfica, impedindo o avanço da precipitação originadas na superfície marítima.

É a partir dessas características que o clima na Microrregião de Itaparica está inserido. Considerando todos os municípios da microrregião, a precipitação média anual é de 516,4 mm (UFCG, 2016), sendo extremamente concentradas ao longo do ano. Além da pouca pluviosidade, a média anual da temperatura média do ar de 25,5°C (UFCG, 2016), torna a perda de água bastante acentuada através da evapotranspiração.

Baseando-se na classificação climática de Köppen, o tipo climático na região é BShw', caracterizada por ser um clima semiárido, seco e quente com chuvas que abrangem o período de verão e outono. É válido ressaltar que a percepção do povo do semiárido diante das condições climáticas, o fazem designar o verão-chuvoso de "inverno", considerando o "verão" (inverno meteorológico) quando os rios intermitentes não possuem água em seus leitos (AB'SABER, 2003).

Ao visualizar o climograma da região na Figura 8, percebe-se que as chuvas tendem a se concentrar entre os meses de janeiro e abril, apresentando a maior precipitação no mês de março (106,6 mm). Os meses mais secos vão de agosto a outubro, com menor quantidade precipitada no mês de outubro (9,6 mm). Ao longo de todo o ano, a temperatura média do ar não possui variações significativas, embora apresente menores valores entre os meses de junho e agosto. A maior temperatura do ar está no mês de dezembro (27,0 °C) enquanto a menor temperatura está no mês de julho (22,9 °C).

Essas características climáticas associadas aos solos pouco férteis para agricultura, fazem com que as populações residentes nas áreas elaborem técnicas de convivências com o Semiárido.

Figura 8 - Climograma da Região de Itaparica baseados nas médias anuais dos municípios

Fonte: UFCG (2016)

Apesar da precipitação média anual ser limitada; se comparada com outras regiões do Brasil, como a amazônica; para o sertanejo o fator mais grave reside nas irregularidades climáticas periódicas que assolam o espaço social dos sertões secos. Por isso, a compreensão da variabilidade climática é de extrema importância para mitigar os efeitos dos eventos extremos, como a seca. Diante desse pressuposto, a média das precipitações anuais serve apenas para normatização e referência, em face dos dados climáticos obtidos em muitos anos (AB'SABER, 2003).

4.3 Relevo e Vegetação

A vegetação predominante na região é do tipo Caatinga Hiperxerófila (IBGE, 2016). Para Silva *et al.* (2003) a vegetação da Caatinga possui um elevado grau de variedade e endemismo. Por isso, o autor propôs uma classificação de áreas prioritárias para conservação da flora Caatinga tomando por base três critérios principais: existência de pelo menos uma espécie endêmica à área proposta, presença de espécies endêmicas ao bioma e ocorrência de fenômenos biológicos especiais. Por isso, existem duas áreas prioritárias para conservação da flora Caatinga que abrangem a Microrregião de Itaparica: Sertão do Submédio São Francisco e Xingó.

No Sertão do Submédio São Francisco, que abrange os municípios de Cabrobó, Floresta, Itacuruba e Belém do São Francisco, possui uma provável

importância biológica por ser uma área insuficientemente conhecida. Possui alta vulnerabilidade pela pressão das atividades antrópicas (agricultura). No geral, sua área é coberta por vegetação caducifólia espinhosa de porte baixo e pouca densa. É válido salientar que extensas áreas nos municípios de Belém de São Francisco estão em processo avançado de desertificação (SILVA *et al.*, 2003).

Na área de Xingó, que abrange os municípios de Tacaratu e Petrolândia, é considerada uma área de importância biológica muito alta com alta riqueza de espécie e um número médio de endemismos. Por ter uma vulnerabilidade alta, parte dessa área (9.000 ha) foi reservada pela CHESF antes da construção da hidrelétrica de Xingó, com o intuito de preservar remanescentes de uma caatinga arbórea (12 a 15 metros de altura) nos platôs e caatinga arbustivas nos cânions (SILVA *et al.*, 2003).

Seu relevo é bastante dissecado compostos por pediplanos com presença de relevos residuais (Figura 09). Nas cotas mais baixas, que variam entre 300 e 500 metros, predominam as Planícies e Terraços Fluviais do São Francisco e a Depressão Sertaneja. No entanto, algumas áreas mais elevadas com cotas que ultrapassam 1.000 metros estão em sua maior parte inseridas nas Bacias e Coberturas Sedimentares do Fanerozóico (Bacia Jatobá) que sofreram processo de soerguimento.

A maior parte da Microrregião de Itaparica está inserida em uma depressão que não recebe precipitação de maneira abundante, visto que as regiões mais elevadas da Bacia do Jatobá, localizadas nos municípios de Petrolândia, Tacaratu e Jatobá impedem por meio da barreira orográfica, o avanço das chuvas trazidas pelos ventos sudeste (Figura 10).

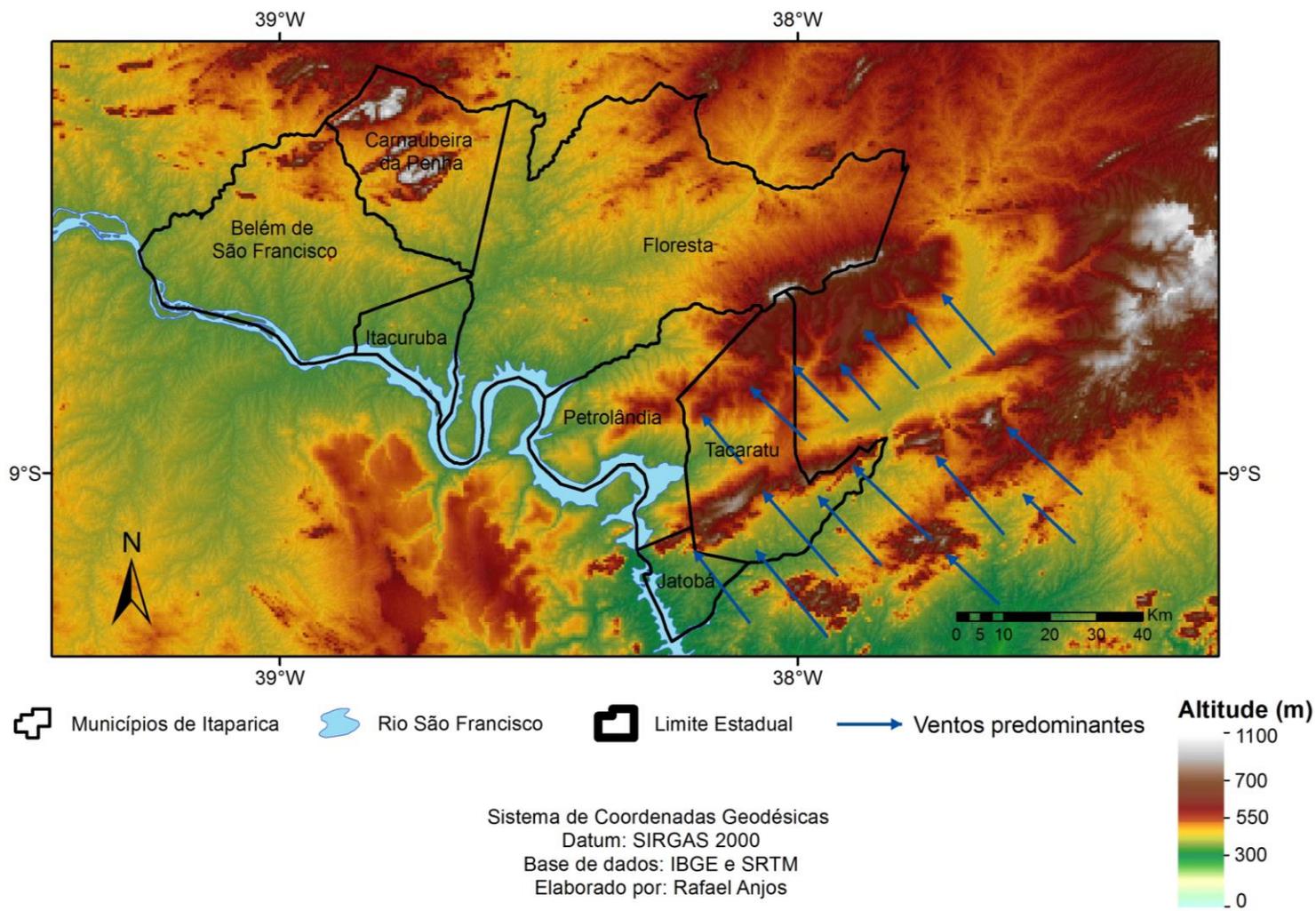
Figura 9 – Relevos residuais e o Rio São Francisco visto do município de Itacuruba

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

O relevo possui papel fundamental na distribuição espacial das chuvas na microrregião de Itaparica. Se forem analisados os dados de direção dos ventos do município de Cabrobó de 1998 a 2014 (INMET, 2016) percebe-se que os ventos de sudeste são os mais predominantes durante toda a série histórica. No entanto, em alguns meses do verão, os ventos eram provenientes do norte. É importante ressaltar que a orientação dos ventos, associadas a barreiras orográficas são uma das principais causas para uma menor precipitação no centro da microrregião de Itaparica, já que a mesma está numa região interplanáltica e a sotavento das encostas oriundas do Planalto da Borborema e da Bacia do Jatobá.

Portanto, o conjunto desses fatores, contribuem para que a média anual de precipitação nessa microrregião seja uma das mais baixas, se comparadas com outras do estado de Pernambuco.

Figura 10 - Níveis de altitude na Microrregião de Itaparica e seus ventos predominantes



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

4.4 Hidrografia

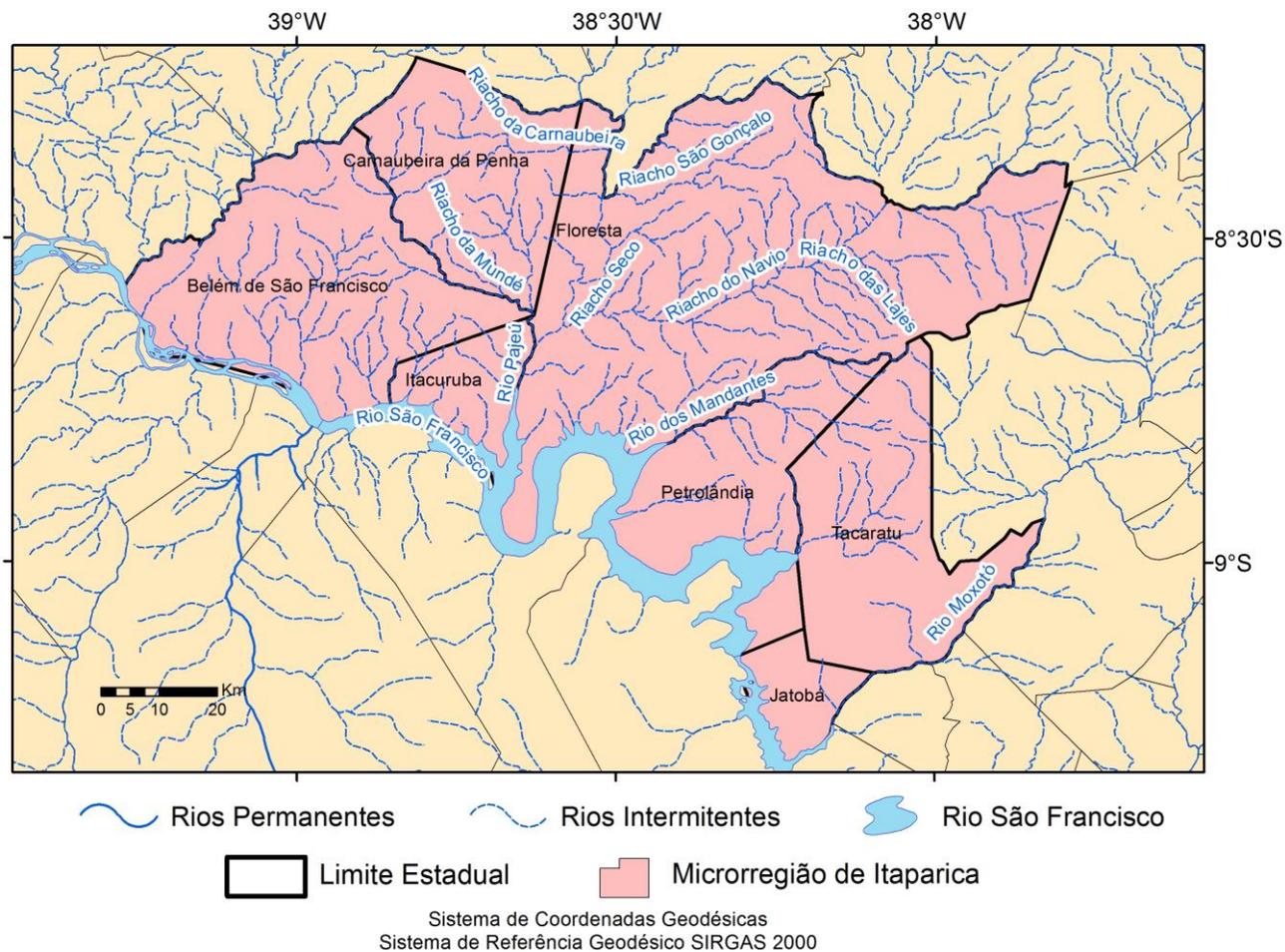
A Microrregião de Itaparica é caracterizada pela predominância de rios intermitentes distribuídos espacialmente, servindo em alguns casos como limites naturais para a divisão municipal (Figura 11). No entanto, a presença do Rio São Francisco como principal fonte de água para a população, torna-se primordial para as mais variadas atividades humanas.

Sob o ponto de divisão territorial da Bacia do São Francisco, Itaparica está inserida na região do Submédio São Francisco, que está compreendida entre o reservatório de Sobradinho (Remanso) e Paulo Afonso. No que concerne a produção de energia elétrica através do Rio São Francisco, a barragem hidrelétrica de Itaparica possui potencial de produção de até 1.500 MW (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

No que concerne as cheias no Rio São Francisco, a barragem de Itaparica apresenta características favoráveis ao controle de enchentes, porém, há uma restrição de nível máximo à montante, devido a possibilidade de inundações na cidade de Belém de São Francisco. No período de risco de cheias é executado um deplecionamento prévio do lago, com o intuito de evitar que o remanso criado cause transtornos à população (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

As atividades agrícolas em alguns municípios encontram bastante empecilhos para sua efetivação, mesmo com água disponível para irrigação. Rocha-Filho et al. (2016) perceberam que o solo torna um fator limitante para a produção agrícola no município de Itacuruba, no entanto, a presença do Rio São Francisco, faz com que a população local busque medidas para aproveitamento desse recurso natural, promovendo atividades de piscicultura e avicultura.

Figura 11 - Hidrografia da Microrregião de Itaparica



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

4.5 Dados utilizados do satélite TRMM

Foram utilizados dados de três algoritmos do satélite TRMM: 3B43_V7, 3A25 e 2A25 (disponibilizados no link: disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded). O algoritmo 3B43_V7 é responsável pelas estimativas mensais de 1998 a 2014 numa resolução espacial de 0,25° (aproximadamente 27,5 km). O algoritmo 3A25 disponibiliza estimativas totais e taxas de intensidade das chuvas convectivas e estratiformes numa resolução espacial de 0,5° (55 km, aproximadamente). A variável utilizada do algoritmo 2A25 foi a refletividade estimado pelo radar de precipitação, fornecendo informações em três dimensões da precipitação com resolução espacial horizontal de 5 km e vertical de 250 metros. O Sistema Geodésico de Referência adotado pelo satélite é o *World Geodetic System 1984 (WGS 84)*.

4.6 Algoritmo 3A25

Uma série de produtos é produzida a partir da combinação dos sensores TMI e PR. A existência de vários produtos a partir dessa combinação é devido ao fato de que cada uma tem suas vantagens e desvantagens.

O algoritmo 3A25 é um dos produtos resultante dessa combinação. Ele por sua vez, disponibiliza vários tipos de dados cada qual representado por uma variável. Dentre os principais dados desse algoritmo seria as taxas (mm/h) dos tipos de chuvas convectivas e estratiformes, além da quantidade total precipitada na superfície (mm).

A taxa está ligada a estimativa de intensidade a partir do momento em que o satélite passa naquele dado momento. Ainda que o satélite estime a chuva daquele determinado ponto por alguns minutos três vezes ao dia, seu dado final será em (mm/h). O algoritmo 3A25 disponibiliza a média mensal de todas essas taxas em (mm/h) baseando-se na seguinte equação:

$$T_m = T_d / D \quad (1)$$

Em que T_m é a taxa média mensal em (mm/h), T_d a soma das taxas diárias em (mm/h), e D o número de dias em um mês que não tiveram valores nulos (0). Ou seja, se em três dias precipitou em apenas dois, o cálculo da taxa será efetuado sem considerar o dia que não choveu.

Os dados mensais em (mm) são estimados a partir das taxas (mm/h), em que se calcula a partir das taxas a quantidade total de milímetros precipitada em um mês.

A hierarquia dos dados segue-se da seguinte maneira: as combinações dos diferentes sensores do satélite irão compor os algoritmos, que por sua vez terão uma gama de variáveis – que são os dados finais - referentes aquela temática que o algoritmo está atrelado.

Ao todo, são 121 variáveis entre todos os algoritmos que se diferenciam entre si na maneira como os dados brutos são processados. Como exemplo, existe a variável surfRainConvMean2 que disponibiliza as médias das taxas de precipitação convectiva (mm/hr) na superfície com resolução de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$.

O PR emite um pulso de energia e ao retornar ela é proporcional ao diâmetro à sexta potência da gota iluminada pelo sensor, sendo este um dos métodos para avaliar o tipo de precipitação; quanto maior refletividade, maior será a gota e mais chance de a mesma ser proveniente de uma nuvem convectiva.

Outro processo de avaliação para detecção das chuvas convectivas e estratiformes é por meio da análise do perfil vertical das nuvens. Em condições de menor desenvolvimento vertical das nuvens, as partículas tendem a ter um movimento mais suave por meio da subsidência, favorecendo a uma certa estabilidade das isotermas. Por isso, quando se tem a presença de uma banda brilhante na atmosfera, as precipitações que são geradas nessa região são consideradas estratiformes.

