INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

ENGENHARIA AMBIENTAL

VALIDAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO EM RIO VERDE – GO

GABRIEL VICTOR ROSA

Rio Verde, GO
2021

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE

ENGENHARIA AMBIENTAL

VALIDAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO EM RIO VERDE – GO

GABRIEL VICTOR ROSA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini

Rio Verde - GO
Julho, 2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à pessoa que estará eternamente em minhas lembranças e no meu coração, meu grande avô Idevaldo.

(In memorian)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu força para chegar até aqui, ultrapassar todos os obstáculos e me guiar até o final do curso de Engenharia Ambiental.

Aos meus pais Vanusa Francisca Rosa e Gildo Vitor da Cunha, por sempre estarem juntos a mim, me apoiando e me incentivando.

Meu avô Idevaldo Francisco Rosa, in memorian, e do lado esquerdo do peito, minha avó Benedita Francisca Rosa que está comigo até hoje, prestigiando todas minhas vitorias.

A todos os meus amigos, Bethania, Ana Carolina, Jessica, Ana Clara, Giovana, Sara, Gabrielly que me ouviram e me aconselharam para eu não me perder e tentar desistir.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde-GO, pelas oportunidades e o apoio com sua estrutura.

A todos os professores que me ensinaram a evoluir academicamente e profissionalmente. Em especial o orientador e professor Lucas Peres Agelini. Esperei muito por esse momento, e finalmente ele chegou.

VALIDAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO EM RIO VERDE – GO

RESUMO

ROSA, Gabriel Victor. **Validação dos dados de precipitação estimados por sensoriamento remoto em Rio Verde – GO.** 2021.39p Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

A compreensão e utilização da precipitação em bacias hidrológicas é essencial para os estudos dos recursos hídricos, contribuindo com pesquisas relacionadas ao balanço hídrico, controle de enchentes, irrigação de culturas, modelagem hidrológica, monitoramento de secas e geadas, e características climáticas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi comparar o comportamento do satélite, em acumulados mensais e anuais em um período de 16 anos, na cidade de Rio Verde- GO, em um posto pluviométrico instalado na Universidade de Rio Verde. Os dados de precipitação utilizados como referência foram obtidos da estação convencional de meteorologia de Rio Verde, disponível na plataforma de transferência no INMET, e o satélite usado foi o TRMM, medindo dados de precipitação pluviométrica e coletados gratuitamente no site do IMPE, compreendidos no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2016. Em nenhum ano o volume precipitado total não passou de 2300 mm/ano em qualquer uma das plataformas nem no satélite e nem na estação meteorológica. No entanto, nos dois primeiros anos o satélite subestimou os postos pluviométricos. Os resultados encontrados de discrepância entre um aparelho e outro, são relevantes, o que transforma as imagens de satélites estimadas propicias para uso dos seus dados. Entretanto, torna-se necessário pesquisas futuras com o intuito de aumentar o número de estações para melhor quantidade de dados.

PALAVRAS-CHAVES: Ciclo hidrológico, estação meteorológica. satélite.

VALIDATION OF PRECIPITATION DATA ESTIMATED BY REMOTE SENSING IN RIO VERDE – GO

ABSTRACT

ROSA, Gabriel Victor. Validação dos dados de precipitação estimados por sensoriamento remoto em Rio Verde – GO**.** 2021. 39p Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

To validate the meteorological data in the city of Rio Verde Goiás, remote sensing from The understanding and use of precipitation in hydrological basins is essential for studies of water resources, contributing to research related to water balance, flood control, crop irrigation, hydrological modeling, drought and frost monitoring, and climatic characteristics. Therefore, the objective of this work was to compare the behavior of the satellite, in monthly and annual accumulated over a 16-year period, in the city of Rio Verde-GO, in a rainfall station installed at the University of Rio Verde. The precipitation data used as reference were obtained from the conventional meteorology station of Rio Verde, available on the transfer platform at INMET, and the satellite used was the TRMM, measuring rainfall data and collected free of charge on the IMPE website, included in the period from January 2000 to December 2016. In any year, the total precipitated volume did not exceed 2300 mm/year on any of the platforms, neither on the satellite nor on the meteorological station. However, in the first two years the satellite underestimated the rainfall stations. The results found of discrepancy between one device and another are relevant, which transforms the estimated satellite images suitable for the use of their data. However, future research is needed in order to increase the number of stations for a better amount of data.

KEYWORDS: Hydrological cycle, meteorological station. TRMM

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Chuvas convectivas 15
Figura 2. Chuvas Frontais 15
Figura 3. Chuvas orográficas 16
Figura 4. Pluviômetro 17
Figura 5. Pluviografo do tipo flutuador 17
Figura 6. Componentes instrumentais do TRMM 19
Figura 7. Mapa da área de estudo, município de Rio Verde, estado de Goiás e Brasil 22
Figura 8. Gráfico da estimativa do acumulado anual da estação meteorologia e do satélite TRMM 24
Figura 9. Regressão linear entre a média dos totais anuais estimado por pluviômetros e imagens do satélite TRMM 25
Figura 10. Estimativas do acumulado mensal da estação meteorológica e do satélite TRMM 27
Figura 11. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de janeiro 232
Figura 12. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de fevereiro 232
Figura 13. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de março 243
Figura 14. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de abril 243
Figura 15. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de maio 254
Figura 16. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de junho 254

Figura 17. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de julho 265

Figura 18. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de agosto 265

Figura 19. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de setembro 276

Figura 20. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de outubro 276

Figura 21. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de novembro 287

Figura 22. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de dezembro 287

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Totais anuais de precipitação obtidos por meio do satélite TRMM e a estação meteorológica do INMET, e as diferenças em (mm) associadas 24
Tabela 2. Resultado referente a estatística quantitativa acumulada anual 26
Tabela 3. Resultados referente a estatística quantitativa acumulada mensal 28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 OBJETIVOS 13
3 REVISÃO DE LITERATURA 14
3.1 Precipitação atmosférica 14
3.2 Tipos de chuvas 14
3.3 Medição de precipitação 16
3.4 Estimativa de precipitação por sensoriamento remoto 17
3.5 Validação dos dados 20
4 MATERIAL E MÉTODOS 22
4.1 Área de estudo 23
4.2 Obtenção de dados micrometereologicos 23
4.3 Obtenção de dados orbitais de precipitação 23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 24
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 29
7 REFERÊNCIAS 200
APENDICE A 233

1 INTRODUÇÃO

A compreensão e utilização da precipitação em bacias hidrológicas é essencial para os estudos dos recursos hídricos, contribuindo com pesquisas relacionadas ao balanço hídrico, controle de enchentes, irrigação de culturas, modelagem hidrológica, monitoramento de secas e geadas, e características climáticas (LOUZADA, 2016; DE ALMEIDA, 2017). As chuvas estão juntas prontamente, com o meio ambiente, a economia e a sociedade, influenciando nos atributos de forma direta ou indiretamente desses setores (NERY et al., 1996)

No Brasil, devido ao vasto território, desde a região equatorial à latitude subtropical e sua topografia diversa, a sazonalidade das chuvas de cada região é diferente. Na região centro-oeste onde se trata a pesquisa do seguinte estudo, encontram-se climas simultâneos, invernos de seca e verões chuvosos, considerado uma área geográfica desigual (ALVES, 2016).

Com o intuito de quantificar essa variável, tem-se espalhado pelo continente, estações meteorológicas convencionais que fazem o trabalho de estimar a precipitação pontual na superfície terrestre, dados pelo pluviógrafo e o pluviômetro. Esses aparelhos podem ocorrer vários problemas, no método de leitura dos dados, pois são medidos por observadores que podem falhar na medição, inclusive na análise a ser selecionada devido o seu ponto de coleta ser pontual, além do fato de coleta somente no espaço do aparelho, consequentemente precisando de várias ferramentas de superfície para estimativas (ALVES, 2017).

Contudo, isso em análise, fornecendo dados para haver um melhor manejo no regime de chuvas, ainda há muita falta de estações meteorológicas no Brasil. Não contendo postos suficientes necessários na dimensão territorial, com regiões de difícil acesso que não conta com postos pluviométricos nas áreas com grande importância no controle do ciclo hidrológico (SILVA et al.,2013; NASTOS et al., 2016; ALVES et al.,2017).

Para suprir as áreas sem estação meteorológica, foi lançado em 27 de novembro de 1997 o satélite TRMM, da NASA em parceria com a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), com o foco de mencionar as chuvas nos trópicos e a influência do clima global (kummerow et al.2000; COLLISCHON et al.,2007).

Nesse caso as imagens oriundas do satélite têm sido úteis para analisar a precipitação em todo tempo, vários estudos já foram feitos como alternativa benéfica na

estimativa. Nos últimos tempos, devido à sua maior cobertura espacial, os estudos com essa categoria de recurso têm aumentado, transformando em uma ferramenta importante, ainda mais para locais que não tem postos pluviométricos instalados (LOUZADA, 2016; DE ALMEIDA, 2017).

