



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL - DECA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO
GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT COM ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – BRASIL EM 2017**

ÉRICO DE MATOS URQUIZA

João Pessoa

Maior - 2019

ÉRICO DE MATOS URQUIZA

**AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO
GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT COM ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – BRASIL EM 2017**

Tema: Recursos Hídricos

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito obrigatório à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida

JOÃO PESSOA

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

U79a Urquiza, Erico de Matos.
Avaliação da conformidade de dados de precipitação do
Global Precipitation Measurement com estações
pluviométricas no estado do Rio de Janeiro - Brasil em
2017 / Erico de Matos Urquiza. - João Pessoa, 2019.
45 f. : il.

Orientação: Cristiano Almeida Neves.
TCC (Especialização) - UFPB/CT.

1. GPM. 2. IMERG. 3. Precipitação. I. Neves, Cristiano
Almeida. II. Título.

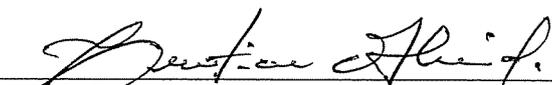
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

ÉRICO DE MATOS URQUIZA

**AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO
DO GPM COM ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO- BRASIL**

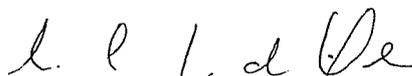
Trabalho de Conclusão de Curso em 10/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof. Cristiano das Neves Almeida, D.Sc.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



Prof. Ana Cristina Souza da Silva, D.Sc.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

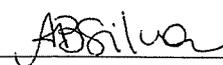
APROVADO



Prof. Gustavo Barbosa Lima Silva, D.Sc.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Andrea Brasiliano Silva, D.Sc.

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedicatória:

A todos os envolvidos na minha
formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas graças e conquistas alcançadas, pela força e coragem para superar os obstáculos.

Aos meus pais por terem me dado uma educação baseada em princípios morais e éticos que tornaram um homem íntegro, e por sempre proporcionarem as melhores condições para minha formação acadêmica e profissional, mesmo diante de situações financeiras por tantas vezes adversas.

Ao meu irmão Vinícius e minha namorada Deborah pelo companheirismo, motivação, e ajuda para que eu pudesse realizar esse trabalho.

Aos meus orientadores Cristiano Almeida Neves e Emerson Freitas, por oferecer todo o suporte necessário para que eu pudesse realizar essa pesquisa.

Aos professores que contribuíram para o meu engrandecimento como profissional, e que por tantas vezes foram exemplos de responsabilidade, caráter e honestidade, necessários para

Aos meus amigos Piratas/PokoPojeta por todos os momentos de estudo e resenha no decorrer do curso, por sempre estarem presentes nos bons e maus momentos.

A todos das famílias Matos e Urquiza que sempre torceram pelo meu sucesso e são base de toda a minha formação.

RESUMO

A precipitação é uma componente de extrema importância para o entendimento do ciclo hidrológico e de diversos fenômenos relacionados a este. O entendimento dessa variável desempenha um papel importante na eficiência da gestão dos recursos hídricos contribuindo no desenvolvimento econômico e social e na manutenção da vida humana. Dentre as grandezas que caracterizam a precipitação, a altura pluviométrica é uma das principais, e as formas de medição dessa grandeza é objeto de estudo de diversas pesquisas. O uso de sensores instalados em satélites para estimar eventos de chuva tem se mostrado uma alternativa para superar as principais limitações presentes nos instrumentos mais tradicionais de medição como pluviômetros e radares. O Global Precipitation Measurement (GPM) é uma das missões espaciais mais recentes que possuem esse objetivo, lançada em 2014 pela associação entre as agências espaciais NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a JAXA (Agência Japonesa de Exploração Espacial), se compromete a fornecer dados de precipitação de todo o globo com. Um dos produtos dessa missão que tem demonstrado um bom desempenho nas estimativas de precipitação é o *Integrated Multi-SatellitE Retrievals for GPM* (IMERG). Este estudo tem como objetivo avaliar a conformidade dessas estimativas feitas pelo IMERG com dados de estações pluviométricas no estado do Rio de Janeiro para o ano de 2017, e o grau de interferência da topografia nas estimativas feitas pelo satélite. Para isso foram utilizadas métricas estatísticas que avaliam a assertividade e similaridade da missão espacial, com apresentação desses resultados em mapas, tabelas e gráficos. As métricas foram aplicadas em dois casos, um no qual foram avaliados apenas os pixels que possuem postos pluviográficos, e outro para a utilização do resultado da interpolação da precipitação medida nos postos. Em ambos os casos o IMERG apresentou um bom desempenho das métricas, demonstrando uma forte correlação linear positiva entre o satélite e os pluviômetros, além de erros relativos predominantemente abaixo de 30%. Constatou-se também uma tendência na superestimação da precipitação pelo IMERG. Quanto a topografia, verificou-se que não há um comportamento de proporcionalidade entre as estimativas e a variação de altitude, mas foi possível avaliar o desempenho do satélite em alguns intervalos de altitude.

PALAVRAS-CHAVE: GPM, IMERG, Precipitação

ABSTRACT

Precipitation is an extremely important component for the understanding of the hydrological cycle and of several phenomena related to it. The understanding of this variable plays an important role for economic and social development, as well as the maintenance of human life. The use of satellites sensors to estimate rainfall events has shown to be an alternative to overcome the main limitations present in the most traditional measuring instruments such as rain gauges and radars. The Global Precipitation Measurement (GPM) is one of the most recent space missions that have this goal, launched in 2014 by the association between the NASA (National Aeronautics and Space Administration) and JAXA (Japanese Space Exploration Agency), provide rainfall data from around the globe with optimal spatial and temporal resolution. One of the products of this mission that has demonstrated good performance in precipitation estimates is the Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM (IMERG). This study aims to evaluate the compliance of these estimates made by IMERG with data from rainfall stations in the state of Rio de Janeiro for the year 2017 and the degree of interference of the topography in the estimates made by the satellite. Statistical metrics were used to evaluate the assertiveness and similarity of the space mission, with the presentation of these results in maps, tables and graphs. The metrics were applied in two cases, one in which were evaluated only the pixels that have pluviometric stations, and another for the use of the result of the interpolation of the precipitation measured in the stations. In both cases IMERG showed a good performance of the metrics, showing a strong positive linear correlation between the satellite and the rain gauges, in addition to relative errors predominantly below 30%. There was also a tendency in the overestimation of precipitation by IMERG. As for the topography, it was verified that there is no proportionality behaviour between the estimates and the altitude variation, but it was possible to evaluate the performance of the satellite at some altitude intervals.

KEY WORDS: GPM, IMERG, Precipitation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pluviômetro Ville de Paris	4
Figura 2 - Equipamentos do satélite TRMM	7
Figura 3 - Observatório Central do GPM	8
Figura 4 - Área de estudo	12
Figura 5 - Distribuição espacial da precipitação anual no Estado do Rio de Janeiro	13
Figura 6 - Mapa topográfico do Estado do Rio de Janeiro	13
Figura 7 - Distribuição dos postos pluviográficos do CEMADEN	14
Figura 8 - Delimitação da região da interpolação.....	16
Figura 9 - Coeficiente de Correlação.....	18
Figura 10 - Comparação Ponto – Pixel: Coeficiente de Correlação (CC).....	22
Figura 11 - Comparação Ponto – Pixel: BIAS	22
Figura 12 - Comparação Ponto – Pixel: RMSE.....	23
Figura 13 - Comparação Ponto – Pixel: Erro Relativo.....	23
Figura 14 - Comparação por Interpolação: Coeficiente de Correlação (CC)	26
Figura 15 - Comparação por Interpolação: BIAS.....	26
Figura 16 - Comparação por Interpolação: RMSE.....	27
Figura 17 - Comparação por Interpolação: Erro Relativo	27
Figura 18 - Altitude x Erro Relativo Absoluto	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação Ponto x Pixel– Coeficiente de correlação (CC)	20
Tabela 2 - Comparação Ponto x Pixel: Bias	20
Tabela 3 - Comparação Ponto x Pixel: RMSE	21
Tabela 4 - Comparação Ponto - Pixel: Erro Relativo	21
Tabela 5 - Comparação por interpolação: Coeficiente de Correlação (CC).....	24
Tabela 6 - Comparação por interpolação: BIAS	24
Tabela 7 - Comparação por interpolação: RMSE.....	25
Tabela 8 - Comparação por interpolação: Erro Relativo	25
Tabela 9 - Quantidade de pixels por faixa de altitude	28
Tabela 10 - Erro relativo: até 400 m de altitude	28
Tabela 11 - Erro relativo: 400 m até 800 m de altitude.....	29
Tabela 12 - Erro relativo: 800 m até 1.600 m de altitude.....	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Gerais.....	3
2.2 Específicos	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 Equipamentos e formas de medição de precipitação	4
3.1.1 Pluviômetros.....	4
3.1.2 Radares	5
3.1.3 Uso de satélites para estimativa de precipitação	5
3.1.3.1 TRMM.....	6
3.1.3.2 GPM	7
3.1.3.2.1 O algoritmo IMERG (Integrated Multi-SatellitE Retrievals for GPM)	9
3.2 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)	10
3.3 Estudos Realizados	10
4. METODOLOGIA.....	12
4.1 Descrição da área de estudo.....	12
4.2 Obtenção e tratamento de dados dos postos pluviográficos	14
4.3 Obtenção de dados do GPM	15
4.4 Obtenção de dados de altitude SRTM	15
4.5 Comparação do IMERG com dados de campo CEMADEN.....	15
4.5.1 Comparação Ponto – Pixel	15
4.5.2 Comparação por interpolação	16
4.5.3 Métricas estatísticas para comparação.....	17
4.6 Comparação dos resultados com topografia	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5.1 Comparação Ponto x Pixel.....	20
5.2 Comparação por interpolação.....	24
5.3 Comparação dos resultados do método Ponto – Pixel com topografia.....	28
6. CONCLUSÕES.....	30

7. REFERÊNCIAS	31
-----------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

Os conhecimentos sobre variados fenômenos hidrológicos permitiram ao homem através dos tempos melhorar a eficiência da gestão dos recursos hídricos. Esses possibilitam o desenvolvimento econômico e social, bem como a mitigação dos problemas relacionados a escassez ou abundância da água. (COLLISCHON E DORNELLES, 2015).

Dentre os diversos fenômenos, a precipitação é o componente de entrada mais importante presente no ciclo hidrológico, e o seu entendimento é fundamental em diversas aplicações na hidrologia, agronomia e engenharia. A quantificação da precipitação é indispensável para diversas finalidades como: previsão de inundações, susceptibilidade de deslizamentos de terra, planejamento e construção de obras hídricas. Dessa forma, fica evidenciada a importância do conhecimento dessa variável hidrológica para elaboração de estratégias de mitigação de riscos naturais, bem como na promoção do desenvolvimento humano e da segurança hídrica, importante na prevenção da fome (GADELHA, 2018).