Essa banda brilhante é caracterizada por ser uma faixa de alta refletividade devido ao derretimento de gelo agregado. Esse processo é justificado pois acima da isoterma de 0°C , o gelo cai numa velocidade terminal relativamente mais lenta e logo que o gelo atinge essa isoterma, o mesmo começa a derreter de fora para dentro. Quando ocorre esse processo, a superfície da partícula de gelo fica, momentaneamente, com água em estado líquido enquanto o interior permanece no estado sólido. Quando o radar detecta essa partícula, o identifica como uma grande gota de água, podendo aumentar significativamente a refletividade do radar (OLIVEIRA, 2014).

Com a queda da neve, e conseqüentemente o seu aumento de velocidade e diminuição do seu tamanho a refletividade do radar começa a diminuir em níveis mais baixos. Ao fim, ao serem analisadas o perfil vertical da refletividade, é observada uma faixa com alta refletividade que pode alterar significativamente o resultado da estimativa de precipitação. Por isso, justifica-se a utilização de métodos para correção desse possível erro (OLIVEIRA, 2014).

Partindo dos pressupostos acima podemos fazer um pequeno esboço para classificação das chuvas (ARAÚJO, 2015):

I – Quando a Banda brilhante existe, a chuva é considerada estratiforme.

II – Quando a Banda Brilhante não é detectada, e o valor de refletividade (Z) excede 40 dBZ ou o topo da nuvem está a mais de 15 km é considerada como chuva convectiva.

III – Quando o eco do radar não é forte para ser considerado como convectivo, quando não é detectado Banda Brilhante e quando não existem ruídos, a chuva é classificada como outros.

4.9 Algoritmo 3B43

Os instrumentos de medição de chuva sobre o satélite incluem o *Precipitation Radar* (PR), um radar de varredura eletrônica operando a 13,8 GHz; *TRMM Microwave Image* (TMI), um radiômetro de micro-ondas no canal nove; e o *Visible and Infrared Scanner* (VIRS), um radiômetro no canal cinco do visível/infravermelho.

A proposta do algoritmo é produzir taxas de precipitação, erro das estimativas do satélite com outras fontes de dados e estimativas mensais de chuva. Para chegar ao resultado, são combinadas estimativas independentes do TMI, do Radiômetro de Escaneamento de Microondas Avançado, Sensor de Imageamento do Microondas, Sonda de Microondas da Umidade, do acumulado mensal de precipitação do Centro de Estações Pluviométricas Global, dentre outros. Todos os dados de entrada do microondas são intercalibrados para o *TRMM Combined Instrument* (TCI) (Produto para estimativas do 3B31); as estimativas do Infravermelho são computadas tomando por base o histograma

correspondente a média mensal e então, as faltas de dados de 3 em 3 horas do microondas são complementadas pelas estimativas do infravermelho.

Depois do pré-processamento, os dados com resolução temporal de 3 horas são somados para um mês e combinados com dados de estações de maneira que as estimativas fiquem melhores. Os resultados finais do algoritmo 3B43 são estimativas mensais, com resolução espacial de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, abrangendo até as latitudes 50° Norte e 50° Sul (NASA, 2015).

4.10 Algoritmo 2A25

Os objetivos desse algoritmo são corrigir a atenuação da refletividade medida pelo radar e estimar a distribuição instantânea em três dimensões da chuva a partir do *Precipitation Radar* (PR). As estimativas do perfil vertical, que são medidas a partir da atenuação corrigida da refletividade do radar, são dadas para cada célula de resolução do PR. A taxa da estimativa da chuva da altura da superfície e a média da taxa de precipitação entre duas altitudes pré-definidas (2 e 4km) são calculadas para cada posição do feixe (NASA e JAXA, 2005).

A maioria dos dados de entrada do 2A25 são medidos pela refletividade do radar. O algoritmo define primeiramente a região do processamento, levantando os dados entre o topo da chuva e a menor altura acima da superfície que está livre de algum tipo de ruído que possa comprometer o resultado final do radar (NASA & JAXA). Posteriormente a essa fase, a região de hidrometeoros na fase líquida, sólida e mista é definida a partir de informações da altura da banda brilhante (BB) e da temperatura climatológica da superfície, onde para estimar a precipitação é necessária a seguinte relação na Equação 2:

$$R = aZ_e^b \quad (2)$$

Onde R é a estimativa da precipitação, Z_e é o fator de refletividade efetiva, e os coeficientes a e b levam em conta o tipo de chuva, a altura da isoterma de 0°C , o topo da tempestade, presença ou não da banda brilhante, densidade do ar, mudança de fase, temperatura e velocidade terminal dos hidrometeoros (ARAÚJO, 2015).

As resoluções temporais e espaciais do algoritmo são divididas em dois períodos: antes de 07 de agosto de 2001 e após 24 de agosto de 2001. No

primeiro período, o tempo para cada órbita do satélite era de 91,5 minutos (16 órbitas por dia), resolução horizontal de 4,3 km e largura da faixa do radar de 215 km. No segundo período, o tempo da órbita passou para 92,5 minutos (16 órbitas por dia), 5 km de resolução horizontal e 247 km de largura da faixa com dados do radar. Em ambos os períodos o formato de saída dos dados está em HDF com 250 metros de resolução vertical.

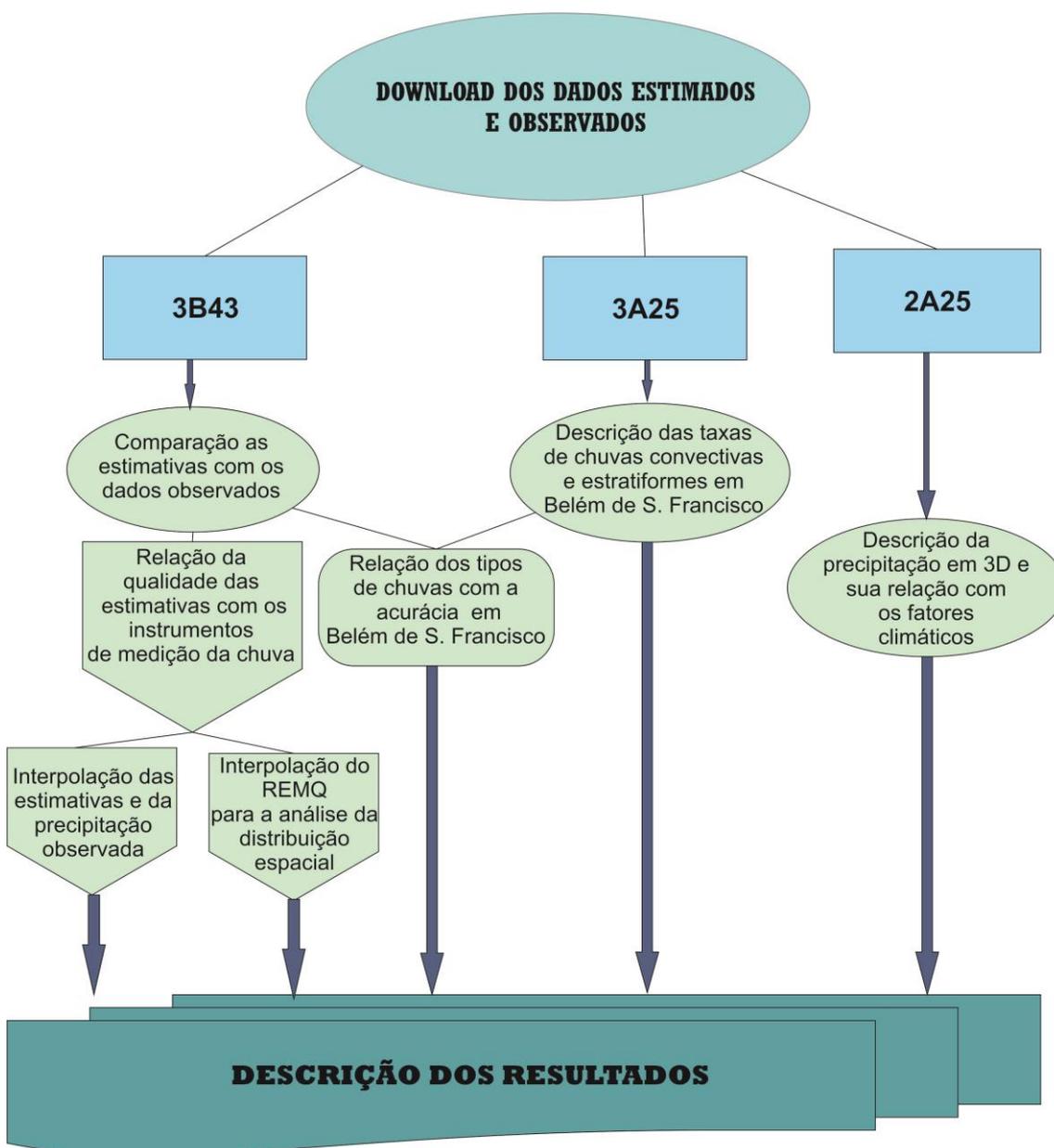
Dentre as inúmeras variáveis disponibilizadas pelo algoritmo, para a pesquisa, foi utilizada a *correctZFactor*, que disponibiliza a refletividade do radar com a atenuação corrigida em dBZ. Esses dados de saída são visualizados em três dimensões de modo que é necessário o software livre *TRMM Orbit Viewer* (THOR) para a sua visualização.

4.11 Metodologia

De maneira geral, a metodologia utilizada na dissertação foi dividida de acordo com os algoritmos do satélite TRMM (3B43, 3A25, 2A25). Portanto, ela está dividida em três etapas principais (Figura 12).

No entanto, foi necessário o cruzamento dos dados dos algoritmos 3A25 e 3B43 para relacionar a acurácia dos dados com as taxas de chuvas convectivas e estratiformes.

Figura 12- Fluxograma da metodologia



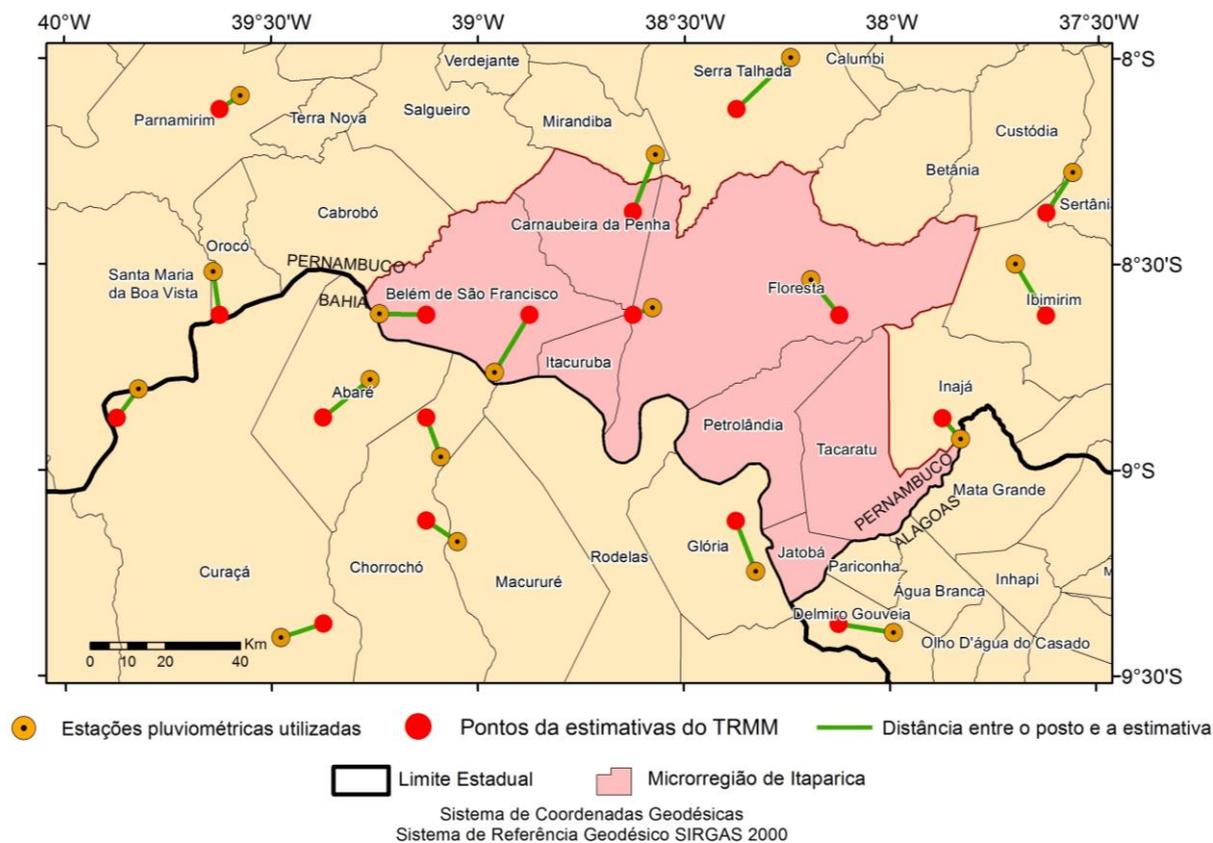
Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

4.12 Dados dos postos pluviométricos

Os dados das estações pluviométricas para comparação das estimativas estão disponibilizados no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Necessitou-se de fazer uma análise preliminar dos dados visto que eles estavam suscetíveis a descontinuidade na série temporal. Para fazer o processo de interpolação mais eficiente, foram incluídos dados de precipitação de municípios que estão no entorno da região.

Apesar das coordenadas das estimativas e dos postos pluviométricos estarem próximos (no máximo 18 km), os mesmos não coincidiam em sua localização. Por isso, tomou-se por base as coordenadas dos postos pluviométricos para dar início a interpolação (Figura 13).

Figura 13 - Postos pluviométricos e pontos das estimativas utilizados



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

4.13 Série temporal a ser estudada

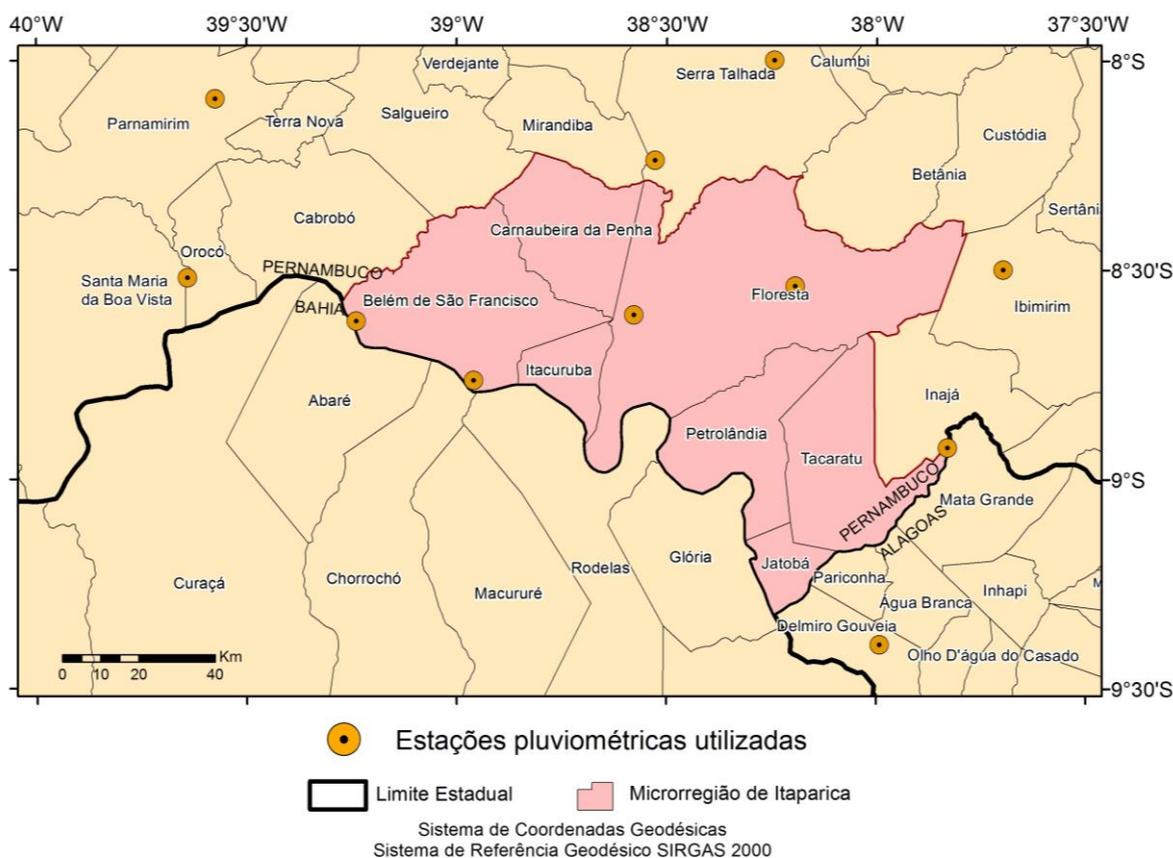
Para a pesquisa, foram utilizados os dados de precipitação observada de 18 postos pluviométricos e estimativas de chuvas de 01 de janeiro de 1998 à 31 dezembro de 2014.

Para o processo de interpolação dos dados, foi utilizado os dados de precipitação acumulada em duas séries históricas: (1998-2014) e (2005-2014). Deu-se preferência por esse procedimento, pois o número de postos pluviométricos com dados disponíveis aumentava a medida que a série histórica fosse mais curta. Por isso, as duas categorias para elaboração cartográfica da precipitação dividem-se em mapas com 17 anos de série histórica e 11 pontos

para interpolação (Figura 14); e outros com 10 anos de série histórica e 18 pontos para interpolação (Figura 15).

- a) **Municípios que tinham postos pluviométricos com série histórica de 1998 a 2014:** Belém de São Francisco-Sede (PE), Belém de São Francisco-Ibó (PE), Delmiro Gouveia (AL), Floresta- Sede (PE), Floresta (Airi), Inajá (PE), Mirandiba (PE), Serra Talhada (PE), Orocó (PE), Parnamirim (PE) e Ibimirim (PE).

