



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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO
GPM (*GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT*) COM ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO EM 2017

DÁRIO FERNANDES LIMA

JOÃO PESSOA – PB
2019

DÁRIO FERNANDES LIMA

AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO
GPM (*GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT*) COM ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO EM 2017

Tema: Recursos Hídricos / Geoprocessamento

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

Maio de 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L732a Lima, Dário Fernandes.

AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO
GPM (GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT) COM ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO EM 2017 / Dário
Fernandes Lima. - João Pessoa, 2019.

61 f.

Orientação: Cristiano das Neves Almeida.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. IMERG, CEMADEN, Medição. I. Almeida, Cristiano das
Neves. II. Título.

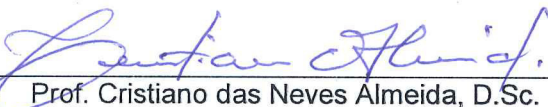
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

DÁRIO FERNANDES LIMA

AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO GPM COM ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO EM 2017

Trabalho de Conclusão de Curso em 13/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:



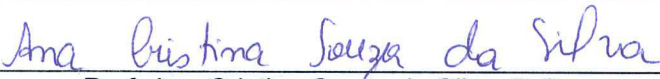
Prof. Cristiano das Neves Almeida, D.Sc.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



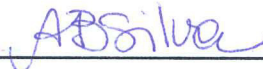
Prof. Ana Cláudia Fernandes M. Braga, D.Sc.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Ana Cristina Souza da Silva, D.Sc.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Andrea Brasiliano Silva, D.Sc.
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedicatória:

Dedico este trabalho aos meus pais, que durante toda minha vida investiram em mim todo esforço, carinho, saúde e amor necessário para que eu pudesse ter o maior bem que um homem pode conseguir em sua vida, a educação.

AGRADECIMENTOS

Dedico este espaço para agradecer a Deus por iluminar todo meu caminho durante a graduação e por me trazer força para conseguir superar todas as dificuldades encontradas para chegar até este momento de muita satisfação e alegria.

À meu pai, Adval da Silva Lima, que, diante de todas as suas atitudes, sem medir seus inúmeros esforços, me ensinou da melhor forma possível que a educação era o bem mais valioso e importante que eu podia ganhar e conquistar durante minha vida.

À minha mãe, Geralda Fernandes Lima, que, diante de sua simplicidade, sempre se esforçou para ser sempre o pilar e a base de dedicação e carinho que sustenta toda família.

À Universidade Federal da Paraíba, honrada instituição pública, que abre suas portas para a sociedade civil e serve a ela como um grande centro de formação e ensino, cultivando cidadãos e profissionais dedicados e qualificados e merecendo total respeito, preservação e investimento, principalmente por parte daqueles que ainda acreditam que a educação é a única saída viável para o futuro deste País.

Ao professor doutor Cristiano das Neves Almeida, pela orientação neste trabalho, através de incentivo, ensinamentos, críticas e cobranças, e também por todas aulas por ele ministradas durante a graduação, que ampliaram meus conhecimentos na Engenharia.

Ao mestre Emerson da Silva Freitas, que dedicou seu tempo e atenção auxiliando no desenvolvimento deste trabalho através de seus conhecimentos e orientações.

À todos os meus amigos do *Piratas FC* e da *Poko Pojeto*, que de forma especial, através dos vários momentos de estudo e reuniões de trabalho, foram pessoas fundamentais para que eu pudesse lograr êxito em diversos momentos difíceis de minha graduação, além de proporcionarem muitas alegrias através da verdadeira amizade, que é essencial para qualquer ser humano.

À todos meus professores, do ensino infantil ao superior, fundamentais para minha educação e formação e também à todos aqueles que estiveram comigo de alguma forma durante minha caminhada na graduação.

RESUMO

A precipitação é uma variável muito importante para o ciclo hidrológico e apesar de ser um fenômeno muito presente na natureza, sua característica de variabilidade e aleatoriedade exige estudos e análises profundos para que sejam aprimorados os conhecimentos sobre ela. O início de todo o processo de estudo da precipitação se dá a partir da medição precisa da variável, a fim de obter séries representativas com dados fidedignos que possam representar a natureza dos eventos de forma mais rigorosa. Para medir a precipitação, são utilizados instrumentos de campo, radares e o sensoriamento remoto. A fim de superar os erros e a falta de representatividade dos dados pontuais de campo e dos radares, o uso do sensoriamento remoto tem sido bastante difundido nas últimas décadas na Ciência e um dos produtos mais relevantes nesta área é o GPM (*Global Precipitation Measurement*). O GPM é uma missão espacial lançada a partir de um acordo entre NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a JAXA (*Japan Aerospace eXploration Agency*) que busca, desde 2014, gerar dados de precipitação para o mundo. A metodologia partiu então para avaliar a conformidade dos dados fornecidos pelo Algoritmo IMERG (*Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM*) numa escala mensal quando comparados com os dados de campo obtidos através do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) para o estado de São Paulo no ano de 2017. As principais conclusões do estudo indicam que os dados do IMERG mostraram boa precisão em grande parte da área de estudo analisada e que o número de estações dentro de um pixel não influencia na melhoria da qualidade quando se comparam as duas fontes de informação.

Palavras-Chave: IMERG, CEMADEN, Medição.

ABSTRACT

Precipitation is a very important variable for the hydrological cycle and although it is a phenomenon very present in nature, its characteristic of variability and randomness requires studies and deep analyzes in order to improve the knowledge about it. The beginning of the entire precipitation study process is based on the precise measurement of the variable in order to obtain representative series with reliable data that can represent the nature of the events in a more rigorous way. To measure precipitation, field instruments, radars and remote sensing are used. In order to overcome the errors and the lack of representativity of field data and radars, the use of remote sensing has been widespread in recent decades in science, and one of the most relevant products in this area is GPM (*Global Precipitation Measurement*). The GPM is a space mission launched from an agreement between NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) and JAXA (*Japan Aerospace eXploration Agency*) that seeks, since 2014, to generate precipitation data for the world. The methodology was used to evaluate the conformity of the data provided by the IMERG (*Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM*) algorithm on a monthly scale when compared to the field data obtained through CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) for the state of São Paulo in the year 2017. The main conclusions of the study indicate that the *IMERG* data showed good compliance in a large part of the study area analyzed and that the number of stations within a pixel does not influence quality improvement when comparing the two sources of information.

Keywords: IMERG, CEMADEN, Measurement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema simplificado do Ciclo Hidrológico.....	15
Figura 2 - Pluviômetro do tipo Ville de Paris	17
Figura 3 - Modelo de um Pluviógrafo	18
Figura 4 - Esquema de funcionamento dos Radares	20
Figura 5 - Constelação de Satélites da Missão Espacial GPM.....	23
Figura 6 - Esquema representativo da metodologia aplicada no trabalho	27
Figura 7 - Localização do Estado de São Paulo.....	28
Figura 8 - Relevo do Estado de São Paulo	29
Figura 9 - Distribuição da temperatura média em °C no Estado.....	30
Figura 10 - Precipitação média anual para o Estado de São Paulo no período 1950-2000..	30
Figura 11 - Interface do Mapa Interativo do CEMADEN com Postos Pluviométricos em São Paulo	31
Figura 12 - Distribuição espacial dos Pluviógrafos utilizados no Estudo	32
Figura 13 - Característica do Raster obtido a partir das imagens <i>TIFF</i> oriundas do <i>GIOVANNI</i>	34
Figura 14 - Pixels com Pluviógrafos e seus respectivos Números	39
Figura 15 - Distribuição da Chuva no ano de 2017 para Pixels do GPM.....	40
Figura 16 - Distribuição da Chuva no ano de 2017 para Pixels dos Postos do CEMADEN..	40
Figura 17 - Resultado do BIAS na avaliação <i>Pixel CEMADEN – Pixel IMERG</i>	41
Figura 18 - Resultado do CC na avaliação <i>Pixel CEMADEN – Pixel IMERG</i>	42
Figura 19 - Resultado do RMSE na avaliação <i>Pixel CEMADEN – Pixel IMERG</i>	43
Figura 20 - Resultado do Erro Relativo para dados anuais entre os dois produtos	44
Figura 21 - Área de Estudo definida para aplicar a Interpolação IDW	45
Figura 22 - Comportamento da precipitação anual segundo interpolação dos dados do CEMADEN.....	46
Figura 23 - Comportamento da precipitação anual segundo dados do GPM	46
Figura 24 - Resultado do BIAS na avaliação <i>Interpolação CEMADEN – Raster IMERG</i>	47

Figura 25 - Resultado do coeficiente de correlação na avaliação <i>Interpolação CEMADEN – Raster IMERG</i>	48
Figura 26 - Resultado do RMSE na avaliação <i>Interpolação CEMADEN – Raster IMERG</i>	49
Figura 27 - Resultado do Erro Relativo para dados anuais entre os dois produtos	50
Figura 28 - Gráfico da distribuição do Erro Relativo para todos os pixels analisados.....	53
Figura 29 - Região escolhida para análise da Influência do Número de Postos em um Pixel	54
Figura 30 - Sazonalidade da precipitação para os dados do CEMADEN e IMERG.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação <i>Quantidade de Pixels - Intervalo</i> para o BIAS.....	41
Tabela 2 - Relação <i>Quantidade de Pixels - Intervalo</i> para o Coeficiente de Correlação	42
Tabela 3 - Relação <i>Quantidade de Pixels - Intervalo</i> para a Raiz do Erro Quadrático Médio .	44
Tabela 4 - Relação <i>Quantidade de Pixels - Intervalo</i> para o Erro Relativo	45
Tabela 5 - Relação <i>Quantidade de Pixels - Intervalo</i> para o BIAS.....	47
Tabela 6 - Relação <i>Quantidade de Pixels - Intervalo</i> para o Coeficiente de Correlação	49
Tabela 7 - Relação <i>Quantidade de Pixels - Intervalo</i> para o RMSE	50
Tabela 8 - Relação <i>Quantidade de Pixels - Intervalo</i> para o Erro Relativo	51
Tabela 9 - Relação do número de postos pluviográficos por Pixel	51
Tabela 10 - Parâmetros analisados através dos Erros Relativos calculados	52
Tabela 11 - Comparação da Relação de Postos / Pixel para cada Grupo	52
Tabela 12 - Percentual de Pixels com Erro Relativo Absoluto inferior a 0,30	53
Tabela 13 - Resultado dos parâmetros para os Pixels Analisados na Área destacada	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS.....	14
	2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
	2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
	3.1 CICLO DA ÁGUA, BALANÇO HÍDRICO E PRECIPITAÇÃO	15
	3.2 FORMAS DE MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO.....	16
	3.2.1 Pluviômetros e Pluviógrafos	17
	3.2.2 Radares	20
	3.3 SENSORIAMENTO REMOTO E IMAGENS DE SATÉLITE	21
	3.4 TRMM.....	22
	3.5 GPM	23
	3.6 ESTUDOS DE VALIDAÇÃO DO GPM	25
4	METODOLOGIA.....	27
	4.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
	4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS CEMADEN	31
	4.3 OBTENÇÃO DOS DADOS GPM	33
	4.4 MÉTRICAS ESTATÍSTICAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	34
	4.5 COMPARAÇÃO DO IMERG COM OS DADOS DO CEMADEN	36
	4.5.1 Comparação Ponto CEMADEN – Pixel IMERG	36
	4.5.2 Comparação Interpolação CEMADEN – Raster IMERG.....	37
	4.5.3 Análise da Influência do Número de Postos em um Pixel.	37
	4.5.4 Avaliação da Sazonalidade.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
	5.1 AVALIAÇÃO DA COMPARAÇÃO PIXEL CEMADEN – PIXEL IMERG	39
	5.1.1 BIAS para Pixel CEMADEN – Pixel IMERG	41
	5.1.2 Coeficiente de Correlação entre Pixel CEMADEN – Pixel IMERG.....	42
	5.1.3 Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) para Pixel CEMADEN – Pixel IMERG	43
	5.1.4 Erro Relativo para Pixel CEMADEN – Pixel IMERG	44
	5.2 AVALIAÇÃO DA COMPARAÇÃO INTERPOLAÇÃO CEMADEN – RASTER IMERG	45
	5.2.1 BIAS para Interpolação CEMADEN – Raster IMERG.....	47
	5.2.2 Coeficiente de Correlação (CC) entre os dados interpolados do CEMADEN e do IMERG ...	48
	5.2.3 Raiz Quadrática do Erro Médio (RMSE) para Interpolação CEMADEN – Raster IMERG	49
	5.2.4 Erro Relativo para Interpolação CEMADEN – Raster IMERG	50
	5.3 AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE POSTOS NA QUALIDADE DOS DADOS	51
	5.3.1 Avaliação Geral	51
	5.3.2 Avaliação Localizada	53
	5.4 VERIFICAÇÃO DA SAZONALIDADE	55
6	CONCLUSÕES.....	56
7	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A importância dos Recursos Hídricos está ligada não somente ao consumo direto da água por parte da população, mas também a diversos fatores de cunho ambiental, social, econômico e até mesmo cultural de uma sociedade.

São nas camadas superficiais do Planeta que ocorre a maior parte das interações entre o homem e a água. É necessário destacar então, que a principal fonte de retorno da atmosfera deste recurso natural é a precipitação, que é um fenômeno que pode ocorrer na forma de neblina, orvalho, granizo, geada, neve e chuva (TUCCI, 2001).

Apesar de ser um fenômeno bastante conhecido pela humanidade, no sentido empírico, a precipitação tem uma elevada característica de variação e aleatoriedade (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015) tanto em escala espacial como temporal, estando esse fator relacionado à circulação geral da atmosfera que, influenciada pelas características físicas das regiões do planeta, ocorre de maneira distinta em cada uma delas (DANTAS *et al.* 2014).

Nas regiões tropicais, a precipitação em forma de chuva apresenta a maior relevância do ponto de vista da hidrologia, isso porque possui a maior ocorrência e participação no volume desse retorno (TUCCI, 2001). Desse modo, estudar e avaliar a precipitação é de fundamental importância para que seja possível, dentre outras coisas, saber a disponibilidade de água nos sistemas hídricos existentes (DOS SANTOS, 2002).

Conforme indica Tundisi (2008), dentre as principais causas dos problemas envolvendo a água, a gerência deste recurso é um dos mais impactantes para a sua falta. Desse modo, aumentar o número de dados e informações que se relacionam com essa temática pode ser uma boa solução para auxiliar nas medidas de combate à escassez e melhoria da qualidade do recurso.

É nesse contexto que surge a necessidade de estudar a variação espaço-temporal da chuva, pois este conhecimento poderá fornecer os subsídios relevantes para tratar de questões importantes relacionadas à engenharia e à gestão de recursos hídricos, influenciando até mesmo em grandes obras de arte e em políticas públicas voltadas para a área (SOARES *et al.* 2014).

Para medir ou estimar a quantidade de água precipitada em uma região, existem três métodos comumente utilizados no mundo. Os postos pluviométricos são bastante difundidos, eles se utilizam dos equipamentos conhecidos como Pluviômetros e

Pluviógrafos (SOARES *et al.* 2016) e podem ser considerados boas fontes de dados (DE CALBETE *et al.* 1996), apesar de serem instrumentos que não estão livres de erros durante o processo de medição (PINHEIRO *et al.* 2015)

Outra forma de medição bastante usada são os radares, que se utilizam de pulsos de radiação emitidos pelo aparelho e que são refletidos pelas partículas de chuva. Eles possuem um alcance que chega até 400 km, porém aspectos como calibração dos equipamentos, irregularidades na topografia e variação na distribuição das dimensões das gotas de chuva são capazes de provocar imprecisões consideráveis nas medições do sistema (CERQUEIRA, 2006).

Considerando as dificuldades encontradas nos métodos tradicionais de medição de chuva e também as imprecisões dos sistemas existentes, o sensoriamento remoto pode ser considerado como uma alternativa interessante para estimativa da precipitação e é a única que pode oferecer dados abrangentes de precipitação numa escala global (HONG *et al.* 2004).

Nesse contexto, a NASA, após o considerável sucesso no resultado da *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), lançou em 2014 a missão espacial *Global Precipitation Measurement* (GPM), que levou ao espaço satélites com o objetivo de estimar a precipitação (NASA, 2015).

Por se tratar de uma nova tecnologia, que pode fornecer dados relevantes para avaliar a precipitação em diversas escalas, existe a necessidade de validação do sistema, afim de verificar a adequação das estimativas do mesmo à realidade observada em campo (GADÊLHA, 2018; HONG *et al.* 2004; HOU *et al.*, 2014; HUANG *et al.*, 2014).

Desse modo, o aproveitamento das informações oriundas da Missão GPM torna-se o principal objeto de estudo deste trabalho, que pretende avaliar a conformidade entre os dados de precipitação (chuva) gerados pela missão espacial com aqueles obtidos de modo tradicional.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a conformidade entre os dados de precipitação do tipo *Final Run* gerados pela missão espacial GPM e aqueles obtidos a partir de estações pluviográficas do CEMADEN no estado de São Paulo nas escalas mensal e anual para o ano de 2017.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a distribuição espacial da precipitação mensal no ano de 2017 no estado de São Paulo com dados do GPM e do CEMADEN.
- Comparar as lâminas de chuva dos dois produtos de dados.
- Verificar a concordância entre os dados registrados pelos pluviógrafos do CEMADEN com o valor observado nos pixels a eles sobrepostos do GPM.
- Verificar a concordância dos dados interpolados a partir das informações dos pluviógrafos com os dados fornecidos na missão espacial.
- Verificar a interferência do número de postos por pixel de imagem na qualidade das informações.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CICLO DA ÁGUA, BALANÇO HÍDRICO E PRECIPITAÇÃO

Ao estudar a água como recurso hídrico é necessário conhecer o seu ciclo. O Ciclo da Água representa o movimento deste recurso natural no planeta em seus diferentes estados físicos, sendo então, o principal objeto de estudo da hidrologia (LIMA, 1998).

O ciclo da água é um processo contínuo e ininterrupto, no qual a água evapora das lâminas de água existentes e da superfície terrestre ou é transpirada a partir de organismos vivos. Esse processo gera uma quantidade considerável de vapor na atmosfera, que por sua vez, quando concentrado, condensa-se e acaba provocando a precipitação (LIMA, 1998).