Afim de desempenhar mais pesquisas analisando o desempenho do TRMM, quando comparado com as estações meteorológicas, o objetivo dessa pesquisa é comparar o comportamento do satélite, em acumulados mensais e anuais em um período de 16 anos, na cidade de Rio Verde- GO, em um posto pluviométrico instalado na Universidade de Rio Verde.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Validar precipitação de uma estação meteorológica instalada em Rio Verde – GO, com dados observados pelo sensoriamento remoto do TRMM, em um espaço-tempo de 16 anos, começando em janeiro de 2000 até dezembro de 2016.

2.2 Específicos

No seguinte estudo especificamos:

- Obter os dados de precipitação da estação meteorológica de Rio Verde;
- Obter dados estimados pelo TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission);
- Validar os dados orbitais a partir de dados medidos mensalmente;
- Validar os dados orbitais a partir de dados medidos anualmente no período de 16 anos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Precipitação atmosférica

A precipitação é um componente importante para o ciclo hidrológico, pois é o processo final para completar o fenômeno. Com base nos estudos e quantificação do quanto chove em um período, denominamos a quantidade de água precipitada. Ajudando no controle e desenvolvimento de vários setores que necessitam das chuvas, como: agricultura e a vida no planeta.

A ocorrência das chuvas depende das transformações químicas favoráveis, principalmente da evaporação e a condensação das partículas. De acordo com Pereira et. al. (2007), o processo de condensação acontece com a presença dos núcleos de condensação, maior parte liberados pelos oceanos, formando gotículas de água que contem nas nuvens, a partir das condições de temperatura e pressão atmosférica, entretanto o ar quente acende resfriando conforme a temperatura, implicado pela pressão atmosférica, reagindo e seguindo para as nuvens. O resfriamento do ar em ascensão na atmosfera e dado por um processo gradiente adiabático.

Mas só o processo de condensação não ocorre a precipitação, precisa-se de partículas mais densas para pesar e superar a flutuação térmica, as moléculas unem com suas capacidades elementares e movimentação, gerando gotas maiores (elementos de precipitação) até não haver mais sustentação e despencarem.

3.2 Tipos de chuvas

As chuvas geradas são definidas conforme as frentes, convecções locais e efeitos orográficos.

Chuvas convectivas, figura 1, são de curta duração, intensivas, com índice alto de precipitação, abrangendo áreas menores, desenvolvida pela subida do ar quente, levando os vapores de água, resfriando segundo a altura do ar (VARELA 2007). Integrada a características de nuvem cumulonimbus, como: temporais, descarga elétrica, pedriscos e até redemoinhos de ventos (COTTON, 2010, SEGALIN, 2012, DOS ANJOS et al,2016).

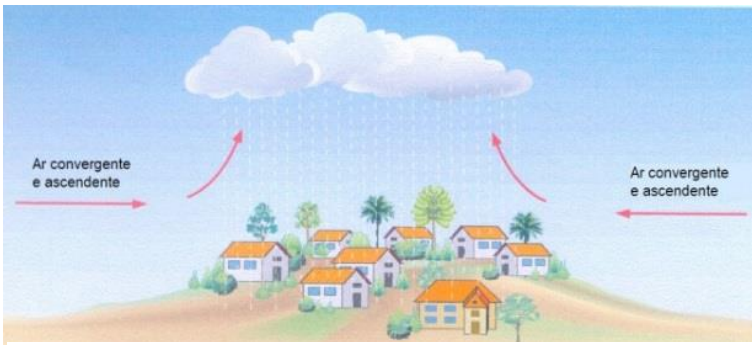

Figura 1. Chuvas convectivas
Fonte: Varella (2007)

Já a chuva frontal é a junção de massas de ar com particularidades desiguais de temperatura e umidade como mostra a Figura 2. Decorrente da junção das massas, o ar quente sobe e esfria, causando a reação de condensação, criando as nuvens e depois precipitando. Dadas como chuvas duráveis, com médio índice de quantidade, mas caindo em regiões amplas (VARELA, 2007).

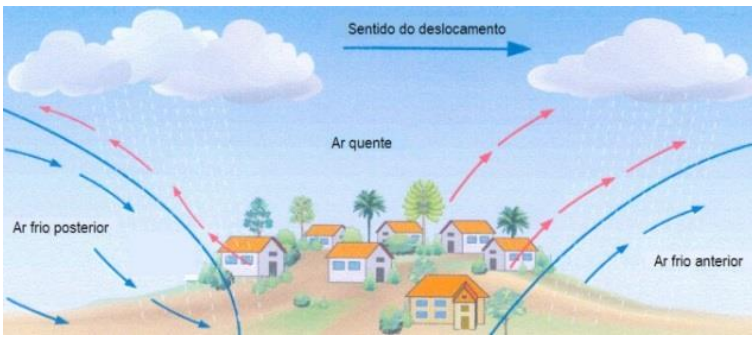

Figura 2. Chuvas Frontais
Fonte: varela (2007)

De acordo com Haas (2002), a precipitação orográfica que é outro tipo de chuvas acontece em territórios montanhosos, em certas alturas, declives, dependentes das condições do ambiente, conforme Figura 3, sobrevindo em neve, nos lugares elevados e latitudes altas ou em montanhas mais baixas, em localidades tropicais como chuvas. As parcelas de ar colidem com as montanhas e ascendem, esfriando adiabaticamente, condensando criando nuvens tanto cumuliformes como estratiformes (PEREIRA et al, 2007).

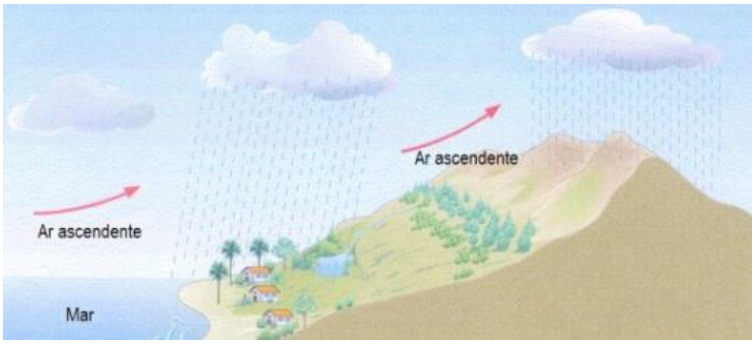

Figura 3. Chuvas orográfica
Fonte: Varela (2007)

3.3 Medição de precipitação

A dimensão das chuvas é feita pela elevação acumulada de água dentro de um recipiente em uma área plana, denominada em milímetros (mm). Ou seja, basicamente, a altura (h) da água dentro do recipiente dividido pelo espaço da área.

Temos outras grandezas importantes também:

- Duração (t): o tempo de duração da chuva, expressada por minuto ou hora.
- Intensidade (i): definida pela quantidade de precipitação recolhida pelo tempo, i=mm/hora, dada em mm/h ou mm/min.

Com intuito de medir a precipitação foram desenvolvidos equipamentos como o pluviômetro, que acumula a água da chuva em um recipiente, analisando todos os dias em uma determinada hora por um observador, que mede a altura de água aglomerada. A Figura 4 demonstra o aparelho com os seus componentes. Se a medição é eletrônica com medições automáticas temos o equipamento mais completo que é o pluviógrafo, que contém um sistema continuo com um marcador a cada vez que a água atinge uma certa altura no recipiente, concedendo aferir a intensidade das chuvas em um espaço de tempo (Figura 5). As ferramentas cobram uma calibração eficiente para que não tenha erro na decifração da altura da lâmina d’água.