Tucci (2001) cita que a quantificação de grandezas que caracterizam a chuva, como altura pluviométrica e intensidade, são fatores determinantes para realizar a gestão de recursos hídricos para abastecimento humano, e determinar necessidade de irrigação de culturas. No entanto devido à sua grande variabilidade espaço-temporal, a precipitação é uma das variáveis atmosféricas de difícil medição (MIGUEL, RENNÓ e BERTONCINI, 2017).

Existem diversas ferramentas utilizadas para medição de precipitação, dentre os quais pode se destacar três mais usuais: pluviômetros, radares, e monitoramento por satélite.

Os pluviômetros existentes no Brasil são mantidos por diversas instituições e empresas, sendo a principal delas a Agência Nacional de Águas (ANA), responsável pela coordenação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Segundo o Hidroweb (2018), o Brasil contava com mais de 2700 postos de medição de chuva.

Contudo, as medições pontuais podem apresentar desvantagens, como não representar a distribuição espacial da chuva numa região, uma vez que amostram pontos isolados de chuva (CABRAL, SAKURAGI e SILVEIRA, 2016). De acordo com Antonio (2007), a baixa densidade de rede de postos de monitoramento compromete a resolução espacial das informações obtidas. Isso pode estar relacionado a fatores como a extensa dimensão do território brasileiro e a dificuldade na instalação desses equipamentos em localidades de difícil acesso como florestas e regiões montanhosas.

Uma forma de vencer esses obstáculos é com a utilização de radares equipados com sensores para realizar as medições de chuva. Conforme Tucci (2001), através dos radares é possível registrar eventos de chuva em um raio na ordem de 200 km. Além do grande alcance, permite a detecção dos eventos de chuva sem a necessidade de deslocamento dos instrumentos de medição e possibilita quantificar a precipitação de forma quase contínua no tempo e no espaço. Seria então impraticável obter tamanha resolução utilizando postos pluviométricos devido aos altos custos de implantação, manutenção e operação de uma rede tão densa.

No entanto, Pessoa (2001) destaca algumas desvantagens nesse tipo de monitoramento remoto, das quais pode se destacar o elevado investimento na aquisição e instalação de equipamentos. Além disso, alguns eventos meteorológicos como a formação de precipitações a baixas altitudes, a presença de ventos laterais aliado a efeitos de refração, e precipitações ocorridas nos limites de alcance do radar podem resultar na produção de informações distorcidas.

Diante dessa dificuldade, a utilização de satélites tem se tornado uma alternativa viável para a medição de precipitação por apresentar vantagens consideráveis em relação aos métodos citados anteriormente. Além de apresentar produtos com ótimas resoluções temporais, o alcance em escalas globais possibilita a mensuração da chuva em regiões de difícil acesso como florestas, regiões montanhosas, oceanos e grandes lagos.

No entanto, estudos como o de Tang, Ma et al. (2015) e Serrão, Wanzeler et al. (2016) mostram que as qualidades das estimativas de precipitação fornecidas por satélite precisam ser estudadas e melhoradas, pois apresentam incoerências nas medições a depender da época do ano e das diferentes condições geográficas como latitude, altitude e umidade do ar.

Portanto, essa tecnologia relativamente recente, necessita passar por validações de seus dados, para verificar quais as fragilidades das estimativas, e atestar o grau de confiabilidade dos mesmos. A partir disso, esse trabalho realiza um estudo sobre a conformidade dos dados de precipitação obtidos pelo GPM com dados obtidos de estações pluviográficas do Centro de Monitoramento de Desastres Naturais (CEMADEN).

2. OBJETIVOS

2.1 Gerais

O objetivo desse estudo é avaliar a conformidade dos dados de precipitação obtidos através do GPM com os dados de estações pluviográficas do CEMADEN coletadas em campo.

2.2 Específicos

- Comparar dados de precipitação estimados pelo GPM e dados observados de pluviógrafos através de métricas estatísticas determinadas;
- Verificar o grau de interferência da variação de altitude do terreno nas medições de precipitação feita por satélite;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Equipamentos e formas de medição de precipitação

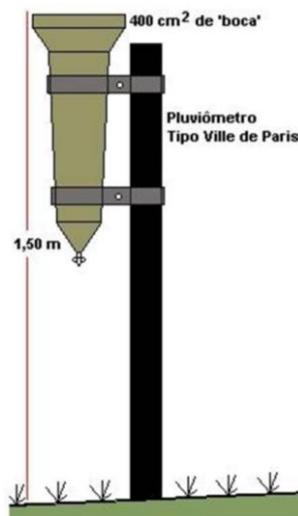
As diversas formas de medir a precipitação, possuem características distintas como diferentes precisões das medições, custos de implementação, resoluções espaciais e temporais. Dessa forma, é importante escolher adequadamente qual tipo de equipamento vai ser utilizado conforme a várias necessidades.

3.1.1 Pluviômetros

Pluviômetros são aparelhos de medição da precipitação que fornecem o total de água acumulado durante um intervalo fixo de tempo.

Existem diversos modelos de pluviômetros utilizados no mundo, no Brasil, o mais comum é do tipo “Ville de Paris” (Figura 1). Esse modelo possui um formato cilíndrico, com abertura para captação da chuva de 400cm², de forma que o volume de 40 ml de água coletados equivale a 1mm de chuva.

Figura 1 - Pluviômetro Ville de Paris



Fonte: Pluviômetros (2019).

De acordo com Collischon e Dornelles (2015), apesar de ser uma das formas mais precisas de medição da chuva, esta pode apresentar erros durante o processo de monitoramento e operação como:

- Existência de obstáculos, como edificações ou árvores, que impeça, que a água da chuva atinja o pluviômetro
- Perdas por evaporação da água retida no coletor

- Chuvas muito intensas que possam exceder o volume máximo de captação do instrumento
- Falhas na leitura da medição feita pelo observador

Por serem apenas capazes de medir a precipitação pontualmente no espaço, é necessária a existência de diversos pluviômetros em distribuídos em campo para que seja possível o entendimento da distribuição espacial da precipitação em uma região (GADELHA,2018). No entanto a utilização de radares e satélites podem ser uma alternativa para entender essa distribuição de forma mais eficiente.

3.1.2 Radares

O radar meteorológico consiste num aparelho capaz de emitir pulsos eletromagnéticos de alta frequência. Segundo Emídio (2008) as ondas emitidas por ele atingem as partículas de água da precipitação, ocasionando a difusão dessas ondas em todas as direções. Ainda segundo a autora, a parcela dessas ondas que é reenviada ao radar e captadas pelas antenas fornecem informações quanto a granulometria das gotas de chuva, velocidade média, etc.

Essa informação é denominada refletividade (Z), expressa em mm^6/m^3 , que pode ser convertida em intensidade de chuva através de equações matemáticas obtidas pela calibração do radar e de parâmetros que dependem das características da chuva (ANTÔNIO,2007).

Segundo Pessoa (2001), ao contrário dos pluviômetros, os radares possuem um alcance para a estimativa da precipitação extensa, na faixa de 200km de raio, possibilitando o estudo da distribuição espacial da chuva com uma menor quantidade de equipamentos quando comparados ente si. Além disso o radar consegue medir outras formas de precipitação como a neve.

No entanto além das desvantagens desse tipo de monitoramento remoto já apresentadas, a cobertura espacial dos radares ainda é inexpressiva no Brasil, o que torna inviável a estimação da precipitação a nível nacional por meio deles. Por isso, cada vez mais aumenta o interesse na utilização da estimativa da precipitação a partir de sensores equipados em satélites. (JIMÉNEZ e COLLISCHONN, 2014).

3.1.3 Uso de satélites para estimativa de precipitação

Os produtos gerados por satélites conseguem suprir as principais deficiências das demais formas de medição, fornecendo dados de precipitação em regiões de difícil acesso em

escalas de tempo pequenas. No entanto essas estimativas de precipitação por satélite passam por processos de validação através de estudos científicos que verificam a conformidade e a aplicabilidade desses dados para diferentes regiões com características geográficas distintas.

A utilização de satélites para realizar a estimativa de precipitação pode ser uma alternativa viável para superar as principais limitações que os pluviômetros e radares possuem. Os produtos gerados a partir desse tipo de sensoriamento remoto já existem desde a década de 1960, com o lançamento do satélite TIROS-1, desenvolvido pela *Radio Corporation of America* (RCA). Apesar de ter ficado apenas 78 dias operante, já demonstrava a viabilidade desse tipo de monitoramento (NASA,2017).

Desde então diversas missões espaciais surgiram com o propósito de realizar a estimativa de precipitação ao redor do mundo, das quais destacam duas recentes, o TRMM (*Tropical Measurement Mission*), e seu sucessor, o GPM (*Global Precipitation Meausrement*).

3.1.3.1 TRMM

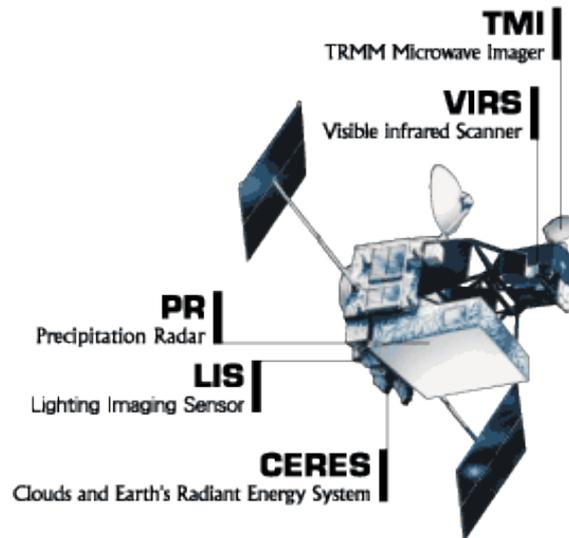
Lançada em 1997, o TRMM foi uma missão especial realizada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) juntamente a Agência Exploração Aeroespacial (JAXA) com o objetivo de estudar distribuição e variação espacial da precipitação na região dos trópicos. Para realizar a captura dos dados, o satélite do TRMM dispunha de diversos equipamentos para geração dos seus produtos. Dentre eles pode se destacar o radar de precipitação, o *TRMM Microwave imager* (TMI) e o *Visible Infrared Scanner* (VIRS). (NASA, 2018). Os equipamentos do satélite TRMM podem ser observados na Figura 2.

O radar de precipitação foi um instrumento desenvolvido para fornecer mapas tridimensionais da estrutura da chuva. As medições feitas por ele conseguem coletar informações importantes como intensidade, tipo e distribuição da chuva, e até mesmo a altura com que a neve se derrete na atmosfera. (NASA, 2011)

Conforme Braun (2011), o TMI é um sensor de micro-ondas desenvolvido para fornecer informações quantitativas de precipitação sobre uma faixa de região sob o satélite TRMM. Através da mensuração da quantidade de ondas de energia emitidas pela Terra e a atmosfera, esse instrumento é capaz de quantificar o vapor de água, a água presente nas nuvens e a intensidade da precipitação na atmosfera

Ainda segundo o autor, o VIRS é utilizado para caracterizar a estrutura das nuvens em eventos de precipitação, além de ser utilizado para transferir informações para satélites geoestacionários.