Figura 14 - Distribuição dos pontos com dados de 1998 a 2014

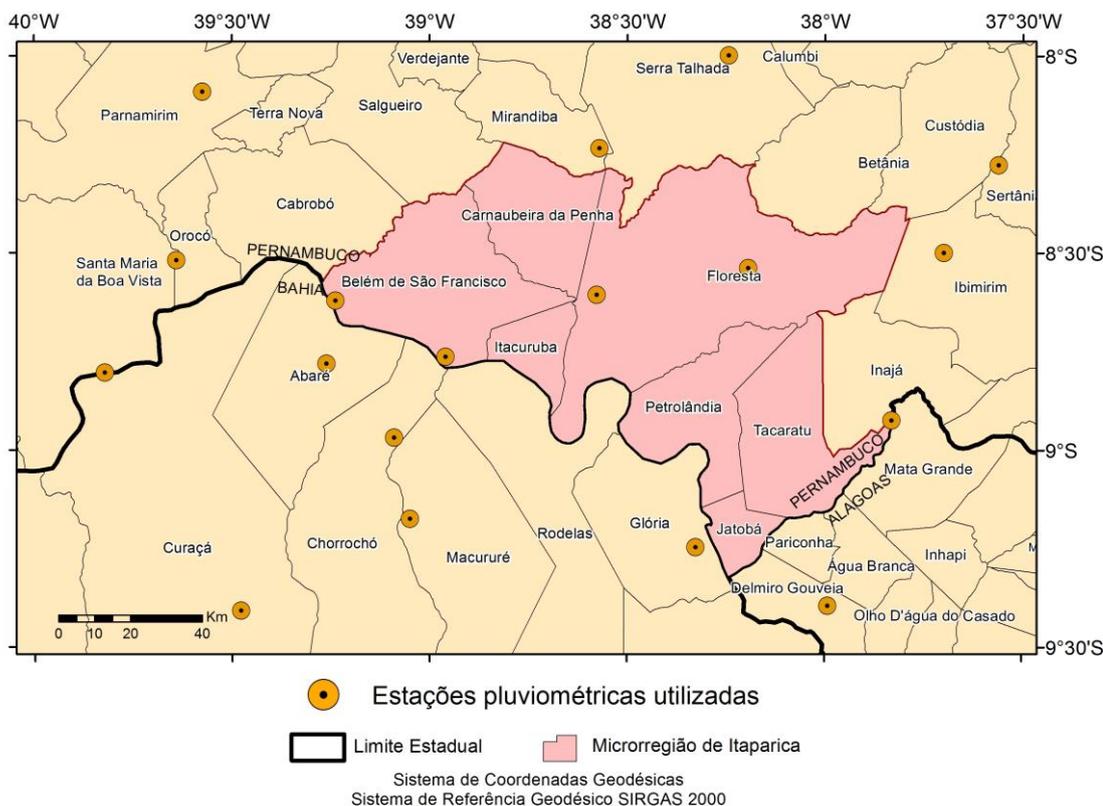


Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

- b) **Municípios que tinham postos pluviométricos com série histórica de 2005 a 2014:** Abaré (BA), Chorrochó (BA), Mirandiba (PE), Curaçá (BA), Glória (BA), Parnamirim (PE), Macururé (BA), Inajá (PE), Sertânia (PE), Serra Talhada (PE), Santa Maria da Boa Vista (PE), Floresta-Airi (PE),

Belém de São Francisco-Sede (PE), Belém de São Francisco (Ibó), Floresta (PE), Orocó (PE), Delmiro Gouveia (AL), Ibimirim (PE).

Figura 15 - Distribuição dos pontos com dados de 2005 a 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Para saber a correlação dos erros com os anos mais chuvoso, seco e próximo da média anual de precipitação do período estudado, foi obtido a média anual da precipitação observada para todos os pontos, de maneira que cada ano tinha um valor referente a média de todos os postos inseridos na área de estudo (Figura 16). Assim, através dos cálculos se teve:

Figura 16 - Médias anuais para a área de estudo em mm.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	MÉDIA PARA O PERÍODO
Média anual para a região	571,5	400,7	408,6	617,8	600,9	531,6	477,3	154,9	276,6	374,2	441,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

A média de precipitação anual para a região, baseando-se na normal climatológica, é de 516,4 mm. Portanto, o ano mais próximo da média foi o ano de 2010 (531,6 mm), o mais chuvoso foi 2008 (617,8 mm) e o mais seco em 2012 (154 mm).

4.14 Softwares a serem utilizados

A princípio, para serem visualizados os dados das estimativas 3B43 - que estão no formato binário - e exporta-lo em arquivo de texto foi preciso do software livre GraDs. Para fazer o processo de conversão foi necessário o uso de um script elaborado por Neto e Nóbrega (2009).

Para interpolar todos os pontos com dados de precipitação e representá-los cartograficamente utilizou-se o software ArcGis 10.2 com licença do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco.

Para fazer o mapa em 3 dimensões da estrutura vertical das chuvas foi utilizado o software Thor que consegue abrir dados no formato HDF, além de fazer a produção cartográfica no ArcGis 10.2.

4.15 Análise estatística

Para comparação das estimativas do algoritmo 3B43 com os dados dos postos pluviométricos e, assim, verificar a acurácia das estimativas em relação a sua variabilidade espaço-temporal foi utilizado o método comparativo baseado no trabalho de DINKU et al. (2007). A seguinte análise estatística baseou-se nas Equações 3, 4 e 5 :

$$EM = \frac{1}{N} \sum (P_{est} - P_{obs}) ; \quad (3)$$

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum (P_{est} - P_{obs})^2} \quad (4)$$

$$PE = 1 - \frac{\sum (P_{est} - P_{obs})^2}{\sum (P_{obs} - \overline{P_{obs}})^2} \quad (5)$$

Onde (Pest) são as estimativas do TRMM, (Pobs) são os dados observados dos postos pluviométricos, (\overline{Pobs}) é a média dos dados observados e N o número de meses para o ano.

O Erro Médio (3) corresponde a diferença entre a precipitação estimada e observada por mês, em mm. A Raiz do Erro Quadrático Médio (4) corresponde a precisão e a acurácia das estimativas e apresentar-se-á em mm/mês, a mesma torna relevante para análise em valores absolutos da diferença, sem a existência de números negativos.

A Pontuação de Eficiência (5) pode variar do mínimo infinito até o valor de 1. É relevante considerar sua análise, nessa pesquisa, a partir de três situações:

1 - Quando existem valores negativos, mostra que a precipitação observada tem variação pouco acentuada em relação a sua média de toda a série histórica, diante da alta diferença entre as estimativas e os dados observados. Ou seja, quando ocorre essa situação, a baixa variabilidade da precipitação observada associada aos consideráveis erros mostram que as estimativas falharam em quantificar a chuva, tornando a estimativa pouco aconselhável para análise.

2 – Quando existem valores próximos de 0, pode mostrar uma associação entre alta variabilidade da chuva dos postos pluviométricos, com consideráveis erros entre as estimativas e os dados observados. Pode-se admitir que esse fato também está associado a uma baixa variabilidade da precipitação com baixos erros. De modo geral, esse valor mostra que as diferenças tendem a se aproximar da variação da precipitação observada, podendo nesse caso admitir que tanto a estimativa quanto os dados observados podem estar próximos do valor real.

3 – Em caso de valores próximos a 1, indicam que apesar da alta variação da precipitação observada, as estimativas tendem a acompanhar os valores da precipitação observada, mostrando a boa habilidade do satélite em quantificar a chuva mesmo em situações que o forçam a ter um erro considerável.

4.16 Interpolação da precipitação estimada, observada e REQM

Após o processamento dos dados a etapa seguinte foi constituída pela interpolação dos dados de precipitação observada e estimada para todas as categorias série temporal já mencionadas. O método de interpolação utilizado

para precipitação foi o método de Krigagem Ordinária pois mostrou melhor desempenho que o modelo de interpolação IDW (Ver Apêndice).

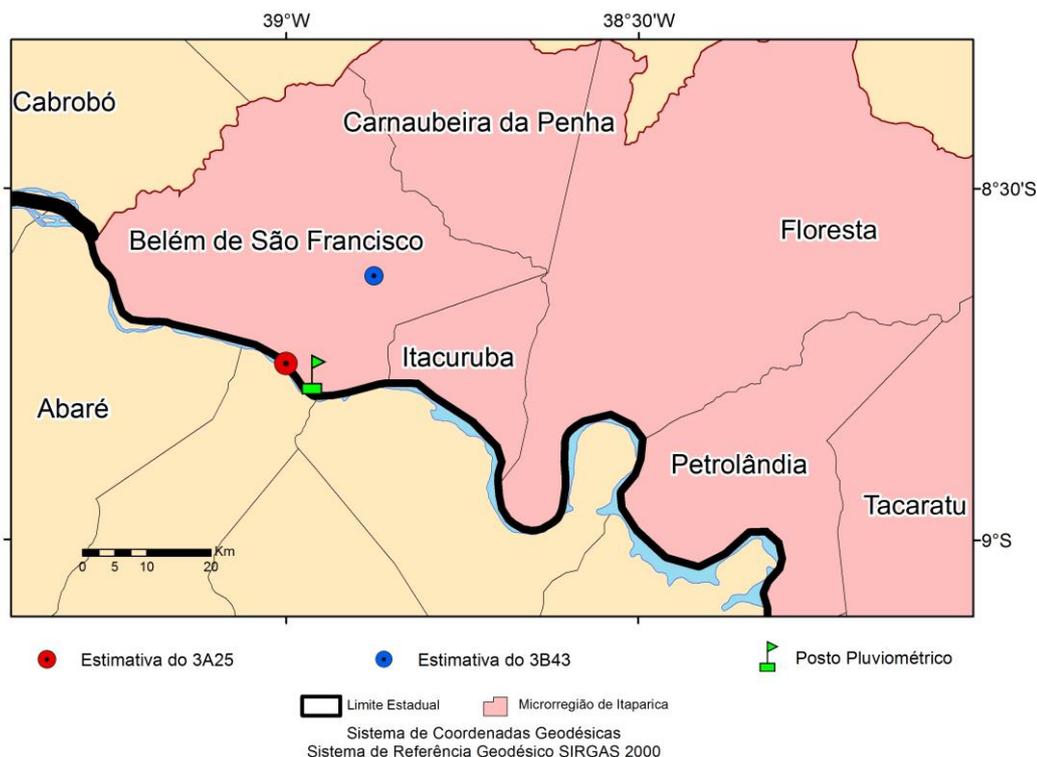
Vale considerar que o semivariograma para a interpolação das estimativas do TRMM de 1998 a 2014 não apresentaram uma dependência espacial considerável. Apesar da validação cruzada mostrar pouca eficiência na previsibilidade das amostras das estimativas do satélite nesse período, os erros foram menores que o encontrado no método IDW.

Os valores de REQM para cada ponto estimado e observado foram interpolados para se ter uma noção da variabilidade espacial dos erros. Partindo da premissa que não existe uma dependência espacial dos erros – já que esses podem ser advindo de causas locais como falhas humanas na medição da chuva, equipamentos com função comprometidas – o método de interpolação trabalhado foi o IDW.

4.17 Análise do comportamento das chuvas estratiformes e convectivas

Devida a baixa resolução das estimativas do algoritmo 3A25 ($0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ ~55km) para a região estudada, a produção e um mapa de tipos de chuvas convectivas e estratiformes não iria ter resultados satisfatórios. Por isso, foi necessária uma análise pontual das estimativas totais de precipitação mensal e dos tipos de precipitação dentro no município de Belém de São Francisco. Esse município foi selecionado pois era o único que possuía os pontos das estimativas e do posto pluviométrico próximos uns dos outros (Figura 17). Para saber a relação dos tipos de chuvas com a acurácia das estimativas totais de precipitação foram também utilizados os dados do posto pluviométrico localizado no município já mencionado.

Figura 17 - Localização das estimativas do 3B43, 3A25 e do Posto Pluviométrico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

4.18 Elaboração do mapa e 3D dimensões da precipitação

Os mapas de precipitação foram produzidos a partir da importação dos dados no software *TRMM Orbit Viewer* (THOR). Diante das limitações do software na produção do layout final, foi necessária a finalização das imagens no ArcGis 10.2.

É válido salientar que a faixa de levantamento dos dados do radar é de apenas 247 km, disponibilizando os dados instantaneamente ao longo de sua faixa de varredura. Para uma análise mais concisa, deu-se preferência os dias que correspondem ao mês mais chuvoso de toda a série histórica, que foi em janeiro de 2004. Por isso, foi necessário encontrar ao longo de todo o mês de janeiro, dias em que o radar identificasse precipitação e abrangesse a Microrregião de Itaparica. Portanto, os dias que tiveram essas características foram 16 e 19 de janeiro de 2004. Para auxiliar na análise dos mapas de precipitação, foi utilizado imagens do satélite *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES).

O satélite *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES) possui órbita geossíncrona ao longo do Equador. Esse tipo de órbita (35.800 km de altura da Terra) permite o monitoramento contínuo do comportamento da atmosfera, com o objetivo de analisar o desenvolvimento da precipitação, furacões, tempestades. A sua principal missão está ligada aos seus sensores a bordo: o imageador e a sonda. O imageador é um instrumento multicanal que detecta a energia solar refletida da superfície terrestre e atmosférica. A sonda disponibiliza dados para determinar a temperatura vertical e o perfil de umidade da atmosfera, superfície e temperatura do topo das nuvens (NOAA, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Precipitação estimada e observada acumulada de acordo com os períodos disponíveis

De modo geral, as estimativas do TRMM superestimaram os dados de todos os postos pluviométricos utilizados. No entanto, a localização geográfica da Microrregião de Itaparica reflete em boas correlações estatísticas entre os dados observados, já que autores como Soares et al. (2016), assim como Anjos e Nóbrega (2013) identificaram que pontos mais distantes do litoral possuíam mais aproximações entre os dados observados e estimados.

Ao analisar o acumulado de precipitação estimada e observada em todos os postos pluviométricos analisados, de acordo com a disponibilidade da série histórica dos dados, foi observado que o menor erro foi no município de Delmiro Gouveia, em Alagoas, com erro médio de 4,69 mm/mês (Figura 18).

O município de Abaré, localizado na Bahia, foi o que apresentou o maior erro médio para o período, apresentando 22,3 mm. Se expandirmos esse erro para um ano, o erro seria de 267,6 mm, o que representaria 51% da média de precipitação anual da Microrregião de Itaparica. É válido ressaltar que o período disponível foi de 2003 a 2014, diferenciando-se de Delmiro Gouveia (1998-2014).

Se forem consideradas apenas os postos que estão nos municípios da Microrregião de Itaparica, o que estava localizado no distrito de Ibó – em Belém do São Francisco - foi o que teve o menor erro das estimativas com 7,69

mm/mês. A maior diferença entre os dados estimados e observados na microrregião foi na sede do mesmo município, com 11,43 mm/mês.

É válido ressaltar que o período dos dados não é um fator determinante para melhores resultados, visto que postos que tiveram dados com maiores períodos (Inajá) tiveram quase os mesmos REQM que os postos com menores períodos (Chorrochó). Isso descarta a possibilidade de um maior período dos dados terem influência no cálculo da acurácia das estimativas.

Figura 18 - Precipitação observada e estimada em (mm), diferença (mm), erro médio (mm/mês), raiz do erro quadrático médio (REQM), pontuação de eficiência (PE) e período dos dados em ordem crescente do erro médio, em destaque os municípios da Microrregião de Itaparica.

CIDADE	DADOS OBS	DADOS TRMM	DIFERENÇA	ERRO MÉDIO	REQM	PE	PERÍODO DOS DADOS
Delmiro Gouveia	8313,1	9270,3	957,2	4,69	67,02	0,987	1998/2014
Orocó	8196,2	9521,2	1325	6,49	92,77	0,974	1998/2014
Belém S. Francisco (Ibó)	7936,2	9504,9	1568,7	7,69	109,83	0,961	1998/2014
Floresta	7914,7	9511,9	1597,2	7,83	111,83	0,959	1998/2014
Santa Maria da Boa Vista	7057,2	8732,5	1675,3	8,73	120,91	0,943	1999/2014
Floresta (Airi)	8267,4	10230,7	1963,3	9,62	137,46	0,943	1998/2014
Serra Talhada	10459,2	12443,8	1984,6	9,73	138,95	0,964	1998/2014
Parnamirim	8898,4	11035,6	2137,2	10,48	149,63	0,942	1998/2014
Ibimirim	9081,3	11295,7	2214,4	10,86	155,04	0,94	1998/2014
Belém S. Francisco	6969,5	9305	2335,5	11,45	163,52	0,887	1998/2014
Sertânia	5814,7	7247	1432,3	11,94	130,75	0,938	2005/2014
Macururé	3593,7	5126,4	1532,8	12,77	139,92	0,815	2005/2014
Glória	3289,09	4911,8	1622,7	13,52	148,13	0,752	2005/2014
Mirandiba	8143,9	11068,7	2924,8	14,34	204,77	0,87	1998/2014
Inajá	7452,9	10403,8	2950,9	14,47	206,6	0,842	1998/2014
Curaçá	3434,2	5309,1	1874,9	15,62	171,16	0,697	2005/2014
Chorrochó	3677,1	6505,6	2828,5	19,64	235,71	0,4	2003/2014
Abaré	3534,2	6735,3	3201,1	22,23	266,76	0,168	2003/2014

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Se forem analisadas a pontuação de eficiência (PE), pode-se perceber que o município de Delmiro Gouveia também apresenta bons resultados em relação a habilidade das estimativas das chuvas em quantificar do modo mais aproximado os dados observados. Se considerarmos os dados dos municípios que estão em Itaparica, os resultados são os mesmos dos erros médios. No entanto, percebe-se que a pontuação de eficiência não acompanha o erro médio ao longo dos municípios, visto que Sertânia apresenta erro médio mensal maior que Belém de São Francisco, mas pontuação de eficiência melhor. Tal fato, infere-se que apesar da alta diferença entre as estimativas e os dados observados, a alta variabilidade da chuva justifica uma pontuação de eficiência maior, quando comparada a municípios que possuem altas diferenças das estimativas, mas com baixa variabilidade da chuva.

No que concerne aos municípios de Chorrochó e Abaré, a pontuação de eficiência próxima de zero, pode indicar que existe uma alta variabilidade da precipitação associada a uma considerável diferenciação entre as estimativas e a precipitação dos postos pluviométricos, mostrando que não se pode ter certeza qual tipo de dado pode estar mais próximo do real.

Observando a Figura 19, podemos verificar que não há uma diferença entre as entidades operadoras, visto que todos os postos pluviométricos foram operados pela CPRM, exceto o posto localizado em Macururé que foi pelo IPA. É válido ressaltar que o modo de coleta não influenciou na qualidade dos dados, visto que o posto pluviométrico que teve as melhores correlações com as estimativas mantém como modo de coleta o tipo convencional, no município de Delmiro Gouveia. Segundo os relatórios das manutenções das estações, disponibilizados pela ANA, alguns postos possuem ao longo de sua série histórica os dois métodos de coleta, utilizando em sua maioria a partir de 2010, a telemetria.