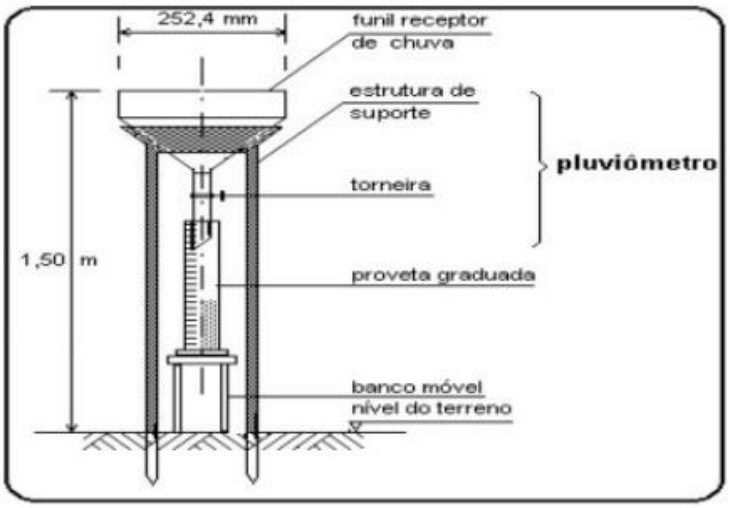

Figura 4. Pluviômetro
Fonte: De Oliveira (2017)

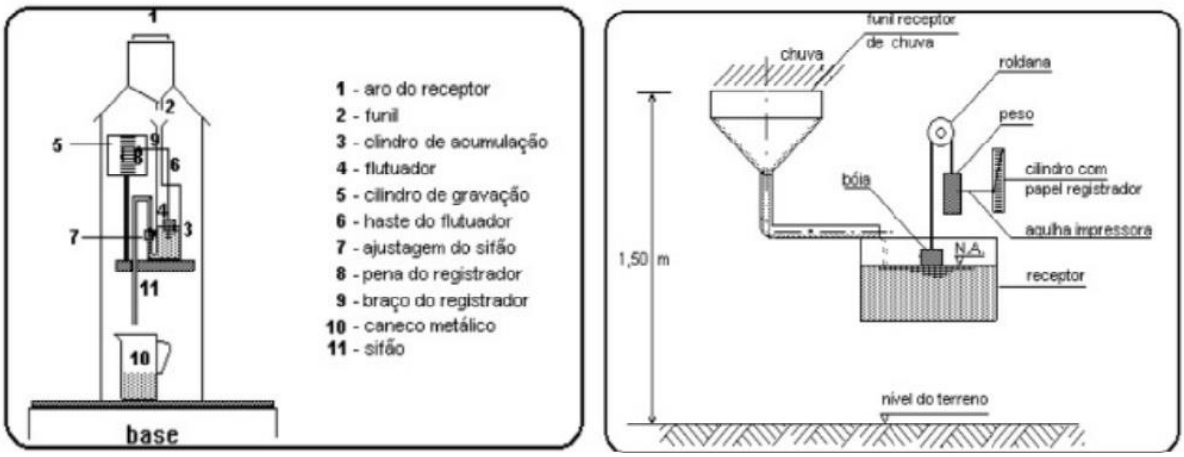

Figura 5. Pluviógrafo do tipo flutuador
Fonte: De Oliveira (2017)

Com o objetivo de coletar dados onde não tem nenhum dos equipamentos citados, os radares e satélites cobrem essa parte. Não podendo diretamente mensurar as chuvas, mas calcular a refletividade das ondas de rádio recebida de cada foco, pela força eletromagnética, que passadas pelas nuvens provocam ressonância (DE OLIVEIRA, 2017).

3.4 Estimativa de precipitação por sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que obtém informações sobre um determinado alvo sem contato físico, sendo remota a realização das análises, com isso seu

uso pode ser eficaz nas regiões que sofrem com a falta de postos pluviométricos, conseguindo abranger grande parte da atmosfera e a superfície terrestre (JENSEN, 2009).

A energia eletromagnética oriunda do sol, incide e atinge o globo terrestre, sendo assim, parte dela inserida pelos componentes que tem no meio do percurso ou repelida para a atmosfera. Abordo dos satélites tem equipamentos que são capazes de calcular as ondas eletromagnéticas, pelos seus fenômenos espectrais, dividido em parcelas de comprimento, como os raios ultravioletas (UV), visível (VIS), infravermelho (IR) e micro-ondas (MW) (JENSEN, 2009).

As imagens do visível são as reflexões da energia solar, refletida pelos elementos do planeta. Já as imagens do infra vermelho fixa na emissão da energia solar nos elementos (FERREIRA,2006; DE ALMEIDA,2017).

Os sensores com imagens dadas por micro-ondas respondem de uma forma mais eficiente na identificação de moléculas de água, de chuvas ou nevoas, mostrando até nuvens que não geram precipitação (JENSEN, 2009).

A forma como a energia eletromagnética é usada pelos sensores permitem que sejam classificados em dois grupos, sensores ativos e sensores passivos. Os sensores passivos são dependentes da energia externa seja ela do sol ou do próprio objeto alvo. Já os sensores ativos possuem uma fonte de emissão de energia e captam o sinal que retornam após a energia emitida interagir com o objeto alvo.

O percurso dos satélites se dá pelas orbitas podendo classifica-los de formas diferentes de acordo com o seu movimento de rotação e posição na orbita. Para acompanhamento de meteorologia os mais usados são os geoestacionários, movimentando-se junto a rotação da terra, na orbita equatorial, paralelamente ao equador (CENTENO, 2004; DE ALMEIDA,2017).

No seguinte estudo foi usado os dados do satélite TRMM, um produto de compromisso entre a agencia espacial americana NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a agencia espacial japonesa JAXA (Japan Aerospace Exploration), lançado 27 de novembro de 1997 com o tempo de vida estimado de três anos, mas esta em atividade até o presente momento, com o intuito de previr precipitação nas regiões tropicais, e suprir pesquisas meteorológicas (BRASIL NETO,2017). Funcionando em uma orbita polar, com intervalo de translação pequeno cerca de 91 minutos, alta resolução espacial e temporal, com resultados liberados de 3 em 3 horas. Para funcionamento do produto, junto dele temos ferramentas indispensáveis como: imageador de micro ondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS),

sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor para imageamento de relâmpagos (LIS) (NASTOS et al., 2014; ALVES et al., 2017). Figura 6

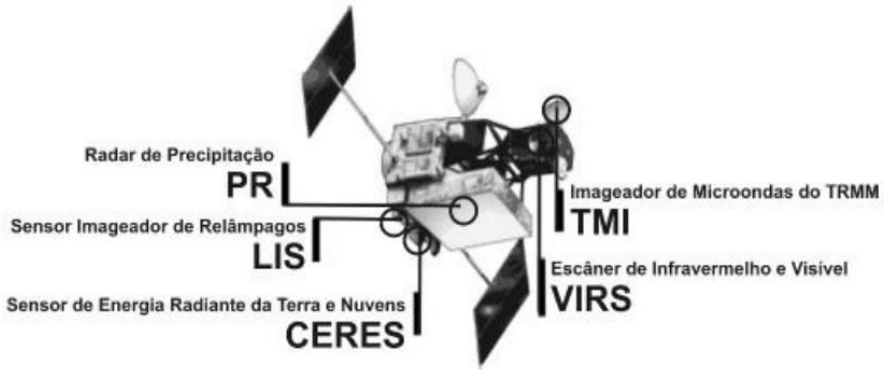

Figura 6. Componentes instrumentais do TRMM
Fonte: De Almeida (2017)

Cada sensor com sua especialidade e função:

- Radar de precipitação (PR): Mede a estrutura das chuvas em três dimensões, estabelece a intensidade, distribuição e a profundidade da precipitação (KUMMEROW et al., 2000; DE CAMPOS, 2017)
- Imageador de micro-ondas do TRMM (TMI): Sensor passivo e fundamental equipamento do satélite, com intuito de quantificar a chuva, o vapor da água e a intensidade de chuva na atmosfera (KUMMEROW et al. 1998; DE ALMEIDA,2017),
- Escâner de infra-vermelho e visível (VIRS): Mostra cinco camadas de espectro, de visível a infra-vermelho, oriundas da incidência solar e aponta indiretamente as chuvas. Primeiro sensor do satélite (NASDA, 2001; DE ALMEIDA,2017).
- Sensor imageador de relâmpagos (LIS): A associação de elementos opticos e eletrônicos que compõe o sensor, demonstra raios, propriedades das nuvens, comportamento das tempestades e a identificação de raios em um determinado lugar e período do ano (COUNCIL, 2006).
- Sensor de energia radiante da terra e de nuvens (CERES): Contador de energia que entra e sai nos componentes da superfície terrestre e a atmosfera (DE ALMEIDA,2017) Cada sensor com sua especialidade e função:

- Radar de precipitação (PR): Mede a estrutura das chuvas em três dimensões, estabelece a intensidade, distribuição e a profundidade da precipitação (KUMMEROW et al., 2000; DE CAMPOS, 2017)
- Imageador de micro-ondas do TRMM (TMI): Sensor passivo e fundamental equipamento do satélite, com intuito de quantificar a chuva, o vapor da água e a intensidade de chuva na atmosfera (KUMMEROW et al. 1998; DE ALMEIDA,2017),
- Escâner de infra-vermelho e visível (VIRS): Mostra cinco camadas de espectro, de visível a infra-vermelho, oriundas da incidência solar e aponta indiretamente as chuvas. Primeiro sensor do satélite (NASDA, 2001; DE ALMEIDA,2017).
- Sensor imageador de relâmpagos (LIS): A associação de elementos opticos e eletrônicos que compõe o sensor, demonstra raios, propriedades das nuvens, comportamento das tempestades e a identificação de raios em um determinado lugar e período do ano (COUNCIL, 2006).
- Sensor de energia radiante da terra e de nuvens (CERES): Contador de energia que entra e sai nos componentes da superfície terrestre e a atmosfera (DE ALMEIDA,2017)

A NASA e a NADSA *(National Space Development Space of Japan)* são responsáveis pelo tratamento dos dados recolhidos pelos sensores. (DE CAMPOS, 2017), conforme a composição de combinação dos sensores que tem no TRMM. Neste produto 3B42-v7 trabalhado no seguinte estudo, faz -se o cálculo do imageador de micro-ondas (TMI) e para comparação das composições o radar de precipitação (PR), com intuito de reparar os dados (DE ALMEIDA, 2017).