Considerando todas as variáveis apresentadas no ciclo hidrológico, a precipitação é a fonte de entrada mais importante para o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2001). No caso do Brasil, país de clima predominantemente tropical, a precipitação em forma de chuva é a mais relevante, tornando-se então o principal objeto de estudo de várias áreas da ciência (DOS SANTOS, 2002).

A água, por sua vez, circula em toda a atmosfera, passando por diferentes estados físicos e sofrendo várias transformações ao longo do processo de circulação. Essa movimentação faz com que a água, em geral, não permaneça na superfície terrestre de forma constante (MIRANDA *et al.*, 2010).

Figura 1 - Esquema simplificado do Ciclo Hidrológico



Fonte: (MIRANDA *et al.*, 2010).

Essa inconstância na presença de água na superfície é influenciada pelos diversos processos que ocorrem na atmosfera, como evapotranspiração, circulação, precipitação, interceptação, infiltração e escoamento superficial. (MIRANDA *et al.*, 2010). Isso indica que conhecer cada etapa desse processo pode influenciar na

avaliação que existe do Balanço Hídrico de uma determinada região ou sistema hídrico.

3.2 FORMAS DE MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

A chuva está estritamente ligada a várias temáticas que são influenciadas pelas interações dos recursos hídricos com o meio ambiente e o homem, como por exemplo abastecimento humano, agricultura, agronomia, erosão do solo e controle de desastres (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

Por ter esse grau de interferência tão alto, os estudos envolvendo medição, estimativa e previsão da precipitação e informações a elas relacionadas são fundamentais para que seja possível garantir soluções eficazes para as mais variáveis fontes de problemas que possam estar atreladas às chuvas, seja por excesso ou por deficiência (OLIVEIRA e ASSUNÇÃO, 2009).

Quando se mede a chuva, tem-se como objetivo imediato o registro da altura pluviométrica do evento ocorrido. Ao relacionar a altura pluviométrica com outras variáveis do tempo, é possível extrair outras informações importantes: duração, intensidade, frequência (NAGHETTINI e ÉBER, 2007).

A duração é o período de tempo no qual a chuva está ocorrendo, podendo ser medido em minutos ou em horas. A intensidade pluviométrica é justamente a razão entre a altura pluviométrica e tempo. Podendo ser encontrada com outras unidades de tempo, a intensidade é normalmente expressa em mm/h e é uma variável que pode auxiliar na indicação de eventos extremos já que as chuvas mais intensas são aquelas que possuem uma grande altura pluviométrica em pouco tempo (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

A frequência, ou o tempo de recorrência, indica o número de vezes que ocorre a precipitação em um determinado intervalo de tempo pré-estabelecido. É um dado muito importante para obras que trabalham com eventos extremos, principalmente na engenharia, sendo associada a probabilidade de ocorrer um evento, que no caso é a chuva, em um período fixo (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

Existem diferentes formas de medir a ocorrência da precipitação em uma região. Dentre as mais conhecidas, podem ser destacados os equipamentos de medição direta de campo, pluviômetros e pluviógrafos, e ainda os radares, que se utilizam de uma tecnologia mais avançada (KAISER, 2006).

O sensoriamento remoto é uma alternativa crescente na geração desse tipo de dado (KAISER, 2006). Devido ao vasto avanço tecnológico alcançado nas últimas décadas, as informações processadas e obtidas através de recursos computacionais se tornaram mais acessíveis e possíveis de serem utilizados com maior eficácia. (BORGES *et al.* 2015)

3.2.1 Pluviômetros e Pluviógrafos

Os pluviômetros e pluviógrafos são equipamentos de medição de campo. Eles medem a precipitação de forma localizada e, embora muitas vezes sejam considerados equipamentos simples, são também conhecidos pela alta precisão do registro (ANA, 2012).

Os pluviômetros são aparelhos dotados de uma superfície aberta para captação horizontal e um reservatório que acumula água para sua aferição. É um equipamento mecânico que requer, por parte de um operador, a coleta diária da informação da chuva (CORRETINO, 2011).

A água cai na superfície aberta com área padronizada e fica acumulada no recipiente. Em um horário específico do dia, o operador colhe a água acumulada e anota o registro da precipitação. No Brasil, para padronizar as medições, costuma-se coletar essas informações por volta sempre das 07h (CORRETINO, 2011).

No Brasil, o instrumento mais comum utilizado pelas companhias que fazem os trabalhos de medição de precipitação é o *Ville de Paris* (Figura 2), que possui a abertura específica de 400 cm² e tem capacidade de acúmulo de até 5 Litros (SILVA, 2008). Porém, outros modelos simplificados também são utilizados como alternativa para o registro, que podem ser feitos tanto pelas agências, como por propriedades ou empresas privadas (ANA, 2012).

Figura 2 - Pluviômetro do tipo Ville de Paris



Fonte: SANCHES *et al.* 2017

Os pluviógrafos, por sua vez, são equipamentos que seguem o mesmo princípio de captação, porém com maior grau de sofisticação, já que eles registram a precipitação de forma automática em uma escala de tempo inferior a diária, usando o artifício dos *dataloggers* programáveis, que armazenam as informações da quantidade de chuva em escala até mesmo sub-horárias (COLLISCHONN e TASSI, 2009).

O artifício usado nos pluviógrafos é o sistema de balança. A água que cai sobre o equipamento é canalizada para a balança (que possui volume definido e conhecido) e quando esse dispositivo tiver no limite do seu volume, ele acaba mudando sua direção e dispara um sinal que é armazenado pelo datalogger. Esse sinal armazenado representa o volume de água da balança, que indica a precipitação na área onde está instalado o instrumento (COLLISCHONN e TASSI, 2009).

Figura 3 - Modelo de um Pluviógrafo



Fonte: VAISALA, 2019

O grande avanço do pluviógrafo em relação ao pluviômetro é que o primeiro permite uma noção melhor de intensidade pluviométrica, já que armazenam informações em uma escala de tempo bem inferior àquela do segundo, que é no caso diária (PINHEIRO *et al.* 2015).

Apesar de relevante eficiência na medição, existem alguns problemas pertinentes na utilização desses equipamentos citados, podendo ser destacados, conforme indicado por GADELHA (2018):

- Erros associados ao manuseio do equipamento por parte do operador na hora da coleta da informação, no caso dos pluviômetros;
- Perda de informações devido a erros no sistema ou na alimentação da energia do equipamento, quando são usados pluviógrafos;
- Erro na coleta da chuva quando os equipamentos são instalados próximos a árvores ou edificações;
- Evaporação da água que fica retida na parede dos equipamentos;
- Perda de informação em caso de precipitação com elevada interferência de ventos;
- Erros atrelados a falta de manutenção dos instrumentos de medição.

Esses erros citados influenciam bastante na qualidade dos dados, mas há outros fatores intervenientes no processo de medição que estão ligados a dificuldade de manter o funcionamento dos postos pluviométricos. Devido ao alto custo de operação e de aquisição dos materiais, muitas vezes a manutenção da alta qualidade dos dados fica comprometida (SANCHES et al. 2017).

No Brasil, os dados das estações pluviométricas são as principais fontes de informação sobre a Precipitação. Existem diversas agências governamentais a nível federal e estadual que fazem esse trabalho de medição de chuva, como: ANA (Agência Nacional de Águas); CEMANDEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais); INMET (Instituto Nacional de Meteorologia); ADASA (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal); APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima); DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo); FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos).

Essas e outras agências controlam diversos postos espalhados pelo país, sendo a maior parte deles administrados pela ANA, que é a maior agência federal interessada nesses dados por ser responsável pela implementação da gestão dos recursos hídricos brasileiros.

Para manter uma estação em funcionamento, é necessário que haja um operador que faça a coleta diária dos dados ou de um equipamento de medição automática, que possui um alto custo de aquisição e manutenção (KAISER, 2006).

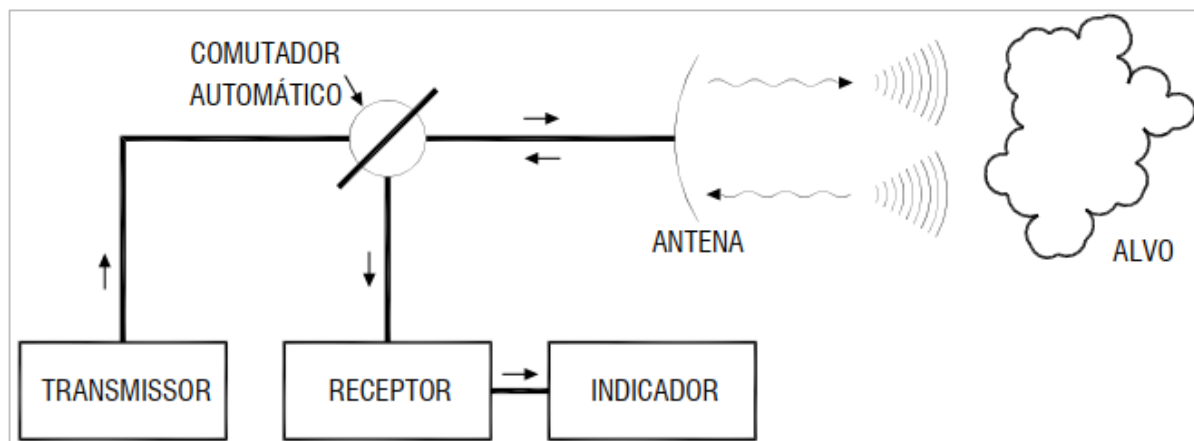
Outro problema associado a essa medição é que os dados gerados a partir desses postos são muito localizados e pontuais, podendo não ser representativos para áreas muito distantes a eles, ou seja, se utilizar dessas informações para gerar interpolações de valores, pode representar um ato impreciso (COLLISCHON; DORNELLES, 2015).

Além disso, não são encontrados em todos os locais uma boa densidade de Postos Pluviométricos. No Brasil, existem regiões que contém uma grande quantidade de equipamentos em bom estado, porém, há muitas que não possuem postos em funcionamento adequado ou séries confiáveis de dados, o que representa um problema sério quando se necessita estudar as chuvas da região (KAISER, 2006).

3.2.2 Radares

Os radares meteorológicos são alternativas que também fazem a detecção de fenômenos de precipitação. Através da emissão de ondas eletromagnéticas a partir de antenas específicas, os radares detectam a ocorrência do evento e o registram em bancos de dados computacionais.

Figura 4 - Esquema de funcionamento dos Radares



Fonte: CALHEIROS, 1982

O sistema do radar emite ondas que atingem as partículas na atmosfera, estas, por sua vez, refletem a energia recebida. As antenas voltam a captar essa energia refletida e a partir de métodos matemáticos definidos a partir da calibração dos radares, os computadores convertem as informações recebidas de refletividade (mm^6/m^3) em dados de pluviosidade (KAISER, 2006).

Isso significa que os radares não medem diretamente a precipitação. Na verdade, ela está associada a refletividade detectada pelos radares, que possui uma

relação física com o espectro das gotas de água existentes. A partir dessa variável detectada, os softwares convertam a informação.

Em geral, a cobertura dos radares meteorológicos pode chegar a um raio de até 400 km, com uma resolução próxima de 2,0 km². São feitos vários registros em alturas que variam em 1,5 km e 18,0 km, sendo os dados interpolados para cada uma dessas alturas (SAISP, 2019).

Devido à alta sensibilidade dos equipamentos de emissão e recepção das informações, são associados aos radares, postos pluviométricos que são utilizados para aferir os modelos e calibrá-los em caso de necessidade (SAISP, 2019).

Apesar de ser uma ferramenta importante, a cobertura dos radares existentes ainda é pequena e é muito comum que existam erros consideráveis na estimativa da precipitação. São ao todo 27 radares instalados no Brasil (CEMADEN, 2016), não sendo eles suficientes para estimar a precipitação em todo o espaço do território brasileiro (GADELHA, 2018).

3.3 SENSORIAMENTO REMOTO E IMAGENS DE SATÉLITE

Segundo Florenzano (2002) o sensoriamento remoto é um "conjunto de atividades que permitem a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida". Com o surgimento de satélites meteorológicos, a partir da década de 1960, foi possível iniciar o monitoramento da precipitação através desse mecanismo de pesquisa (MOL, 2005).

O grande avanço tecnológico do século XX proporcionou diversos benefícios para a ciência e permite o crescimento da utilização do sensoriamento remoto na obtenção de informações. O lançamento de satélites voltados para a observação de recursos naturais teve como um de seus principais marcos em progresso e importância a criação do programa LANDSAT por parte dos Estados Unidos (SOUSA *et al.* 2009).

Com a evolução no desenvolvimento desses satélites, foram criadas importantes missões espaciais voltadas para geração de informações relacionadas aos fenômenos atmosféricos e características físicas da Terra. Podem ser citadas: a NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*), que gera dados relacionados ao clima e dinâmica da atmosfera; as próprias missões LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*), que forneceu durante 30 anos imagens com elevada resolução da

superfície terrestre; e o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que foi responsável por gerar um banco de dados com a topografia do planeta entre os paralelos 56°S e 60°N (CNPM, 2019).

No caso da precipitação, antes mesmo do LANDSAT, outros programas menores já utilizavam o sensoriamento remoto para obter informações de meteorologia e clima, que foi o caso da TIROS-1 (*Television and InfraRed Observation Satellite*). Seu lançamento ocorreu em 1960 e em meados de 1962 o satélite já fazia cobertura em todo o mundo (SACK, 2019).

Anos depois, outra importante missão espacial foi lançada para trabalhar especificamente com geração de dados de precipitação, que foi o caso da TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), que entre 1997 e 2014 se constituiu uma importante ferramenta para geração de dados relacionados a precipitação no planeta, em especial em regiões tropicais (PASSOW, 2010).

Com o sucesso da Missão TRMM, veio a *Global Precipitation Measurement*, GPM, que, seguindo a mesma linha, passou a gerar dados envolvendo a precipitação e o ciclo da água no planeta (NASA, 2015).

Essas missões espaciais permitem que sejam gerados registros de precipitação na atmosfera com frequência maior que aquela alcançada com os métodos tradicionais de medição. Além disso, apresentam maiores variação e abrangência em relação à espacialização das informações (KIDD; LEVIZZANI, 2011), já que são produzidos dados de todo o globo em tempo real, podendo ser gerados ainda produtos finais que são melhorados com auxílio de registros obtidos em campo (NASA, 2015).

3.4 TRMM

A *Tropical Rainfall Measuring Mission*, missão TRMM, surgiu a partir de uma ação de cooperação entre as agências NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e JAXA (Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial). Foi lançada em novembro de 1997 e terminou suas atividades oficialmente em abril de 2015, dando lugar a Missão GPM.

O TRMM possuía três sensores de precipitação e ao final dos seus 17 anos de operação, entregou uma relevante série de dados de precipitação nas áreas tropicais do Globo, tornando-se uma fonte de dados padrão no que diz respeito a geração de dados desse fenômeno a partir de satélites. A missão foi um marco no registro dos

eventos de precipitação e também pôde auxiliar na detecção de eventos extremos como por exemplo os ciclones e furacões (PASSOW, 2010).

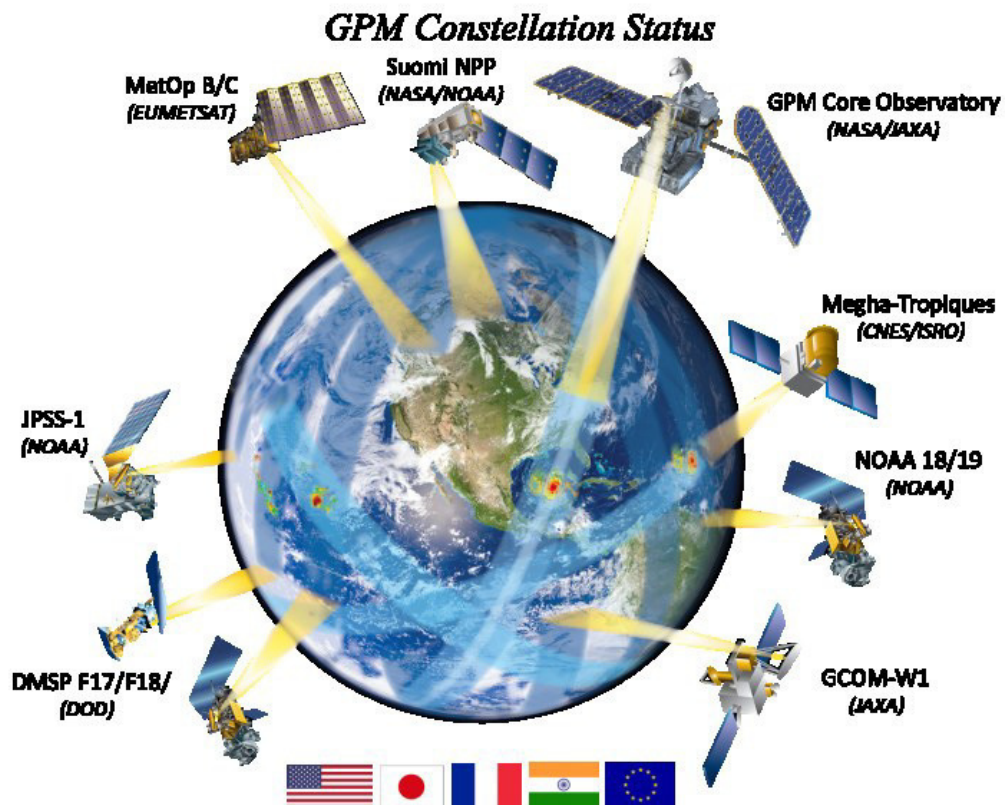
O TRMM produzia até 3 tipos de produtos, sendo mais importante o apresentado pelo algoritmo 3B43, que eram os dados processados a partir da combinação das informações coletadas a partir de um radiômetro infravermelho e de um radiômetro de micro-ondas (ANJOS *et al.*, 2017).

Abrangência de atuação da Missão era de 50°N e 50°S, enquanto as resoluções espacial e temporal eram de 0,25° e 3h respectivamente (PASSOW, 2010) e a partir dos dados gerados, foram realizados diversos estudos de avaliação de conformidade no mundo inteiro.

3.5 GPM

O GPM foi a missão especial que veio a substituir a TRMM. Lançada em fevereiro de 2014, é um produto de cooperação de diversas agências espaciais do mundo, mas comandada também pelas agências NASA e JAXA.