Figura 19 - Erro médio entre as estimativas e os dados observados em ordem crescente (mm/mês), entidade operadora dos postos pluviométricos e o modo de coleta dos pluviômetros.

CIDADE	ERRO MÉDIO	ENTIDADE OPERADORA	MODO DE COLETA
Delmiro Gouveia	4,69	CPRM	CONVENCIONAL
Orocó	6,49	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Belem S. Francisco (Ibó)	7,69	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Floresta	7,83	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Santa Maria da Boa Vista	8,73	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Floresta (Airi)	9,62	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Serra Talhada	9,73	CPRM	CONVENCIONAL
Parnamirim	10,48	CPRM	CONVENCIONAL
Ibimirim	10,86	CPRM	CONVENCIONAL
Belem S. Francisco	11,45	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Sertania	11,94	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Macururé	12,77	IPA	CONVENCIONAL
Glória	13,52	CPRM	CONVENCIONAL
Mirandiba	14,34	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Inajá	14,47	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Curaçá	15,62	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Chorrochó	19,64	CPRM	CONVENCIONAL/TELEMÉTRICA
Abaré	22,23	CPRM	CONVENCIONAL

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Diante das análises obtidas, percebe-se que a tecnologia integrada ao posto pluviométrico não está associada a melhores estimativas, inferindo que outros fatores como os tipos de chuvas e regime de precipitação podem estar associados a erros consideráveis. De certo modo, uma alta variabilidade temporal e espacial das chuvas pode indicar que não se pode ter como referência os dados observados. Esse fato é evidenciado quando a pontuação de eficiência se aproxima de zero (0) nos municípios que apresentaram os maiores erros médios mensais (Chorrochó e Abaré), embora para este resultado pode-se ter uma baixa variabilidade da chuva associada a baixo erro na estimativa.

5.2 Produção cartográfica da precipitação estimada e observada e dos erros inerentes as estimativas

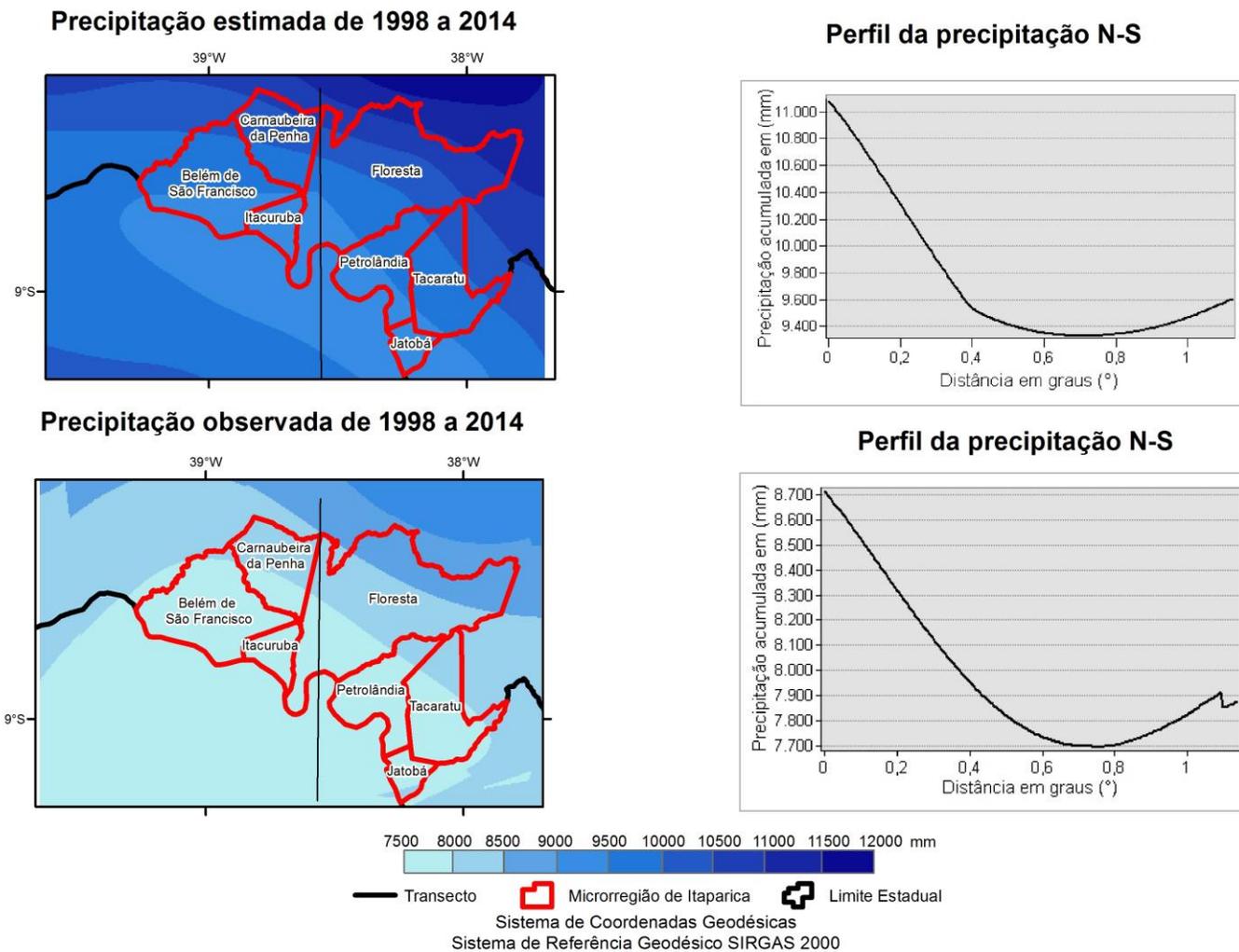
Analisando o mapa de precipitação estimada e observada acumulada de 1998 a 2014 (Figura 20) percebe-se uma região de menor precipitação ao sul e oeste de Itaparica. Essa variação espacial das chuvas pode ter uma relação com o relevo da região (Figura 10), visto que a área que possui a menor quantidade

precipitada, encontra-se numa depressão circundada por barreiras orográficas como a Bacia Sedimentar Jatobá e o Planalto da Borborema.

Se forem observados a precipitação ao longo dos transectos no sentido Norte-Sul, as variações das chuvas tenderam a ser semelhantes nos dois tipos de dados. Infere-se que o mesmo processo de interpolação e a tendência do satélite em acompanhar a precipitação observada contribuíram para tais semelhanças. É válido ressaltar que embora as variações das chuvas sejam parecidas através da análise do perfil, elas não são perceptíveis devido aos intervalos da precipitação serem diferentes nos dois tipos de precipitação. Se considerarmos apenas o perfil, a precipitação acumulada estimada varia de aproximadamente de 11500 mm à 9000 mm, enquanto que a precipitação observada varia de 9000 mm à 7500 mm.

Ao comparar os dois mapas de precipitação estimada e observada percebe-se que houve superestimações em todo o território de Itaparica. Essa tendência pode ser observada através das escalas do perfis.

Figura 20 - Mapa de precipitação acumulada de 1998 a 2014 estimada e observada em (mm)



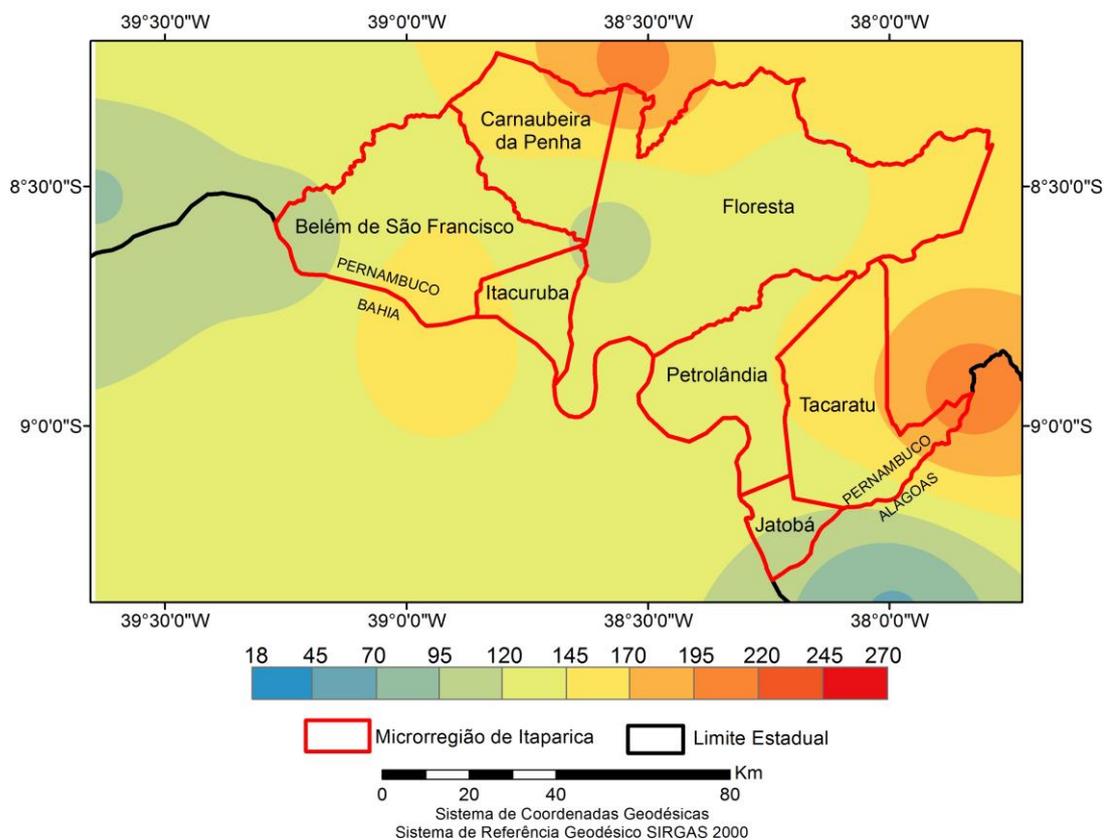
Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

No que concerne a distribuição espacial da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) das estimativas, percebe-se que o mesmo não possui um padrão na distribuição espacial (Figura 21). Para todo o período estudado (1998-2014) o erro acumulado variou entre 245 e 18 mm. É válido ressaltar que para produção cartográfica do mesmo, optou-se por utilizar o método do IDW, visto que as amostras não apresentaram dependência espacial, analisada através do semivariograma. Alguns fatores para a alta variação dos erros podem ser encontrados na qualidade das estações pluviométricas e erros humanos na coleta dos dados, no entanto, não se deve desconsiderar os erros inerentes a medição do TRMM para quantificar as chuvas.

Algumas regiões isoladas mostram uma maior congruência entre o satélite e os dados observados, como o que se localiza a oeste do município de Floresta. Porém, deve se considerar algumas regiões que os erros foram consideráveis, como no norte dos municípios de Carnaubeira da Penha e Floresta e oeste de Tacaratu.

Ao ser analisado o mapa de precipitação estimada e observada, acumulada entre os anos de 2005 à 2014, verifica-se que há uma tendência da quantidade das chuvas aumentarem no sentido nordeste, corroborando com os resultados encontrados do período de 1998 à 2014, na Figura 22. Em relação a quantidade das chuvas, foi observado que as estimativas superestimaram os dados observados, onde variou de 6600 mm à 5100 mm a precipitação estimada, e 6500 a 2000 mm a precipitação observada.

Figura 21 - Mapa da Raiz do Erro Quadrático Médio (mm/mês) entre a estimativa do TRMM e a precipitação observada no período de 1998 a 2014.



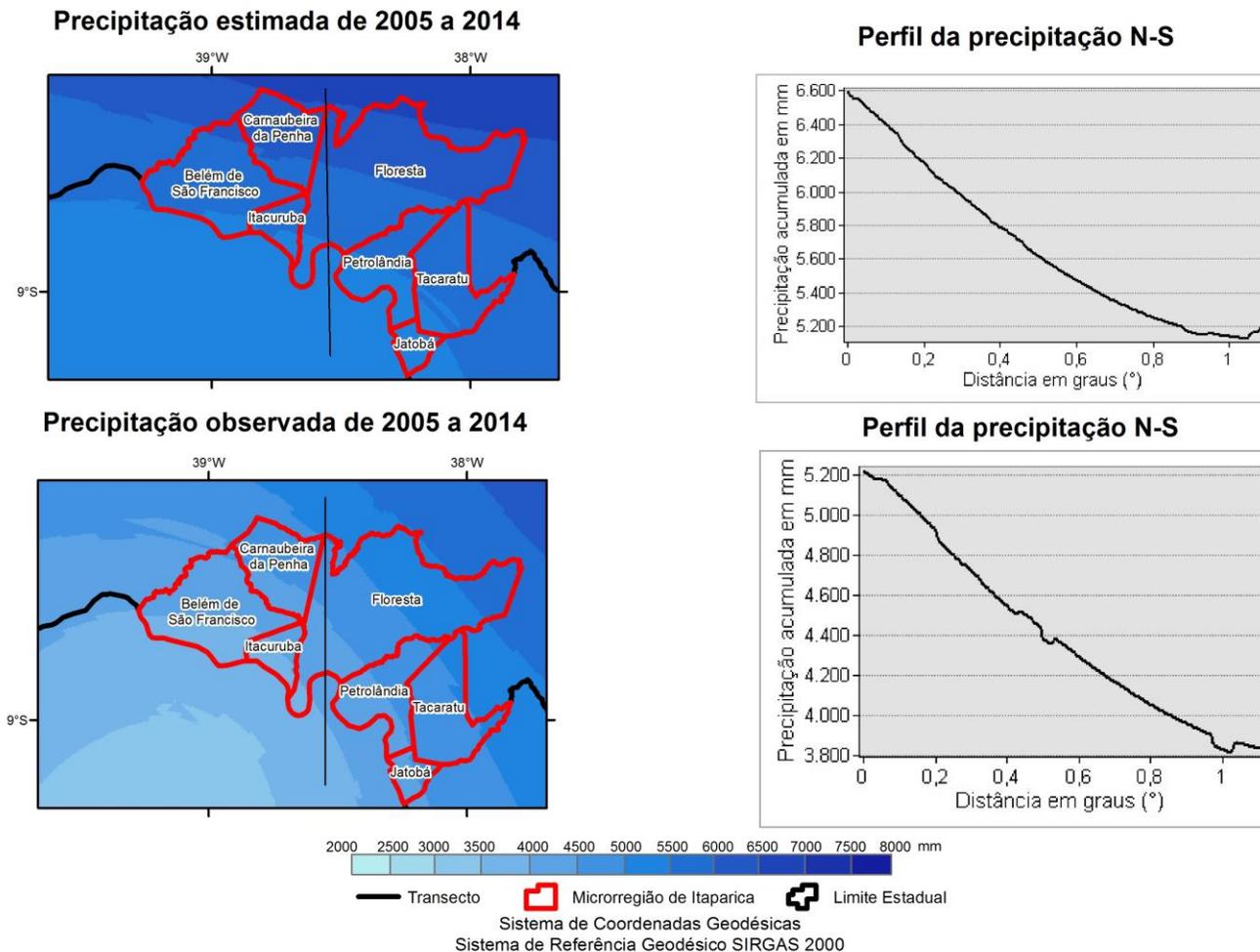
Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Apesar dessa diferenciação da quantidade das chuvas, os perfis mostraram que a variabilidade espacial da precipitação é semelhante entre os dados do TRMM e os observados. Corroborando com o perfil anterior, percebe-se uma tendência de uma diminuição da chuva em direção ao sul nos dois tipos de levantamento das chuvas. O máximo e o mínimo do perfil das chuvas estimadas foram de 6600 à 5100 mm, respectivamente, enquanto para as chuvas observadas foram de 5200 à 3200 mm, aproximadamente. No entanto, é válido ressaltar que enquanto nos perfis encontrados na Figura 20 possuírem uma tendência a aumentar depois de uma região com baixa precipitação, o perfil na Figura 22 apresenta uma tendência a uma diminuição, sem aumento de precipitação. Tal ocorrência pode ter sido ocasionada pela utilização de períodos diferentes para a produção cartográfica das chuvas, inferindo uma possível alteração na distribuição da precipitação. Contudo, não se pode descartar a possibilidade do aumento de pontos com dados disponíveis para o mapeamento ter interferido no resultado final.

Ao serem comparados os resultados da produção cartográfica da precipitação acumulada nos dois períodos, percebe-se que apesar da quantidade entre as estimativas e observadas, o TRMM mostra uma habilidade em mostrar a variabilidade espacial das chuvas, facilitando a interpretação onde ocorre as maiores e menores quantidades de chuvas. É válido ressaltar que o processo de escolha do método de interpolação das chuvas deve partir de uma análise prévia, visto que os resultados dos interpoladores dependem das características dos fenômenos, quantidade de amostras, região estudada. Exemplificando, Mello *et al.* (2003) perceberam que o método de Krigagem foi o melhor interpolador de chuvas no estado de São Paulo, enquanto em Goiás, Alves e Vechia (2011) verificaram que o método de IDW foi o que apresentou os melhores resultados.

Ao serem adicionados mais pontos no mapa interpolado, tem-se uma maior variação do REMQ ao longo da região (Figura 23). Neste mapa não é verificado um padrão na distribuição espacial. O município de Floresta é o que apresentou maior parte do território com o menor REMQ em relação aos outros municípios. A região que apresentou maior erro localiza-se no estado da Bahia próximo ao município de Belém de São Francisco. É válido salientar que no município de Belém de São Francisco ainda há uma região com valores de REMQ baixos.