3.5 Validação dos dados

As estratégias de ferramentas críticas de apropriação de totais precipitados se da por meio da interpolação, desenvolvida com o objetivo de cautelar a falta de dados e a inconstância do método (COLLISCHONN, 2001). A interpolação de precipitação difere de acordo com os aspectos observados (SANTOS, 2014), denominadas: agregação espacial, análise pontual e campos de chuvas.

Quanto a validação do comportamento dos aparelhos, comparou-se as medidas estimadas pelo satélite com as medidas dos pluviômetros (BRIER; ALLEN, 1950; DE ALMEIDA,2017).

A manipulação estatística dos dados foi dividida em anual acumulada para cada ano e o acumulado mensal de cada mês do ano. Nesse trabalho, indicadores quantitativos estatísticos foram utilizados para avaliar a exatidão e a precisão dos dados de precipitação pluvial obtidos a partir do TRMM, sendo eles:

Raiz do erro quadrático médio (REQM), estima o erro do quadrado das diferenças entre o TRMM e a estação meteorológica. Demonstrado na equação 01.

$$REQM = \frac{\sum_{i}^{N}(x'-x)^{\frac{1}{2}}}{n} \qquad \text{Eq. 1}$$

Erro médio absoluto (EMA), é o desvio médio absoluto do valor indicado estimado em relação ao valor medido, dado pela equação 2.

$$EMA = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|x_i' - x_i| \qquad \text{Eq. 2}$$

Coeficiente de determinação (R^2), aponta na equação 3, é uma pontuação que descreve a variância total nos dados, as observações podem ser explicadas por modelos. O valor maior entre 0 e 1 indica com mais eficiência a concordância entre o modelo e a observação.

$$R^2 = \left\{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{P})^2}}\right\} \qquad \text{Eq. 3}$$

Coeficiente de Willmont (d) criado em 1981, estabelecida pela variação entre 0 e 1, e também tendo o melhor comportamento do modelo, valores maiores. Indicados pelo distanciamento dos dados estimados em semelhança aos medidos (WILLMOTT et al., 1985). Equação 4.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - O| + |O_i - O|)^2}\right]$$

Eq. 4

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado no município de Rio Verde a figura 7 demonstra a região, no sudoeste do estado de Goiás, com a população estimada de 241 518 habitantes, segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). A pesquisa realizada a partir de dados climatológicos da estação convencional de Rio Verde instalada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada na Universidade de Rio Verde, fixada na altura de 774,62 m e longitude 50,9º na latitude: -17, 8º.

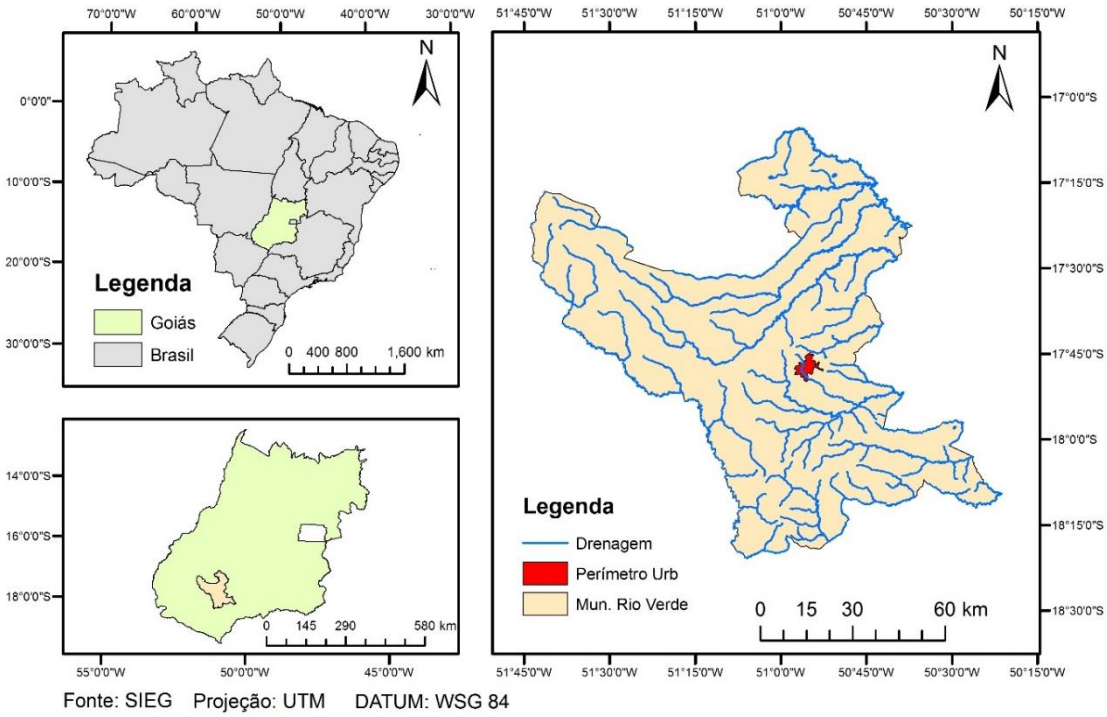

Figura 7. Mapa da área de estudo, município de Rio Verde, estado de Goiás e Brasil
Fonte: Sieg, adaptado pelo autor.

Segundo Köppen e Geiger (1928), o clima da região é caracterizado, como Aw (tropical), temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade), com chuvas nos meses de outubro a maio e com seca nos meses de junho a setembro. Conta com o relevo suave-ondulado, em um plano setentrional da bacia sedimentar do paraná, constituído por chapadões dissecados (SOUSA ET AL., 2006; ALVES ET AL., 2017).

4.2 Obtenção de dados micrometereologicos

Os dados de precipitação utilizados como referência nesse estudo foram obtidos da estação convencional de meteorologia de Rio Verde – GO (17º47’07.41’’S – 50°57’53.43’’S), disponível na plataforma de transferência no INMET, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2016 (INMET, 2020).

4.3 Obtenção de dados orbitais de precipitação

O satélite usado no presente estudo é o TRMM, medindo dados de precipitação pluviométrica e coletados gratuitamente no site do IMPE (www.inpe.br), no período de janeiro de 2000 à dezembro de 2016. Escolhido por ter o mesmo mecanismo de estação pluviométrica que mede dados mensais (ALVES, K. S. S. et al.). O tropical Rainfall measuring Mission (TRMM) criado pela NASA com a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), tem o propósito especifico de acompanhar e estudar a precipitação nos trópicos e investigar como a mesma influência o clima global, lançado em 27 de novembro de 1997 (KUMMEROW et al., 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 8 mostra a precipitação acumulada anual, no satélite TRMM e no posto pluviométrico de Rio Verde- GO, nos anos de 2000 a 2016, como podemos ver nenhum ano o volume precipitado total não passou de 2300 mm/ano em qualquer uma das plataformas nem no satélite e nem na estação meteorológica. Nos dois primeiros anos o satélite subestimou os postos pluviométricos avaliando-se um total de 2229,8 na estação meteorológica e 1271,5 no satélite, com uma diferença de 958,3 mm, podendo ocorrer devido à falta de calibragem do aparelho, como mostra na tabela 1.

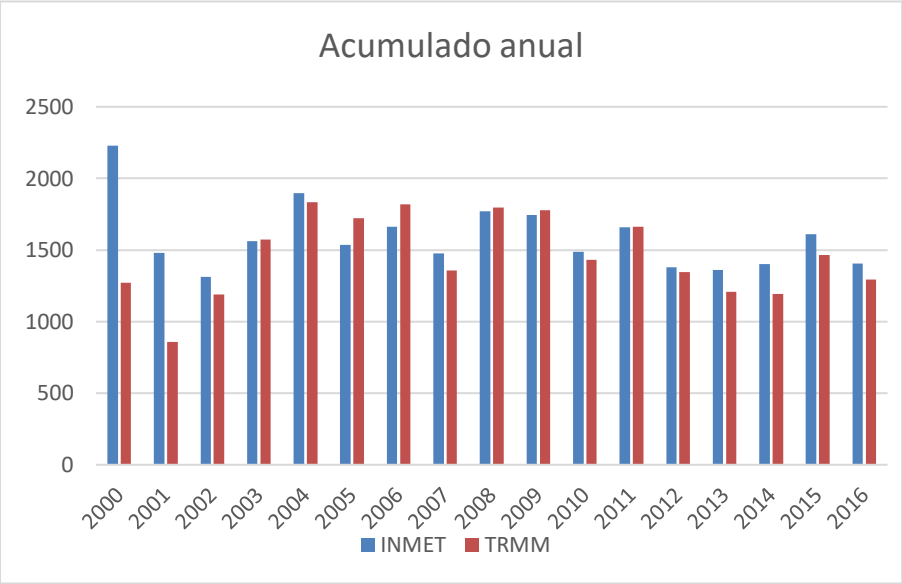

Figura 8. Gráfico da estimativa do acumulado anual da estação meteorologia e do satélite TRMM.