Figura 5 - Constelação de Satélites da Missão Espacial GPM



O GPM foi criado com a finalidade de elevar o conhecimento sobre ciclo da água no Planeta. Segundo a própria agência espacial dos Estados Unidos, NASA, em seu site oficial, a missão tem alguns objetivos específicos para sua atuação científica:

- Avançar na estimativa da precipitação no espaço;
- Aprimoramento do conhecimento dos sistemas de precipitação, variabilidade do ciclo da água e disponibilidade de água doce;
- Melhoria da modelagem e previsão do clima;
- Melhoria da previsão do tempo e a reanálise 4D do clima;
- Aprimoramento da modelagem hidrológica e a previsão;

Desse modo, a missão contribui para que seja aprimorado o conhecimento do ciclo da água na Terra, podendo ligar os eventos naturais com as mudanças climáticas que ocorrem no planeta. É possível também obter informações sobre tempestades, furações, inundações e outros eventos críticos, ajudando na previsão de desastres (NASA, 2015).

Além disso, o conhecimento sobre o regime de chuvas nas diferentes regiões do planeta, pode auxiliar na quantificação da disponibilidade hídrica de cada região analisada, já que a precipitação é o principal produto de entrada de água nos sistemas hídricos, o que pode favorecer a gestão do recurso natural (NASA, 2015).

Todos esses objetivos passam diretamente pela estimativa da precipitação, que é o produto de avaliação principal do GPM. Para gerar os dados, o GPM se utiliza de um observatório central e 8 satélites parceiros das diferentes agências espaciais. O observatório central possui um sensor de micro-ondas de escaneamento cônico, que detecta frequências variando entre 10 e 183 GHz, e um radar de dupla frequência, com banda Ku a 13,6 GHz e banda Ka a 35,5 GHz (TANG *et al.*, 2016). Isso permite ao GPM detectar chuvas mais e menos intensas que a missão anterior TRMM (HOU *et al.*, 2014).

O GPM conta com uma cobertura que varia entre 65°N e 65°S, possuindo uma rede de quadrículas com dimensões definidas em 0,1°×0,1° e resolução temporal de 30 minutos. A partir do modelo, são geradas as estimativas de precipitação na escala mínima, considerada instantânea, e também as taxas de precipitação a cada 3h, juntamente com seus resultados acumulados para as escalas diárias e mensais. (HOU *et al.*, 2014).

O IMERG (*Integrate Multi-Satellite Retrievals for GPM*) é o algoritmo de trabalho da Missão espacial, e ela fornece diferentes produtos como fonte de dados,

destacando-se o Early Run, o Late Run e o Final Run (HUANG *et al.*, 2014). Assim, cada quadricula gerada pelo modelo terá, na escala de tempo e no produto escolhidos, o seu valor de precipitação média para toda a sua área.

O produto *Early Run* possui os dados instantâneos da precipitação, a versão Late, possui uma latência próxima de 15 horas, sendo possível haver alteração do dado por conta de atrasos na emissão ou recepção das micro-ondas que são captadas pelo sistema (NASA, 2017). Normalmente os dados do tipo *Late* já são bem avaliados, só que a própria NASA recomenda que sejam utilizadas as informações no *Final Run* (HUANG *et al.*, 2014), que são fornecidos após detecção de todas as micro-ondas pelo sistema e ainda são aplicados aos resultados os dados de estações pluviométricas (TANG *et al.*, 2016).

3.6 ESTUDOS DE VALIDAÇÃO DO GPM

Nesta temática de validação e avaliação de conformidade dos dados do IMERG (GPM) alguns estudos relevantes foram feitos no Mundo.

Tang *et al.* (2016), na China, realizou um estudo de avaliação dos produtos do IMERG em diferentes escalas de tempo e concluiu que a qualidade dos dados pode ser melhorada na escala horária, já que em escalas de tempo maiores o resultado foi relevante. E também precisa ser ajustado para regiões com altas latitudes e altitudes, bem como em áreas de clima seco.

Sungmin *et al.* em 2017 avaliou a conformidade dos produtos do IMERG usando dados de postos de uma rede de monitoramento de precipitação no Sudeste da Áustria. Uma das principais conclusões do estudo foi de que os dados do GPM subestimaram as precipitações elevadas registradas pelos postos e superestimou as precipitações pequenas, o que provocou uma desconformidade nos dados e influenciou no resultado da precipitação acumulada para aquela região.

Li *et al.* (2018) buscou avaliar os dados do IMERG para uma variabilidade horária com informações coletadas em 50 mil estações da China num período de 3 anos. Sua principal contribuição foi destacar que durante o dia os dados do GPM possuíam uma correlação inferior quando comparados aos dados noturnos, o que merecia um estudo mais avançado para buscar as explicações desse fato.

No Brasil, Gadêlha (2018) reuniu dados de todo o território do país e avaliou a conformidade do *IMERG – Final Run* nas escalas horária, diária, mensal e anual com as informações de postos pluviométricos. Em resumo, o trabalho destacou que o

desempenho do GPM se mostrou uma boa fonte de dados, porém sendo melhor avaliado quando utilizado em escalas de tempo maiores (mensal e anual) e também em áreas maiores. Porém, devido à grande variação nos resultados obtidos nas suas comparações, seria muito importante outros estudos que relacionem os dados a outras variáveis do clima.

4 METODOLOGIA

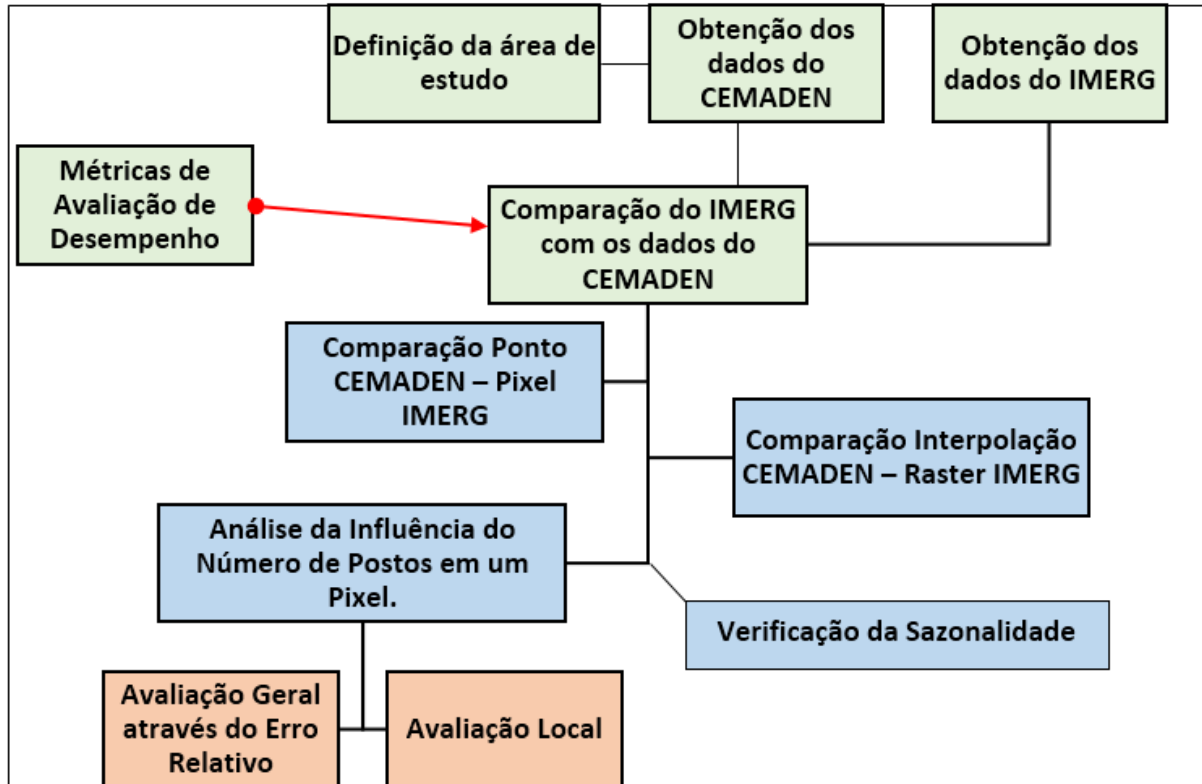
A metodologia buscou inicialmente definir uma área de estudo compatível com os objetivos do trabalho, sendo o resultado desse processo a escolha do estado de São Paulo. Em seguida foram obtidos os dados de precipitação dos dois produtos a serem comparados: dados do CEMADEN e do IMERG.

A partir do tratamento dos dados, foram definidas as métricas de comparação para o estudo de avaliação da conformidade dos dados. Foram utilizadas ao todo 4 métricas que, ao serem aplicadas nos valores obtidos a partir das duas fontes, auxiliaram no alcance dos objetivos do trabalho.

A partir das comparações feitas, foram obtidos os resultados do trabalho, sendo possível obter as conclusões do estudo e confrontá-las com os objetivos definidos. Além da aplicação das métricas, foi verificada também a sazonalidade dos dois tipos de dados.

A figura 6 abaixo representa de forma esquemática a metodologia aplicada em seus principais pontos.

Figura 6 - Esquema representativo da metodologia aplicada no trabalho



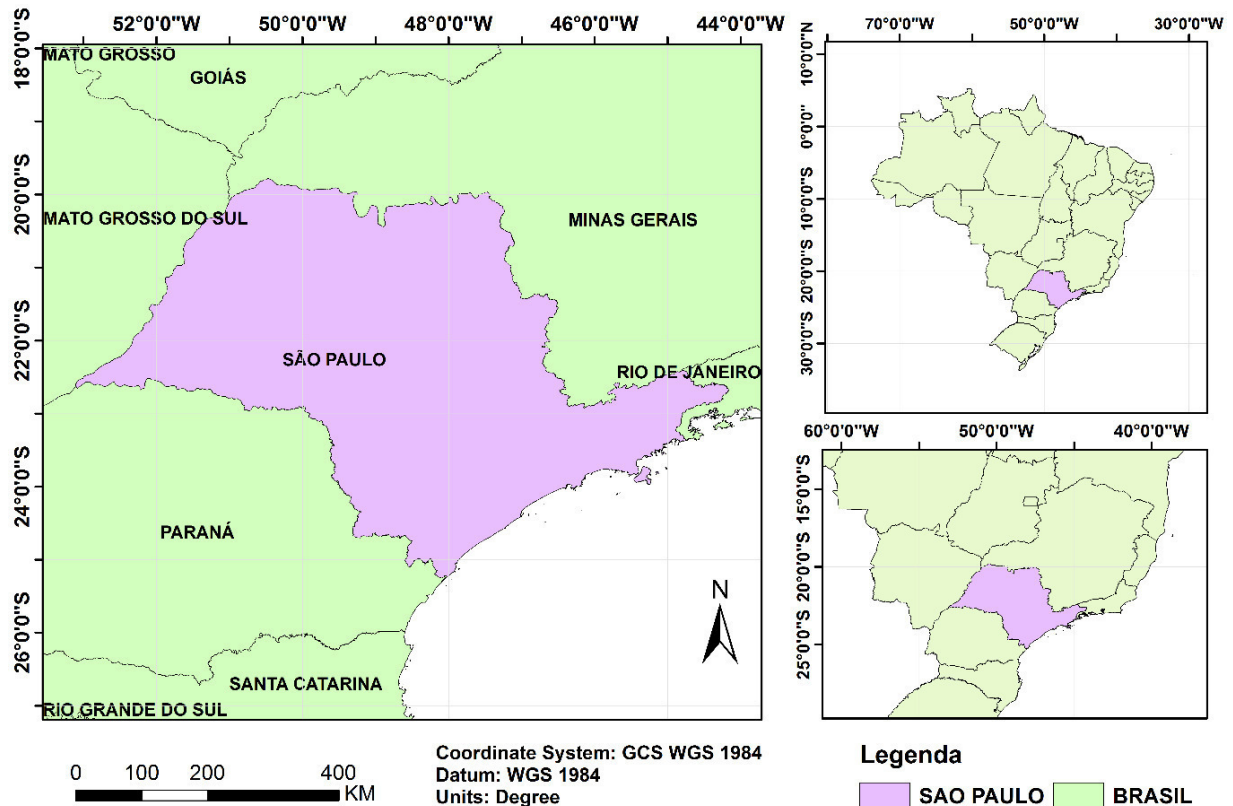
4.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida para realização do trabalho foi o estado de São Paulo. A partir dessa região buscou-se avaliar o desempenho dos dados de chuva gerados pelo GPM em comparação com os dados obtidos pelos postos pluviométricos do Centro de Monitoramento de Desastres Naturais (CEMADEN).

São Paulo possui uma área total de 248.209 km² e população estimada em 45.538.936 (2018), segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Está inserido na Região Sudeste brasileira e faz divisa territorial direta com 4 estados brasileiros (Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Paraná).

A escolha por São Paulo se deu por ser um estado provido de uma quantidade considerável de postos pluviométricos com dados consistentes, além de se apresentar como uma região com variações de relevo, clima e precipitação com diferentes naturezas ao longo de seu território. Conforme verifica-se na Figura 7, o estado possui como pontos extremos norte, sul, leste e oeste 19° 46' 47" (S), 25° 21' 29" (S), 44° 09' 41" (W) e 53° 06' 36" (W) respectivamente.

Figura 7 - Localização do Estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo Autor

São Paulo possui uma vasta extensão litorânea, com relevos baixos, porém, em uma faixa terrestre não muito distante do oceano, existe a ocorrência de formações planálticas, que elevam, de forma abrupta, a altitude da região. A capital paulista, por exemplo, está a menos de 100 km do litoral e já apresenta uma altitude média de 760 m.

Essa elevação no território, observada na Figura 8, permanece em boa parte do estado com altitudes que variam em média entre 500 e 1.200 m, podendo chegar a 1800m, tendo seu pico máximo de 2.420m, na Serra da Mantiqueira.

Figura 8 - Relevo do Estado de São Paulo

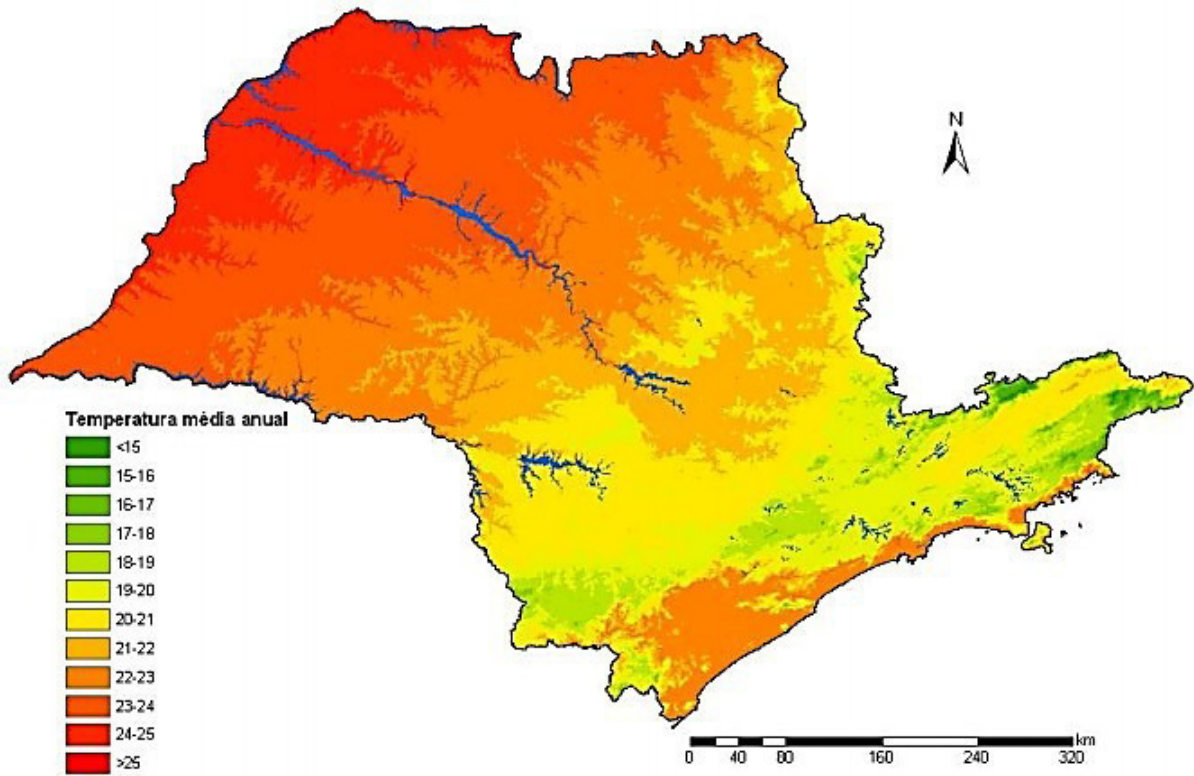


Fonte: SILVEIRA, 2015

O clima seguindo a classificação de Strahler varia entre tropical e subtropical úmido (DUFT, 2018) e no que diz respeito a precipitação, o estado possui áreas com dados anuais que vão desde 1.100 mm no interior do estado até chegar a valores máximos em torno dos 4.400 mm nas regiões mais litorâneas, principalmente na Serra do Mar o que indica uma grande variedade no volume de chuvas na região, conforme observado na Figura 10 adiante.