Figura 2 - Equipamentos do satélite TRMM



Fonte: TRMM (2018).

O TRMM fornecia dados entre as latitudes 35°N e 35°S e produtos com resolução espacial de 0,25° x 0,25° (aproximadamente 25km x 25km) e resoluções temporais variáveis a depender do tipo de produto escolhido. A missão TRMM foi finalizada em abril de 2015, sendo substituída pela missão espacial GPM, que tem o desafio de ampliar a área de cobertura e a qualidade dos produtos gerados.

3.1.3.2 GPM – *Global Precipitation Measurement*

Global Precipitation Measurement (GPM) é uma missão internacional que visa unificar e desenvolver a estimativa da precipitação a partir do espaço, para o desenvolvimento científico e aplicações sociais. Em relação ao TRMM, o GPM fornece uma nova geração de dados de precipitação com mais acurácia, cobertura e melhores resoluções espacial e temporal, para o estudo do ciclo da água em escala global, bem como seu fluxo e interações com outras variáveis como umidade do solo e transporte atmosférico. (NASA, 2011)

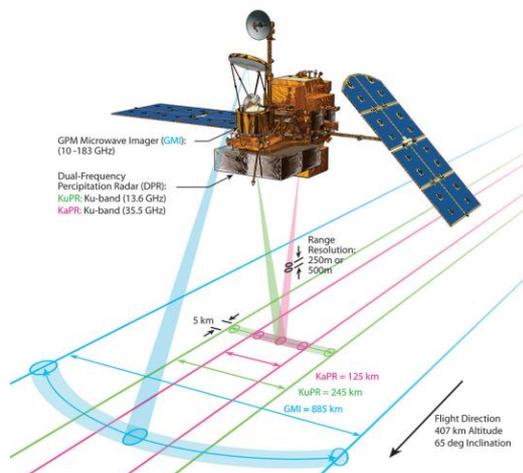
Além da importância científica mencionada, a missão também tem aplicações sociais como estender a capacidade de monitoramento de previsão de eventos climáticos extremos como furacões, enchentes, deslizamentos, além de melhorar o gerenciamento de recursos hídricos.

O GPM é uma missão espacial composta por vários satélites, que apesar de possuírem objetivos científicos e operacionais específicos, também coletam e compartilham dados meteorológicos para a missão, a fim de unificar e disseminar informação sobre a precipitação no mundo (HUFFMAN et. al., 2018). Apesar de vários satélites contribuírem com a missão, o GPM possui como satélite principal o “Observatório Núcleo”, que por sua vez é equipado com dois importantes instrumentos: um radar e um radiômetro, conforme apresentado na Figura 3.

Segundo Watters, Battaglia et al. (2018) o radar utilizado no observatório núcleo é o DPR (*Dual Precipitation Radar*), que é capaz de fornecer informações tridimensionais da precipitação através da energia refletida pelas partículas da precipitação em diferentes alturas. Esse, opera em duas frequências distintas, 13,6 GHz (Ku-Band) e 35,5 GHz (Ka-Band), que juntas permitem estimar o tamanho das partículas e fornecer informações sobre as características físicas da precipitação. Ao contrário dos equipamentos existentes no satélite TRMM, esse se destaca pela alta sensibilidade de detecção de precipitações brandas e neve em regiões de elevadas altitudes.

De acordo com HOU et al. (2014), o radiômetro utilizado, GMI (*Global Microwave Sensor*), é um instrumento capaz de captar micro-ondas através de 13 canais de diferentes sintonizações que alcançam frequências de 10 GHz até 183 GHz. Cada um desses canais operam em frequências próprias de funcionamento, observando a energia de diferentes tipos de precipitação através das nuvens para assim estimar desde precipitações leves e até nevascas.

Figura 3 - Observatório Central do GPM



Fonte: Hou et al. (2014).

O GPM fornece produtos com resoluções espaciais e temporais mais acuradas do que o seu antecessor TRMM, sendo a espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (aproximadamente 10km x 10km) e resolução temporal variável, mas que pode alcançar até 30 minutos (GADELHA, 2018).

3.1.3.2.1 O algoritmo IMERG (Integrated Multi-SatellitE Retrievals for GPM)

Os produtos gerados pela missão GPM são divididos pela NASA em diversos níveis baseados no refinamento dos dados disponibilizados, que são processados por diferentes tipos de algoritmos. Segundo Gadelha (2018) destaca-se o produto *Level 3* (nível 3), processado pelo algoritmo *Integrated Multi-SatellitE Retrievals for GPM* (IMERG), que combina estimações de precipitação proveniente de todos os satélites da constelação, imagens de radar de satélites geostacionários e informações de medições de pluviômetros em campo. Além disso esse produto já possui a padronização da resolução espacial dos seus pixels de 1° , facilitando a sua manipulação.

De acordo com Huffman et. al (2018), o IMERG também possui diferentes tipos de produtos, classificado de acordo com o tempo que os dados levam para serem processados e o grau de consistência deles. O primeiro deles, denominado *Early Run*, é disponibilizado 6 horas após a captura de informações pelos satélites, com o objetivo de auxiliar na previsão de eventos climáticos extremos como enchentes, e apesar de não ser o mais refinado dos produtos, repassa informações quase em tempo real. O segundo, denominado *Late Run*, é disponibilizado 15 horas após realizadas as leituras do satélite, com a mesma função do primeiro, porém com um tratamento de dados mais bem aplicado.

Por último, tem-se o produto de melhor tratamento de dados denominado *Final Run*, o qual passa por um processo de validação de solo que tem como objetivo aproximar a estimativa feita pelos satélites e uma rede de monitoramento de postos pluviométricos (GADELHA,2018; HUFFMAN et al., 2018). Este produto é disponibilizado 4 meses após a passagem dos satélites, e normalmente é utilizado pela comunidade científica para realização de estudos.

Os produtos gerados pelo IMERG tem sido alvo de diversos estudos ao redor do mundo, que buscam compará-los com dados de estações de campo com o intuito de verificar a conformidade e validar seus resultados na prática.

3.2 SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)

O SRTM foi uma missão espacial conduzida pela NASA com o objetivo de obter dados de elevação para gerar o mais completo banco de dados digital em alta resolução. Os dados topográficos obtidos na missão possuem diversos tipos de utilização, como na melhora dos modelos de drenagem e na delimitação de bacias hidrográficas. Durante a missão, um satélite orbitou ao redor da Terra durante 11 dias em fevereiro de 2000 (NASA, 2016).

Para obter os dados de elevação, o SRTM utiliza de uma técnica denominada interferometria por radar, na qual duas imagens diferentes da mesma região são geradas de localizações levemente diferentes. Para isso, o satélite utilizado foi equipado com dois radares, um localizado na própria nave e outro na ponta de um mastro atracado na mesma, a 60m de distância. O satélite conseguiu fazer medições entre as latitudes de 60° norte e 56° Sul em todo o planeta, cobrindo aproximadamente 80% da porção de terra existente.

Os dados de elevação do SRTM disponibilizados podem ser encontrados com dois tipos de resolução espacial, uma de 90 m e outra de 30 m. Isso permite maior flexibilidade de acordo com o propósito de utilização dos dados.

3.3 Estudos Realizados

Por ser uma missão espacial recentemente implementada, diversos estudos nos últimos anos foram desenvolvidos para testar os produtos do IMERG aplicados a cenários climáticos e geográficos distintos para validação dos seus dados. Destacam-se desde 2016 alguns estudos internacionais e nacionais sobre o assunto.

Um dos primeiros trabalhos produzidos sobre o tema (TANG et al., 2016) compara dados do GPM IMERG de tipo *Final Run* com dados de pluviômetros e de um produto de satélite da missão TRMM, em 3 escalas de tempo diferentes, horária, a cada 3 horas e diária, de abril até dezembro de 2014 na China. Ele chega a resultados que apontam que os produtos do IMERG demonstram melhores performances em relação ao outro satélite em todas as escalas de tempo estudadas e em regiões de latitudes médias e altas. No entanto, o trabalho conclui que se deve evoluir suas estimativas de precipitação em regiões de altas altitudes e latitudes assim como regiões secas.

Tem-se também outro estudo (PRAKASH et al., 2016) que compara o produto do IMERG com produtos de outro satélite, o *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP), e de estações pluviométricas de campo em escala diária, para o período de junho a setembro de 2014 (período de ocorrência de monções) na Índia. Os resultados mostram que o

IMERG representa melhor em larga escala as características e variabilidade das chuvas mansões em relação aos outros produtos analisados. Além disso, o IMERG demonstra um avanço considerável na estimativa de precipitações brandas. No entanto, o estudo aponta um aumento considerável dos erros nas estimativas em regiões montanhosas ao norte da Índia, indicando incertezas nas regiões nas quais prevalecem chuvas orográficas.

Além desse trabalho podemos citar o estudo de Asong et al. (2016) que compara dados de IMERG *Final Run* com dados de pluviômetros. O estudo utiliza de três escalas de tempo distintas de 6h, diária e mensal, entre 2014 e 2016. Esse estudo demonstrou que o IMERG caracteriza bem a distribuição de precipitações intensas sobre climas úmidos e secos. Entretanto, algumas inconsistências foram detectadas em regiões montanhosas e costeiras quando submetidas a chuvas intensas.

Destaca-se também o estudo realizado por Tan e Duan (2017) que compararam o desempenho entre estimativas feitas pelos satélites GPM-IMERG e TRMM e estações pluviométricas em escalas de tempo diária, mensal e anual, entre abril de 2014 e janeiro de 2016. Os resultados mostram que as estimativas dos satélites têm melhor desempenho em escala de tempo mensal do que diária e em períodos de monções. Além disso, o IMERG apresentou menores erros em relações aos produtos do TRMM em escala diária. No entanto, as imagens de satélite tenderam a superestimar as estimativas feitas para precipitações médias e subestimar para chuvas intensas e brandas.

Um dos mais recentes estudos conduzidos nacionalmente (GADELHA, 2018) comparou dados de precipitação estimados pelo GPM IMERG em escalas diária, mensal e anual, com dados de precipitação medidos estações pluviométricas espalhadas por todo o Brasil. Em resumo, ele constatou que a estimativa da precipitação feita pelo IMERG é mais precisa em escalas de tempo abrangentes (mensal e anual) do que escalas de tempo mais breves (diárias e horárias). O estudo também conclui a necessidade de validação dos dados de GPM analisando também a interferência de outras variáveis como umidade, altitude, etc.