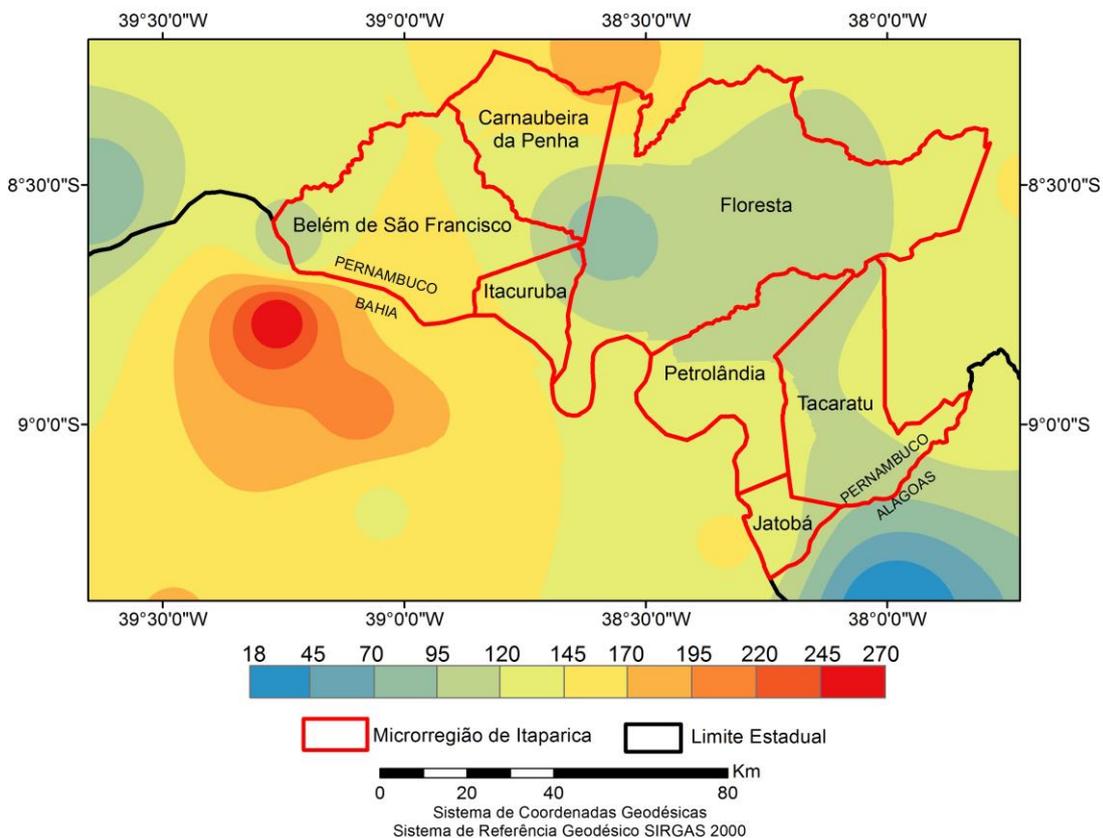
Figura 22 - Mapa de precipitação estimada e observada em (mm) acumulada de 2005 a 2014



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Essas disparidades de diferenças do REMQ enfatizam as hipóteses levantadas anteriormente. Por isso, deve-se considerar estudos futuros que analisem a qualidade dos dados de precipitação, estimadas e observadas.

Figura 23 - Mapa da Raiz do Erro Médio Quadrático (mm/mês) entre a precipitação estimada e observada no período de 2005 a 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

É importante destacar a importância de um maior número amostral para verificar a distribuição espacial dos REMQ. Em comparação com o REMQ do período anterior (Figura 21), a Figura 23 mostra uma maior variação dos erros. Alguns pontos referentes aos erros entre as estimativas e dados observados foram adicionados em relação ao mapa do REMQ anterior. Como os pontos no estado baiano apresentaram os erros mais significativos, o norte da Bahia apresentou uma região com maior probabilidade a ter maiores disparidades entre a chuva observada e estimada.

No entanto, a poucos quilômetros de distância dessa área, pode ser observada uma área com menores erros, localizado a oeste do município de Belém de São Francisco. Algumas regiões mantiveram os bons resultados se

compararmos com o REMQ anterior, como por exemplo o oeste de Floresta e Jatobá, e o sul de Tacaratu.

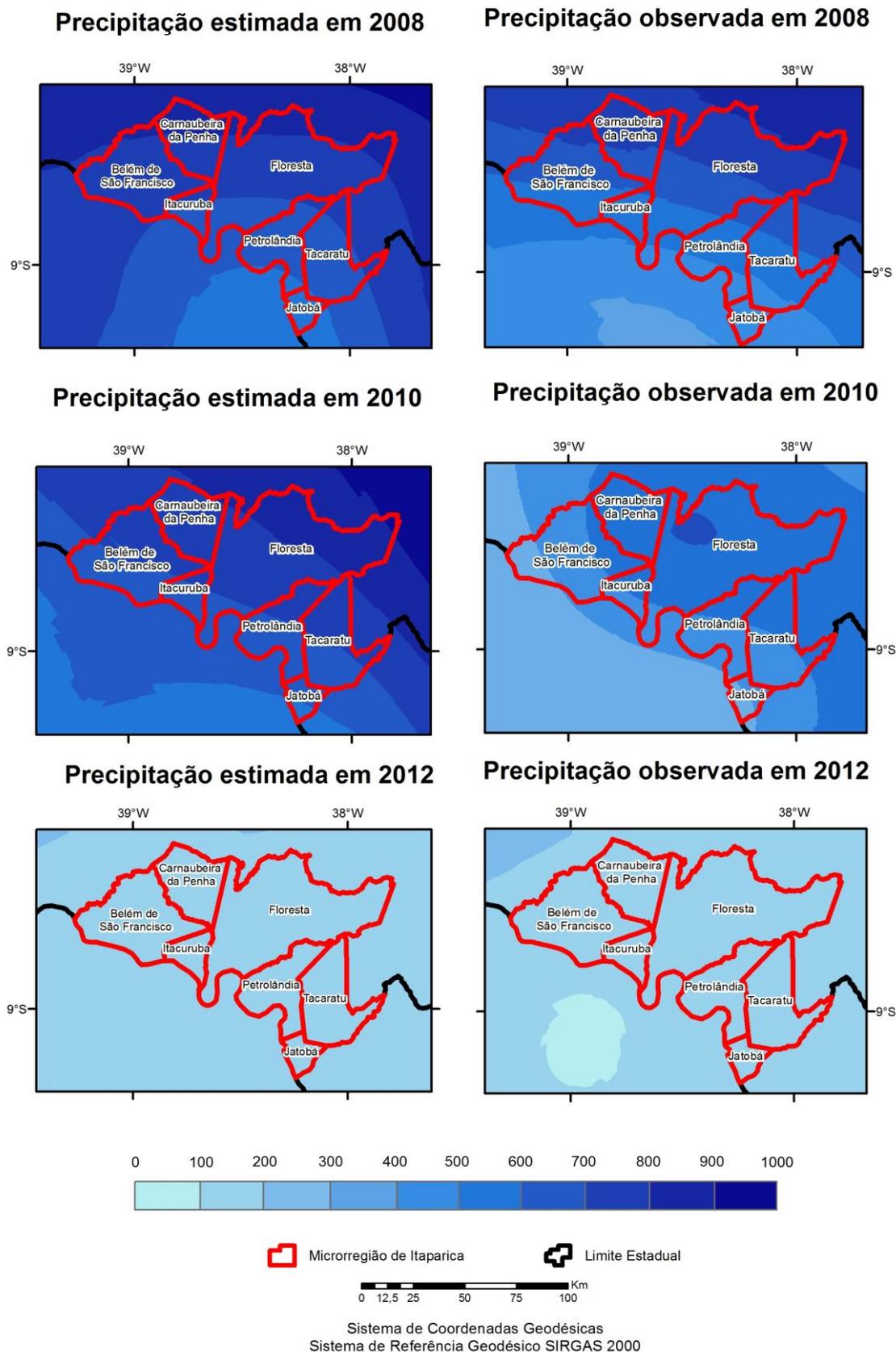
Ao serem consideradas a relação da precipitação da quantidade de chuva com a distribuição espacial do REMQ, não foi encontrada um padrão espacial de ambos os fenômenos. Por isso, sugere-se que a quantidade precipitada não é um fator determinante na acurácia das estimativas, de maneira que não se pode afirmar que em regiões mais chuvosas, terão maiores erros.

Para mostrar a variação dos erros sazonalmente e espacialmente, foi elaborado mapas do ano mais chuvoso, seco e mais próximo da média entre os anos de 2005 e 2014 (Figura 24). Seguindo essa metodologia já descrita, foram produzidos mapas de precipitação e REMQ para os anos de 2010 (próximo da média), 2008 (mais chuvoso) e 2012 (seco).

Em 2008, considerado o ano mais chuvoso no período já mencionado, as estimativas superestimaram em boa parte da área estudada. No entanto, é válido considerar que as precipitações observadas e estimadas coincidem no nordeste do município de Floresta. A precipitação estimada no ano de 2008 varia de 500 mm, ao sul da região, e 1000 mm a nordeste de Itaparica. A precipitação observada varia de 200 mm, ao sul, até 800 mm a nordeste da área pesquisada. Por isso, ao serem analisadas a distribuição espacial das chuvas, infere-se que em anos chuvosos há uma certa regularidade na sua distribuição espacial, onde predominam maiores quantidades ao norte e, as menores quantidades ao sul.

No ano de 2011, existem disparidades na distribuição espacial das chuvas, evidenciando a superestimação dos dados do TRMM para toda a região estudada. Por isso, as áreas mais secas são mais evidentes na interpolação dos dados observados. As faixas de precipitação são mais variáveis na precipitação observada, mostrando um maior dinamismo das mesmas. Porém, no processo de interpolação, a sua espacialização não ficou tão suavizada como a estimativa do TRMM apresentou. É importante acrescentar a existência de um núcleo de precipitação observada que se aproxima com os valores das estimativas no oeste do município de Floresta. Nas estimativas do TRMM, a precipitação no ano de 2010 variam de 560 a 980 mm, enquanto na precipitação observada de 440 a 703 mm.

Figura 24 - Precipitação observada e estimada para os anos de 2008 (chuvoso), 2010 (próximo da média) e 2012 (seco em mm).



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

O ano de 2012 foi tido como um ano seco no Sertão Nordeste, tal fato fica evidente ao visualizarmos os dois mapas de precipitação em que são registradas chuvas de até 300 mm. De modo geral, ambos os mapas apresentaram a mesma faixa de precipitação dentro da Microrregião de Itaparica, que variaram de 100 a 200 mm. A partir desse pressuposto, pode-se inferir que em anos mais secos as precipitações estimadas e observadas tendem a serem próximas, sob o ponto de vista qualitativo.

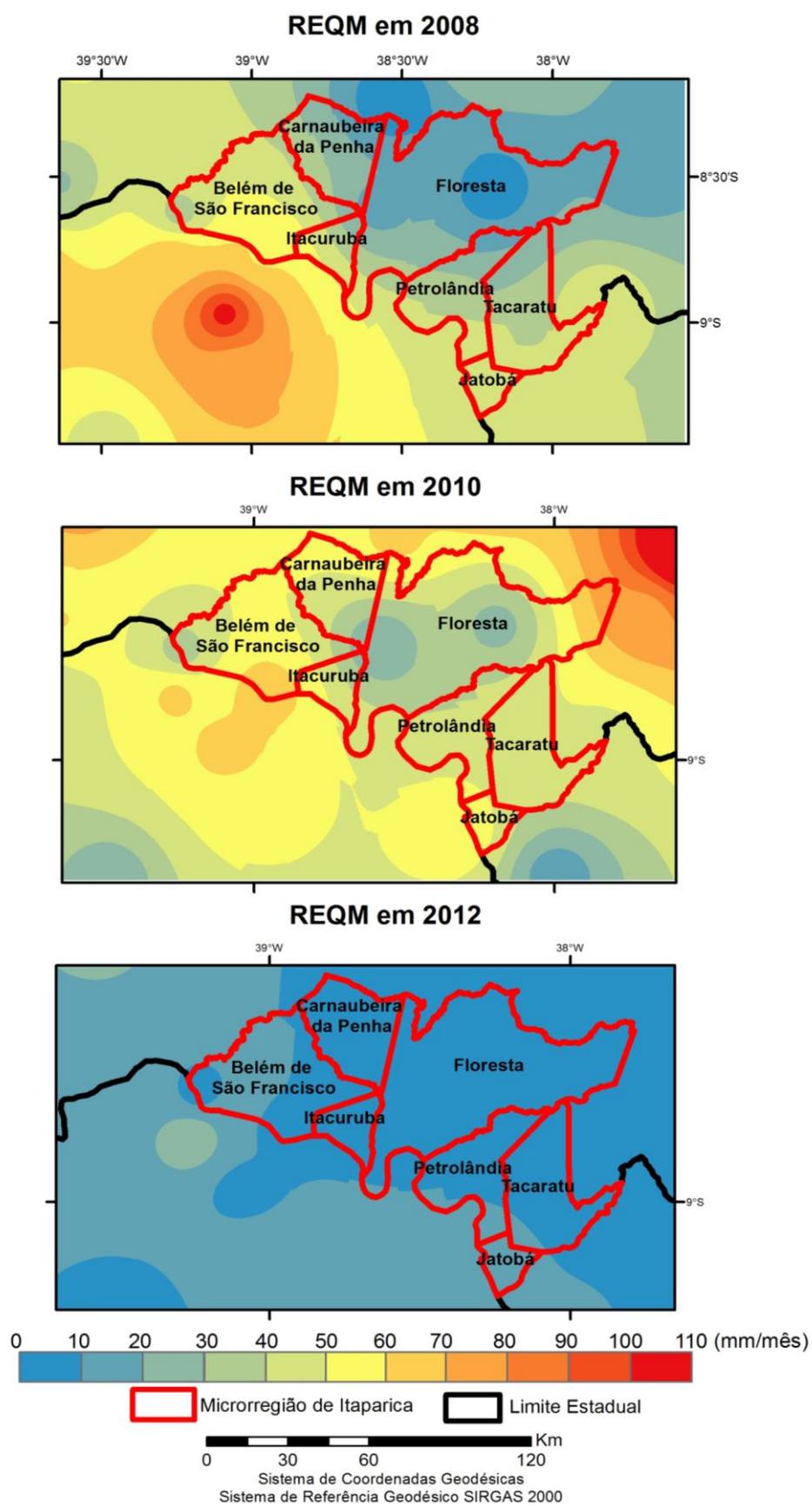
De modo geral, a congruência entre a variação espacial das chuvas observadas e estimadas permite inferir que na Microrregião de Itaparica a chuva tem uma tendência a aumentar no sentido sudoeste-nordeste. Esse fato, pode ser pelos mais variados fatores: a influência do relevo, que impede a entrada das chuvas no centro de Itaparica; o nordeste de Itaparica estar mais susceptível a atuação da Zona de Convergência Intertropical; direção dos ventos durante a estação chuvosa;

No concerne a distribuição do REMQ no ano de 2008 (Figura 25) é visível que nesse ano as melhores estimativas com REMQ entre 0 e 20 mm/mês concentraram-se na região onde teve uma maior precipitação, tanto estimada quanto observada. A região onde predomina os maiores erros, entre 90 e 110 mm/mês, encontra-se no estado da Bahia.

Os erros para o ano de 2010 (Figura 25) apresentaram uma escala entre 10 e 110 mm/mês. Existe uma maior predominância de áreas com menores erros que abrangem o município de Floresta. Algumas disparidades permanecem no município de Belém de São Francisco de maneira mais suavizada, se comparado com o ano de 2008. Contudo, é válido acrescentar que existe uma faixa de menores erros que abrangem do sudeste da região até o norte de Itaparica.

O mapa de distribuição do REMQ no ano de 2012 mostra que os erros foram os menores apresentados (entre 0 e 40 mm), mostrando uma certa habilidade do satélite quantificar a chuva em anos mais secos (Figura 25).

Figura 25 - REQM anual (mm) de 2008 (chuvoso), 2010 (próximo da média) e 2012 (seco).



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Considerando a distribuição espacial dos três anos estudados, as melhores correlações encontram-se a oeste do município de Floresta. Isso corrobora ao fato de que não há relação entre maior quantidade de precipitação com maiores disparidades entre as estimativas e os dados observados, visto que nessa região a precipitação é mais acentuada em relação a outros municípios. Os maiores erros encontram-se concentrados próximos ao estado da Bahia, se forem considerados os três anos analisados. No entanto, é válido considerar que o ano de 2008, apesar de ser o mais chuvoso, possui regiões de altos erros (> 80 mm) com extensões menores que o ano que mais se aproximou da média, que foi 2010. Baseando nos pressupostos acima, infere-se que, no que concerne a distribuição espacial e temporal da quantidade de precipitação, a mesma não possui relação com a acurácia das estimativas.

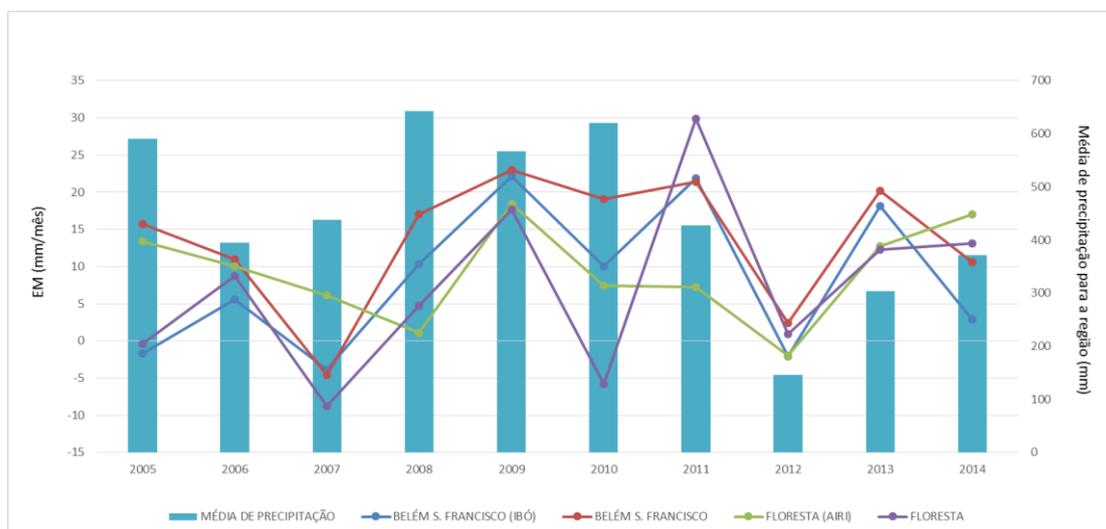
Por isso, algumas hipóteses levantadas por alguns autores (SOARES *et al.*, 2016) de que quanto maior for a precipitação em uma determinada região, maior será as diferenças entre as estimativas e os dados observados, pode ser descartada visto que as regiões que precipitaram mais tiveram maiores correlações estatísticas. Apesar disso, deve ser evidenciado a complexidade das correlações estatísticas quando se trata das variações anuais e sazonais das chuvas, uma vez que embora a precipitação tende a superestimar em regiões que possui menor quantidade precipitada (AIRES *et al.*, 2016) essa variabilidade espacial e temporal dos REMQ nos anos chuvosos, próximos da média e secos não possuem um padrão claro, contudo, o melhor resultado foi no ano mais seco.