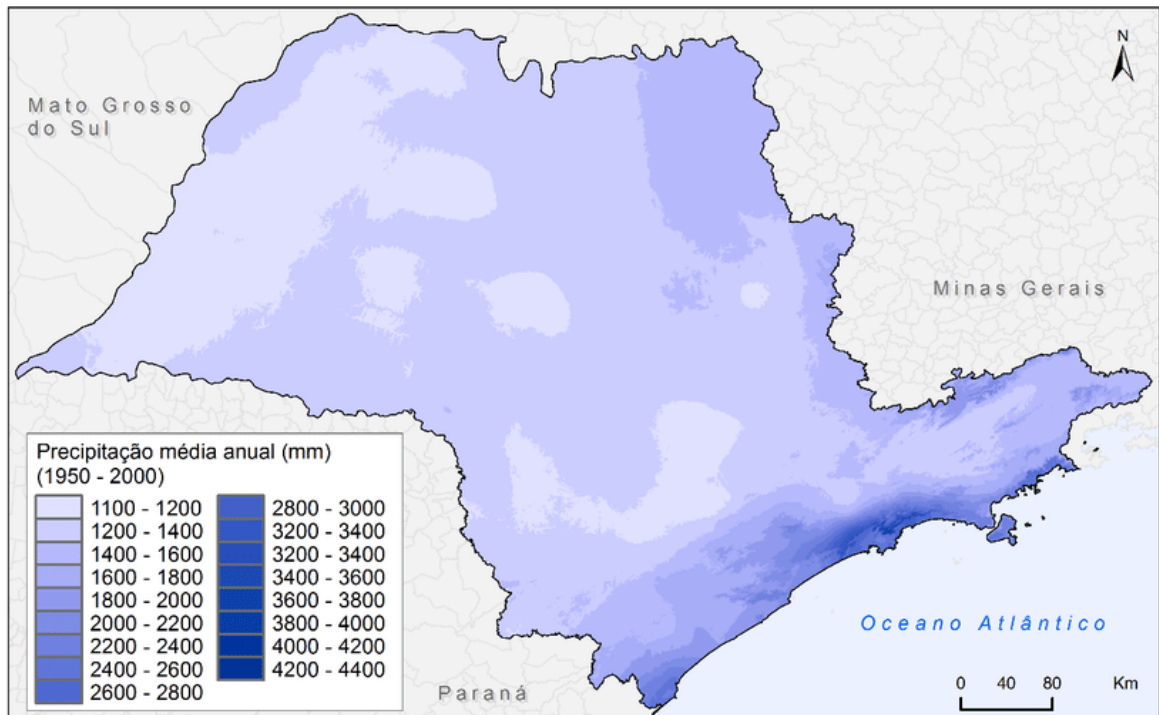
As temperaturas da região, conforme demonstrado na Figura 9, variam em geral de 15 a 30 graus em suas médias anuais. As temperaturas mais baixas encontram-se nas regiões serranas, enquanto as elevadas ficam mais a oeste do território, na divisa com o Mato Grosso do Sul, que é a parte mais interiorana do estado.

Figura 9 - Distribuição da temperatura média em °C no Estado



Fonte: VALLADARES, 2004.

Figura 10 - Precipitação média anual para o Estado de São Paulo no período 1950-2000



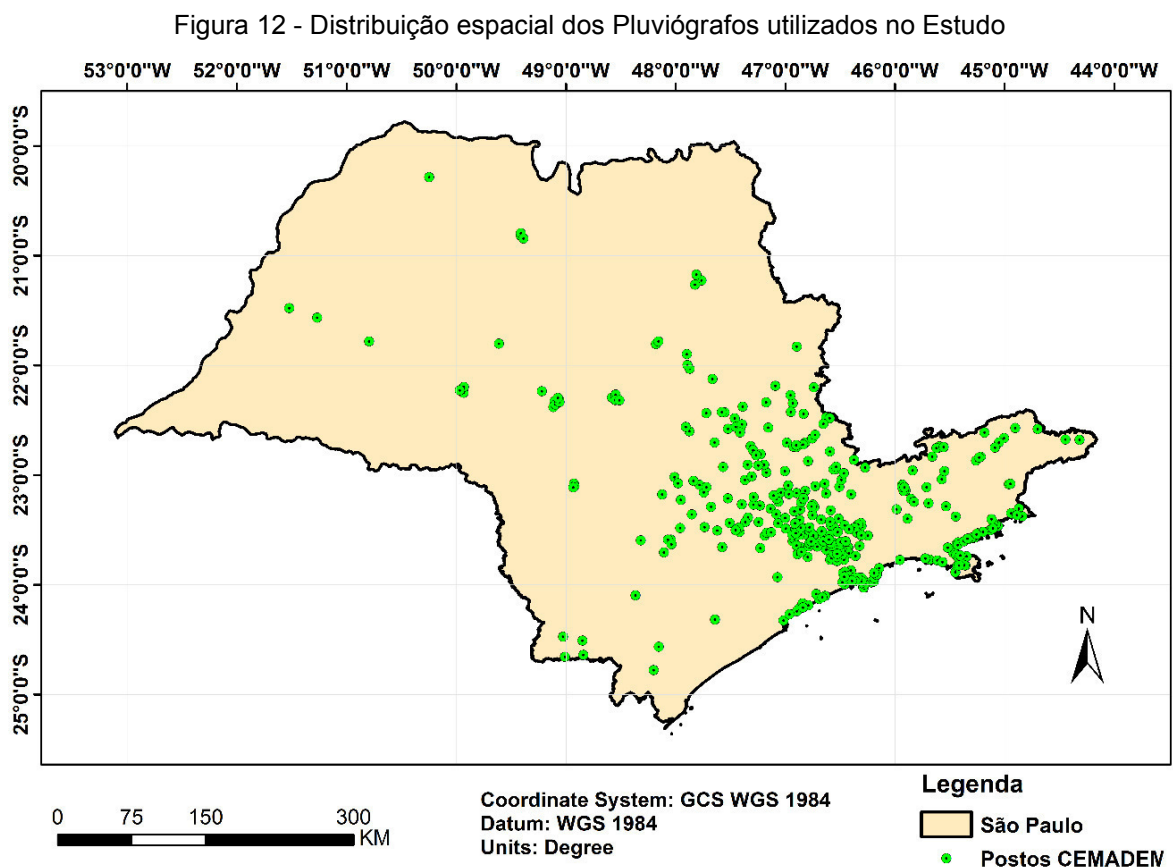
Fonte: MEDEIROS, 2016

chuvosos no Brasil. A metodologia consiste na aplicação de 3 filtros para escolha de postos pluviométricos.

O primeiro filtro exclui os postos com mais de 15 dias faltosos em um ano de dados registrados. O segundo filtro comparou os dados de cada estação com as suas estações vizinhas presentes em um raio de 5km. Para aplicação desse filtro, era necessária a existência de pelo menos 5 postos dentro da área alcançada com o raio, então calculava-se a média dos postos existentes e analisava-se o desvio padrão. Se a precipitação anual da estação ficar fora do intervalo compreendido entre a média menos duas vezes o desvio e média mais duas vezes o desvio, ela é descartada. Quando não há cinco ou mais postos, o posto segue para o terceiro filtro.

O terceiro filtro consiste na aplicação do Índice de Moran Local (IML), que avalia a correlação dos dados do posto com o que se observa na região onde o mesmo está inserido.

Com os dados do CEMADEN já tratados foi possível obter, ao final desse processo, os valores mensais de precipitação para cada um dos postos e também o seu valor final para o ano de 2017. Foram selecionados 355 pluviógrafos automáticos para o estudo, que resultaram na seguinte distribuição espacial:



Fonte: Elaborado pelo Autor

Para gerar um mapa com a precipitação para todos os meses do ano de 2017 e também o valor acumulado no ano, foi necessário realizar a interpolação dos dados obtidos a partir dos pluviógrafos com uma grade que fosse compatível e coincidente com aquela fornecida pelos dados raster do sensoriamento remoto advindo do IMERG.

Para isso, foi utilizada a interpolação IDW (Interpolação de pontos ponderada pelo inverso da distância), o que permitiu, ao final do processo, obter uma imagem de dados raster com informações de precipitação média ao longo da área estudada, podendo então compará-las com aquelas apresentadas pelo IMERG.

4.3 OBTENÇÃO DOS DADOS GPM

Os dados de precipitação do IMERG são obtidos diretamente pela NASA, a partir do portal *GIOVANNI*, que segundo a própria agência é um website que fornece acesso a diversos dados de sensoriamento remoto produzidos para estudos voltados para a ciência.

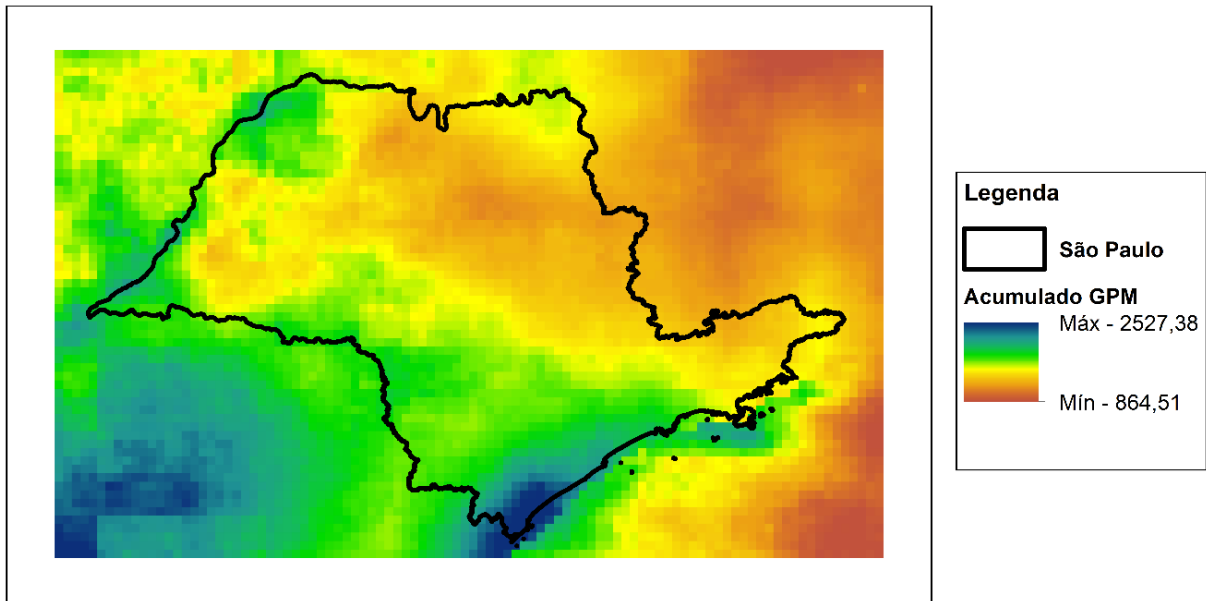
Para toda análise do trabalho, foram selecionados os dados do tipo *Final Run*, apresentados na escala de mm/mês. Este tipo de dado é o melhor produto gerado pelo IMERG, podendo ser acessado cerca de três meses depois da ocorrência do evento de precipitação.

O formato de arquivo oriundo dessa ferramenta é a imagem *TIFF*, um raster que carrega consigo as informações de precipitação mensal na região escolhida para o trabalho. O raster possui vários Pixels que representam espacialmente os Grids do modelo do IMERG. Cada Grid, ou pixel, possui a informação da precipitação média detectada para aquela área a qual está vinculado o Pixel e assim é possível avaliar a precipitação na região escolhida para análise e estudo.

Foram selecionadas as imagens de todos os meses do ano de 2017 numa área que envolvia todo o estado de São Paulo. Essas imagens foram inseridas em software de Geoprocessamento, no caso o *ArcMap 10.5* da *ESRI*, para a análise e manipulação das informações.

A Figura 13 a seguir, mostra a característica da imagem raster após inserção no software utilizado e acumulação dos dados mensais para obtenção do valor anual da precipitação em milímetros (mm).

Figura 13 - Característica do Raster obtido a partir das imagens *TIFF* oriundas do *GIOVANNI*



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.4 MÉTRICAS ESTADÍSTICAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Para comparar os dados obtidos através do GPM e do CEMANDEN, foram utilizados parâmetros estatísticos que pudessem relacioná-los a fim de quantificar a conformidade entre ambos. Conforme indicado por Oliveira (2016), foram escolhidos os seguintes parâmetros para avaliação dos dados:

- BIAS
- Coeficiente de Correlação (CC)
- Raiz do erro médio quadrático (RMSE)
- Erro Relativo

$$BIAS = \overline{GPM} - \overline{CMD} \quad (\text{Equação 1})$$

$$CC = \frac{\frac{1}{n} \times \sum_i^N [(CMD_i - \overline{CMD}) \times (GPM_i - \overline{GPM})]}{\sigma_{CMD} \times \sigma_{GPM}} \quad (\text{Equação 2})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^N [(CMD_i - GPM_i)^2]}{n}} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{Erro Relativo} = \frac{\sum_i^N [CMD_i] - \sum_i^N [GPM_i]}{\sum_i^N [CMD_i]} \quad (\text{Equação 4})$$

Nas equações acima, \overline{CMD} e \overline{GPM} representam a média das precipitações mensais dos dados do CEMADEN e do IMERG (GPM) respectivamente. Já CMD_i e GPM_i são os valores das precipitações mensais de cada tipo de dado. Os outros parâmetros N ou n e σ representam respectivamente o número de meses e o desvio padrão dos meses usados na amostra.

O primeiro parâmetro apresentado, o BIAS, indica, ao confrontar os dados de forma direta, se houve super ou subestimação dos valores de precipitação comparados entre o IMERG e os dados de estações. Desse modo, o valor ideal a ser encontrado será próximo de zero.

O parâmetro CC, coeficiente de correlação, observado na Equação 2, avalia a dependência linear entre os dados, podendo variar entre -1 e +1. Em caso de valores próximo de 0, significa que não há relação entre os dados, porém em caso de resultados próximos de +1 é possível inferir uma boa correlação, o que na prática pode dizer que valores de precipitação para um tipo de dado são acompanhados pelo outro.

Uma ressalva relevante que se deve fazer em relação ao coeficiente de correlação é que ele é um parâmetro que não leva em conta a precisão do modelo, ou seja, é fundamental sua análise seja feita em conjunto com mais métricas estatísticas, ainda que os resultados apresentados na comparação sejam excelentes quanto a correlação.

O RMSE, da Equação 3, raiz do erro médio quadrático, mede a acurácia dos dados com valores de erro na mesma dimensão daqueles que estão sendo comparados, sendo o valor ideal expresso próximo do 0, pois indica concordância absoluta entre as fontes.

A Equação 4 traz Erro Relativo, que é o parâmetro mais simples apresentado, porém indica, em termos percentuais, a diferença entre os dados anuais apresentados pelas fontes. No caso apresentado, os valores positivos da métrica indicam que o CEMADEN teve valores mais altos para os registros de precipitação.

Assim, é possível verificar se os dados gerados pelo GPM acompanham, se eles tendem a ser sub ou superestimados, se são precisos e qual o erro global deles na escalada anual em relação aos dados do CEMADEN.

4.5 COMPARAÇÃO DO IMERG COM OS DADOS DO CEMADEN

Com os dois tipos de dados selecionados, foram escolhidas três formas de comparação para avaliar o desempenho do GPM e a sua conformidade em relação aos dados retirados a partir dos pluviógrafos.

- Comparação Ponto – Pixel
- Comparação Interpolação CEMADEN – Raster IMERG
- Número de postos – Qualidade dos dados.

Para realizar as comparações foi necessário ter:

- Postos Pluviométricos do CEMADEN devidamente espacializados e com os registros de chuva mensal e acumulado para o ano de 2017.
- Todos os Rasters com os valores mensais de precipitação para o ano de 2017 fornecidos pelo GPM;

Todos os dados raster e informações dos pluviógrafos foram inseridos em ambiente SIG, no qual foi possível realizar as diversas operações necessárias para extrair, gerar ou manipular as informações requeridas no trabalho.

4.5.1 Comparação Ponto CEMADEN – Pixel IMERG

Nesta etapa de avaliação, foram utilizados todos os rasters obtidos a partir do GPM, porém foi feito um recorte em todas as imagens dos registros mensais para preservar apenas as unidades de pixel que possuíam dentro de suas áreas pelo menos um pluviógrafo do CEMADEN.

O objetivo desse recorte é poder comparar a conformidade do modelo do IMERG na estimativa da chuva onde há dados diretamente colhidos em campo, desconsiderando as áreas onde não são obtidas de forma direta informações de precipitação. Essa comparação gera resultados que permitem para avaliar a eficácia pontual, já que não são comparados dados interpolados ou estimados a partir dos pluviógrafos.

Após obter todos os rasters do IMERG com os dados mensais na condição citada, foi necessário transformar as informações de precipitação dos pluviógrafos também em rasters com precipitação mensal, pois só assim seria possível aplicar as operações necessárias para gerar os índices dos parâmetros estatísticos.

Neste caso, a partir dos pontos de pluviógrafos foram gerados rasters com pixels de mesma característica dos arquivos oriundos do GPM: dimensão de $0,1 \times 0,1^\circ$

(10×10 km) e quadriculas coincidentes. Diante da ocorrência de mais de um pluviógrafo dentro de um mesmo pixel, era considerado o valor da média dos postos.

De posse dos novos rasters gerados com dados mensais de precipitação tanto do GPM como dos pluviógrafos para o ano de 2017, bem como o valor acumulado dos eventos, foi possível calcular as métricas estatísticas de avaliação.

4.5.2 Comparação Interpolação CEMADEN – Raster IMERG

Nesta etapa, foi realizada a comparação entre dados de precipitação interpolados a partir dos registros dos Pluviógrafos e os dados oriundos do GPM.

Devido a concentração dos postos ser bem maior na região centro-leste do estado, a interpolação dos dados do CEMADEN foi realizada numa área inferior à do limite político do território. Isso para evitar possíveis distorções nos resultados ou até mesmo erros influenciados pela ausência de uma boa densidade de informações da precipitação nas áreas mais interioranas do Estado.

Após a redução nas dimensões da área de estudo, a interpolação foi feita a partir do método IDW. Para ser possível a comparação direta entre as informações, foram gerados Rasters também com as mesmas características dos arquivos originados pelo GPM.

De posse de todos os Rasters com dados mensais e acumulados de precipitação resultantes da interpolação dos dados dos postos e dos fornecidos pelo GPM para o ano de 2017, foi possível aplicar mais uma vez as métricas estatísticas de avaliação.

4.5.3 Análise da Influência do Número de Postos em um Pixel.

Nesta etapa, o objetivo foi analisar se existe uma influência direta na melhora da relação entre os dados monitorados em campo com os de satélite quando os pixels analisados possuem uma quantidade maior de pluviógrafos inseridos em sua área. Isso porque eventualmente pode ser considerado que, com mais informações de postos, o resultado dos dados gerados pode ser mais preciso em relação a locais onde ocorra o contrário.

Para isso, foi aplicado o cálculo do Erro Relativo (Equação 4) nas imagens geradas a partir da conversão das informações dos postos pluviográficos em conjunto com aquelas obtidas a partir do GPM. Ambas imagens foram comparadas para seus valores acumulados para o ano de 2017 nesta Comparação.

Na análise, foram separados os Pixels em grupos que diferem entre si do número de Pluviógrafos existentes em seus domínios, sendo considerados para esta análise

apenas os Grupos Pixels que apresentaram uma quantidade relevante de postos em relação aos demais, já que não seria conclusivo gerar informação a partir de situações com baixa ocorrência de postos no Pixel.