Fonte: autor

Tabela 1. Totais anuais de precipitação obtidos por meio do satélite TRMM e a estação meteorológica do INMET, e as diferenças em (mm) associadas

ANOS	INMET (mm)	TRMM (mm)	Diferença(mm)
2000	2229,8	1271,5	958,3
2001	1478,3	858	620,3
2002	1313,3	1187,9	125,4
2003	1562,3	1574,7	12,4
2004	1895,9	1833,2	62,7
2005	1534,1	1723,8	189,7

2006	1662,6	1817,8	155,
2007	1474,4	1357,3	117,1
2008	1769,9	1797,9	28
2009	1743,8	1776,6	32,8
2010	1488	1431,1	56,9
2011	1658,3	1662,1	3,8
2012	1379,3	1345,9	33,4
2013	1362,3	1207,3	155
2014	1401,7	1191,6	210,1
2015	1609,4	1464,6	144,8
2016	1405,5	1292,1	113,4

Fonte: autor.

Na seguinte figura 9 demonstrou -se o gráfico de dispersão linear para a região de estudo, entre os totais anuais do posto pluviométrico de Rio Verde e as imagens de satélites. Nesta ilustração o coeficiente de determinação agregado a função linear entre os valores anuais acumulados de precipitação, foi encontrado (0,8294), apuramento apropriado. De Almeida (2017), desenvolveu uma análise de desempenho do satélite TRMM sobre a região hidrográfica do rio Itapemirim no Espírito Santo, encontrado 0,86, para o coeficiente de regressão linear.

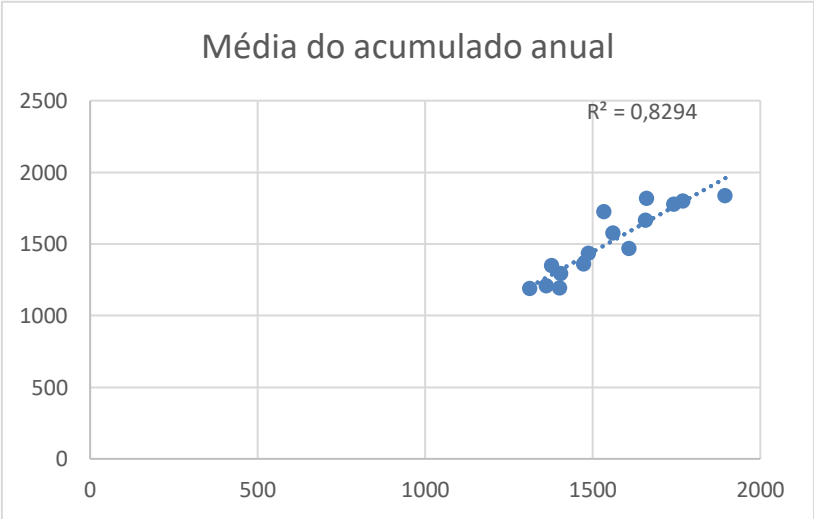

Figura 9. Regressão linear entre a média dos totais anuais estimado por pluviômetros e imagens do satélite TRMM
Fonte: autor.

Na estatística quantitativa do acumulado anual para os anos de 2000 a 2016, são validados os dados do satélite TRMM, por índices propostos. O erro médio absoluto que indica a média de erro para a relação total anual, comparando as estimativas da estação meteorológica e o TRMM, se deu por (177,60 mm), resultado considerado satisfatório. Tabela 2. Louzada (2016), encontrou, 175 mm e 313 mm para o erro médio, analisando o balanço hídrico climatológico com dados estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission para a bacia hidrográfica do Rio Doce.

A raiz do erro quadrático médio apresentou 297,53 mm, para a acumulada anual, resultado alto em comparação com análise feita por De Almeida (2017) analisando o desempenho do satélite TRMM na região do rio Itapemirim, achou (113) para REMQ, que também foi um resultado pouco relevante. Já o coeficiente de Wilmontt (d), que indica o distanciamento dos dados estimados em semelhança aos medidos, dado entre 1 e -1, está dentro dos parâmetros estabelecidos para um resultado consistente, 0,63 mm no seguinte trabalho. O coeficiente de correlação também estipula que o índice esteja entre 1 e -1, na tabela 2, designamos r = 0,82, resultado suficiente.

Tabela 2. Resultado referente a estatística quantitativa acumulada anual

POSTOS PLUVIOMETRICOS	INDICE	ANUAL ACUMULADO (2000-2016)
ESTAÇAO X TRMM	**REQM**	297,53 mm
	D	0,63 mm
	R	0,82 mm
	EMA	177,60 mm

Fonte: autor

Já na figura 10, demonstrou uma média mensal entre às duas ferramentas de coleta de dados, e conseguimos perceber que a mínima ocorre entre os meses de maio a setembro com medições abaixo dos 1000 mm/mês, e a precipitação da média mensal máxima encontra-se entre os meses de outubro a abril com estimativas de 5000 mm/mês. O fenômeno de seca acontece devido à declinação solar de acordo com uma associação a

posição da terra, tendo menos energia no hemisfério sul (inverno), gerando menos energia, consequentemente dificultando a reação de evapotranspiração, prejudicando a formação de chuvas. Nos meses de fevereiro, abril e junho o sensoriamento orbital superestimou o posto pluviométrico, nos outros meses a estação meteorológica passou o satélite, mas nenhum resultado com diferença alta, a maior diferença da média foi no mês de fevereiro em uma série temporal de 1,6 anos, com diferença de 1796,3 mm, o posto pluviométrico superestimou o satélite.

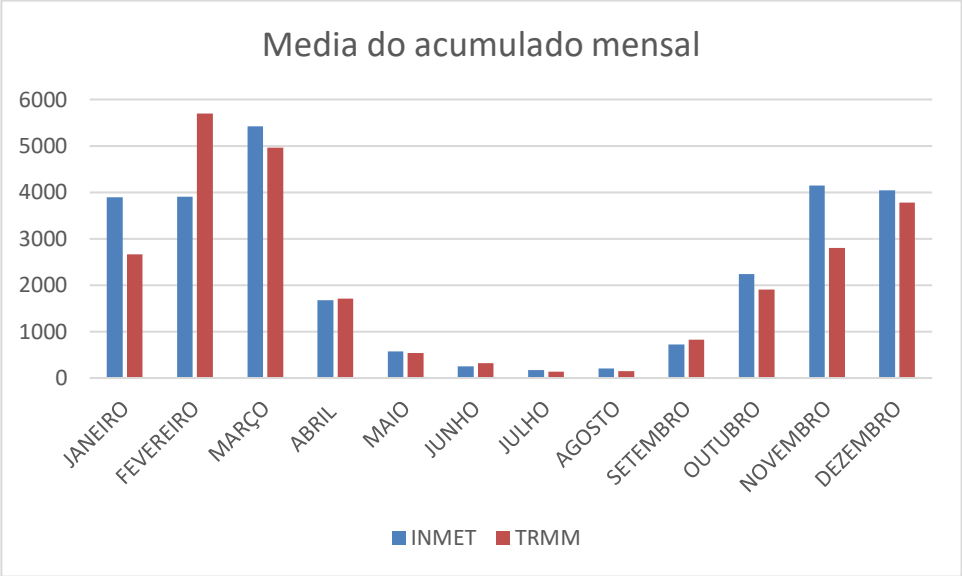

Figura 10. Estimativas do acumulado mensal da estação meteorológica e do satélite TRMM

Fonte: autor

Para atender ao modelo linear o coeficiente de correlação (r^2), foi feito para todos os meses acumulados em 16 anos, no seguinte estudo todos os resultados atende ao desejado pela teoria da correlação que é esta entre 1 e -1, o mês que chegou mais perto de extrapolar o desejado foi o mês de janeiro com r^2 0,96 como mostra na tabela 3. O gráfico dos outros meses encontra se no Apêndice A. Araújo (2007), realizou uma pesquisa no Rio Iguaçu e encontrou resultado satisfatório para o coeficiente de correlação, apresentando valores entre 0,79 e 0,89. Louzada (2016) também demonstrou resultados de 0,92 e 0,99 para o produto 3B43-v7 ao acumulado mensal no Rio Doce, resposta considerada satisfatória pelo autor.