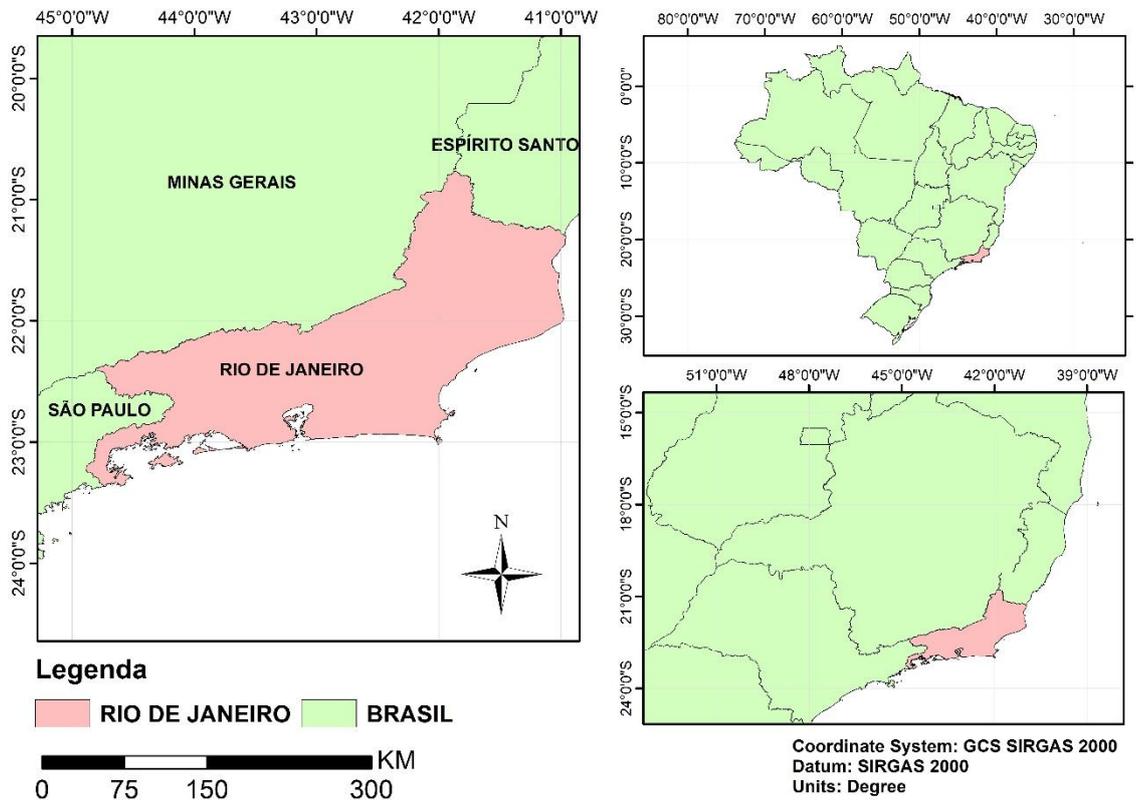
4. METODOLOGIA

4.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo, o estado do Rio de Janeiro, encontra-se entre as longitudes $44^{\circ} 53' 19''$ e $40^{\circ} 57' 23''$ (Oeste), e latitudes $20^{\circ} 45' 56''$ e $23^{\circ} 22' 08''$ (Sul), e possui área de $43.781,588 \text{ km}^2$ (IBGE, 2018) e faz fronteira com os estados de Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo. A área de estudo está representada na Figura 4.

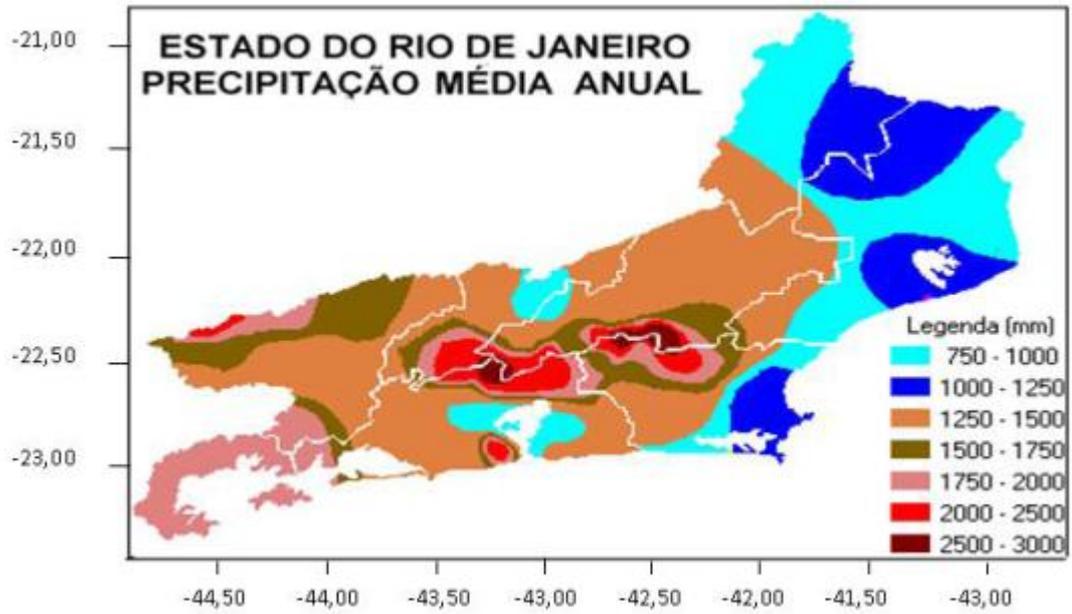
Foi escolhida então essa área de estudo, pois esta apresenta variações de altitude e precipitação ao longo de sua extensão, que permitem ampliar as comparações a diferentes cenários geográficos, conforme representada nas Figuras 5 e 6. Além disso, a região possui uma malha densa de postos pluviométricos para o ano de 2017 quando comparado a outros estados.

Figura 4 - Área de estudo: Estado do Rio de Janeiro



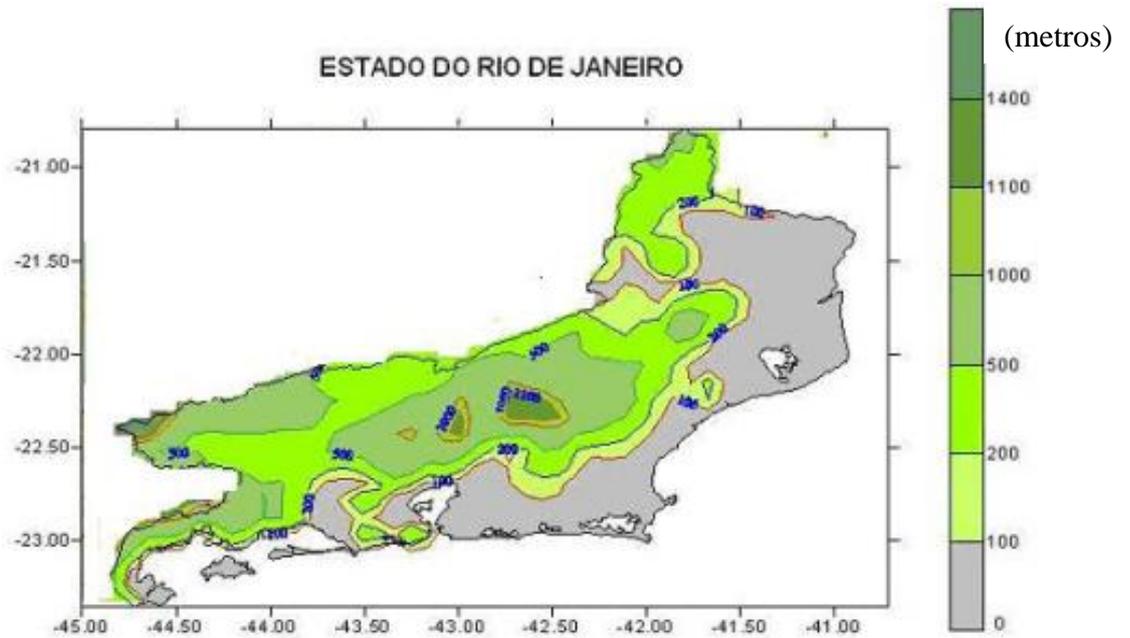
Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

Figura 5 - Distribuição espacial da precipitação média anual no Estado do Rio de Janeiro



Fonte: André et al. (2008).

Figura 6 - Mapa topográfico do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: André et al. (2008).

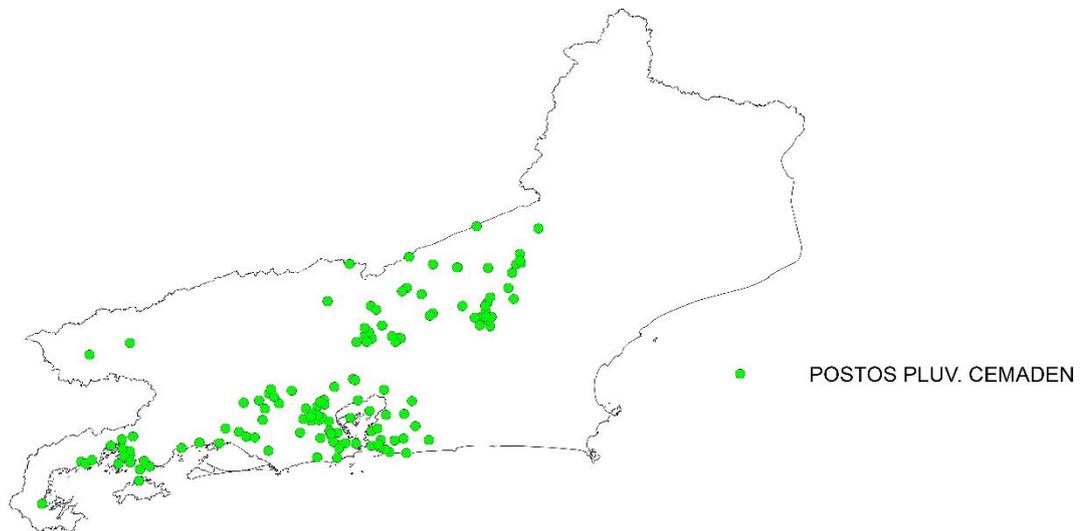
4.2 Obtenção e tratamento de dados dos postos pluviográficos

Os dados de precipitação dos postos pluviográficos utilizados no estudo são de gerenciamento do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). Os dados foram baixados através do portal eletrônico do CEMADEN que disponibiliza os dados das séries históricas de seus postos em todo Brasil. Para o estudo, foram selecionados os dados de precipitação mensais para o estado do Rio de Janeiro durante o ano de 2017. Esses dados são disponibilizados em formato eletrônico .xls, com a precipitação medida a cada 10 minutos.

Para aplicação dos dados das séries históricas de cada posto obtido, foram necessárias duas etapas prévias. A primeira delas se refere ao tratamento dos dados de medição, que buscou corrigir erros de medição da precipitação de cada posto. Para isso foram utilizados os dados e a metodologia de Freitas (2019).

A segunda etapa consistiu acumular a precipitação em escalas de tempo mensal. Para isso foi utilizado de programação para realizar a soma dos valores medidos por estação durante cada mês do ano de 2017. A distribuição espacial dos postos pluviográficos utilizados está representada na Figura 7.

Figura 7 - Distribuição dos postos pluviográficos do CEMADEN



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

4.3 Obtenção de dados do GPM

Os dados de todos os produtos da missão espacial GPM são disponibilizados gratuitamente pela NASA. Para este trabalho, foi escolhido o produto do IMERG por aglomerar dados de diferentes satélites. Além disso foi também escolhido o uso de dados em sua etapa final de processamento, conhecidos como *Final Run*. Esses tipos de dados são indicados para utilização em pesquisas científicas pois são refinados utilizando-se também dados de campo.