Outra análise feita, foi selecionar de forma pontual Pixels que estivessem em uma área próxima no espaço estudado, mas que possuíssem quantidades diferentes de postos neles inseridos, para então apresentar e confrontar os resultados do desempenho de cada um.

Nesse caso, foram analisados 6 Pixels do litoral do estado, onde a variação na relação Posto/Pixel era maior. Para esses Pixels, além do Erro Relativo dos dados anuais, foram exploradas todas as outras métricas citadas no estudo, a fim de se verificar se havia melhoria dos resultados em caso de existência de mais pluviógrafo sem um dado Pixel.

4.5.4 Avaliação da Sazonalidade

A sazonalidade foi verificada de forma específica para observar a distribuição no ano de 2017 da precipitação para os dois dados comparados no trabalho. Nesta etapa, foi calculada a média de precipitação verificada em cada mês de todos os pixels gerados a partir dos dados dos pluviógrafos do CEMADEN. Com os dados do GPM foi feito o mesmo procedimento.

As informações das médias de precipitação foram expressas em um gráfico, que mostrou a distribuição das chuvas mês a mês na região de estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

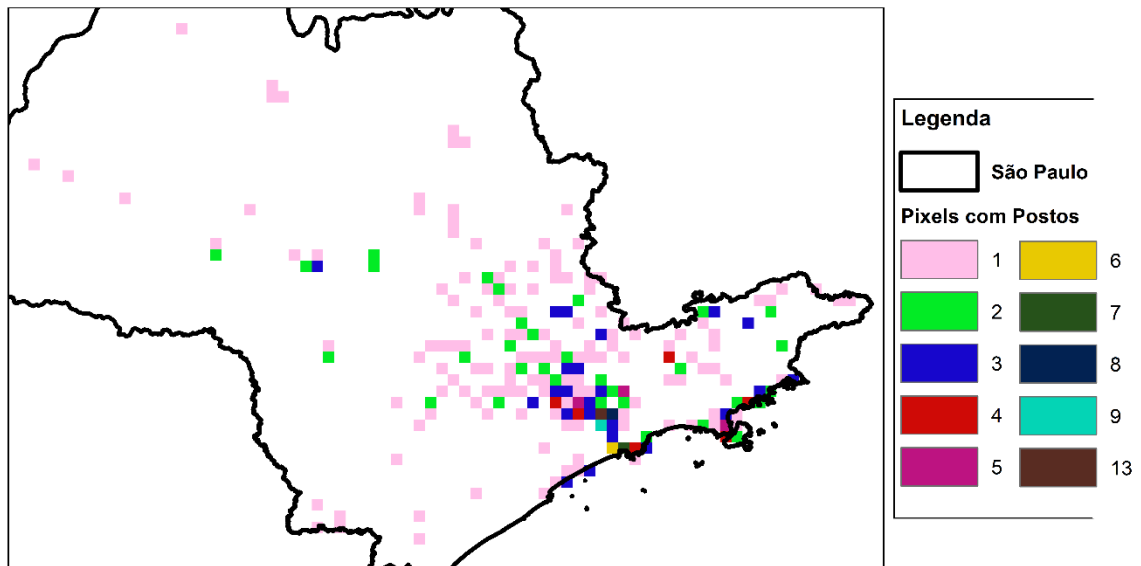
Nesta seção, serão apresentados em 3 tópicos os resultados do estudo envolvendo os três objetos de comparação analisados no trabalho, de acordo com o disposto nos itens 4.5.1 ao 4.5.3

5.1 AVALIAÇÃO DA COMPARAÇÃO PIXEL CEMADEN – PIXEL IMERG

A partir da metodologia aplicada, inicialmente, foi obtida a Imagem raster que continha apenas os Pixels com postos pluviométricos nele inseridos. A maior densidade dos postos foi encontrada na região Centro-Leste do estado, com a grande maioria dos Pixels com apenas 1 posto interno a suas áreas, 140 no total. Porém há também uma quantidade relevante de Pixels com 2 e 3 pluviógrafos instalados (15% e 11% do total respectivamente).

Foram detectados ao todo 209 Pixels na condição anunciada, o que gerou um bom número de material para ser analisado conforme a metodologia prevista. A Figura 14 adiante mostra a espacialização de todos os Pixels obtidos a partir da detecção da presença de postos pluviográficos do CEMADEN internos em sua área. Pixels sem postos foram excluídos dessa análise.

Figura 14 - Pixels com Pluviógrafos e seus respectivos Números



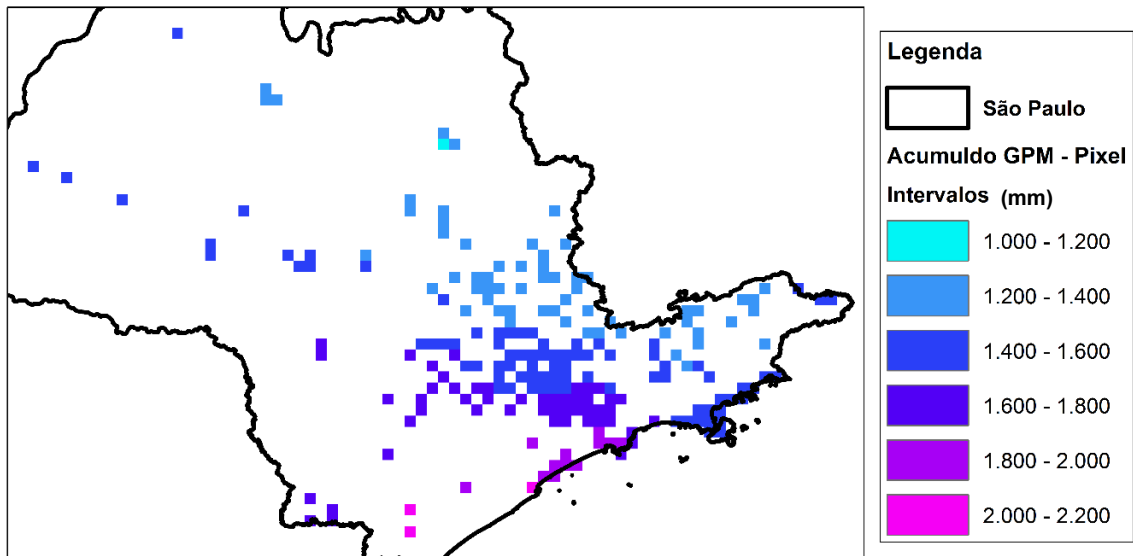
Fonte: Elaborado pelo Autor

A partir dos recortes, foram analisadas as precipitações para cada uma das fontes de dados. Nas Figura 15 e Figura 16 é possível observar os valores de precipitação acumulados no ano de 2017 para o GPM e para o CEMADEN, respectivamente.

Os valores anuais variam em torno da casa dos 1.000 mm até 2.200 para o GPM enquanto os postos do CEMADEN variaram por volta de 800 até 2.800 mm de precipitação, o que indica uma amplitude bem maior.

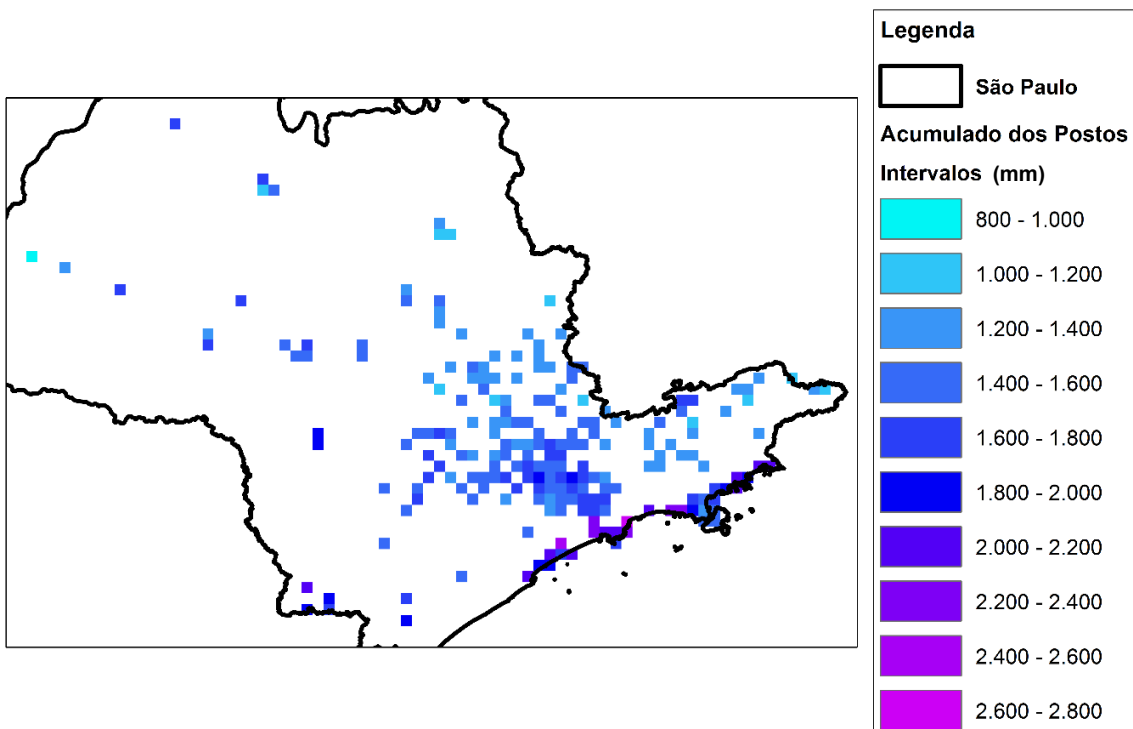
Imagens semelhantes foram gerados para todos os meses do ano analisado, sendo possível assim, aplicar as expressões das métricas estatísticas de avaliação de desempenho.

Figura 15 - Distribuição da Chuva no ano de 2017 para Pixels do GPM



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 16 - Distribuição da Chuva no ano de 2017 para Pixels dos Postos do CEMADEN

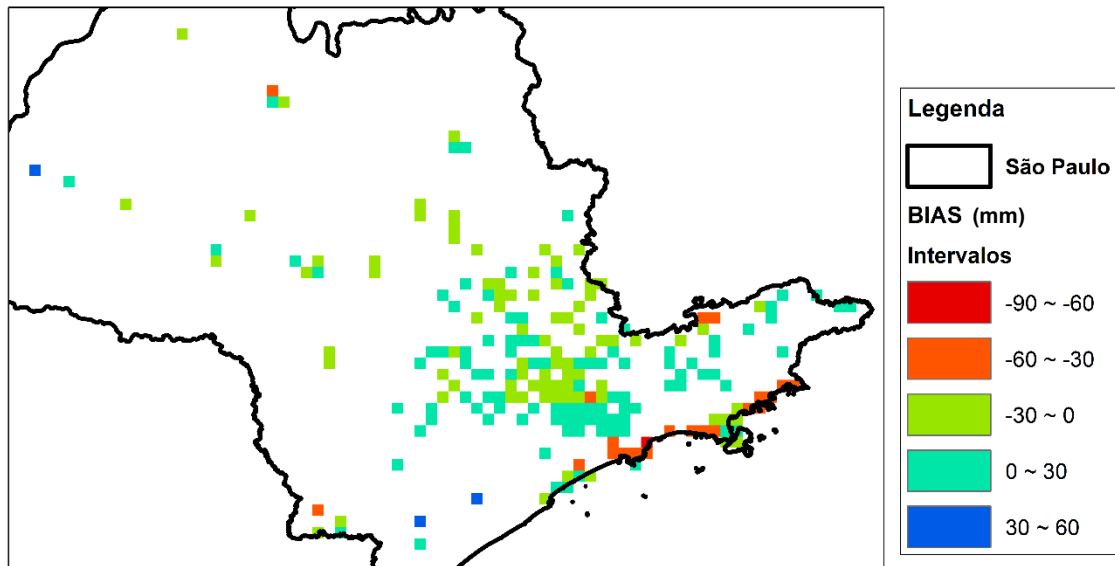


Fonte: Elaborado pelo Autor

5.1.1 BIAS para Pixel CEMADEN – Pixel IMERG

Nesta primeira métrica, o BIAS, conforme indicado na Equação 1, avalia a média dos valores mensais observados pelo produto GPM subtraído dos valores dos dados do CEMADEN. Neste caso, temos o resultado expresso na Figura 17.

Figura 17 - Resultado do BIAS na avaliação *Pixel CEMADEN – Pixel IMERG*



Fonte: Elaborado pelo Autor

A partir da imagem, foi possível obter a informação discreta do resultado que foi expresso na Tabela 1 adiante.

Tabela 1 - Relação *Quantidade de Pixels - Intervalo* para o BIAS

BIAS (mm)	Número de Pixels	%
-90 – -60	2	0,98
-60 – -30	20	9,57
-30 – 0	78	37,32
0 – 30	106	50,72
30 – 60	3	1,44

O resultado mostra que, em geral os dados do GPM não tiveram um viés dominante de superestimar o subestimar, já que praticamente a divisão entre dados superestimados e subestimados ficou próxima de 50%. Vale ressaltar que praticamente 88% dos dados encontraram-se variando entre -30 e +30 mm, o que indica que a maior parte deles está mais próxima de 0, o que pode inferir bom desempenho quando considerados os dados mensais.

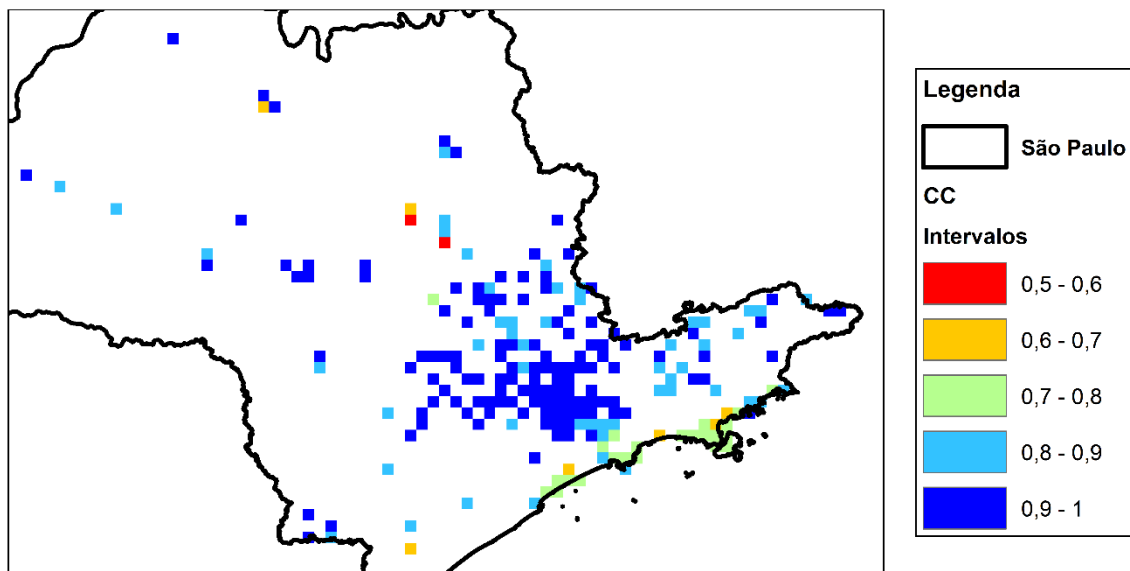
Numa análise mais precisa, é possível perceber através da Figura 17 que a maior parte dos dados considerados menos consistentes pela métrica estão no Litoral do

estado, onde se localizam os pluviógrafos mais próximos do mar e que possuíam, conforme mostra a Figura 16, os maiores índices de pluviosidade para o ano estudado. Nesse caso específico, o GPM teve uma maior tendência a subestimar os dados monitorados em campo.

5.1.2 Coeficiente de Correlação entre Pixel CEMADEN – Pixel IMERG

O Coeficiente de Correlação, indicado a partir da Equação 2, indicado na seção 4.4, avalia a conformidade linear dos dados, ou seja, se há concordância entre ambas as fontes de informação. Os resultados expressos próximos de +1, indicam uma boa correlação, o que para esta métrica, é o melhor resultado.

Figura 18 - Resultado do CC na avaliação *Pixel CEMADEN – Pixel IMERG*



Fonte: Elaborado pelo Autor

A partir da figura anterior, é possível que a grande parte dos Pixels analisados possuem uma correlação positiva muito alta, chegando próximo de 1. Com a discretização das informações geradas pela imagem, foi possível construir a Tabela 2 mostrada adiante.

Tabela 2 - Relação *Quantidade de Pixels - Intervalo* para o Coeficiente de Correlação

Coe. Correlação	Número de Pixels	%
0,5 – 0,6	2	0,96
0,6 – 0,7	7	3,35
0,7 – 0,8	23	11,00
0,8 – 0,9	50	23,92
0,9 – 1,0	127	60,77

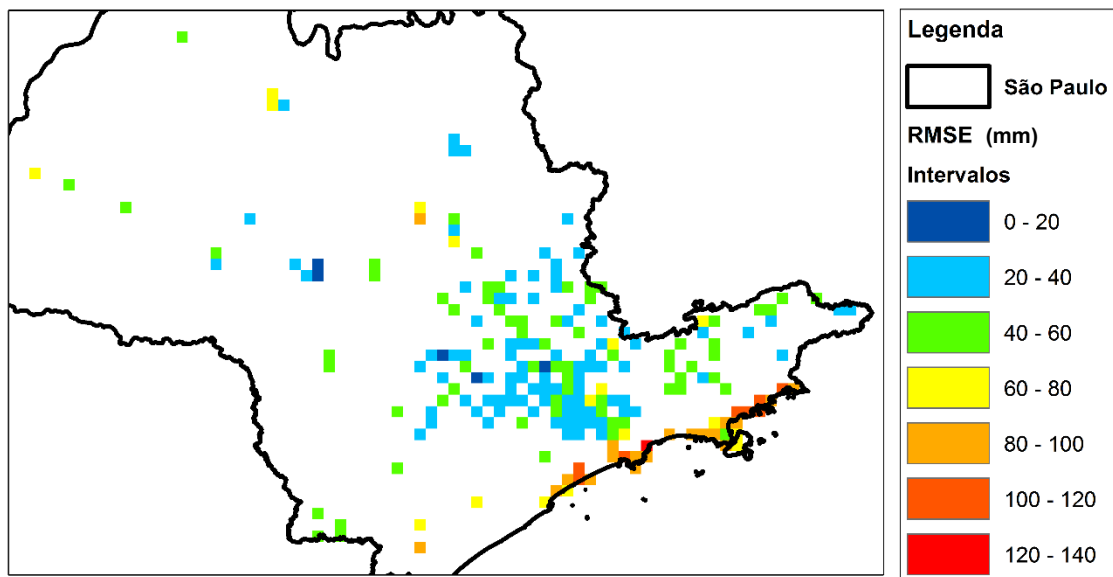
Na análise dos dados, nota-se que mais de 60% deles estão no intervalo entre 0,9 e 1,0. Ao considerar dados entre 0,7 e 1,0, que podem ser avaliados como muito bons, o percentual obtido ultrapassa 95% dos pixels analisados.