Tabela 3. Resultados referente a estatística quantitativa acumulada mensal

Media do Acumulado Mensal

MESES	Índices estatísticos			
	REQM	D	R^2	EMA
JAN	71,57	0,77	0,96	40,16
FEV	35,7	0,97	0,90	25,82
MAR	79,95	0,85	0,84	58,04
ABR	25,25	0,97	0,89	20,67
MAI	12,41	0,96	0,80	8,09
JUN	7,53	0,95	0,88	5,74
JUL	5,45	0,96	0,62	3,81
AGO	12,62	0,71	0,93	5,84
SET	27,28	0,86	0,86	17,33
OUT	44,88	0,86	0,64	30,47
NOV	103,75	0,65	0,76	80,4
DEZ	86,43	0,85	0,76	44,27

Fonte: autor

A raiz do erro quadrático médio (REQM) apresentou valores entre 103,75 e 5,45, resultado relevante em comparação com outros estudos, que demonstraram valores menores em um acumulado mensal com a mesma validação e o mesmo produto do TRMM. De Almeida (2017) apontou resultados moderados dado o REMQ de 47,7 mm, na região do Rio Itapemirim no estado do Espírito Santo. Na Paraíba Santos (2014) retratou um REMQ 30 mm.

O índice de maior erro total do acumulado mensal acontece no mês de novembro com 103,75 mm e o mês com menos erro é o de julho com 5,45 mm. No coeficiente de wilmontt que foge da linha traçada no plano cartesiano, é também no mês de novembro com o valor de 0,65 mm. O mês de novembro também tem o maior valor encontrado, 80,4 mm para erro médio absoluto com uma diferença de 76,59 mm do mês de julho que teve o menor valor. O coeficiente de determinação (R^2), é muito parecido com o coeficiente de wilmont (D), mais distante de 1, pior vai ser o resultado, nesse caso julho com 0,62 mm teve mais afluência, afastando da medição linear e janeiro determinado 0,96 mm o mais perto da linha de convergência, obtendo o melhor resultado.

Na pesquisa de Almeida (2016), ele expôs um erro médio moderado na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, dado por -24,4 mm, designado superestimado pelo produto do TRMM. Para Bernardi (2016) que pesquisou o desempenho do satélite em comparação a postos pluviométricos no Rio Grande do Sul no acumulado mensal, teve um erro médio de 28,1 mm e REMQ de 28,5 mm.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os dados entregados pelo produto 3b43-v7 e a estação meteorológica, comparados entre si na região de Rio Verde – Go, em uma série acumulada anual e mensal em um espaço-tempo de 16 anos foram relevantes em confrontação com estudos similares realizados, embora a área do estudo seja uma área menor que a das pesquisas encontradas, torna-se necessário pesquisas futuras com o intuito de aumentar o número de estações para melhor quantidade de dados. Nos meses chuvosos a estação meteorológica superestimou o TRMM, o ocorrido acontece por falta de manutenção no aparelho de superfície. Já nos meses de seca o TRMM deu valores maiores que a estação meteorológica. O satélite mostrou bom desempenho.

Os dados recolhidos pelo satélite conseguiram entregar estimativas relevantes para o uso de informações e conduções de áreas que necessitam de previsões das precipitações, pode completar áreas que sofre com o déficit de postos pluviométricos e áreas de difícil acesso para instalação de estimadores superficiais.

Os resultados encontrados de discrepância entre um aparelho e outro, são relevantes, o que transforma as imagens de satélites estimadas propicias para uso dos seus dados. Incentivo que desenvolve tecnologias para ajudar e facilitar o desenvolvimento da vida humana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Keylyane Santos da Silva et al. Análise estatística entre os dados de precipitação estimada via satélite TRMM e dados observados de superfície em Praia-Cabo Verde. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

ALVES, KSS. Validação da precipitação estimada pelos produtos 3B42 e 3B43 do TRMM sobre a reserva biológica Jaru–RO. Cuiabá, MT. 70 f. 2017. **Tese de Doutorado**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) -Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

ARAÚJO, A. N.; GUETTER, A. K. Validação da Chuva Estimada por Satélite "CMORPH" na Modelagem Hidrológica do Alto Iguaçu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 3, p. 189-198, 2007.

BRASIL NETO, Reginaldo Moura. Análise de seca no estado da Paraíba utilizando dados do satélite TRMM 3B42 V7. 2017.

BRIER, G. W.; ALLEN, R. A. Verificationofweatherforecasts.
In: Compendiumofmeteorology. Boston, 1950, cap. 68, p.841-848.

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

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

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

DA SILVA ALVES, Keylyane Santos et al. Análise estatística entre os dados de precipitação estimada via satélite TRMM e dados observados de superfície em Praia-Cabo Verde. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

DE ALMEIDA, Karinnie Nascimento et al. ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SATÉLITE TRMM NA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO SOBRE A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM River basin, Espirito Santo state, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 141, p. 791-802, 2020.

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

DE OLIVEIRA, Luana Ribeiro; Avaliação preliminar da relação intensidade-duração-frequência pelo método kimbal e obtenção dos coeficientes de desagregação para

diferentes durações de precipitação. **Estudo de caso: Caetité – BA**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017.

DOS ANJOS, Rafael Silva; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra; NÓBREGA, Ranyére Silva. Caracterização das chuvas através do satélite TRMM em Petrolândia-PE. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016. Pg 312

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

HAAS, Reinaldo. Simulações da chuva orográfica associada a um ciclone extratropical no litoral Sul do Brasil. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. Pg 23 e 24.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cidades. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/panorama. Acesso em: 10 nov. 2020.

JARBAS, T. et al., Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Árvore do conhecimento, Bioma Caatinga: Cambissolos. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3o02wx5ok0wtedt3n5ubswf.html. Acesso em: 20 jan. 2021.

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

KOPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm, 1928.

KUMMEROW, C. et al. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n. 12, p. 1965–1982, 2000.

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

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

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

NASTOS, P.T.; KAPSOMENAKIS, J.; PHILANDRAS, K.M. Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. **Atmospheric Research**, v. 169, p. 497-514, 2016.

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

SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. Downloads/SIG Shapefiles. Disponível em: < https://www.imb.go.gov.br/sieg>. Acesso em 18 jan. 2020.

SOUSA, M. S. SCOPEL, I. PEIXINHO, D. M. CARVALHO, N. R. Compartimentação geomorfológica do Sudoeste de Goiás e relação com a situação de areais. In: VI **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. GEOMORFOLOGIA TROPICAL E SUBTROPICAL: PROCESSOS, MÉTODOS E TÉCNICAS.** Goiânia, 6 a 10 de setembro de 2006. Disponível em: http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/595. pdf. Acesso em: 6 jan. 2021.

VARELA, Jairson Jorge Silva. Chuvas intensas no Arquipélago de Cabo verde. 2007. Pagina 20.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.C5, p.8995- 9005, 1985.