Foram então obtidos dados de precipitação acumulada em resolução temporal mensal para o ano de 2017 através da plataforma Giovanni. Essa disponibiliza os dados em diversos formatos eletrônicos, dos quais foi escolhido o GeoTiff pois este permite armazenar imagens de tipo raster de grandes dimensões em tamanhos de arquivos reduzidos sem perdas de qualidade.

Para a visualização e processamento desses dados, foi utilizado o programa de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ArcMap.

4.4 Obtenção de dados de altitude SRTM

A obtenção dos dados de Modelo Digital de Elevação (MDE) da região de estudo foi feita através do acervo digital disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Esse oferece dados altimétricos de relevo da missão SRTM de todo o Brasil.

Os dados MDE da EMBRAPA são disponibilizados em formato GeoTiff, com resolução espacial de 90 m e unidades de altitude em metros.

4.5 Comparação do IMERG com dados de campo CEMADEN

Para se comparar os diferentes dados de precipitação obtidos foram utilizadas métricas estatísticas que avaliam a conformidade entre ambos. Para isso, essas métricas foram aplicadas em duas situações distintas:

- 1- Comparação Ponto – Pixel
- 2- Comparação da interpolação dos postos com imagem de satélite

4.5.1 Comparação Ponto – Pixel

Nessa primeira situação, foram comparados apenas os pixels do IMERG que continham postos pluviográficos do CEMADEN em sua dimensão. Dessa forma, foram utilizados apenas

os valores reais de precipitação observados em cada posto, e não valores gerados de interpolações. Vale ressaltar, que para pixels que possuíam mais de uma estação pluviométrica, foi utilizada a média aritmética da precipitação medida por elas.

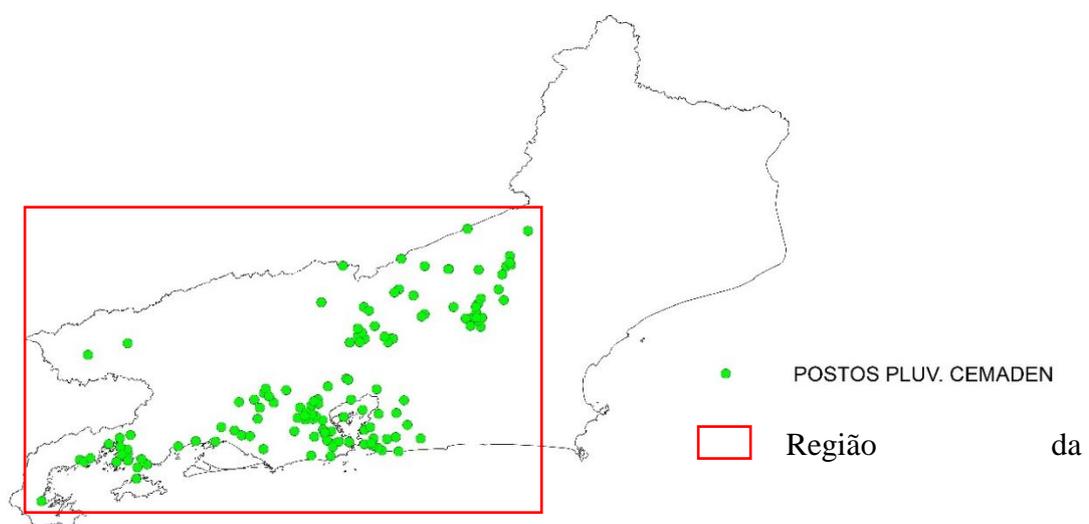
A análise realizou-se através da geração de mapas dos resultados das métricas estatísticas escolhidas em escala de tempo anual. Estes mapas facilitam a visualização gráfica dos resultados, e auxiliam na compreensão do gradiente espacial do comportamento desses dados, facilitando a busca por explicações para as possíveis diferenças encontradas.

4.5.2 Comparação por interpolação

Nessa segunda forma de comparação, ao invés da análise de pixels que possuem um ou mais estações pluviométricas, foi realizada uma interpolação pela ponderação do inverso da distância (IDW) de todos os postos, a fim de ampliar a região e a quantidade de pixel analisados. Dessa forma, é esperado aumentar a quantidade de pixels que possuam características geográficas diferentes entre si, ampliando a diversidade geográfica dos pixels analisados.

Vale salientar que devido inexistência de postos pluviográficos do CEMADEN em todo o território da região de estudo, a interpolação foi feita apenas para a porção de terra compreendida entre os postos mais extremos, conforme a Figura 8. A análise foi feita então da mesma forma que a anterior, aplicando as mesmas métricas estatísticas, e representadas graficamente através de mapas.

Figura 8 - Delimitação da região da interpolação



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

4.5.3 Métricas estatísticas para comparação

As métricas estatísticas utilizadas possuem o objetivo de avaliar o desempenho e permitir uma comparação quantitativa e qualitativa entre os dados de precipitação observados nos postos pluviográficos e as imagens de satélite.

Os critérios para a seleção das métricas se deu em função dos tipos de análises feitas, que buscam avaliar o desempenho e a similaridade entre as duas formas de medição da precipitação. Além desse critério, essas métricas também já foram utilizadas em trabalhos científicos com investigações semelhantes a esse.

Para este trabalho foram escolhidas as seguintes métricas:

- Bias

Mede a tendência de uma estatística superestimar ou subestimar um determinado parâmetro. Neste estudo, mede o quanto os dados estimados pelo satélite estão defasados (para cima ou para baixo) em relação aos dados observados pelos postos. A Equação 1 descreve a sua fórmula.

$$BIAS = \overline{INT} - \overline{OBS} \quad (1)$$

Onde \overline{INT} é a média aritmética dos dados estimados de precipitação (satélite); \overline{OBS} é a média aritmética dos dados observados de precipitação (postos pluviográficos).

- Coeficiente de Correlação (CC)

Mede o grau de correlação linear entre duas variáveis quantitativas, e pode assumir apenas valores que entre -1 e 1 para medir a força dessa relação, calculado conforme a Equação 2.

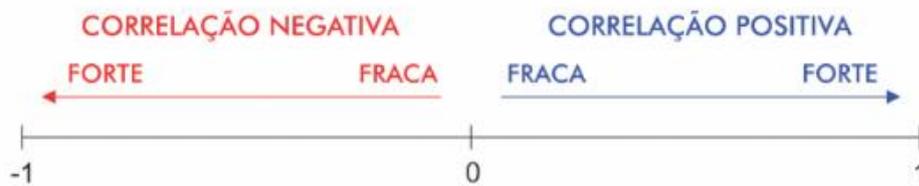
$$CC = \frac{1}{n} \frac{\sum_i^n (OBS_i - \overline{OBS})(INT_i - \overline{INT})}{\sigma_{obs}\sigma_{int}} \quad (2)$$

Onde OBS_i é o valor da precipitação observada em cada mês; \overline{OBS} é a média aritmética da precipitação observada; INT_i é o valor da precipitação estimada em cada mês; \overline{INT} é a média aritmética da precipitação estimada; σ_{obs} é o desvio padrão dos dados observados de precipitação; σ_{int} é o desvio padrão dos dados estimados de precipitação; n é a quantidade de meses com dados de precipitação utilizados.

Quanto mais próximo de 1 o CC assumir, observa-se o aumento no valor das duas variáveis analisadas, ou seja, existe uma relação linear positiva. Quando o coeficiente se aproxima de -1 o contrário se afirma, ou seja, o valor de uma variável aumenta enquanto a outra diminui, existindo então uma relação linear negativa ou inversa. Quanto mais próximo o CC for dos valores extremos, mais forte é a relação entre as duas variáveis.

Quando o valor do coeficiente se aproxima de zero indica que não existe relação linear entre as duas variáveis. A Figura 9 a seguir representa o funcionamento do coeficiente de correlação.

Figura 9 - Coeficiente de Correlação



Fonte: Coeficiente de Correlação. ABG Consultoria Estatística (2019).

Para este estudo, o coeficiente de correlação descreve a concordância da estimativa de precipitação do satélite e as medições dos postos pluviográficos.

- Raiz do erro médio quadrático (RMSE)

Métrica frequentemente usada para medir a diferença entre valores observados e valores estimados em um modelo. Nesse caso, descreve o erro existente entre a estimativa de satélite e os dados observados dos postos pluviométricos. O RMSE é calculado conforme a Equação 3.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (OBS_i - INT_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Onde OBS_i é o valor da precipitação observada em cada mês; INT_i é o valor da precipitação estimada em cada mês; n é a quantidade de meses com dados de precipitação utilizados.

Como descrito na Equação 3, o RMSE calcula a distância em módulo das médias entre valores observados e valores estimados, sendo assim não assume valores negativos. Vale ressaltar que essa métrica não busca avaliar se os dados de satélite estão superestimando ou subestimando os valores de precipitação, mas sim investigar a magnitude do erro existente entre ambos os métodos.

- Erro relativo (ER)

É o valor do quociente entre o erro absoluto e o valor de uma das grandezas. Nesse caso é a diferença dos valores de precipitação observados pelos postos e os estimados pelo IMERG, dividido pelos observados, conforme a Equação 4.

$$ER = \sum_{i=1}^n \frac{OBS_i - INT_i}{OBS_i} \quad (4)$$

Onde OBS_i é o valor da precipitação observada em cada mês; INT_i é o valor da precipitação estimada em cada mês; n é a quantidade de meses com de precipitação utilizados.

Ao contrário do RMSE, o erro relativo é capaz de informar se os valores de precipitação estimados pelo satélite estão superestimados (ER possui valores negativos) ou estão subestimados (ER possui valores positivos).

4.6 Comparação dos resultados com topografia

Para se avaliar a interferência da topografia nas estimativas feitas pelo satélite, foram utilizados os resultados obtidos da comparação Ponto-Pixel, e não os resultados da interpolação. Para isso, foram extraídos os valores do Erro Relativo em módulo dos valores de precipitação observados pelos postos e estimados por satélite, e os valores de altitude do terreno para os pixels a serem analisados. Foi gerado então um gráfico de dispersão avaliando em quais faixas de altitude se encontram esses erros, para analisar se existe uma relação entre os mesmos.

Vale ressaltar que como a resolução espacial dos dados de elevação SRTM (90m) é superior aos do GPM (10km), foi feita uma média aritmética das elevações contidas dentro de cada pixel do GPM para representar a altitude do mesmo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Comparação Ponto-Pixel

Nesse método foram gerados 76 pixels para análise, e os resultados gráficos obtidos através da aplicação das métricas estatísticas utilizadas estão representados da Figura 10 até a Figura 13 e das Tabelas 1 até a Tabela 4.

Quanto ao CC, pode se observar na imagem uma forte correlação positiva ($CC > 0,8$) do IMERG com os dados dos postos pluviográficos em mais de 75% dos pixels analisados, indicando uma relação próxima da linear entre a precipitação estimada e observada. Os pixels que se afastam dessa relação linear estão concentrados principalmente numa pequena faixa de terra litorânea, conforme a Figura 9.