Mais uma vez, ao verificar quais são os dados menos satisfatórios, verifica-se que, conforme indica a Figura 18, eles estão novamente situados na região litorânea, próximo ao nível do mar. Outros resultados inferiores são observados de forma pontual em outras regiões, mas em menor número de ocorrência.

5.1.3 Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) para Pixel CEMADEN – Pixel IMERG

O RMSE, raiz do erro quadrático médio, obtido a partir da aplicação da Equação 3 verifica na mesma escala dos dados a precisão entre os dois objetos de estudo comparados. O valor ideal a ser obtido nesta métrica é o 0, pois indica precisão total do modelo.

Figura 19 - Resultado do RMSE na avaliação Pixel CEMADEN – Pixel IMERG



Fonte: Elaborado pelo Autor

A partir da métrica calculada, o menor valor encontrado para o parâmetro foi de 17,37, enquanto o maior foi com 134,97 e a média ficou em 48,37 mm. A partir do que é mostrado na tabela abaixo, os valores do RMSE não superam 60 mm em pelo menos 78,47% dos casos.

Tabela 3 - Relação *Quantidade de Pixels* - Intervalo para a Raiz do Erro Quadrático Médio

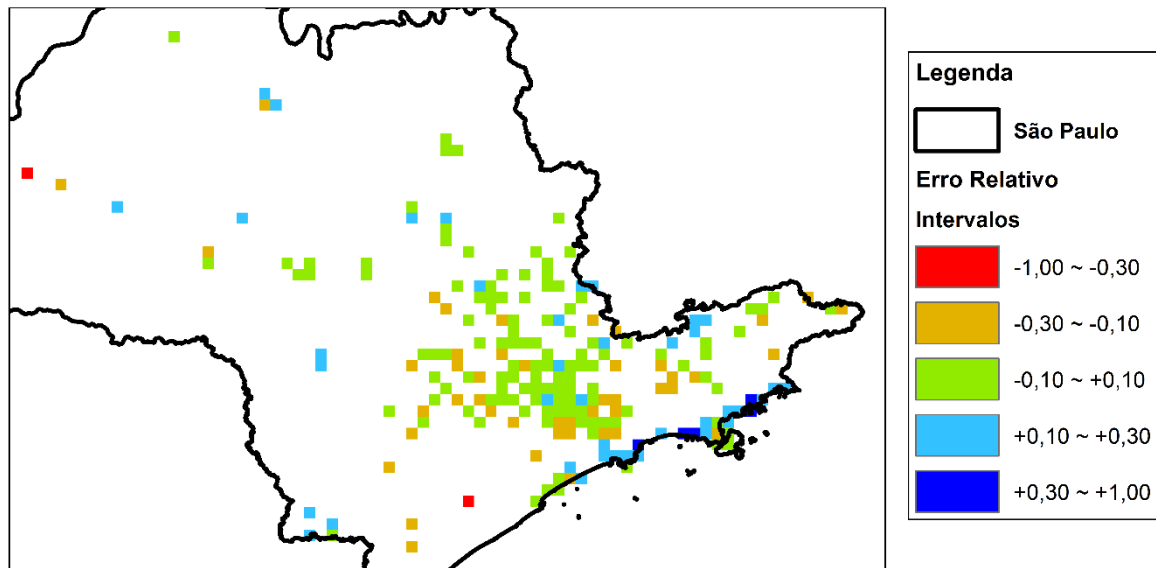
RMSE (mm)	Número de Pixels	%
0 – 20	5	2,39
20 – 40	94	44,98
40 – 60	65	31,10
60 – 80	17	8,13
80 – 100	19	9,09
100 – 120	8	3,83
120 – 140	1	0,48

Mais uma vez a maior parte dos valores com menor desempenho ficaram na mesma região que ocorriam para as outras métricas. Em locais diferentes, a queda do desempenho entre os dados GPM e de Campo se observou de forma pontual.

5.1.4 Erro Relativo para Pixel CEMADEN – Pixel IMERG

O Erro Relativo foi uma métrica aplicada com os dados anuais de cada um dos produtos analisados, GPM e Pluviógrafos CEMADEN em 2017. A comparação é feita de forma simples, mas pode indicar na escala anual o percentual relativo das falhas quando os dois dados são comparados em valores globais.

Figura 20 - Resultado do Erro Relativo para dados anuais entre os dois produtos



Fonte: Elaborado pelo Autor

Diante do que foi obtido a partir da expressão 4, indicada na seção 4.4, é possível notar que a maior parte dos dados tem erros relativos em torno dos 10%, são 117 pixels nessa faixa de valores, o que representa quase 56% do total. Considerando erros maiores que 30%, apenas 7 Pixels dos 209 entram nessa categoria, sendo os valores extremos -0,70 e 0,37.

Tabela 4 - Relação *Quantidade de Pixels - Intervalo* para o Erro Relativo

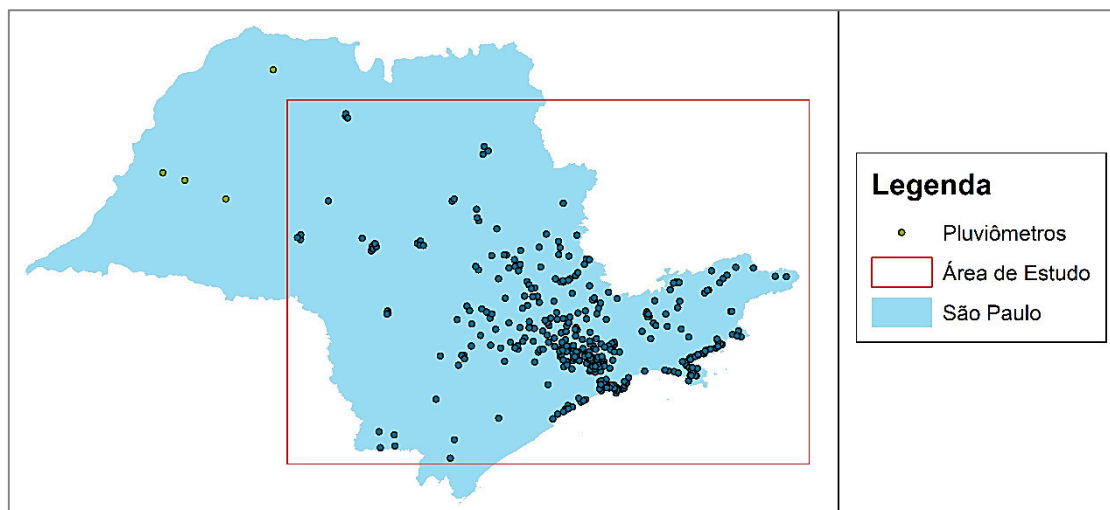
Erro Relativo	Número de Pixels	%
-1,0 – -0,3	2	0,96
-0,3 – -0,1	46	22,01
-0,1 – +0,1	117	55,98
+0,1 – +0,3	39	18,66
+0,3 – +1,0	5	2,39

5.2 AVALIAÇÃO DA COMPARAÇÃO INTERPOLAÇÃO CEMADEN – RASTER IMERG

Com os métodos estabelecidos para esta seção, ficou definido um limite menor para a área de estudo a ser analisada. Isso porque a baixa concentração de pluviógrafos na região interiorana do estado poderia provocar distorções nos dados a serem obtidos com a interpolação dos valores de chuva dos postos a partir do método IDW.

Desse modo, as interpolações dos dados de chuva foram realizadas na região indicada na Figura 21, que mostra em destaque a área escolhida, limitada pelas coordenadas 20° 38' 02" ao norte, 24° 50' 44" ao sul, 44° 03' 19" ao leste e 50° 05' 14" ao oeste.

Figura 21 - Área de Estudo definida para aplicar a Interpolação IDW

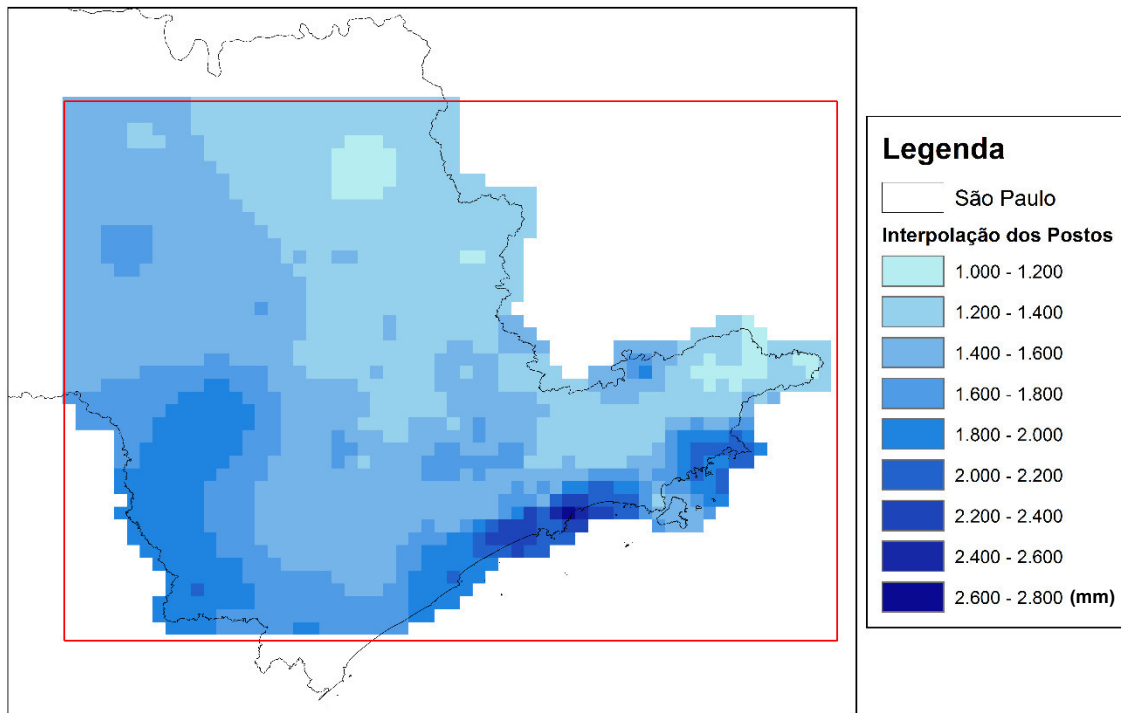


Fonte: Elaborado pelo Autor

A partir dessa nova área de estudo, foram geradas as interpolações de todos os meses do ano de 2017 sendo possível chegar no resultado exposto pela Figura 22, que indica o acumulado da precipitação no ano de 2017.

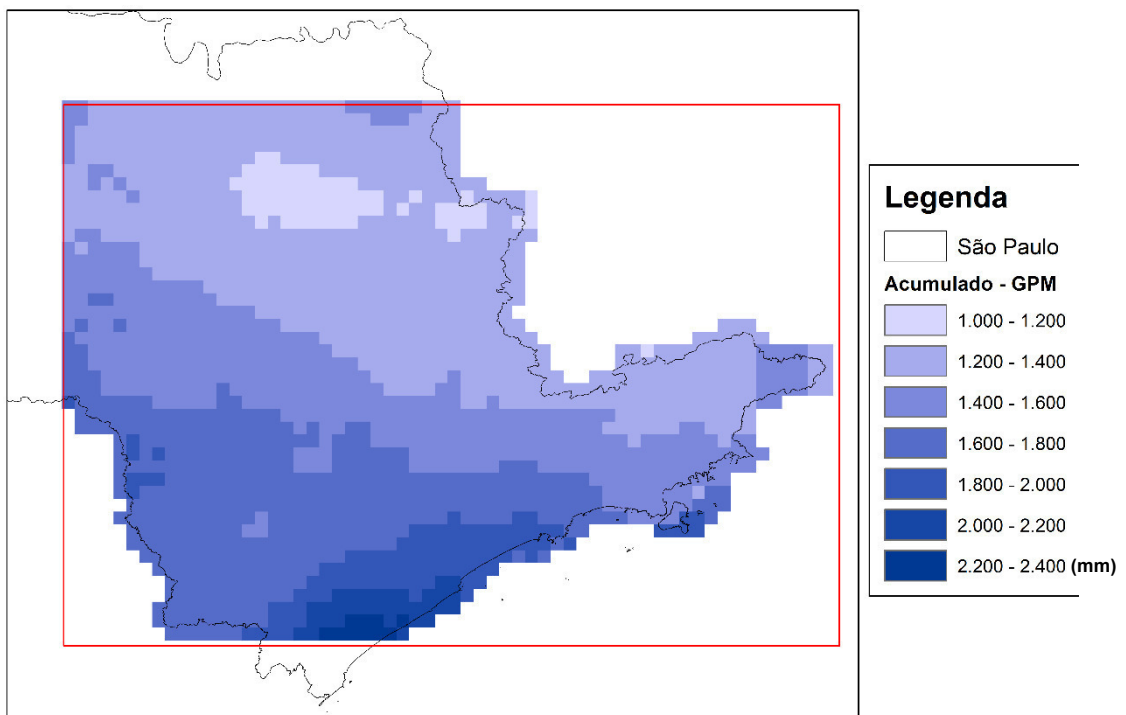
Na Figura 23, é exposto o comportamento da distribuição da precipitação conforme os dados fornecidos pelas imagens do IMERG, sendo apenas feito o recorte na área de estudo apresentada.

Figura 22 - Comportamento da precipitação anual segundo interpolação dos dados do CEMADEN



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 23 - Comportamento da precipitação anual segundo dados do GPM



Fonte: Elaborado pelo Autor

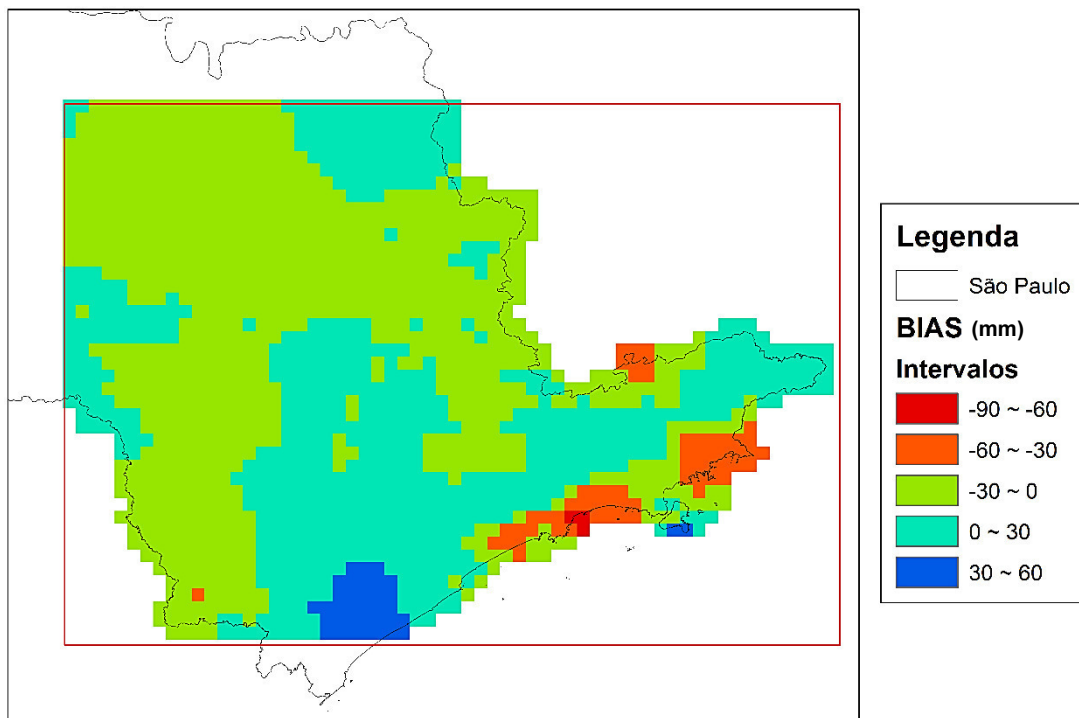
A partir das duas figuras anteriores, fazendo uma análise visual da distribuição espacial das chuvas, é possível notar que existe uma certa semelhança entre os dados obtidos a partir dos dois produtos, porém não é possível verificar a qualidade

do GPM nesta simples comparação, por isso, as métricas estatísticas foram mais uma vez aplicadas na análise dos dados.

5.2.1 BIAS para Interpolação CEMADEN – Raster IMERG

O BIAS, neste caso, avaliou a média dos valores observados pelo produto GPM subtraído dos valores dos dados dos pixels gerados a partir dos pluviógrafos do CEMADEN. Diante disso, foi possível verificar a distribuição dos valores do parâmetro conforme aparece na Figura 24.

Figura 24 - Resultado do BIAS na avaliação *Interpolação CEMADEN – Raster IMERG*



Fonte: Elaborado pelo Autor

Com a imagem obtida acima, chegou-se na tabela abaixo, que exhibe a quantidade de Pixels de forma discreta em relação aos intervalos.