APÊNDICE A

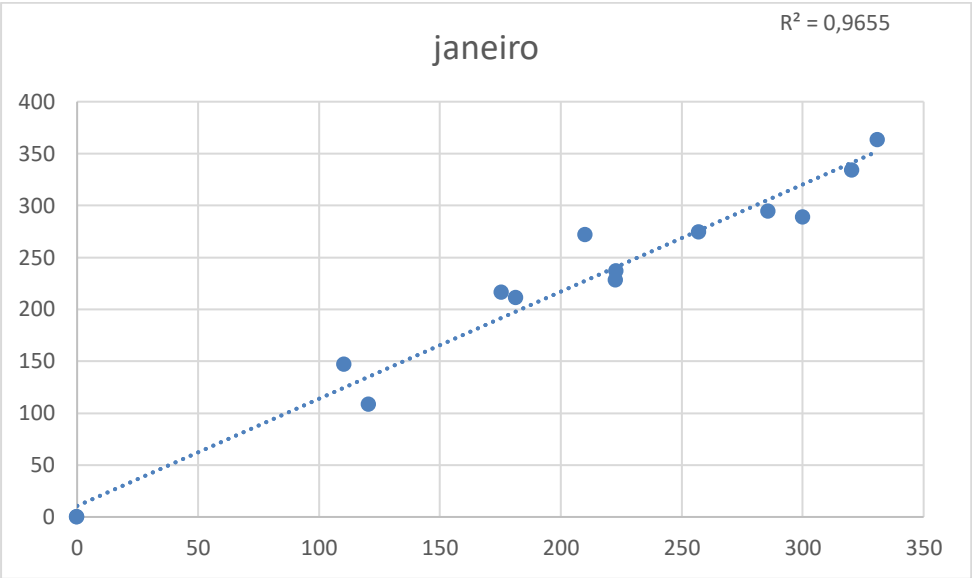

Figura 11. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de janeiro

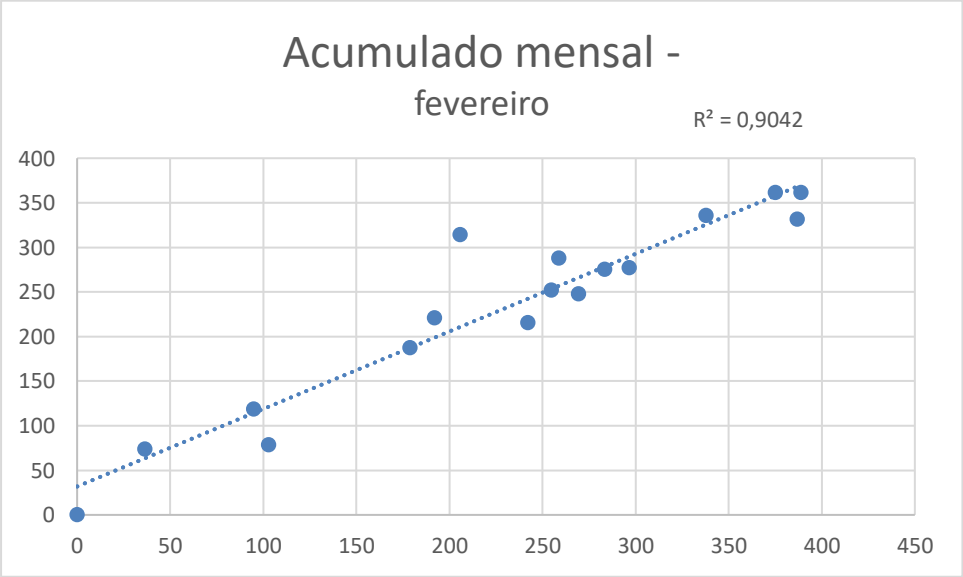

Figura 12. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de fevereiro

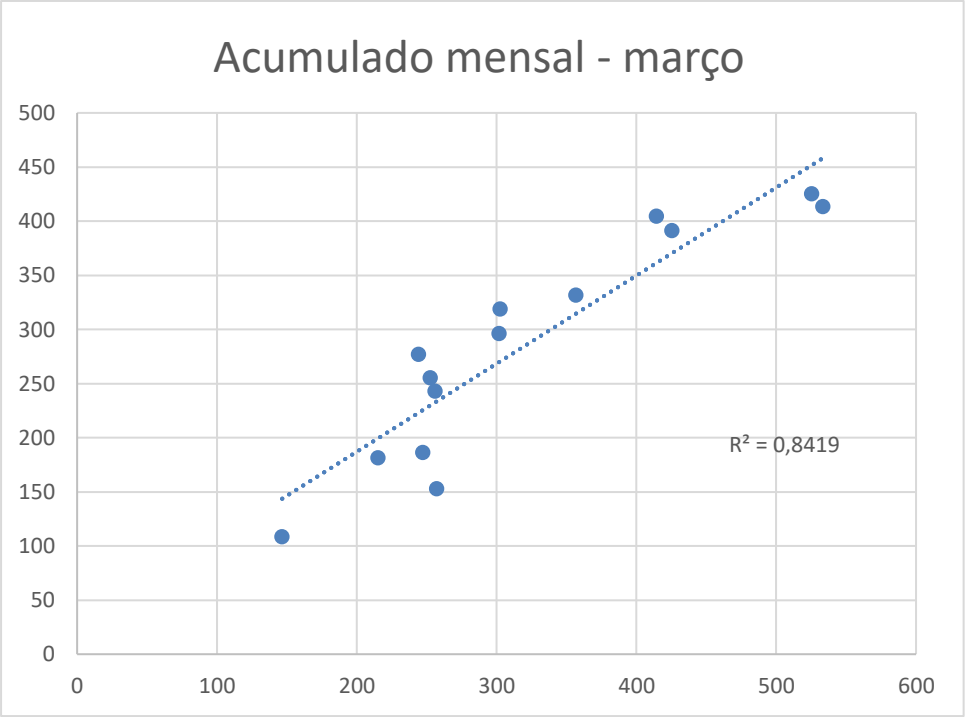

Figura 13. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de março.