5.3 Variabilidade anual das estimativas e a REQM de acordo com os postos pluviométricos localizados em Itaparica

Para verificar a variabilidade anual dos erros e sua relação com a quantidade precipitada foi gerado um gráfico que analisa o comportamento do Erro Médio nos pontos localizados na microrregião de Itaparica (Figura 26). Ao ser analisado o gráfico, vê-se que os erros variam espaço-temporalmente independentemente da quantidade precipitada. No entanto, corroborando com as afirmativas anteriores, os anos que tiveram maiores quantidades de chuvas, possuíram correlações tão boas quanto os anos que tiveram uma precipitação menos acentuada.

Analisando os erros ao longo dos anos, não foi identificado um posto que apresentasse melhores correlações de maneira contínua. De fato, houve irregularidades nas acurácias por posto, ao longo da série histórica, no entanto, o ano de 2012 (o mais seco do período) foi o que apresentou maior convergência dos erros entre os postos pluviométricos. Essa irregularidade pode ser identificada quando observado o posto pluviométrico, localizado na sede municipal de Floresta, que em 2005 apresentou o menor erro entre os postos observados e em 2011, teve o maior erro registrado de toda a série histórica, incluindo a sua comparação com outros postos, apresentando aproximadamente os 30 mm/mês de EM.

Figura 26 – Erro Médio por mês dos municípios da microrregião de Itaparica e a total anual de precipitação



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

No que concerne ao ano que mais precipitou ao longo da série histórica em Itaparica, 2008 apresentou erros menores que anos que choveram em menor quantidade, como os anos de 2009 e 2011. Essas análises permitem admitir que além dos fatores que influenciam na distribuição espacial dos erros, podem existir condicionantes ao longo do tempo que interferem na acurácia das estimativas. É válido considerar que as condicionantes podem ser oriundas de erros inerentes ao satélite TRMM ou erros humanos no processo de coleta dos dados.

Se considerarmos o posto que possuiu os maiores erros em relação aos demais ao longo da série histórica, percebe-se que o da sede municipal de Belém de São Francisco se destaca frente aos demais. Embora o posto localizado na sede de Floresta apresentou o maior EM de toda a série, em alguns anos as estimativas se apresentaram mais próximas dos dados observados, em relação a outros pontos, como nos anos de 2005, 2010, 2012 e 2013.

A princípio poder-se-ia pensar que quanto maiores fossem as quantidades precipitadas anuais, as subestimações poderiam ser maiores, como foi percebido por Almeida *et al.* (2015), que comparou as estimativas com dados observados anuais, no estado do Amazonas, e verificou que a maior subestimação do erro médio anual (-20,0 mm/ano), coincidiu com o ano que mais choveu (2008) entre os anos de 2004 e 2008.

Mesmo considerando o fato de nenhum posto pluviométrico ter apresentado a ausência de subestimações em pelo menos um ano, as relações da quantidade precipitada com as subestimações não foram evidentes em nenhum município. Apesar da estação localizada na sede de Floresta ter apresentado o maior número de subestimações (2005, 2010 e 2007), o ano de 2007 teve precipitação semelhante com o ano de 2011, porém com erros médios discrepantes.

Contudo, Almeida *et al.* (2015) levantaram algumas hipóteses a serem consideradas para as variações na acurácia das estimativas ao longo da série histórica. Os autores mencionam que a variabilidade da precipitação é determinada pela ação de diferentes sistemas meteorológicos sinóticos (Zona de Convergência Intertropical, Vórtice Ciclônico de Altos Níveis); sistemas meteorológicos de mesoescala (Frigens, Linhas de Instabilidade) e fenômenos climáticos como o El Niño e La Niña. Essas variações desses sistemas no estado de Amazonas poderiam interferir, ou nas superestimações, ou nas subestimações.

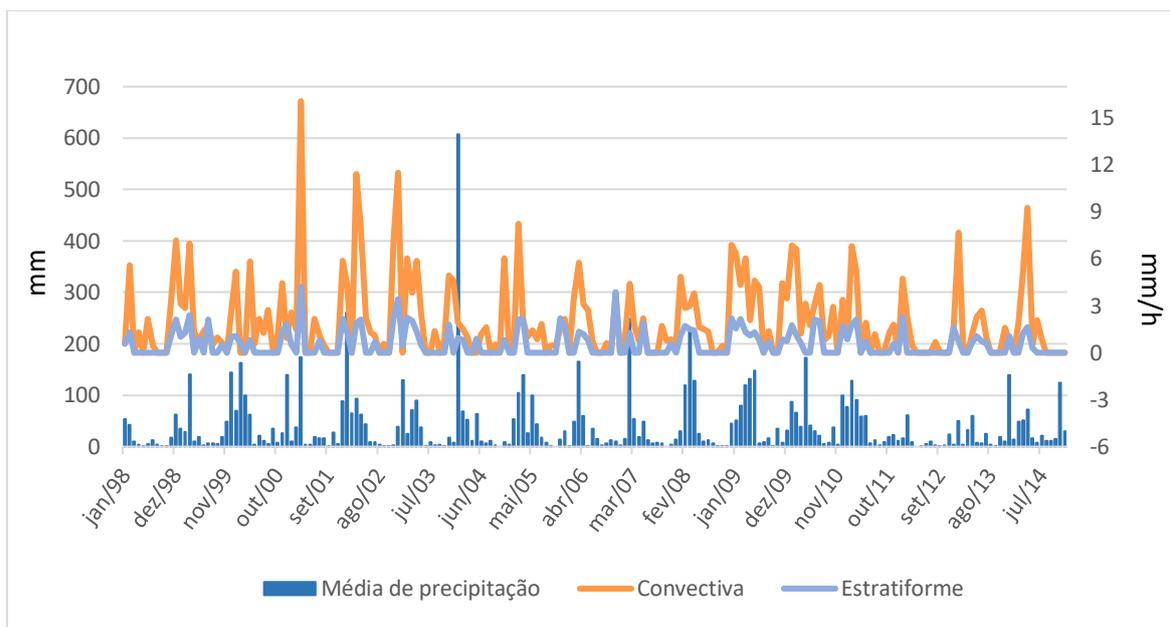
5.4 Caracterização das chuvas convectivas e estratiformes e sua relação com as diferenças entre as estimativas e a precipitação observada em Belém do São Francisco

Se forem analisadas as médias entre a precipitação mensal estimada e observada, taxas de chuvas convectivas e estratiforme na sede de Belém de São Francisco, é perceptível que as taxas das chuvas não acompanham a quantidade precipitada (Figura 27). Isso evidencia que as intensidades de ambos tipos de precipitação não estão ligadas a quantidades maiores de precipitação. Podemos exemplificar esse fato quando analisamos que em março de 2001 a taxa de chuva convectiva tem seu pico, com 16,07 mm/h, enquanto a maior precipitação foi em janeiro de 2004, apresentando 606,7 mm.

Ao longo de toda a série histórica, as taxas de chuvas convectivas são mais evidentes que as taxas de precipitação estratiforme. Tal fato, mostra a contribuição das chuvas convectivas para precipitações mais intensas, causando maiores impactos para a população local. No entanto, em novembro de 2006, pode ser observada uma inversão de valores, quando a taxa estratiforme (3,88 mm/hr) ultrapassa a taxa da chuva convectiva (3,79 mm/h). É válido considerar que as chuvas estratiformes tendem a acompanhar a variação das taxas convectivas. Por isso, infere-se que suas ocorrências estão associadas entre si.

Ao ser visualizada toda a série histórica, fica evidente que as maiores taxas de precipitação, assim como a quantidade precipitada, concentram-se mais na primeira metade da série (até junho de 2006). Isso fica claro quando analisamos as taxas de chuva convectiva maiores que 8 mm/h ocorre quatro vezes na primeira metade e, apenas uma na segunda metade da série histórica. Apesar dessa ocorrência, as taxas dos tipos de chuvas não acompanharam nos últimos anos a diminuição considerável da quantidade precipitada, dado ao fato de que em abril de 2014 a taxa convectiva foi de 9,25 mm/h.

Figura 27 - Média entre as estimativas e os dados observados (mm), e as taxas de chuvas convectivas e estratiformes (mm/hr).

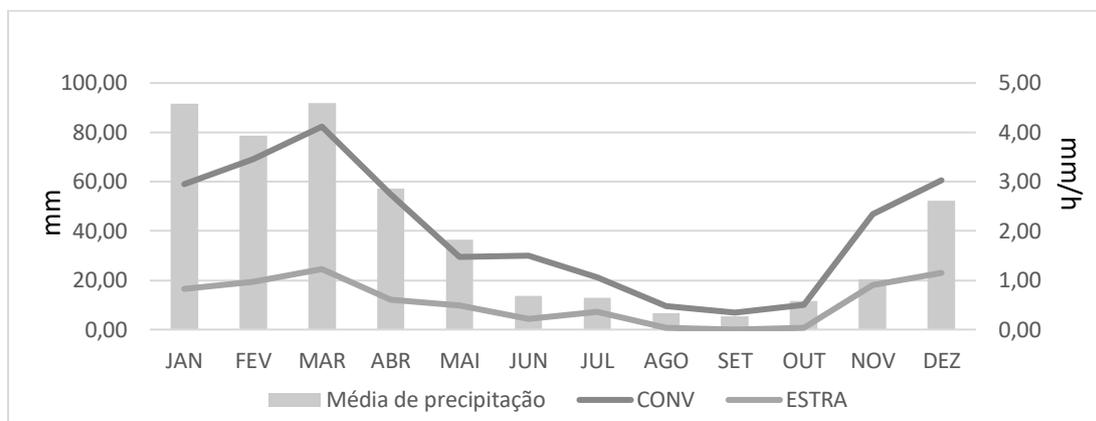


Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Ao ser analisada a Figura 28, pode-se ter uma noção da variação da média mensal das taxas convectivas e estratiformes com a quantidade precipitada. Partindo dessa análise, a taxa de precipitação convectiva é maior que a estratiforme em todo o ano, porém, ambas as taxas possuem variabilidade temporal semelhante a quantidade precipitada, apresentando maiores quantidades na estação chuvosa, que abrange do verão ao outono. É importante destacar que apesar a precipitação em março (91,9 mm) ser semelhante com a do mês de janeiro (91,6 mm), a diferença entre as taxas convectivas e estratiformes entre os meses são consideráveis; apresentando em março 4,12 e 1,23 mm/h e em janeiro 2,95 e 0,83 mm/h, de taxa convectiva e estratiforme, respectivamente.

No que concerne a média mensal da taxa de precipitação convectiva, o seu maior pico ao longo do ano é no mês de março (4,12 mm/hr), coincidindo com o mês mais chuvoso de Belém de São Francisco (91,9 mm). Em compensação a menor taxa convectiva foi em setembro, mês mais seco do município. A maior taxa de chuva estratiforme é no mês de março (1,23 mm/h), assemelhando-se com a taxa convectiva. No entanto, a maior taxa dessa chuva aproxima-se do valor encontrado no mês de dezembro que é de 1,15 mm/h.

Figura 28 – Precipitação mensal de 1998 à 2014, entre a precipitação observada e estimada, e a taxa de chuva convectiva e estratiforme.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Anjos *et al.* (2016) encontraram valores semelhantes em Petrolândia, um dos municípios que compõe a Microrregião de Itaparica, onde as taxas de chuvas convectivas têm seu maior pico no mês de março, coincidindo o mesmo com as taxas de chuvas estratiformes.

Se forem analisadas a relação entre a proporção das taxas convectivas e estratiformes (Figura 30), com a parcela da diferença diante da média da precipitação total estimada e observada (Figura 29), percebemos que as maiores proporções das chuvas convectivas abrangem os meses de agosto a outubro. Por isso, as precipitações nesses meses tendem a ter um comportamento mais próximo das características da chuva convectiva, visto que a participação das chuvas estratiformes é mais limitada.

A atividade convectiva pode ser originada por altas temperaturas associadas a certas instabilidades e presença da água na atmosfera, promovendo chuvas intensas em regiões pouco extensas com duração curta. Isso irá refletir na baixa precipitação dos meses já citados. É válido salientar que a porcentagem da diferença diante da média mensal de precipitação estimada e observada atinge maiores valores quando existe maiores proporções de chuvas convectivas.

A precipitação estratiforme tende a ter maiores proporções nos meses de novembro e dezembro, apresentando 27 e 28% da taxa de precipitação. Por isso,

é válido considerar que partindo desse pressuposto, as chuvas durante esses meses podem ter as características da precipitação estratiforme mais acentuada, com presença de chuvas mais duradouras e menos intensas que abrangem grandes extensões. É válido considerar que apesar disso, as maiores proporções – no que se refere a intensidade – são de chuvas convectivas ao longo do ano.

Figura 29 - Diferenças entre as estimativas mensais e os dados observados (mm) e a média entre os dados do TRMM e do posto pluviométrico em Belém de São Francisco (mm).

MESES	DIFERENÇA (mm)	MÉDIA ESTIMATIVA E OBSERVADA (mm)
JAN	5,67	91,66
FEV	13,74	78,57
MAR	20,55	91,91
ABR	30,09	57,08
MAI	0,59	36,42
JUN	10,19	13,58
JUL	7,61	13,01
AGO	5,73	6,73
SET	6,07	5,48
OUT	12,42	11,53
NOV	7,51	20,43
DEZ	17,19	52,25

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

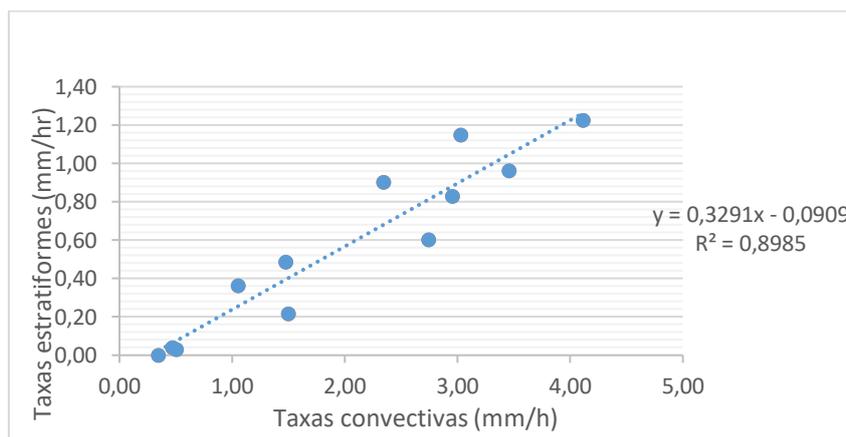
Figura 30 - Proporção das chuvas mensais estratiforme e convectiva (%), proporção da diferença em relação a média mensal entre a estimativa e os dados observados (%)

MESES	CONVECTIVA %	ESTRATIFORME %	DIFERENÇA %
JAN	78	22	6
FEV	78	22	17
MAR	77	23	22
ABR	82	18	53
MAI	75	25	2
JUN	87	13	75
JUL	74	26	59
AGO	92	8	85
SET	100	0	111
OUT	94	6	108
NOV	72	28	37
DEZ	73	27	33

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

A presença de uma chuva convectiva, muitas vezes está associada a presença da precipitação estratiforme. Esse fato fica evidente quando é analisado a Figura 31, onde as taxas estratiformes, em valores absolutos, tendem a ser maiores quando as taxas convectivas também são, mostrando uma correlação considerável (0,89).

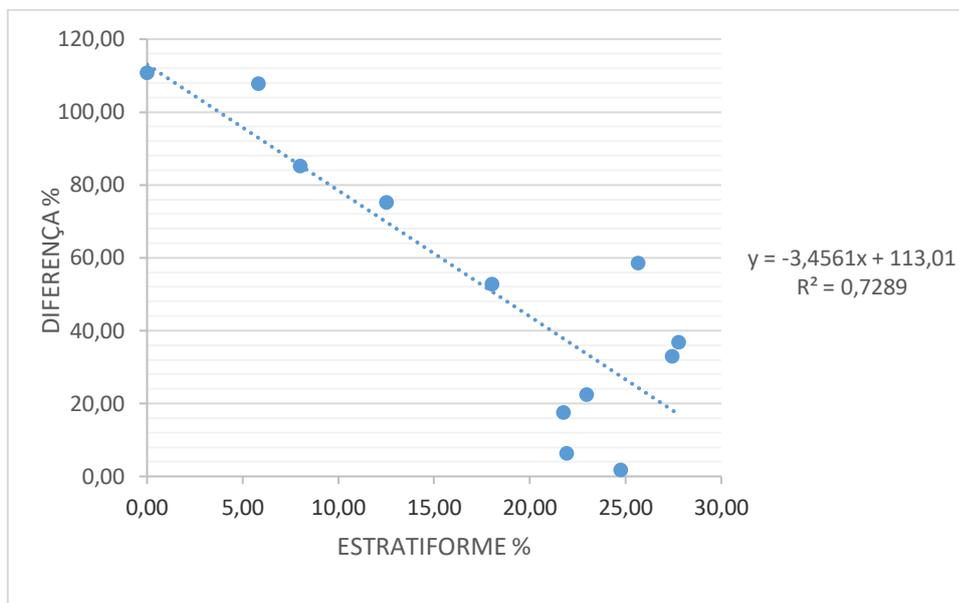
Figura 31 - Linha de tendência e correlação entre as taxas mensais de chuvas convectivas com as taxas de chuvas estratiformes (mm/h).



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Um aspecto a ser considerado acerca da acurácia das estimativas, é sua relação com a proporção dos tipos de chuvas. Baseando-se na linha de tendência, percebe-se que quanto maior for a proporção das médias das taxas mensais estratiformes, menor será a percentagem da diferença, entre estimativas e observadas, em relação a média da precipitação em Belém de São Francisco (Figura 32). Ou seja, os menores erros - proporcionais a média total mensal de precipitação - tenderão a ser encontrados em meses onde a chuva estratiforme predomina. O objetivo de analisar as diferenças por meio da sua parcela (valores percentuais) em relação à média mensal, evita que valores absolutos altos sejam interpretados sem levar em consideração se o mês é chuvoso ou seco. Portanto, a análise de uma diferença entre a estimativa e o dado observado de 30 mm, deverá levar em consideração se a média mensal de chuva naquele mês é de 100 mm ou 50 mm.

Figura 32 - Linha de tendência e correlação entre a proporção das taxas mensais de estratiformes (%) em relação às taxas convectivas, com a proporção da diferença em relação a média total entre as estimativas e os dados observados.