Tabela 5 - Relação *Quantidade de Pixels - Intervalo* para o BIAS

BIAS (mm)	Número de Pixel	%
-90 – -60	3	0,18
-60 – -30	61	3,71
-30 – 0	898	54,66
0 – 30	645	39,28
30 – 60	36	2,19

A partir do que foi demonstrado pela Tabela 5, é possível verificar que os dados apresentados pelo produto GPM apresentou uma tendência maior de subestimar os

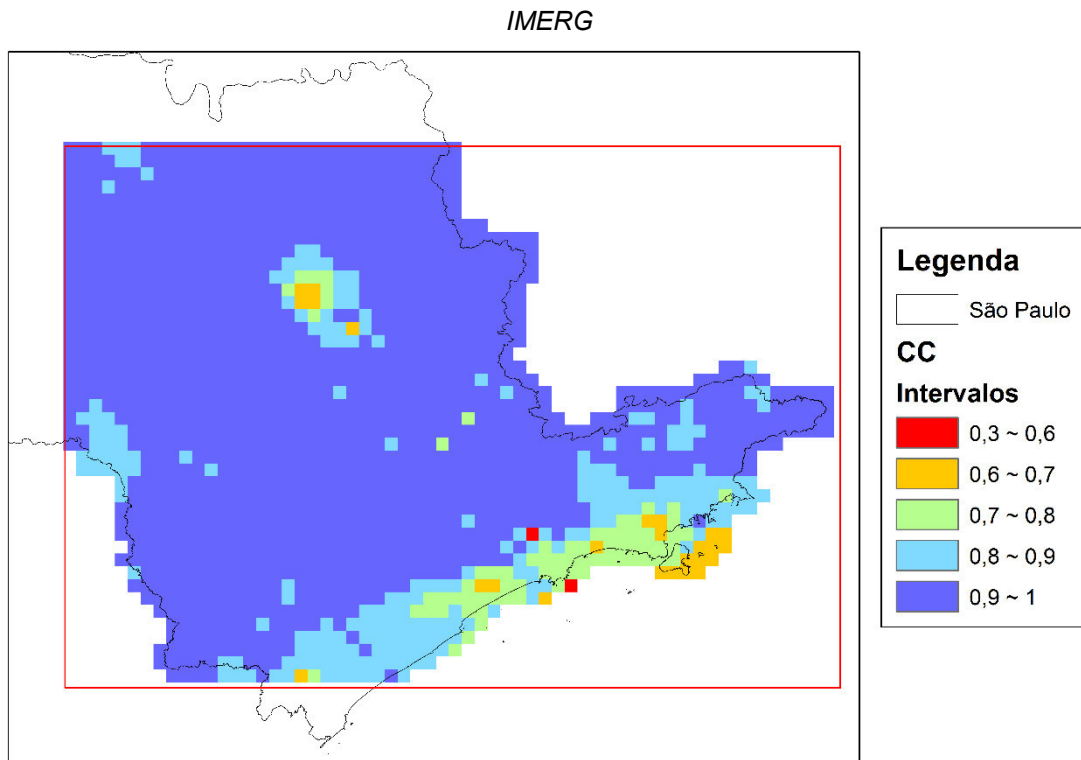
dados Interpolados a partir dos dados de Campo, isso porque cerca de 58% deles apresentaram valores negativos para o parâmetro.

Vale destacar que a maior parte dos resultados mais discrepantes se encontram na região litorânea do estado, próximo do nível do mar, tantos para os pixels que tiveram subestimação quanto para o contrário.

5.2.2 Coeficiente de Correlação (CC) entre os dados interpolados do CEMADEN e do IMERG

O Coeficiente de Correlação, também foi aplicado nesta avaliação, sendo obtida como resultado a imagem exibida adiante.

Figura 25 - Resultado do coeficiente de correlação na avaliação *Interpolação CEMADEN – Raster*



A partir da imagem, que resulta de uma métrica que avalia a correspondência linear entre os dados dos dois produtos, é possível notar que grande parte dos pixels exibidos possuem bons resultados, já que a maioria deles, 1344 dos 1643, estão mais próximos do valor máximo positivo indicado pelo parâmetro.

Mais uma vez, nesta avaliação, percebe-se que a região litorânea do estado, mais especificamente na parte central dela, é a mais prejudicada na comparação entre os dados dos produtos. Segundo o parâmetro, isso indica uma correlação menor, porém, ainda podem ser considerados resultados positivos.

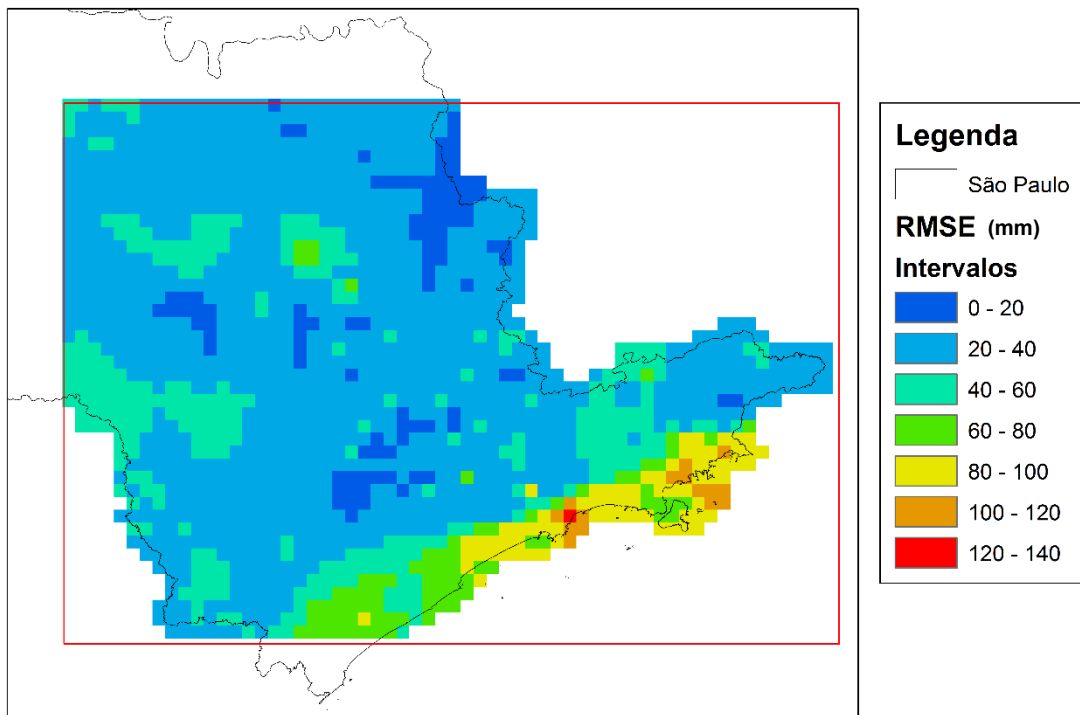
Tabela 6 - Relação *Quantidade de Pixels - Intervalo* para o Coeficiente de Correlação

Coe. Correlação	Número de Pixel	%
0,5 – 0,6	2	0,12
0,6 – 0,7	26	1,58
0,7 – 0,8	68	4,14
0,8 – 0,9	203	12,36
0,9 – 1,0	1344	81,80

Conforme indicado pela tabela acima, mais de 80% dos pixels encontram-se com valores para a métrica superiores a 0,9, o que indica uma boa correlação entre os dados. Seguindo a análise, nota-se que apenas 2 pixels de todos aqueles analisados têm resultados inferiores a 0,6 para o CC.

5.2.3 Raiz Quadrática do Erro Médio (RMSE) para Interpolação CEMADEN – Raster IMERG

Seguindo a aplicação das métricas, a raiz do erro quadrático médio, que verifica a acurácia entre os dados, expressa na Equação 3 da seção 4.4, teve como resultado a seguinte imagem adiante.

Figura 26 - Resultado do RMSE na avaliação *Interpolação CEMADEN – Raster IMERG*

Fonte: Elaborado pelo Autor

Na avaliação desta métrica, nota-se que boa parte dos pixels se demonstrou precisa quando se compara a fonte do GPM com o CEMADEN. Na Tabela 7, é possível verificar os dados de forma discreta.

Tabela 7 - Relação *Quantidade de Pixels* - Intervalo para o RMSE

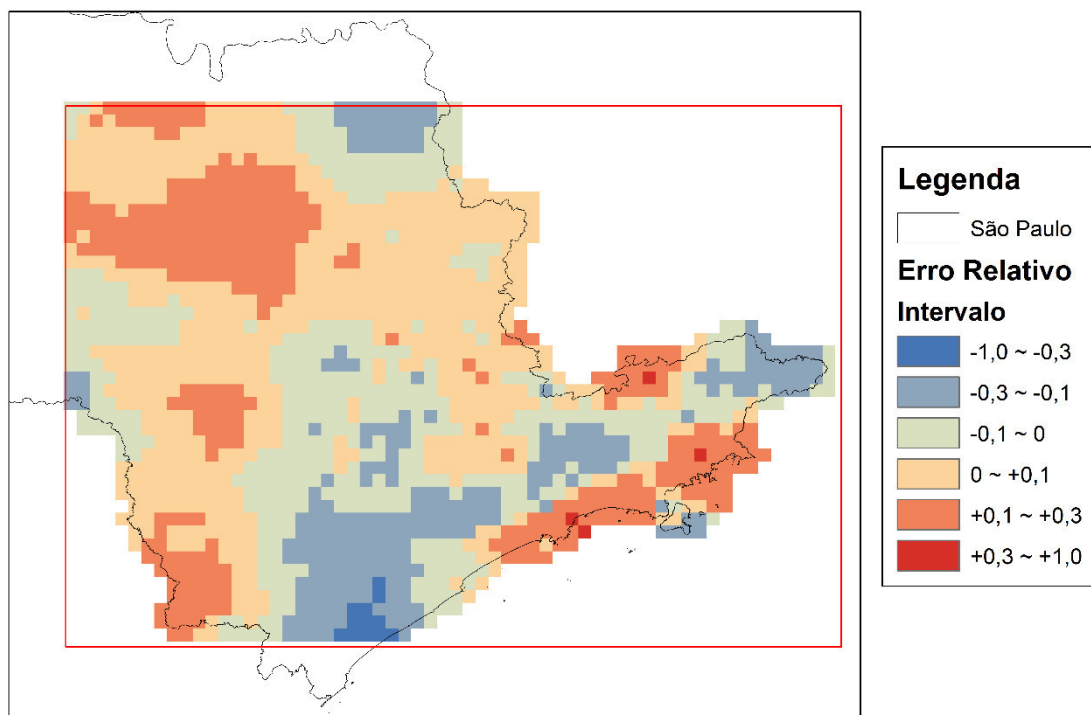
RMSE (mm)	Número de Pixel	%
0 – 20	99	6,03
20 – 40	1087	66,16
40 – 60	293	17,83
60 – 80	78	4,75
80 – 100	70	4,26
100 – 120	15	0,91
120 – 140	1	0,06

A avaliação indicou que mais de 70% dos pixels obtiveram um bom desempenho, sendo os melhores resultados encontrados mais uma vez na região mais interiorana do estado. No caso, os resultados menos precisos ocorreram mais ao litoral, conforme mostra a Figura 26 anterior.

5.2.4 Erro Relativo para Interpolação CEMADEN – Raster IMERG

No erro relativo, mais uma vez foi comparado os dados anuais, dessa vez da Interpolação dos dados dos pluviógrafos do CEMADEN com o do IMERG, resultando na imagem evidenciada na Figura 27.

Figura 27 - Resultado do Erro Relativo para dados anuais entre os dois produtos



Fonte: Elaborado pelo Autor

A partir da imagem, foi possível obter a tabela com os dados discretos, mostrado a quantidade de postos por faixa de erro relativo.

Tabela 8 - Relação *Quantidade de Pixels - Intervalo* para o Erro Relativo

Erro Relativo	Número de Pixel	%
-1,0 – -0,3	12	0,73
-0,3 – -0,1	242	14,73
-0,1 – 0	428	26,05
0 – +0,1	627	38,16
+0,1 – +0,3	328	19,96
+0,3 – +1,0	6	0,36

Com os dados mostrados, nota-se que, na escala anual, cerca de 64% dos Pixels comparados possuem um erro relativo menor que 10%. Nota-se também que, segundo este parâmetro, 58,49% dos Pixels estão sendo subestimados, já que o medido pelo CEMADEN foi maior que o estimado pelo IMERG, o que entra em acordo com o que é exposto pelo parâmetro BIAS, mas sem se demonstrar uma tendência geral.

5.3 AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE POSTOS NA QUALIDADE DOS DADOS

5.3.1 Avaliação Geral

A partir da seleção apenas dos Pixels que possuíam postos em área por eles delimitadas, chegou-se na tabela abaixo, que aponta a quantidade de postos que foram obtidos em cada Pixel e a ocorrência de cada um dos casos, gerando diferentes grupos a serem analisados.

Tabela 9 - Relação do número de postos pluviográficos por Pixel

Quantidade de postos por Pixel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ocorrência	140	32	23	6	3	1	1	1	1	0	0	0	1

A partir do que foi exibido na tabela acima, que também pode também ser observado na Figura 14 (página 39), verifica-se que a maior parte dos Pixels que contém pluviógrafo possui apenas 1 dispositivo instalado, porém existe a ocorrência significativa da quantidade de 2,3 e 4 pluviógrafos por Pixel, variando entre 32, 23 e 6 respectivamente.

Desse modo, a análise partiu desses grupos de postos, com 1, 2, 3 e 4 Pluviógrafos, para avaliar em cada caso o comportamento do erro relativo e determiná-lo conforme a metodologia indicada.

Inicialmente, com o cálculo dos erros relativos para todos os postos estudados, foi gerada a Tabela 10, que traz a média dos erros relativos em valores absolutos, o valor máximo e mínimo e o desvio padrão para os valores encontrados em cada grupo de Pixels escolhido.

Tabela 10 - Parâmetros analisados através dos Erros Relativos calculados

Parâmetros	Grupos referentes à quantidade de postos por pixel			
	1	2	3	4
Média	0,075	0,124	0,118	0,128
Máximo	0,316	0,375	0,316	0,235
Mínimo	-0,700	-0,230	-0,214	-0,152
Desvio Padrão	0,137	0,154	0,134	0,142

Após esta análise inicial, verifica-se que a quantidade de postos em um dado Pixel não influenciou positivamente na melhora do parâmetro de erro relativo, já que a partir da média dos valores absolutos, houve um aumento desde parâmetro a medida que se aumentava a quantidade de postos em um dado Pixel.

Observa-se também que os valores encontrados para o desvio padrão não diminuiu seguindo o aumento do número de Pluviógrafos em uma dada região analisada.

Em uma outra análise, as informações sobre o Erro Relativo foram separadas por grupos e intervalos, como mostram as duas tabelas adiante.

Tabela 11 - Comparação da Relação de Postos / Pixel para cada Grupo

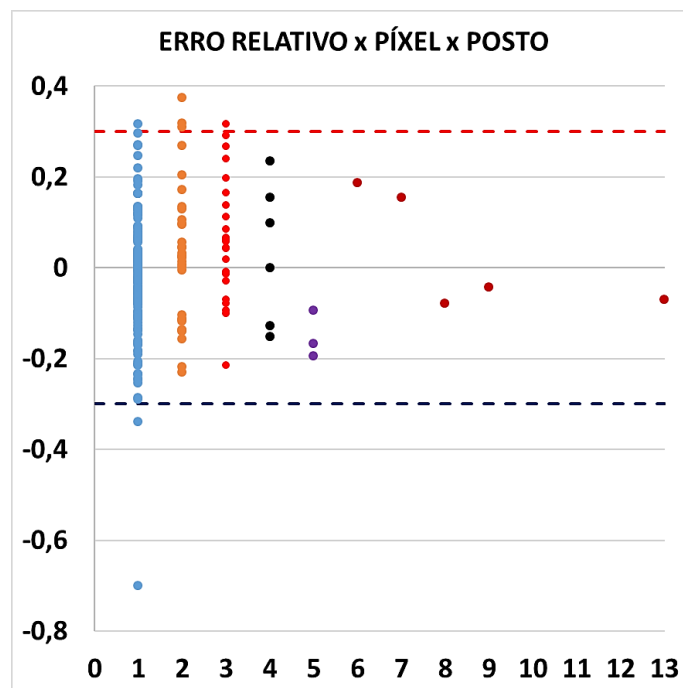
Intervalo	Número de Pixels	%
Para 1 Posto / Pixel		
-1,0 – -0,3	2	1,43
-0,3 – 0	75	53,57
0 – 0,3	62	44,29
0,3 – 1,0	1	0,71
Para 2 Postos / Pixel		
-1 – 0,3	0	0
-0,3 – 0	11	34,38
0 – 0,3	18	56,25
0,3 – 1,0	3	9,38
Para 3 Postos / Pixel		
-1 – 0,3	0	0
-0,3 – 0	8	34,78
0 – 0,3	14	60,87
0,3 – 1,0	1	4,35
Para 4 Postos / Pixel		
-1 – 0,3	0	0
-0,3 – 0	2	33,33
0 – 0,3	4	66,67
0,3 – 1,0	0	0

Tabela 12 - Percentual de Pixels com Erro Relativo Absoluto inferior a 0,30

	% de Pixels com Erro Rel. Abs. $\leq 0,30$
Para 1 Posto / Pixel	97,86
Para 2 Postos / Pixel	90,63
Para 3 Postos / Pixel	95,65
Para 4 Postos / Pixel	100

Ao avaliar a distribuição dos erros relativos registrados pelos postos (Figura 28), nota-se que ela ocorre de maneira semelhante para os pixels que possuem até quatro postos em sua área.