Tabela 1 - Comparação Ponto x Pixel– Coeficiente de correlação (CC)

Intervalo	Quantidade de Pixels	Porcentagem do Total
0,25 até 0,50	7	9,21%
0,50 até 0,70	4	5,26%
0,70 até 0,80	7	9,21%
0,80 até 0,90	32	42,11%
0,90 até 1	26	34,21%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Quanto ao BIAS, verifica-se uma maior frequência dos dados estimados de satélite de superestimarem a precipitação em relação aos postos pluviográficos. No entanto, apesar de mais frequente, as magnitudes dos erros de superestimação são menores dos que nos pixels que a precipitação foi subestimada pelo satélite.

Tabela 2 - Comparação Ponto x Pixel: Bias

Comparação Ponto - Pixel: Bias		
Intervalo (mm/ano)	Quantidade de Pixels	Porcentagem do Total
-81,70 até -43,56	6	7,89%
-43,56 até -14,31	12	15,79%
-14,31 até 0,93	18	23,68%
0,93 até 14,07	26	34,21%
14,07 até 26,36	14	18,42%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Quanto ao RMSE, observa-se um bom desempenho dos dados estimados por satélite, na qual menos da metade dos pixels analisados (45%) apresentam erros maiores que 38,81 mm.

Tabela 3 - Comparação Ponto x Pixel: RMSE

Comparação Ponto - Pixel: RMSE		
Intervalo (mm/ano)	Quantidade de Pixels	Porcentagem do Total
18,95 até 28,62	19	25,00%
28,62 até 38,81	23	30,26%
38,81 até 59,68	19	25,00%
59,68 até 93,79	12	15,79%
93,79 até 148,78	3	3,95%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Quanto ao erro relativo, também se observa um bom desempenho do GPM, nos quais 64% dos pixels analisados possuem margem de erro que varia de $\pm 20\%$.

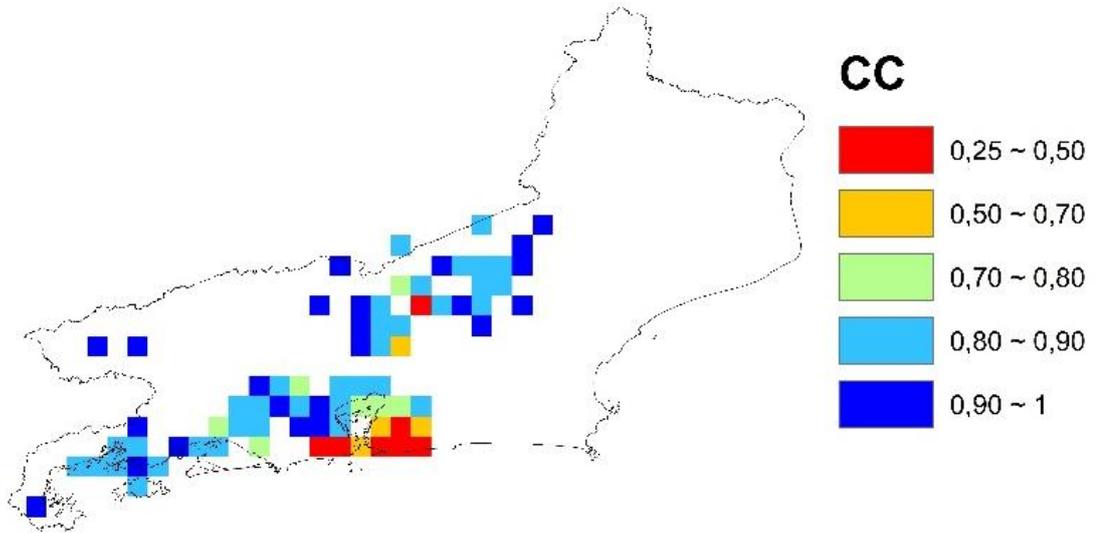
Tabela 4 - Comparação Ponto - Pixel: Erro Relativo

Intervalo	Quantidade de Pixels	Porcentagem do Total
-0,5 até -0,4	2	2,63%
-0,4 até -0,3	3	3,95%
-0,3 até -0,2	12	15,79%
-0,2 até -0,1	12	15,79%
-0,1 até 0	12	15,79%
0 até 0,1	14	18,42%
0,1 até 0,2	11	14,47%
0,2 até 0,3	6	7,89%
0,3 até 0,4	2	2,63%
0,4 até 0,5	2	2,63%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

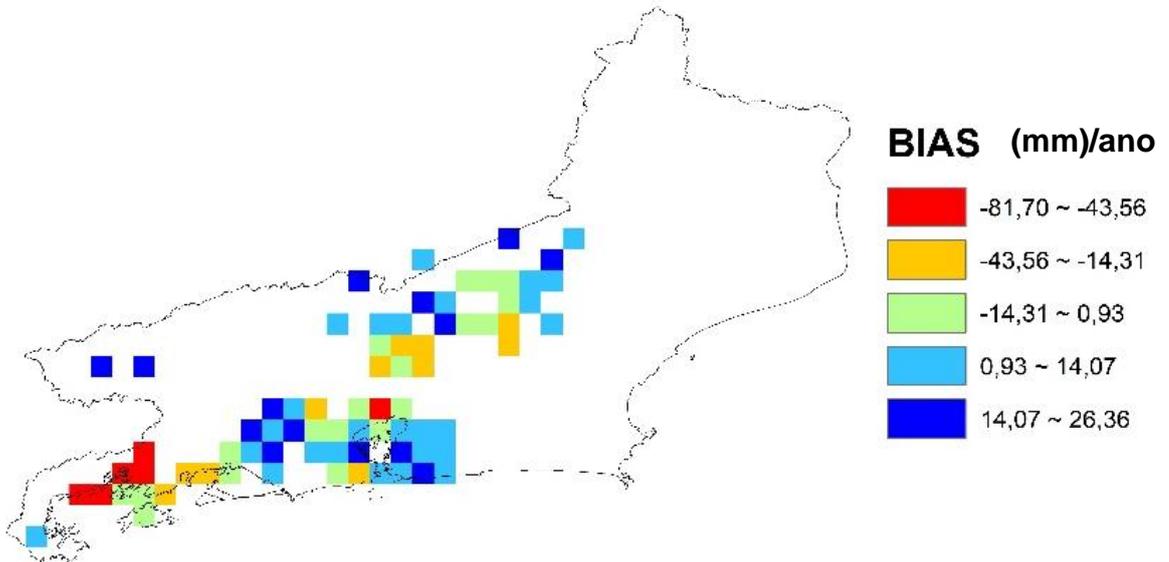
As diferentes métricas estatísticas inicialmente não apresentam evidências que expliquem espacialmente as variações de seus valores. Isso pode ser justificado pela pequena dimensão da área de estudo, que não possui regiões com diferentes características geográficas como latitude, longitude, umidade do ar, etc.

Figura 10 - Comparação Ponto – Pixel: Coeficiente de Correlação (CC)



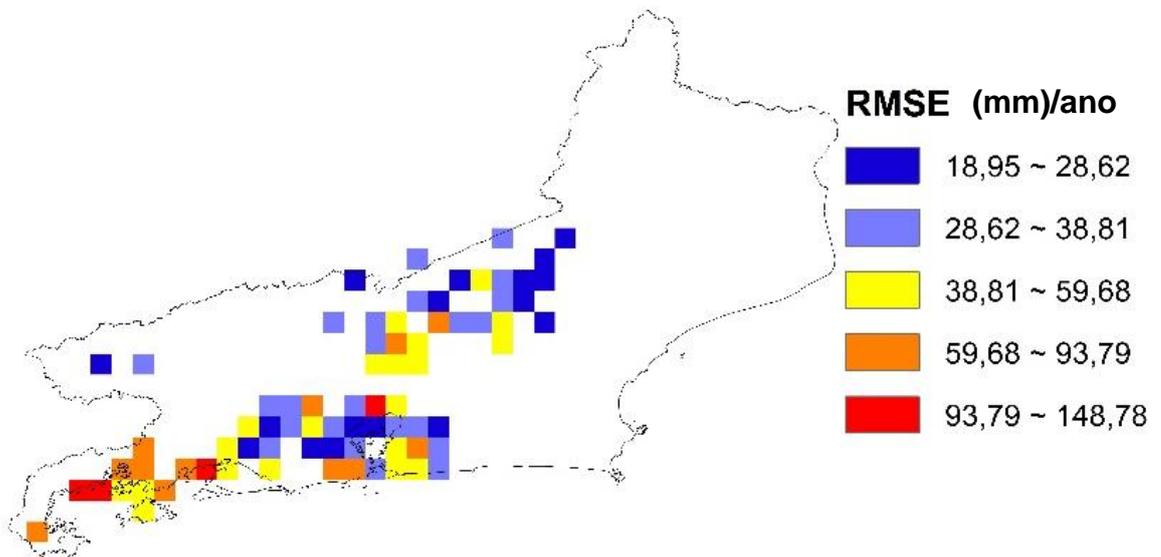
Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Figura 11 - Comparação Ponto – Pixel: BIAS



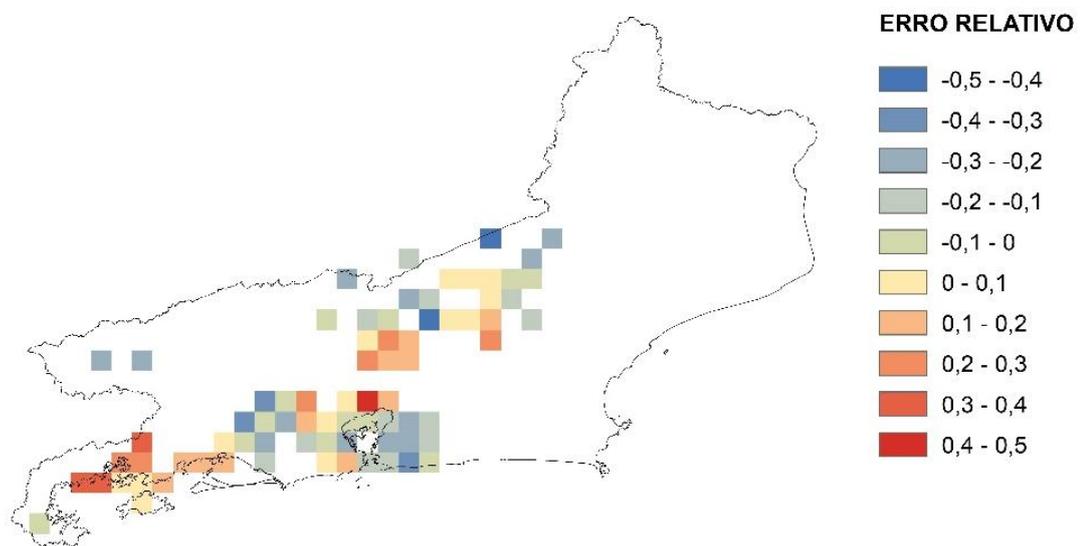
Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Figura 12 - Comparação Ponto – Pixel: RMSE



Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Figura 13 - Comparação Ponto – Pixel: Erro Relativo



Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

5.2 Comparação por interpolação

Nesse método foram gerados 219 pixels para análise, e os resultados gráficos obtidos através da aplicação das métricas estatísticas apresentadas estão representados da Figura 14 até a Figura 17 e da Tabela 5 até a Tabela 8.