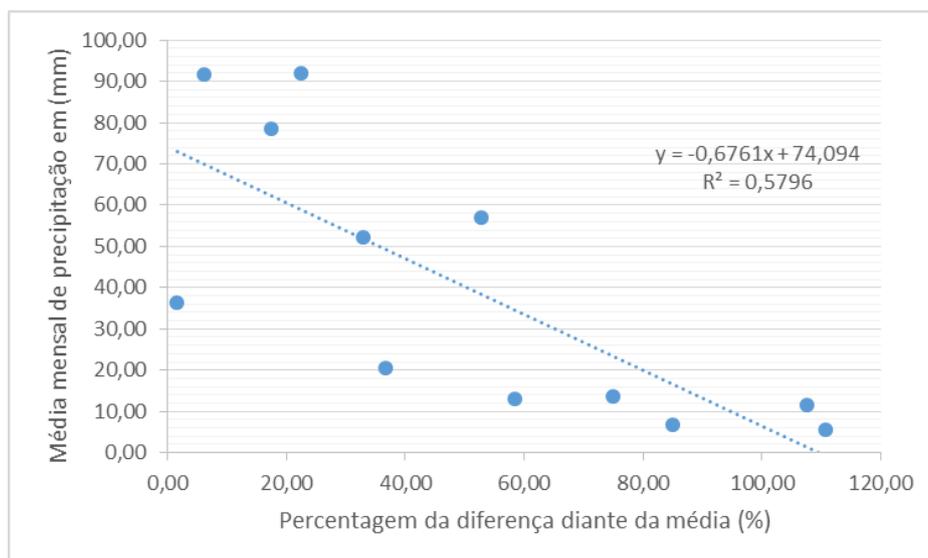


Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Por ser uma área com predominância de precipitação convectiva, se comparada com outras regiões do estado de Pernambuco, as estimativas tendem a serem superestimadas. Isso pode ser evidenciado quando as chuvas estratiformes estão em maiores proporções, as superestimações tendem a ser menores, fazendo com que as diferenças entre os dados diminuam. De certo modo, uma das possíveis causas para disparidade entre os dados nessa região, seria a proporção das taxas de chuva convectiva.

Poder-se-ia sugerir que devido as taxas de chuvas convectivas serem mais atuantes durante a estação chuvosa, a relação verdadeira seria da quantidade precipitada. No entanto, a relação entre a quantidade precipitada e a proporção da diferença em relação a média mensal é menor que as taxas convectivas (Figura 33), apresentando o fato de que apenas 57% da variável dependente consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo.

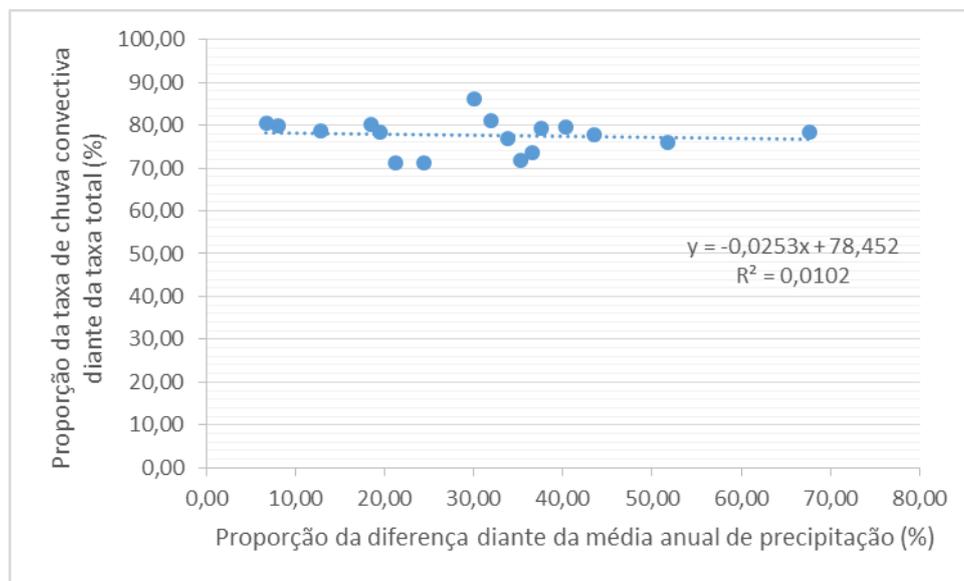
Figura 33 - Linha de tendência e correlação entre a média mensal de precipitação e a proporção da diferença diante da média mensal de precipitação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

É importante ressaltar que tais análises permitem sugerir que as taxas de precipitação convectiva e estratiforme interferem na acurácia das estimativas para médias mensais, podendo ter outra configuração se incluírem médias anuais ou até mesmo diárias. Na Figura 34, a proporção de taxas anuais de chuvas convectivas não interfere na proporção da diferença diante da média anual de precipitação de 1998 a 2014. Um dos motivos para não correlação entre as variáveis, diferentemente com as médias mensais, estaria na existência de valores de taxas dos tipos de chuvas discrepantes dentro de um ano, o que não acontece quando se elabora as médias mensais, quando as taxas tendem a ser semelhantes entre si, em meses iguais. Portanto, se em um ano apresentar em um determinado mês uma taxa de chuva convectiva alta e nos meses seguintes terem taxas mais baixas, irão refletir em uma média anual da taxa convectiva que “oculta” os valores mais altos.

Figura 34 - Proporção das médias anuais de 1998 a 2014 das taxas convectivas e a sua relação com a proporção da diferença diante da média anual de precipitação estimada e observada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

5.5 Análise da precipitação em 3D e qual a sua contribuição em casos de eventos extremos (Janeiro de 2004)

Com o auxílio do *Precipitation Radar* (PR), podem ser visualizadas o desenvolvimento vertical da precipitação. Nesse sentido, em casos de eventos extremos a sua utilização permite a visualização de uma chuva mais intensa a partir de um maior desenvolvimento vertical das nuvens. A precipitação de janeiro de 2004, foi a maior registrada dentro da série de janeiro de 1998 a dezembro de 2014. Para se ter uma noção da quantidade precipitada nesse mês, foi registrado em Belém de São Francisco 673,8 mm (Posto) e 539,6 (TRMM), no entanto, a média registrada entre 1998 e 2014 no mês de janeiro é de apenas 88,8 mm.

Segundo Alves *et al.* (2004) a ocorrência da considerável quantidade precipitada na região Nordeste foi devido a influência de vários sistemas atmosféricos atuando simultaneamente. Como os ventos alísios nordeste estavam mais intensos, direcionou a Zona de Convergência Intertropical para latitudes mais altas em direção ao interior do Nordeste, atrelando a isso, uma

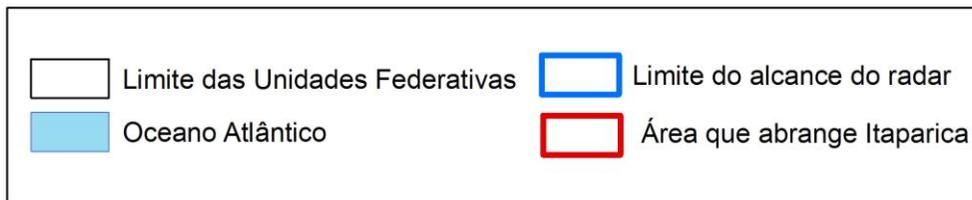
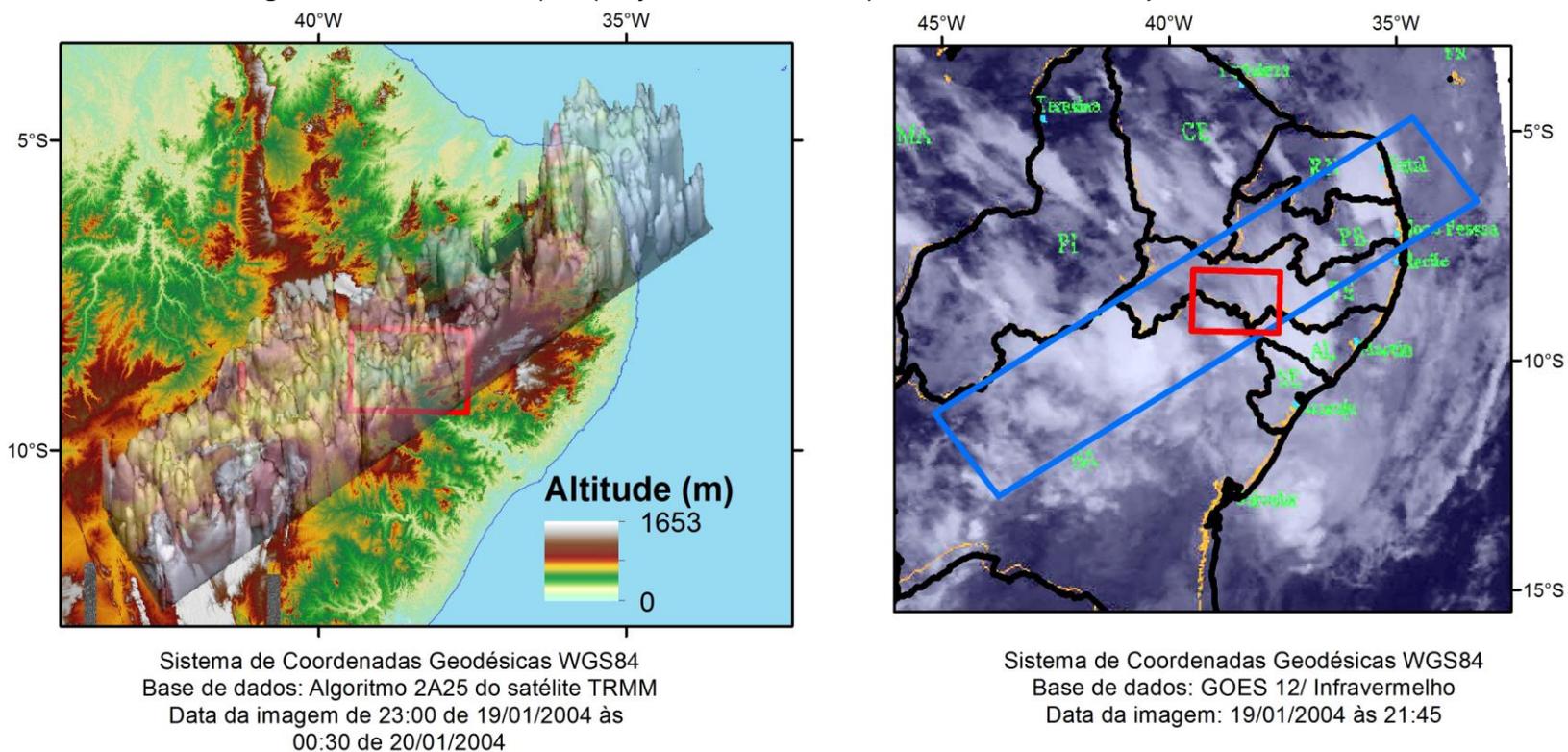
maior atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul que favoreceu a vinda de frentes frias para a região.

Na figura 35, que representa a atmosfera no dia 19 de janeiro de 2004, com o auxílio da imagem do satélite GOES para confirmar a presença de nuvens formadoras de chuvas, percebe-se que em casos extremos de precipitação não houve um padrão na sua distribuição espacial, podendo ser verificadas desenvolvimentos verticais das nuvens atingindo altos níveis tanto próximo ao litoral, como no interior do continente, inclusive na Microrregião de Itaparica.

É válido salientar que o radar fez o processo de levantamento dos dados de 23:00 até 00:30 entre os dias 19 e 20 de janeiro de 2004. Salvo alguns pontos de convecção isoladas na Microrregião de Itaparica, tende-se a concluir que a precipitação na região foi uniforme. No entanto, segundo os dados da APAC (2016) dos municípios que compõe a região, a precipitação acumulada de 19 a 20 de janeiro de 2004 variou de 5,8 a 81 mm. Diante desse pressuposto, é válido considerar que o radar registra a atmosfera num dado momento (e não registrando num dia), incluindo o fato do mesmo permitir uma análise da dimensão do desenvolvimento vertical das nuvens, embora não seja possível delimitar com precisão, de forma qualitativa, onde está ocorrendo maiores quantidades de chuva. De toda forma, é importante destacar que as variações espaciais da quantidade precipitada são perceptíveis através de um maior desenvolvimento vertical das nuvens localizados em áreas menores, podendo resultar em quantidades diferenciadas precipitadas ao longo do espaço.

O desenvolvimento vertical da precipitação, nesse caso, foi relativamente menor na Microrregião de Itaparica, se comparado com a região litorânea. No que concerne ao relevo, percebe-se que o mesmo pode influenciar na distribuição das nuvens, devido a uma faixa de descontinuidade de precipitação (entre os paralelos de 36°W e 39°W, aproximadamente) coincidir com maiores cotas de altitude, localizadas no Planalto da Borborema.

Figura 35 - Estimativa da precipitação através do *Precipitation Radar* em 19 de janeiro de 2004.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Devido a faixa do radar abranger 247 km de largura, existe uma certa dificuldade de encontrar uma imagem que cubra toda a Microrregião de Itaparica. É perceptível essa limitação quando analisada a Figura 36.

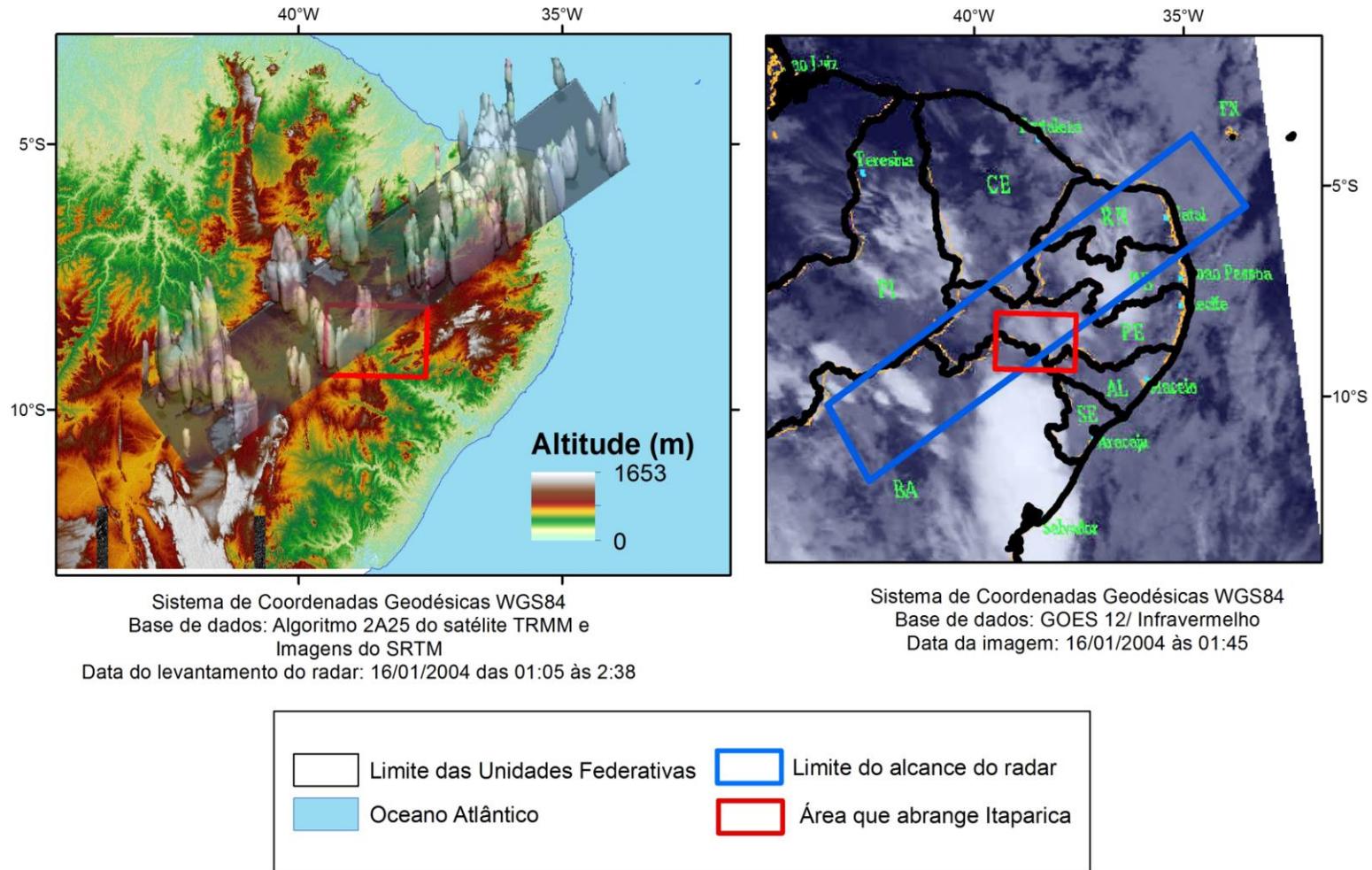
Segundo a imagem do radar percebe-se a presença de algumas nuvens dentro da Microrregião, podendo inferir a ocorrência de chuvas espacialmente localizadas. No entanto, segundo informações da APAC, entre os municípios da região, apenas Belém de São Francisco teve precipitação registrada de 2,0 mm.

No caso presente, as nuvens tenderam a ficar esparsas umas das outras, se considerada toda a faixa do radar. Na região de Itaparica, percebe-se que algumas áreas não possuem nuvens, e conseqüentemente ausência de chuvas. No entanto, a sua presença em sua maioria, situaram-se próximas às vertentes dos planaltos e chapadas existentes na área.

Se forem levadas em consideração as duas figuras, percebe-se que a anterior possui mais áreas com um desenvolvimento vertical acentuado. Essas “colunas” de precipitação, podem ser consideradas como Torres Convectivas (KELLEY *et al.*, 2004) devido a probabilidade de estas serem originadas a partir de processos de convecção por sua altitude considerável.

De modo geral, a utilização de imagens de radar subsidia a análise da precipitação, embora a faixa de abrangência do radar possa limitar uma observação de áreas maiores. Com a presença de nuvens com desenvolvimento vertical acentuado, infere-se que o poder de convecção nessas áreas é considerável. Associada com outros planos de informação, como o relevo, pode-se ressaltar a influência de como alguns fatores climáticos determinam a distribuição espacial das chuvas e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento vertical.