Figura 28 - Gráfico da distribuição do Erro Relativo para todos os pixels analisados



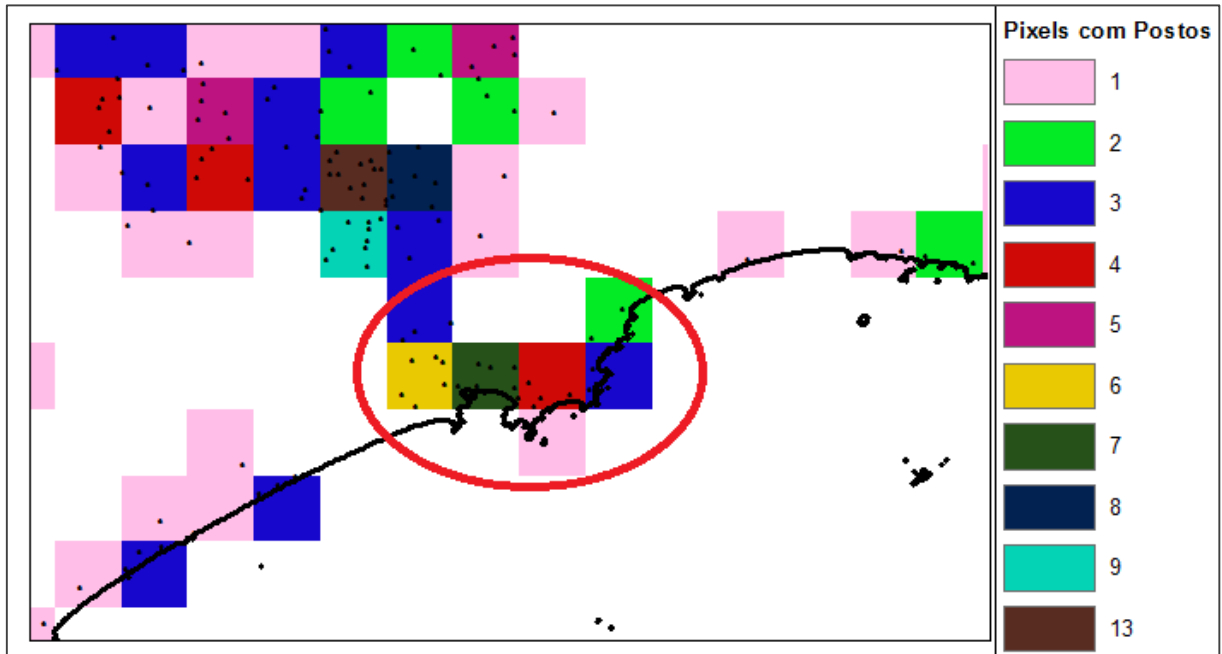
Com essas informações, é possível notar que não se estabelece necessariamente a melhora nos índices de erro relativo quando existem mais pluviógrafos a serem comparados com um pixel, já que a quantidade do número de dados que se encontram inclusos na faixa de valores que não ultrapassam o erro de 30% não aumenta à medida que se consideram mais postos por pixel.

5.3.2 Avaliação Localizada

Conforme previa a metodologia, foram selecionados também para análise Pixels que se encontravam próximos em uma mesma região da área de estudo, porém com diferentes números de postos neles inseridos.

A partir da imagem abaixo, é possível notar na região destacada que numa área muito próxima, existem Pixels com grande variedade de postos neles contidos.

Figura 29 - Região escolhida para análise da Influência do Número de Postos em um Pixel



Fonte: Elaborado pelo Autor

Da área destacada, foram escolhidos 6 Pixels para verificar todas as métricas a fim de comparar o desempenho delas em relação ao número Pluviógrafos no Pixel.

Tabela 13 - Resultado dos parâmetros para os Pixels Analisados na Área destacada

	Erro Relativo	BIAS	CC	RMSE
Pixel com 1 Posto	-0,007	+1,02	0,84	81,59
Pixel com 2 Postos	0,375	-81,12	0,76	132,97
Pixel com 3 Postos	0,239	-38,62	0,74	86,72
Pixel com 4 Postos	0,155	-30,76	0,71	96,64
Pixel com 6 Postos	0,187	-37,33	0,82	88,07
Pixel com 7 Postos	0,155	-34,98	0,70	106,26

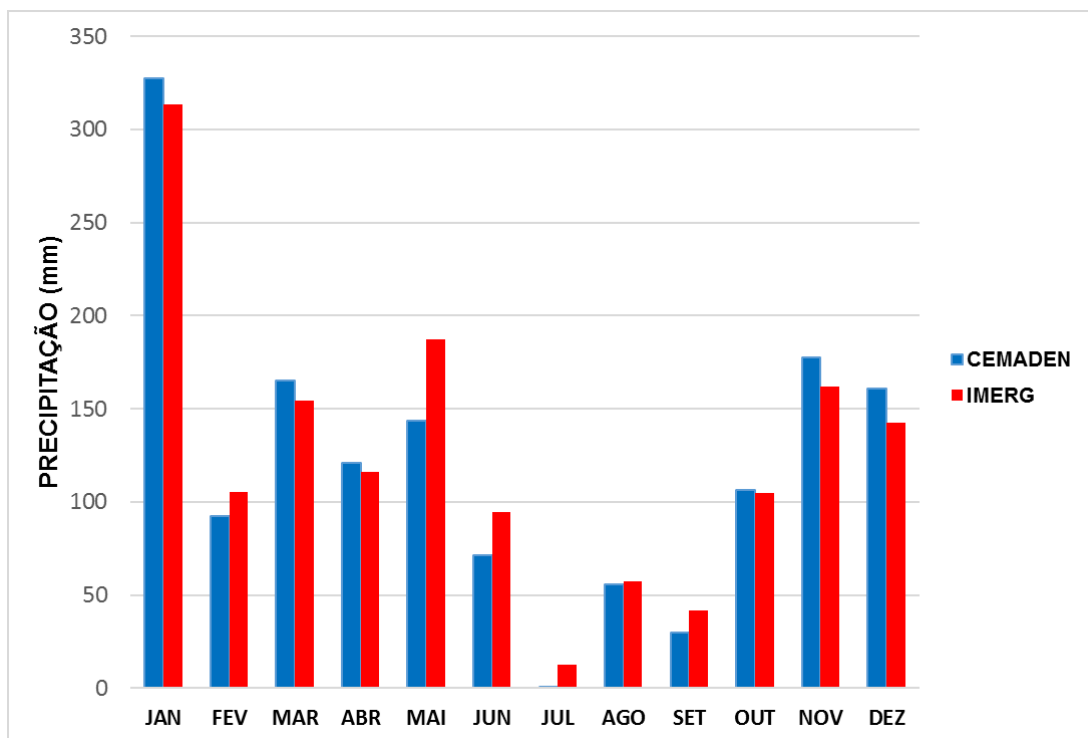
A partir do que demonstra a Tabela 13 fica evidenciado que não houve melhora na comparação entre os dados na medida que se aumentou a quantidade de postos analisados na região evidenciada. Nota-se que nenhum parâmetro apresentou melhora nos resultados ao serem consideradas mais informações de pluviógrafos para comparar os dados de campo do CEMADEN com os dados do GPM.

5.4 VERIFICAÇÃO DA SAZONALIDADE

Conforme metodologia indicada, foram obtidos os valores médios de precipitação para cada mês do ano de 2017 utilizando todos os pixels gerados (no caso dos dados do CEMADEN) e obtidos (no caso do IMERG).

O resultado foi expresso no gráfico exibido através da Figura 30, que indica que existe uma semelhança considerável na distribuição das chuvas ao longo dos meses do ano de 2017, não se observando por exemplo, defasagem entre os dados, apenas existindo casos de superestimação ou subestimação.

Figura 30 - Sazonalidade da precipitação para os dados do CEMADEN e IMERG



6 CONCLUSÕES

Diante do que foi apresentado, as ferramentas de sensoriamento remoto podem ser boas alternativas utilizadas na obtenção de informações de precipitação, podendo superar algumas das dificuldades mais comuns dos outros métodos de estimativa ou medição. Para tanto, são fundamentais estudos de validação dos modelos, verificando assim a conformidade de seus dados.

Este estudo, de modo geral, buscou avaliar a conformidade dos dados da *Global Precipitation Measurement* (GPM) quando comparados com os dados de campo fornecidos pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), utilizando como área de estudo o estado de São Paulo e considerando as precipitações ocorridas no ano de 2017 em escala mensal e anual.

Foram avaliados o desempenho das informações dos Pixels das imagens fornecidas pelo GPM que possuíam sob seus domínios pluviógrafos do CEMADEN, imagens de satélite completas para a região escolhida e ainda a influência da quantidade de pluviógrafos ao se comparar de forma localizada os pixels da missão espacial com os dados monitorados em campo.

Na comparação direta entre Pixel do GPM e pluviógrafo do CEMADEN, é possível concluir que neste nível de comparação de dados, o GPM se mostrou eficiente na estimativa de dados de chuva mensais.

Ao avaliar a comparação pixel-pixel, o bom desempenho do produto se mostrou equivalente ao da primeira análise feita, ou seja, a maior parte dos Pixels comparados se mostraram eficientes para estimar a chuva na região escolhida.

Na região litorânea de São Paulo o resultado das estimativas do GPM não se mostrou tão satisfatório como em outras regiões mais interioranas. Em todas as métricas consideradas, tanto na análise pontual como global da área de estudo, houve uma queda de desempenho nessa área, o que indica uma falha na estimativa feita nas regiões litorâneas do estado.

Nessa região, que foi a mais chuvosa do estado segundo os dados do CEMADEN, foi onde ocorreu maior subestimação dos dados, conforme indicam os parâmetros BIAS e Erro Relativo. Foi nessa área também que ficou evidenciada a menor precisão do IMERG, como mostram os altos valores encontrados com o RMSE, e menor índice de correlação, mostrado pelo CC.

A menor precisão nesta região estudada, também foi detectada por Gadêlha (2018), que verificou em seu estudo falhas consideráveis dos dados de escala mensal

nas regiões litorâneas da costa leste do litoral nordestino e também na costa dos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo.

Ao analisar a influência da quantidade de postos pluviométricos na qualidade da informação da precipitação, ficou evidenciado que não há melhora induzida quando se compara os dados de um pixel do GPM com mais pluviógrafos.

Isso pode indicar que, considerando boa qualidade dos dados do pluviógrafo, ele pode ser bastante representativo quando comparado com o Pixel do GPM, ou seja, a qualidade dos valores vai mudar sob influência de outras variáveis, já que apenas um dado de informação pode ser suficientemente representativo na maioria dos casos.

A principal conclusão desse estudo é que o GPM pode ser uma ferramenta utilizada quando se deseja buscar informações sobre a precipitação mensal. Por se tratar de uma ferramenta que estima a chuva de forma contínua e abrangente no espaço que se deseja estudar e ainda por ser de fácil acesso, fica evidenciado que ela pode se tornar uma poderosa fonte de dados para o fenômeno da precipitação.

A recomendação, porém, é que se estude o GPM em escalas temporais menores, bem como avaliar o produto IMERG sob a influência de mais variáveis que interferem na Precipitação, como altitude, humidade, temperatura, clima, entre outros e também se avaliem outras formas de análise da qualidade dos dados e sua relação com o número de postos comparados ao pixel.

7 REFERÊNCIAS

- ANA. **Hidrologia Básica – Hidrologia e Qualidade da Água**. 2012. Disponível em < capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/66 > Acesso em: abril de 2019
- ANJOS, Rafael Silva; NÓBREGA, Ranyére Silva; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra. **Possíveis Causas para os Erros das Estimativas do Satélite TRMM – Estudo de Caso na Microrregião de Itaparica-PE**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 21, 2017.
- BORGES, Gustavo M; PACHÊCO, Admilson da P.; DOS SANTOS, Francisco K. S. **Sensoriamento Remoto: Avanços e Perspectivas**. Revista de Geografia (UFPE) V. 32, No. 2, 2015.
- CALBETI, N.O.; ROZANTE, J.R.; LEMOS, C.F. **Precipitações intensas ocorridas no período de 1986 a 1996 no Brasil**. Boletim Climanálise / CPTEC, 1997.
- CALHEIROS, R. V. **Resolução espacial de estimativas de precipitação com radar hidrometeorológico**. Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento, EESC-USP. São Carlos - SP, 1982
- CARLOS, D. J.; NÁDJA MELO DE, O.; MARIA ISRAELITA CECÍLIA ALEXANDRE DA, S.; RICHARDE MARQUES DA, S. **Análise da Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação na Bacia do Baixo Rio Paraíba-PB**. Vitória - ES: Anais do VII CBG, 2014.
- CEMADEN. **Mapa Interativo**. CEMADEN, 2019. Disponível em < www.cemaden.gov.br/mapainterativo > Acesso em: maio de 2019.
- CERQUEIRA, Jorge. L. R. P. **Estudo Radio meteorológico da Região Amazônica**. Tese (Doutorado) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Rio de Janeiro - RJ. 2006.
- COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: 2ª Edição Revisada, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015.
- COLLISCHONN, Walter; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). UFRGS. Porto Alegre - RS, 2009.
- CORRETINO, Marcos A. da Cunha. **Notas de aula sobre Hidrometria – Operação e manutenção de estações automáticas de coleta de dados**. Curso de Hidrometria, Agência Nacional de Águas. Brasília - DF, 2011.
- CNPM - EMBRAPA. **Projetos: Missões – Sensoriamento Remoto**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em < <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missoes.html> > Acesso em: fevereiro de 2019.

- DANTAS, J. C.; SILVA, M. I. C. A. ; OLIVEIRA, N. M. ; SILVA, R. M. . **Análise da Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação na Bacia do Baixo Rio Paraíba/PB**. In: VII Congresso Brasileiro de Geógrafos, 2014, Vitória/ES. VII Congresso Brasileiro de Geógrafos, 2014.
- DE MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiro; DE OLIVEIRA, Marcus Vinícius Siqueira; DA SILVA, Danielle Ferreira. **Ciclo hidrográfico planetário: abordagens e conceitos**. Geo UERJ, v. 1, n. 21, p. 109-119, 2010.
- DOS SANTOS, Alexandre R. **Apostila de Climatologia**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória - ES, 2002.
- DUFT, Daniel Garbellini; PICOLI, Michelle Cristina Araujo. **Uso de imagens do sensor modis para identificação da seca na cana-de-açúcar através de índices espectrais**. Revista Scientia Agrária, v. 19, n. 1, p. 52-63, 2018.
- FLORENZANO, Tereza Gallotti. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. Oficina de Textos. São Paulo - SP. 2002.
- FREITAS, Emerson da Silva. **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**. Dissertação de Mestrado no Curso de Engenharia Civil na Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa - PB. 2019.
- HONG, Y., HSU, K., SOROOSHIAN, S., GAO, X. **Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system**. Journal of Applied Meteorology, v. 43, n. 12, p. 1834-1853, 2004.
- HOU, Arthur Y. et al. **The global precipitation measurement mission**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 95, n. 5, p. 701-722, 2014.
- HUANG, Wan-Ru; CHANG, Ya-Hui; LIU, Pin-Yi. **Assessment of IMERG precipitation over Taiwan at multiple timescales**. Atmospheric Research, v. 214, p. 239-249, 2014.
- IBGE. **São Paulo – Panorama**. IBGE Cidades, 2018. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama> > Acesso em: abril de 2019.
- KAISER, Ilza Machado. **Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2006.
- KIDD, C.; V. LEVIZZANI. **Status of Satellite Precipitation Retrievals**. Hydrol. Earth Syst. Sci., v. 7, p. 8157-8177, 2011.
- LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP. Piracicaba – SO. 2008.

- MEDEIROS, Grasiela. **Erosion diagnosis and sugarcane expansion in Sao Paulo State**. Tese para PhD em Earth System Science. 2016.
- MOL, Juliana. M.D. **Estimativa de Precipitação por meio de Sensoriamento Remoto**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação. DM-86/2005, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2005.
- NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia estatística**. CPRM, 2007.
- NASA. **Constellation Partners**. NASA Website, 2015. Disponível em < <https://pmm.nasa.gov/GPM/constellation-partners> > Acesso em: abril de 2019.
- NASA. **GPM Constellation**. NASA Website, 2017. Disponível em < <https://pmm.nasa.gov/image-gallery/gpm-constellation-1-31-2017> > Acesso em: abril de 2019.
- OLIVEIRA, Aristeu Geovani; ASSUNÇÃO, Washington Luiz. **A importância dos dados das variáveis climáticas nas pesquisas em geografia: um estudo de caso empregando a precipitação pluviométrica**. Caminhos de Geografia, v. 10, n. 31, 2009.
- OLIVEIRA, R. et al. **Characteristics and diurnal cycle of GPM rainfall estimates over the Central Amazon region**. Remote Sensing, v. 8, n. 7, 2016
- PASSOS, Jacqueline Sobral de Araújo. **Variabilidade espaço-temporal da precipitação do Alto São Francisco (sub-40) utilizando dados do sensor PR/TRMM**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
- PASSOW, Michael J. **TRMM-Tropical Rainfall Measuring Mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom**. Terræ Didática, v. 6, n. 1, p. 03-08, 2010.
- PINHEIRO, Adilson et al. **Acurácia na medição da altura de precipitação em pluviômetros de Bâscula**. Revista de Estudos Ambientais, v. 16, n. 1, p. 38-44, 2015.
- SACK, Herald. **TIROS-1 and the First TV pictures of the Earth from Space**. SciHi Blog. Disponível em < scihi.org/tiros-1-first-tv-pictures-earth-space > Acesso em: abril de 19.
- SAISP. **O que é Radar Meteorológico**. Disponível em < <https://www.saisp.br/site/oque.htm> > Acesso em: abril de 2019.
- SANCHES R. G.; SILVA M. S. D.; DOS SANTOS B. C.; PEREIRA, D. N. B. **Proposta de pluviômetro de baixo custo utilizando a plataforma de prototipagem Arduino**. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Campinas - SP, 2017.
- SILVA, Angela Tostes Alves da. **Aspectos meteorológicos e balanço hídrico em um aterro de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil -

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

- SILVEIRA, Sanderlei. **O Relevo do estado de São Paulo**. Sanderlei, 2015. Disponível em < <https://sanderlei.com.br/PT/Ensino-Fundamental/Sao-Paulo-Historia-Geografia-50> > Acesso em: Abril de 2019
- SOARES, A.; PAZ, A.; PICCILLI, D. **Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 2, p. 288–299, 2016.
- SOARES, F. S.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. **Distribuição espaço-temporal da precipitação na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande-RJ**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 29, n. 1, p. 125–138, 2014.
- SOUSA, M. A.; RIBEIRO, R. J. C.; CARNEIRO, Paulo Jorge Rosa. **Aplicações do sensoriamento remoto e do geoprocessamento. Estudo de caso: bacia do rio do Sono, TO–Brasil**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal - RN, p. 2241-2248, 2009.
- SUNGMIN, O.; FOELSCH, U.; KIRCHENGAST, G., FUCHSBERGER, J.; TAN, J., PETERSEN, W. A.. **Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final rainfall estimates using WegenerNet gauge data in southeastern Austria**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 21, n. 12, p. 6559-6572, 2017.
- TANG, G., Ma, Y., Long, D., Zhong, L., & Hong, Y. **Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales**. Journal of Hydrology, v. 533, p. 152-167, 2016.
- TUCCI, C.E. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. ABRH: Editora UFRGS. Porto Alegre - RS 2001.
- TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 7–16, 2008.
- VAISALA. **Rain Gauge RG13/RG13H**. Disponível em < tinyurl.com/vaisala-gauche-RG13 > Acesso em: maio de 2019.
- VALLADARES, Gustavo Souza. **Uso de imagens de radar na estimativa da temperatura do ar**. Embrapa Monitoramento por Satélite: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 3. Campinas, 2004.