Avaliando os resultados, houve um aumento da quantidade de pixels que possuem uma forte correlação positiva ($CC > 0,8$) do IMERG com os dados dos postos pluviográficos em 90% dos pixels analisados, apresentando uma relação linear relativa maior do que na comparação Ponto – Pixel.

Tabela 5 - Comparação por interpolação: Coeficiente de Correlação (CC)

Intervalo	Quantidade de Pixels	Porcentagem do Total
0,3 até 0,50	5	2,28%
0,50 até 0,70	9	4,11%
0,70 até 0,80	7	3,20%
0,80 até 0,90	92	42,01%
0,90 até 1	106	48,40%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Quanto ao BIAS, assim como na análise Ponto – Pixel, também se observa uma maior frequência dos valores estimados pelo satélite de superestimarem a precipitação em relação aos postos pluviográficos. No entanto, apesar de mais frequente, as magnitudes dos erros de superestimação são bem menores dos que nos pixels que a precipitação foi subestimada pelo satélite.

Tabela 6 - Comparação por interpolação: BIAS

Comparação por interpolação: BIAS		
Intervalo (mm/ano)	Quantidade de Pixels	Porcentagem do Total
-58,60 até -29,74	19	8,68%
-29,74 até -12,30	47	21,46%
-12,30 até -1,52	36	16,44%
-1,52 até 7,67	57	26,03%
7,67 até 22,25	60	27,40%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Quanto ao RMSE, observa-se um bom desempenho dos dados estimados por satélite, na qual menos da metade dos pixels analisados (35%) apresentam erros maiores que 36,84mm.

Tabela 7 - Comparação por interpolação: RMSE

Comparação por interpolação: RMSE		
Intervalo (mm/ano)	Quantidade de Pixels	Porcentagem do Total
11,79 até 25,83	48	21,92%
25,83 até 36,84	95	43,38%
36,84 até 53,16	49	22,37%
53,16 até 80,11	21	9,59%
80,11 até 108,58	6	2,74%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Quanto ao erro relativo, também se observa um bom desempenho do GPM, nos quais 83% dos pixels analisados possuem margem de erro que varia de $\pm 20\%$

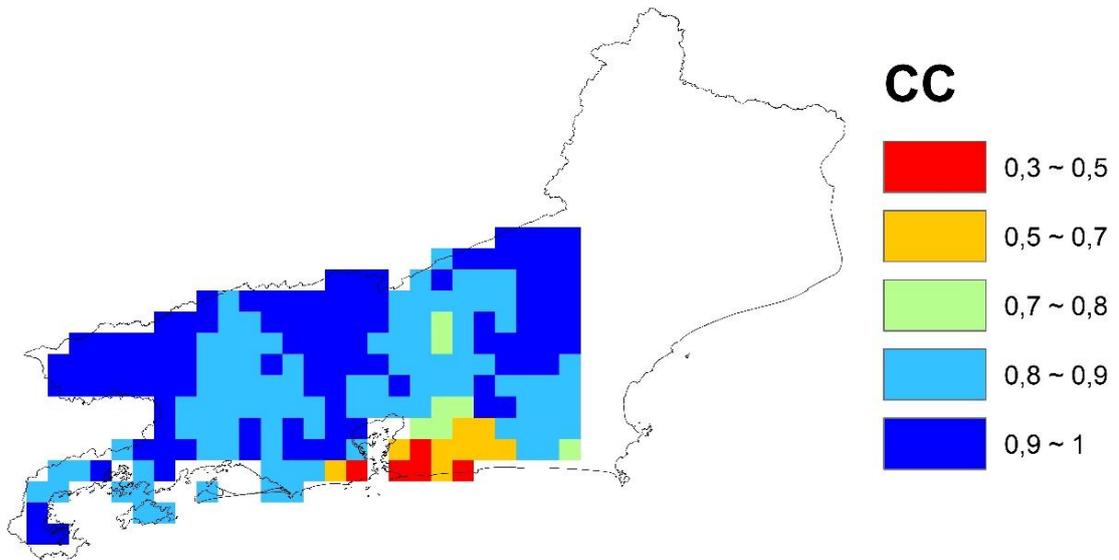
Tabela 8 - Comparação por interpolação: Erro Relativo

Intervalo	Quantidade de Pixels	Porcentagem do Total
-0,4 até -0,3	1	0,46%
-0,3 até -0,2	8	3,65%
-0,2 até -0,1	46	21,00%
-0,1 até 0	59	26,94%
0 até 0,1	37	16,89%
0,1 até 0,2	40	18,26%
0,2 até 0,3	23	10,50%
0,3 até 0,4	5	2,28%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

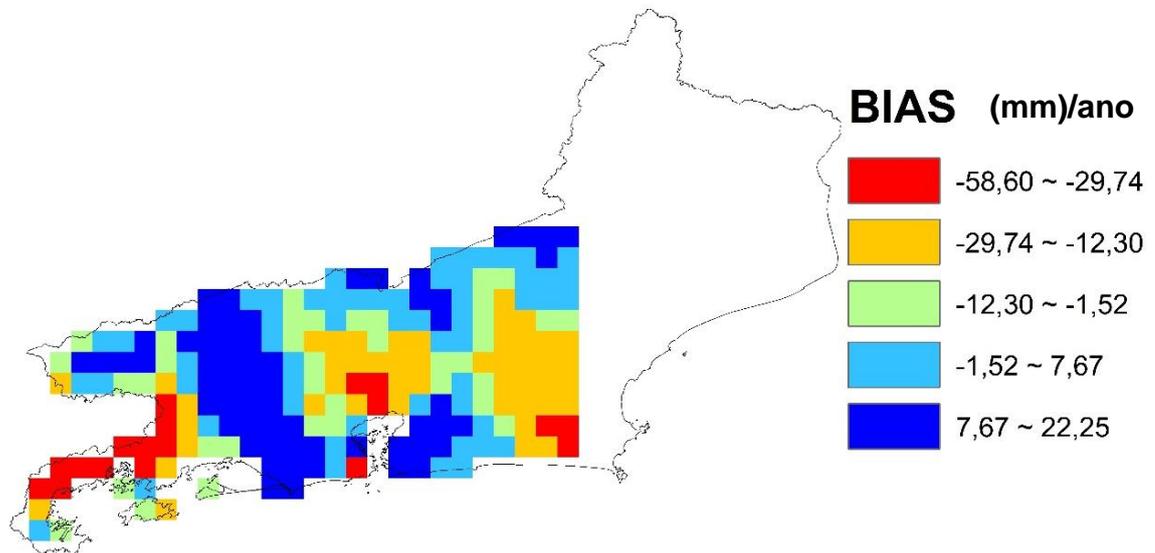
Apesar dos resultados satisfatórios nas métricas estatísticas apresentadas deve se atentar a baixa quantidade de postos em algumas porções de terra, principalmente na região noroeste do estado. Isso pode comprometer a representação espacial da interpolação nessas áreas pela carência de dados e assim prejudicar as análises das métricas geradas.

Figura 14 - Comparação por Interpolação: Coeficiente de Correlação (CC)



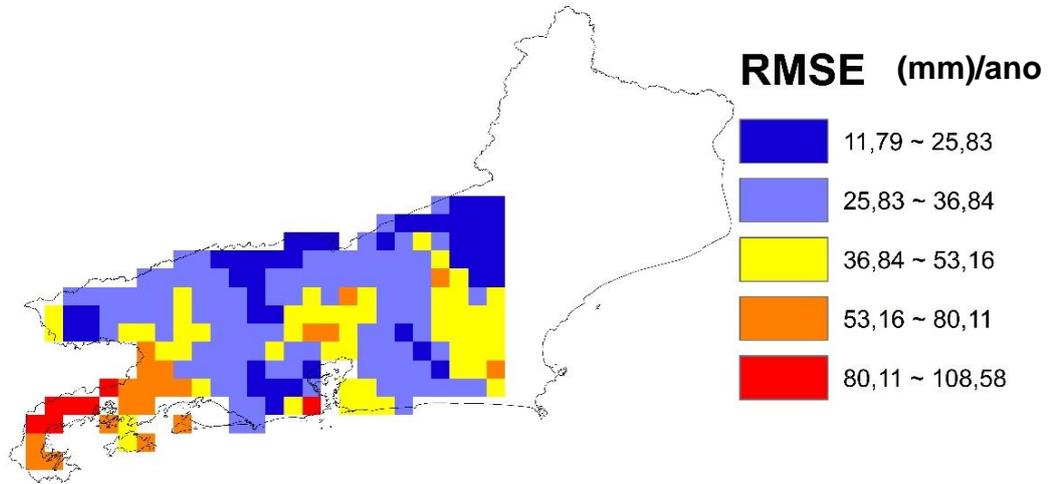
Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Figura 15 - Comparação por Interpolação: BIAS



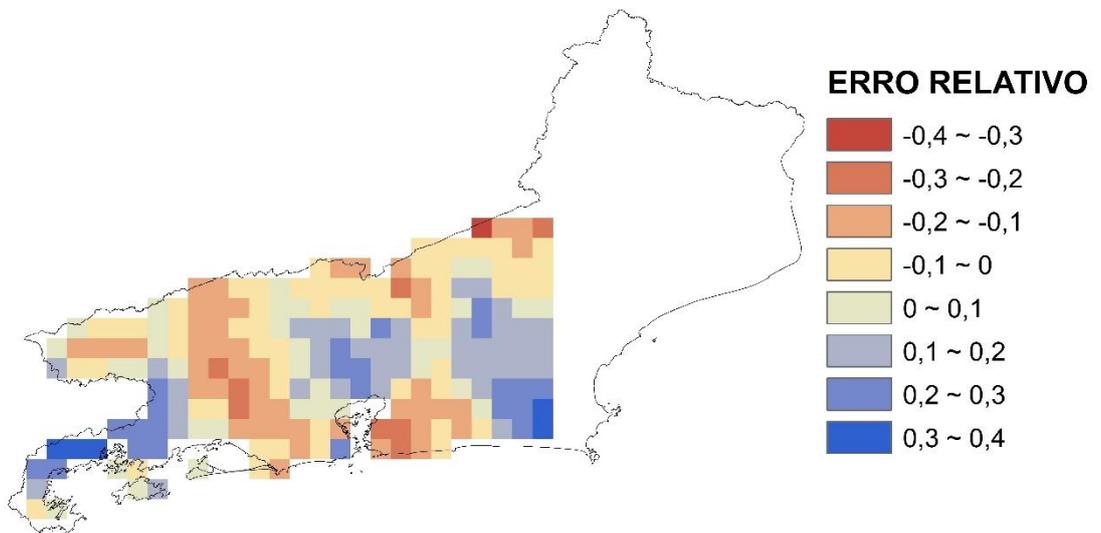
Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Figura 16 - Comparação por Interpolação: RMSE



Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Figura 17 - Comparação por Interpolação: Erro Relativo



Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

5.3 Comparação dos resultados do método Ponto – Pixel com a topografia

Aplicando a metodologia explicada, foi gerado o gráfico de dispersão apresentado na Figura 17. Analisando a dispersão dos pontos é possível avaliar que não existe uma relação de proporcionalidade entre a altitude e o erro relativo absoluto. Foi realizado então uma análise dos 76 pixels gerados para três diferentes faixas de altitude conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Quantidade de pixels por faixa de altitude

Altitude	Quantidade de pixels	Porcentagem do total
até 400m	47	61,84%
de 400m até 800m	12	15,79%
de 800m até 1600m	17	22,37%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Em faixas de terra de até 400 m de altitude observou-se que 87 % dos dados apresentaram erros relativos absolutos menores que 30%. Como 61% dos pixels analisados se encontram em altitudes de até 400 m, a boa representatividade de dados nessa faixa demonstra que o satélite apresentou boa qualidade na estimativa da precipitação em altitudes baixas.