Figura 36 - Precipitação estimada pelo *Precipitation Radar* em 16 de janeiro de 2004.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o entorno e a Microrregião de Itaparica, o município de Delmiro Gouveia foi o que teve as melhores correlações entre os municípios pesquisados. Em relação aos municípios da microrregião de Itaparica, o posto localizado na sede do município de Belém de São Francisco foi o que teve as menores correlações estatísticas, e as maiores, no distrito de Ibó. Os erros dos dois postos localizados no município de Floresta ficaram entre os dois já mencionados.

Foi observado que as qualidades dos instrumentos nos postos pluviométricos não interferem em maiores aproximações com as estimativas do satélite TRMM. Essa afirmação vem do fato que o município com a maior correlação estatística com as estimativas, Delmiro Gouveia, possui como método de coleta de dados o convencional. Além disso, municípios que tiveram baixas correlações, como Curaçá e Chorrochó, possuem como método da associação entre o convencional e o telemétrico, ao longo da série de dados.

Nos mapas de precipitação acumulada dos dois períodos (1998-2014) e (2005-2014) não foi identificado um padrão espacial dos REMQ, porém na média de 2005 a 2014 foi observado que existem maiores disparidades de erros em poucos quilômetros entre o município de Belém de São Francisco e o estado da Bahia.

Considerando os anos mais secos, chuvosos e próximos da média entre os anos de 2005 à 2014, percebe-se que as estimativas tendem a ter uma distribuição espacial próximas dos dados observados. Quando analisadas a distribuição espacial das REMQs, de acordo com as categorias já mencionadas, percebe-se que o ano mais seco (2012) houve maiores correlações estatísticas, seguido do mais chuvoso (2008) e o mais próximo da média (2010).

Quando observada as diferenças anuais por postos pluviométricos localizados na Microrregião de Itaparica e sua relação com a quantidade precipitada, percebe-se que não há estações que possuem uma determinada regularidade nas diferenças anuais. No entanto, o posto localizado próximo a cidade de Belém de São Francisco possuiu maiores erros por ano, se comparado com os outros postos pluviométrico.

Ao serem analisadas as taxas mensais de chuvas convectivas e estratiforme ao longo de 1998 a 2014, na sede de Belém de São Francisco, destaca-se a inexistência de uma correlação com a quantidade precipitada, visto que os meses que ocorreram maiores quantidades registradas de chuva, não refletiu em maiores taxas de chuva convectiva ou estratiforme. No entanto, as maiores médias das taxas mensais dos tipos de chuvas tendem a se concentrar na estação chuvosa, de janeiro à abril. Quando observada as proporções entres os tipos de chuvas, está dezembro com a maior proporção de chuvas estratiformes e setembro de chuva convectiva com maiores. É válido considerar que, baseando-se na linha de tendência, os valores entre as taxas convectiva e estratiformes tendem a ser dependentes e diretamente proporcionais.

Existe uma relação considerável entre maiores proporções de chuvas mensais estratiformes e menores proporções das diferenças diante da média total de precipitação. Isso pode ser evidenciado quando as chuvas estratiformes estão em maiores proporções, as superestimações tendem a ser menores, fazendo com que as diferenças entre os dados diminuam. Poder-se-ia acreditar que a quantidade de chuva seria a responsável por maiores diferenças, no entanto, não há uma correlação considerável que apresente isso. É válido considerar que não existe relação entre as taxas anuais de chuvas convectiva com as diferenças entre as estimativas e os dados observados, inferindo que as discrepâncias dentro de um ano podem interferir no resultado dessa correlação.

Sob a análise do *Precipitation Radar* (PR) foi possível identificar como a precipitação se comporta em três dimensões, em casos de eventos extremos. Foi possível identificar que os fatores topográficos interferem na distribuição espacial das chuvas. Na Microrregião Itaparica, se comparadas com a região litorânea há um menor desenvolvimento vertical das nuvens, embora seja uma diferença atenuada. Apesar da presença de nuvens detectadas pelo radar de uma maneira uniforme ao longo da região, a quantidade precipitada variou espacialmente de maneira considerável. De modo geral, o radar mostra-se uma ferramenta para auxílio na interpretação de imagens de satélites de modo a identificar os processos formadores de determinados sistemas atmosféricos, embora sua faixa de levantamento de dados (247 km) possa limitar uma análise mais conjuntada área.

REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 146 p.

_____. **Paleoclimas quaternários e pré-história da América Tropical**. Dédalo. São Paulo: Publ. Avulsa, I: 9-25. (Anais da IV Reunião Científica da SAB, MAE-USP). 1989.

AIRES, U.R.V.; MELO NETO, J. O.; MELLO, C. R. **Estimativas de precipitação derivadas do satélite TRMM para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, MG**. Revista Scientia Agraria. vol. 17 n°. 2 Curitiba. 2016 p. 57-66

ALBRECHT, R. I.; DIAS, M. A. F. S. **Características microfísicas da precipitação convectiva e estratiforme associadas à oscilação de larga-escala no sudoeste da Amazônia**. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/22-c901354623b38c702a3f4c36bb3d5871.pdf>. Acesso em: agosto de 2014.

ALMEIDA, C. T. et al. **Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas**. Revista Floresta e Ambiente. v. 22, :279-286, 2015.

ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; FERREIRA, F. F.; STUDART, T. M. C. **As chuvas de janeiro/2004 no Nordeste do Brasil, suas características atmosféricas e seus impactos nos recursos hídricos da região**. In: Anais do V SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. São Luiz, MA: ABRH, 2004. Disponível em CD-ROM.

ALVES, E. D. L. A.; VECCHIA, F. A. S. **Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás**. Acta Scientiarum. Human and Social Sciences Maringá, v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.

ANA. **Hidroweb**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>> . Acesso em dezembro de 2016.

ANJOS, R.S.; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA, R. S. **Caracterização das chuvas através do satélite TRMM em Petrolândia-PE**. Revista Brasileira de Climatologia, v.18, p.307-326, 2016.

ANJOS, R. S.; NÓBREGA, R. S. **Validando os dados de estimativa de precipitação por sensoriamento remoto do satélite TRMM para Pernambuco – Brasil**. In: I Workshop em Ciências da Terra e do Espaço, Évora, Portugal, 2013, p. 129-136.

ANJOS, R. S.; NÓBREGA, R. S.; ARAÚJO, F. E.; ROCHA FILHO, G. B. R. **Spacial distribution of rain types in Pernambuco with the usage of Remote Sensing**. Journal of Hyperspectral Remote Sensing v.6, n.3 (2016) 154-163..

ANAGNOSTOU, E. N.; MORALES C. A.; DINKU, T. **The Use of TRMM Precipitation Radar Observations in Determining Ground Radar Calibration Biases**. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol.18, July. 2000.

APAC. **Monitoramento Pluviométrico**. Disponível em < <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>>. Acesso em Agosto de 2015.

ARAGÃO, J. O. R.; ARAÚJO, J. G.; LACERDA, F. F. **Comparação entre as Precipitações Observadas e as Prognosticadas pelo Modelo BRAMS durante dois Eventos de Chuvas Fortes no Litoral de Pernambuco, Brasil.** Disponível em: http://www.cbmet.com/cbm-files/14-1a8b85389_166082473597264101f3c6d.pdf. Acessado em: agosto de 2014.

ARAÚJO, R. S. **Classificação climatológica das nuvens precipitantes no Nordeste Brasileiro utilizando dados do radar a bordo de um satélite TRMM.** Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2015. 129 p.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 14ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 350 p.

BLAZETO, B. **Impacto da precipitação no ciclo de assimilação em modelos de mesoescala.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo (SP). 2007. 118 p.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise Espacial de Superfícies por Geoestatística Espacial. . In: DRUCK et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos.** Brasília: EMBRAPA, 2004. p. 1-37.

CEMADEN. **Pluviômetros.** Disponível em: < <http://www.cemaden.gov.br/o-que-sao-pluviometros/>>. Acesso em outubro de 2016.

CLOUD, J. **American Cartographic Transformations during the Cold War.** Cartography and Geographic Information Science, Vol. 29, No. 3. 2002. p. 261-282.

CODEVASF. **Sistema Itaparica.** Disponível em <http://www2.codevasf.gov.br/prgr_amas_acoes/sistema-itaparica-1/> . Acesso em novembro de 2015.

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS). 2006. 128 p.

COSTA, A. N. M.; SOUSA, A. M. L.; **Análise do uso e mudança do solo a partir dos dados de vazão e precipitação.** Anais do 10º Seminário Anual de Iniciação Científica da UFRA, 2012.

COTTON, W. **Storm and cloud dynamics.** Academic press, 2010.

DINKU, T.; CECCATO, P.; GROVER-KOPEC, E.; LEMMA, L.; CONNOR, S. J.; ROPELLEWSKI, C. F. **Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography.** International Journal of Remote Sensing, vol. 28, nº. 7, 10 April. 2007.

DUAN, Y.; WILSON, A. M.; BARROS, A. P. **Scoping a field experiment: error diagnostics of TRMM precipitation radar estimates in complex terrain as a basis for IPHEX2014.** Journal Hydrology and Earth System Sciences., 19. 2015. p. 1501–1520.

EL-MAGD, I. A.; HERMAS, E.; BASTAWESY, M. E. **GIS- modelling of the spatial variability of flash flood hazard in Abu Dabbab catchment, Red Sea Region, Egypt.** The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 13, 2010. p. 81-88.

FUZZO, D. F. S.; PANTANO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. **Modelagem Agrometeorológica para Estimativa de Produtividade de Soja para o Vale do Médio Paranapanema-SP.** Revista Irriga, Botucatu, v. 20, n. 3 2015. , p. 490-501.

INDU, J.; KUMAR, D. N. **Evaluation of TRMM precipitation products over Indian Subcontinent.** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-8. 2014. p. 355 - 358.

INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.** Disponível em : <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> . Acesso em fevereiro de 2016.

IBGE. **Cidades.** Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codumn=261160>> . Acesso em julho de 2016.

JAVANMMARD, S.; JAMLI, B. **The Study of Atmospheric Physics Parameters over Iran Using Satellite TRMM-TMI.** Journal Earth Science Climatic Change, v. 6, p 1-7, 2015.

KARIMI, P.; BASTIAANSEN, W. G. M. **Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting – Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data.** Journal Hydrology Earth System Science, 19. 2015. , p. 507–532.

KELLEY, O. A.; STOUT J.; HALVERSON, J. B. **Tall precipitation cells in tropical cyclone eyewalls are associated with tropical cyclone intensification.** Geophysical Research Letters, V.31, 1-4, 2004.

KUMMEROW, C. et al. **The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission. Mission (TRMM) after two years in orbit.** Journal of Applied Meteorology, 39 (12) . 2000. p. 1965-1982.

LEARY, C. A.; HOUZE Jr, R. A. **Observations of horizontally uniform precipitation and radar bright bands in the tropics.** Disponível em:<http://www.atmos.washington.edu/MG/PDFs/ prep78_lear_ observations.pdf>. Acesso em: agosto de 2014.

LOUZADA, F. L. R. O.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. **Análise da precipitação estimada por satélite para a bacia hidrográfica do Rio Doce.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 2015, p 6645 -6652.

LUCAS, T.P.B. et al. **Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos.** Revista Brasileira de Climatologia, v.13, p.7-21, 2013.

MAGALHÃES, I. A. L. **Análise de métodos de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na região Norte do estado do**

Espirito Santo, Brasil. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0801.pdf>. Acesso em maio de 2016.

MELLO, C. R.; LIMA, J. L.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M. **Krigagem e Inverso Do Quadrado Da Distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas.** R. Bras. Ci. Solo, 27:925-933, 2003

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco.** Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006.148 p.

MORALES, C. A.; ALBRECHT, R. I. **Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM): Missão para medição da chuva tropical.** Disponível em: <http://docplayer.com.br/1747860-Tropical-rainfall-measuring-mission-trmm.html> Acesso em: agosto de 2014.

NASA; JAXA. **Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Radar Algorithm.** Instruction Manual for Version 6. 180 p. 2005.

NASA. **NASA Facts: TRMM Instruments.** Disponível em: http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/ceres.html. Acesso em julho de 2015.

_____. **TRMM 3B43_V7.** Disponível em: < http://disc.gsfc.nasa.gov/datacollection/TRMM_3B43_V7.shtml > . Acesso em setembro de 2015.

_____. **Global Maps.** Disponível em < <http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/index.php> > Acesso em maio de 2015.

_____. **Irene Gathers Strength, Takes Aim at the Bahamas.** Disponível em: < <http://pmm.nasa.gov/mission-updates/trmm-news/irene-gathers-strength-takes-aim-bahamas> > Acesso em maio de 2016.

_____. **Nasa Space Place.** Disponível em < <http://spaceplace.nasa.gov/>>. Acesso em dezembro de 2016.

_____. **May 26, 2016 - NASA's GPM Satellite Sees Potential Atlantic Tropical Cyclone.** Disponível em: < <http://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/nasas-gpm-satellite-sees-potential-atlantic-tropical-cyclone>>. Acesso em maio de 2016.

_____. **TRMM Mission Comes to an End after 17 Years.** Disponível: <<https://pmm.nasa.gov/trmm/mission-end>> . Acesso em fevereiro de 2017.

NETO, L. A. S.; NÓBREGA, R. S. **Conversão dos dados diários do TRMM de formato binário para texto.** In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009. Disponível em < www.sbagro.org.br/anais_congresso_2009/cba2009/301.pdf>. Acesso em setembro de 2015. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 2009. p. 4781-4788.

NICÁCIO, R. M. et al. **Evapotranspiração real utilizando a fração de referência na região semiárida da bacia hidrográfica do rio São Francisco.** Anais XIV do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 2009. p. 4781-4788.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. **Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma Sub-Bacia da Amazônia.** Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, nº 1, jan/abr. 2008.

NOAA. **NOAA's Geostationary and Polar-Orbiting Weather Satellites**. Disponível em: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/genlsatl.html>> . Acesso em fevereiro de 2017.

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

OLIVEIRA, C. **Identificação e correção da banda brilhante em dados de radar meteorológico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba (PR). 2014. 75 p.

OLIVEIRA, I. J.; NASCIMENTO, D. T. F. **Mapas da Climatologia, bases teórico-metodológicas**. Revista ANGEPE v. 7, p. 127-141. 2011.

PARK, M. S. et al. **Regional cloud characteristics over the tropical northwestern Pacific as revealed by Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Radar and Microwave Imager**. Journal of Geophysical research, vol. 112, 2007.

PEREIRA et al. **Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18 n.3, p. 139-148, 2013.

ROCHA- FILHO, G. B. R et al.. **Potencial agroecológico do município de Itacuruba, Pernambuco, Brasil** Revista Brasileira de Geografia Física V. 09 N. 01, p.172-184, 2016.

RUDORFF, B. F. T. **Produtos de sensoriamento remoto**. Disponível em <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em novembro de 2015.

SANTANA, R. A.; SANTOS, N. T. **Utilização de técnicas geoestatística na otimização de amostragem em parcelas de povoamentos de Tectona Grandis**. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/sinape/19sinape/node/661>. Acesso em: maio de 2016.

SHERBININ, A. M. **Mapping the unmeasurable? Spatial Analysis of Vulnerability to Climate Change and Climate Variability**. 253 f. Tese. University of Twente, Massachusetts, United States of America. 2014.

SHRESTHA, D.; DESHAR, R.; NAKAMURA, K. **Characteristics of Summer Precipitation around the Western Ghats and the Myanmar West Coast**. International Journal of Atmospheric Sciences. vol 2015, 2015.

SILVA, C. M. S.; FREITAS, S. R.; GIELOW, R. **Ciclo diário da precipitação estimada através de um radar banda s e pelo Algoritmo 3b42_v6 do projeto TRMM durante a estação chuvosa de 1999 no Sudoeste da Amazônia**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.26,. 2011. p. 95 – 108.

SILVA, D. P.; FERREIRA, M. E. **Uso de Imagens do Satélite TRMM para Quantificação do Regime de Chuvas e Nebulosidade no Bioma Cerrado**,

Brasil. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013. p. 8861-8867.

SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. LINS, L. V. **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação/**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2003. 382 p.

SILVA, J. C. **Arqueologia no médio São Francisco. Indígenas, vaqueiros e missionários.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco (PE). 460 p. 2003.

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

UNIVERSITY OF UTAH. **Precipitation Measuring Missions (PMM).** Disponível em < <http://trmm.chpc.utah.edu/>>. Acesso em outubro de 2016.

UFCG. **Clima.** Disponível em < <http://www.dca.ufcg.edu.br/tsm.htm>>. Acesso em dezembro de 2016.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D.B.F.; MELLO, J.M.; AVILLA, L. F. **Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.9, p.970–978, 2010.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F. O. **Variabilidade Espacial e Preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o estado de Alagoas.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.3, 347 - 354, 2012.

YOSHIDA, M. C. **Estudo de células convectivas em Rondônia durante o experimento WETAMC-LBA/TRMM.** Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (SP). 2009. 95 p.

APÊNDICE A – REMQ em (mm) obtidos a partir da validação cruzada dos métodos de Krigagem e IDW para os dados observados e estimados de precipitação acumulada de 1998 a 2014 e 2005 a 2014.

PERÍODO	MÉTODO	KRIGAGEM	IDW
1998/2014	OBSERVADA	909,1	938,3
1998/2014	ESTIMADA	669,3	921,4
2005/2014	OBSERVADA	802,9	930,5
2005/2014	ESTIMADA	557,8	692,7

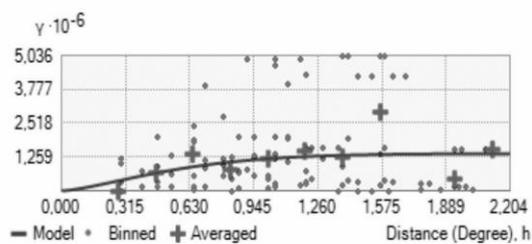
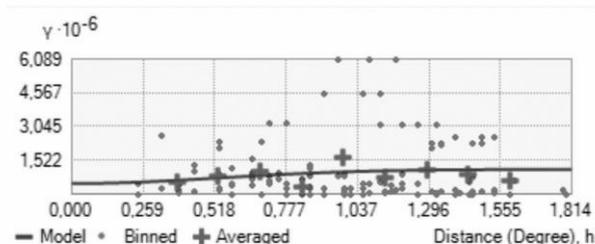
APÊNDICE B – Semivariograma dos dados observados e estimados de precipitação para os dois períodos (1998-2014) e (2005-2014).

DADOS OBSERVADOS

DADOS ESTIMADOS

1998 a 2014

1998 a 2014



2005 a 2014

2005 a 2014