Tabela 10 - Erro relativo: até 400 m de altitude

ERRO RELATIVO	Quantidade de pixels	Porcentagem do total
até 0,1	14	29,79%
de 0,1 até 0,3	27	57,45%
maior que 0,3	6	12,77%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Em faixas de terra entre 400 m e 800 m, e em faixas entre 800 m e 1600 m de altitude, tem-se que 83% e 95% dos erros relativos absolutos menores que 30% respectivamente. No entanto, vale salientar que apenas uma pequena parcela do total dos pixels analisados está localizada nessas duas faixas de terra (16% e 23% respectivamente). Portanto, apesar dos baixos erros apresentados não é possível concluir se GPM é satisfatório em estimativas de precipitação nesses intervalos de altitudes devido à baixa quantidade de pixels nessas regiões.

Tabela 11 - Erro relativo: 400 m até 800 m de altitude

ERRO RELATIVO	Quantidade de pixels	Porcentagem do total
até 0,1	6	50,00%
de 0,1 até 0,3	4	33,33%
maior que 0,3	2	16,67%

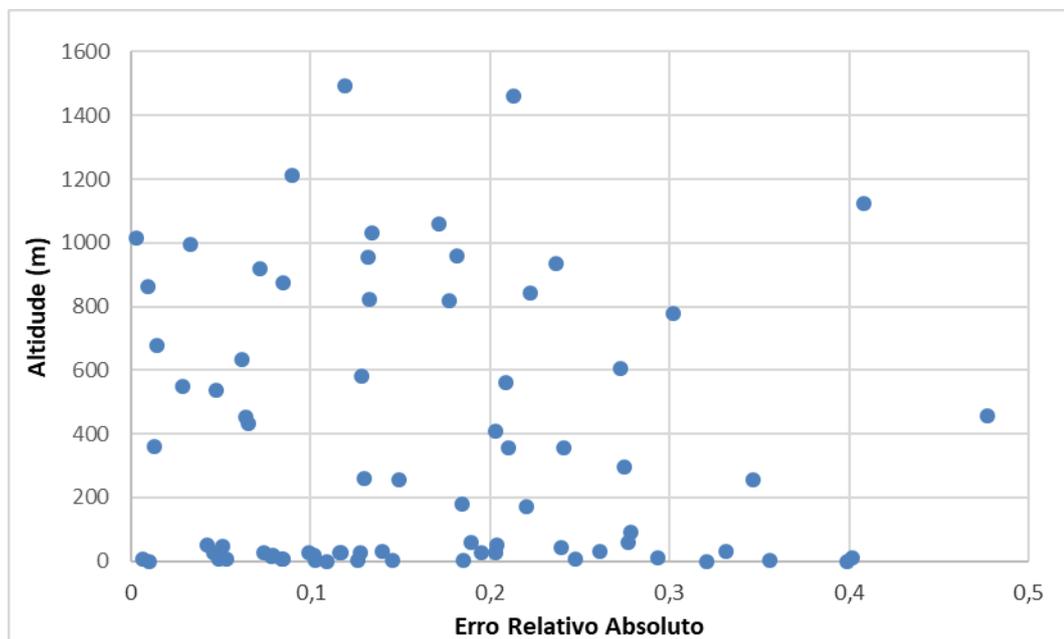
Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Tabela 12 - Erro relativo: 800 m até 1.600 m de altitude

ERRO RELATIVO	Quantidade de pixels	Porcentagem do total
até 0,1	6	35,29%
de 0,1 até 0,3	10	58,82%
maior que 0,3	1	5,88%

Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

Figura 18 - Altitude x Erro Relativo Absoluto



Fonte: Elaborada pelo autor, (2019).

6. CONCLUSÕES

O estudo teve como finalidade avaliar o desempenho com que o GPM, através de seu produto *IMERG Final Run*, consegue estimar a precipitação, e verificar o grau de interferência do relevo nessas estimativas. Através de métricas estatísticas, o estudo investigou o uso desse produto no estado do Rio de Janeiro utilizando como referência a precipitação medida pelos postos pluviográficos gerenciados pelo CEMADEN no ano de 2017.

O resultado das métricas estatísticas analisados para a comparação de Ponto – Pixel e por interpolação mostraram-se satisfatórias. Em geral, comparando as estimativas por satélite com as precipitações medidas pelos pluviômetros, percebeu-se uma correlação próxima da linear entre ambos, com tendência na superestimação da precipitação por parte do GPM.

No entanto, vale salientar que apesar dos indícios do bom desempenho avaliado na análise das métricas estatísticas, recomenda-se novos estudos sejam realizados utilizando uma quantidade maior de pixels e abrangendo uma área maior de estudo para verificar se o bom desempenho também é verificado.

As mesmas ressalvas são feitas em relação à interferência do relevo nas estimativas do GPM. As avaliações feitas quanto ao erro relativo absoluto para os 3 diferentes intervalos de altitude indicados, apresentam que cerca de 80% dos pixels analisados apresentam erros menores que 30%. No entanto, devida à baixa quantidade de pixels analisados, principalmente para altitudes acima de 400 m, são necessárias investigações mais profundas que evitem tais limitações.

Recomenda-se o desenvolvimento de estudos que investiguem diversas outras variáveis geográficas que possam interferir nas estimativas feitas por satélite, como temperatura, tipo de precipitação, umidade do ar, latitude e longitude, em diferentes escalas temporais, que busquem explicar os resultados registrados.

7. REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, R. G., MARQUES, V. D., PINHEIRO, F. M., & FERRAUDO, A. S. (2008). **Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do rio de janeiro, utilizando-se valores mensais.** Revista Brasileira de Meteorologia.
- ANTONIO, C. A. (2007). **Geoestatística aplicada à acumulação da precipitação pluviométrica com radar meteorológico.** Universidade Estadual Paulista.
- ASONG, Z. E., RAZAVI, S., WHEATHER, H. S., & WONG, J. S. (2017). **Evaluation of Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) over Southern Canada against Ground Precipitation Observations: A Preliminary Assessment.** Journal of hydrometeorology.
- BRAUN, S. A. (2011). **Tropical rainfall measuring mission senior review proposal.** NASA.
- CABRAL, S. L., SAKURAGI, J., & SILVEIRA, C. D. (2016). **Incertezas e erros na estimativa de vazões usando modelagem hidrológica e precipitação por RADAR.** Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science.
- Coefficientes de Correlação.** ABG Consultoria Estatística. Disponível em: <<http://www.abgconsultoria.com.br/blog/coeficientes-de-correlacao/>>. Acesso em: 8 abr. 2019.
- COLLISCHONN, W., & DORNELLES, F. (2013). **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- EMÍDIO, ZILDENE PEDROSA DE OLIVEIRA (2008). **Impacto do balanço hídrico em diferentes tipos de solos: comparação entre dados de Radar-Pluviômetro e análise de tendência de chuva média em área agrícola.** Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista.
- FREITAS, EMERSON DA SILVA (2019). **Avaliação do uso do IMERG (INtegrated Multi-Satellite Retrievals for GPM) para determinação de eventos chuvosos e suas propriedades no Brasil: Uma análise na escala subdiária.** Universidade Federal da Paraíba.
- GADELHA, A. N. (2018). **Análise da missão GMP (global precipitation measurement) na estimativa da precipitação sobre território brasileiro.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) Universidade Federal da Paraíba.

Global Precipitation Measurement (GPM) Mission Overview | Precipitation Measurement Missions. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov/gpm>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

HOU, A. Y., KAKAR, R. K., NEECK, S., AZARBARZIN, A. A., KUMMEROW, D. C., KOJIMA, M., . . . IGUCHI, T. (2014). **The global precipitation measurement mission.** American meteorological society.

HUFFMAN, G. J., BOLVIN, D. T., BRAITHWAITE, D., HSU, K., JOYCE, R., KIDD, C., . . . XIE, P. (2018). **Nasa global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG).** National Aeronautics and Space Administration.

JIMÉNEZ, K. Q., & COLLISCHONN, W. (2014). **Método de combinação de dados de precipitação estimados por satélite e medidos em pluviômetros para a modelagem hidrológica.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos.

MIGUEL, B. H., RENNÓ, C. D., & BERTONCINI, A. L. (2017). **Análise comparativa entre estimativas de precipitação do GPM e de estações pluviométricas no Vale do Itajaí- Santa Catarina/Brasil.** Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, pp. 3130 - 3137.

PESSOA, M.L. **Hidrometeorologia com radar.** Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre, Editora Universidade, UFRGS, 2 ed, 943 p., 2001.

Pluviômetros. Disponível em: <<http://www.pluviometros.com.br/>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

PRAKASH, S., MITRA, K. A., AGHAKOUCHAK, A., LIU, Z., NOROUZI, H., & PAI, D. S. (2016). **A preliminary assessment of GPM-based multi-satellite precipitation estimates over a monsoon dominated region.** Journal of Hydrology.

SERRÃO, E. A., WANZELER, R. T., SANTOS, C. A., GONÇALVES, L. D., LIMA, A. M., & ROCHA, E. J. (2016). **Avaliação estatística entre as estimativas de precipitação da constelação gpm com satélite trmm: uma análise a bacia hidrográfica do rio solimões.** Revista Brasileira de Climatologia.

Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

TAN, L. L., & DUAN, Z. (2017). **Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products over Singapore**. Remote Sens.

TANG, G., MA, Y., LONG, D., ZHONG, L., & HONG, Y. (2015). **Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales**. Journal of Hydrology.

The Nation's First Weather Satellite. Disponível em: <http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1627.html>. Acesso em: 8 abr. 2019.

TRMM. Disponível em: <<https://trmm.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2001.

WATTERS, D., BATTAGLIA, A., MROZ, K., & TRIDON, F. (2018). **Validation of the GPM Version-5 Surface Rainfall Products over Great Britain and Ireland**. Journal of Hydrometeorology.