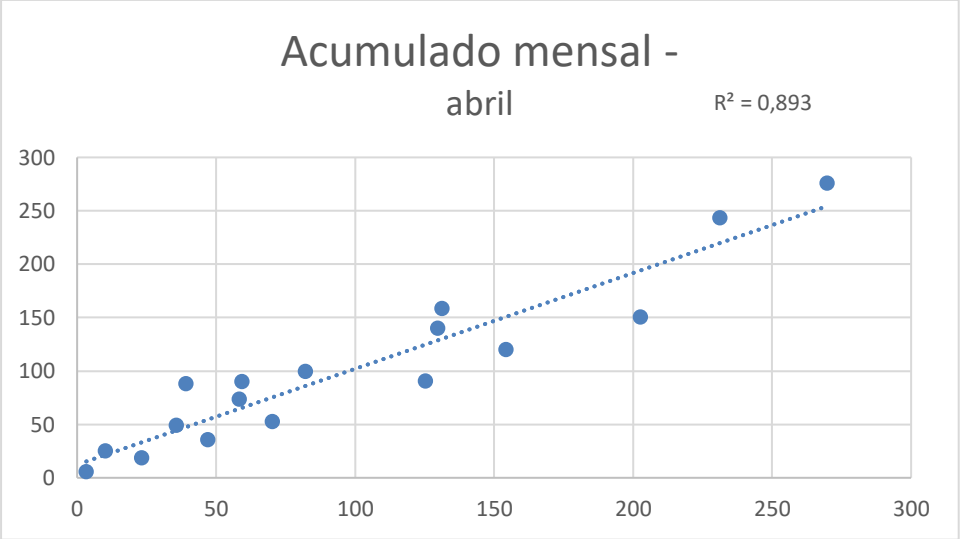

Figura 14. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de abril

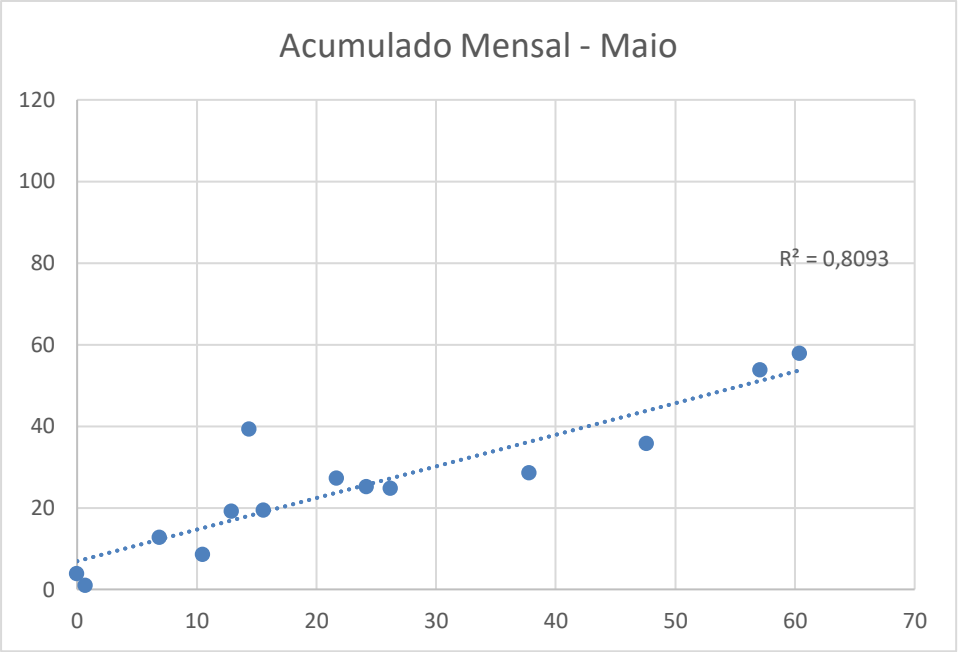

Figura 15. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de maio

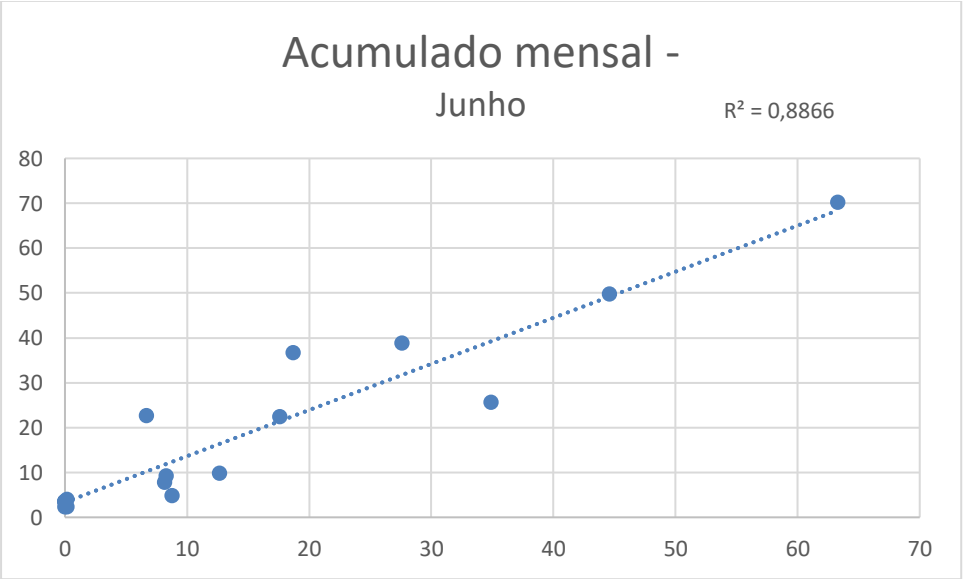

Figura 16. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de junho

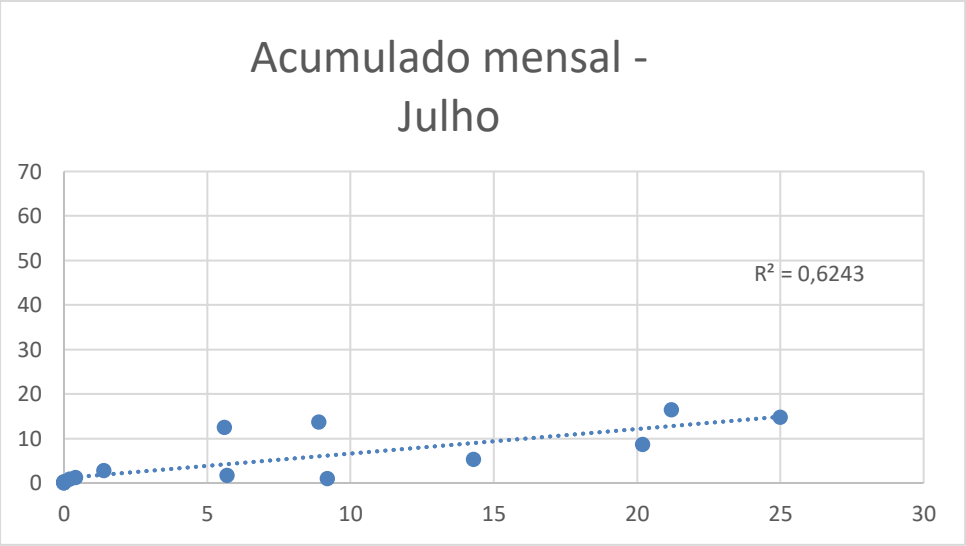

Figura 17. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de julho.

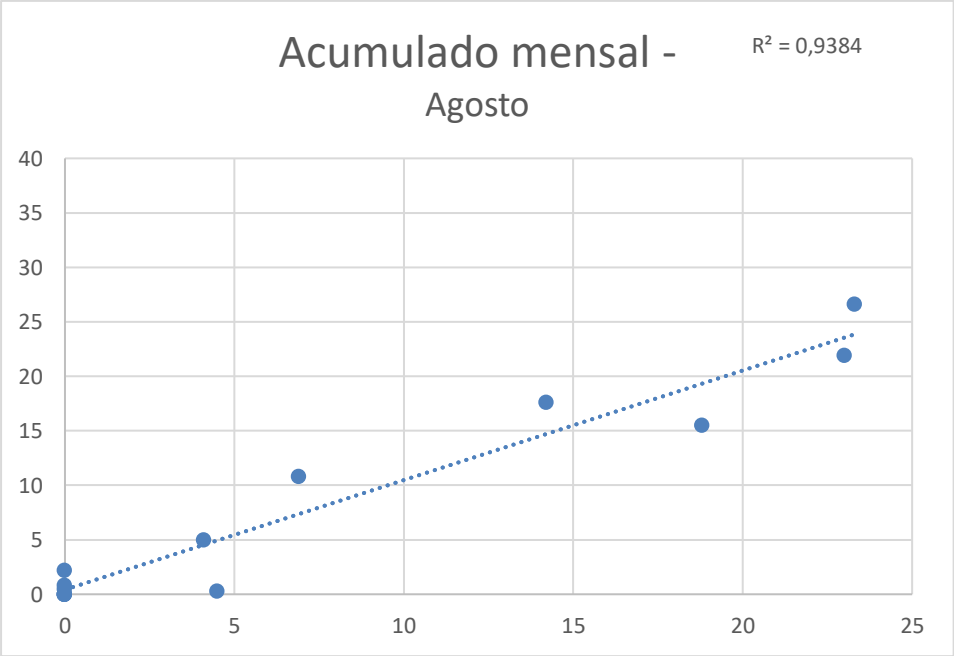

Figura 18. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de agosto.

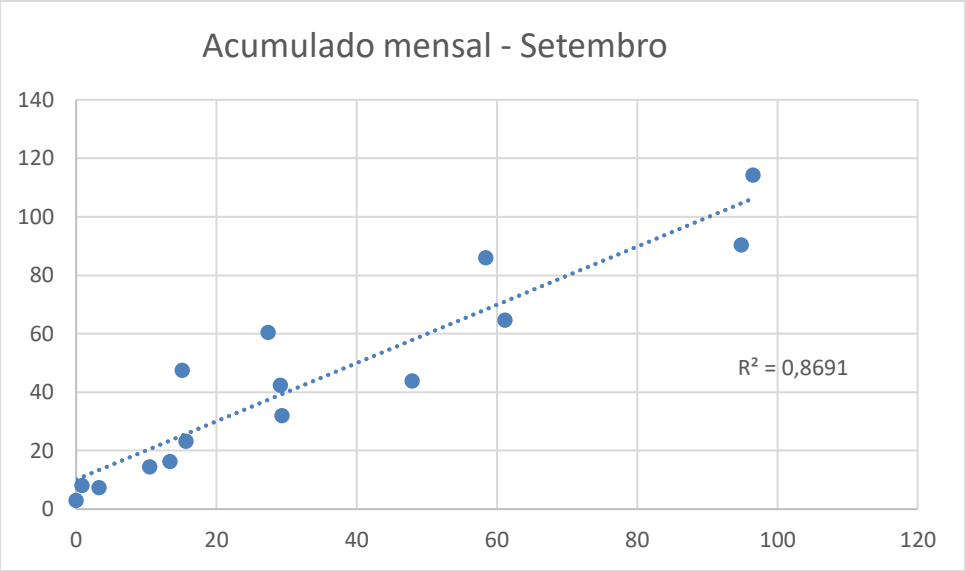

Figura 19. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de setembro.

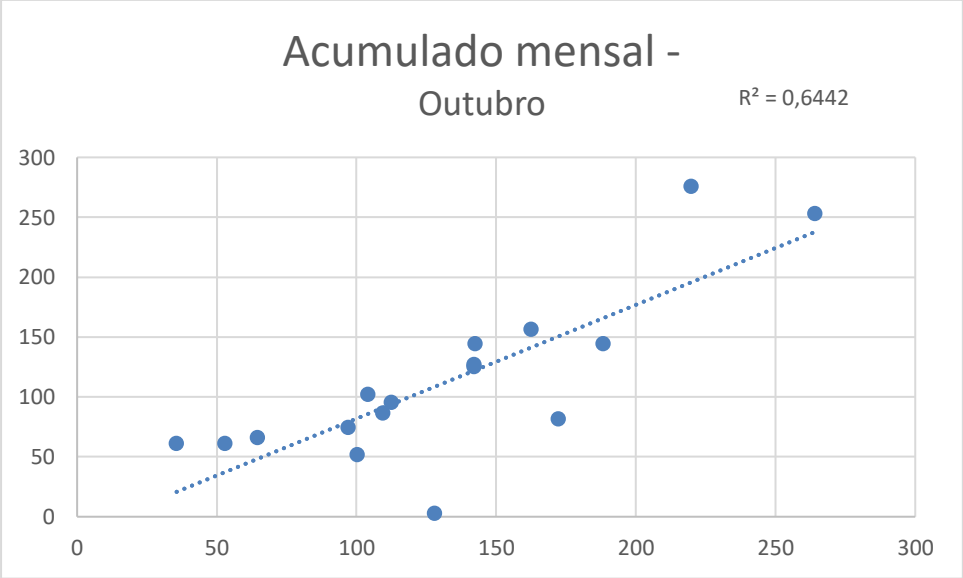

Figura 20. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de outubro.

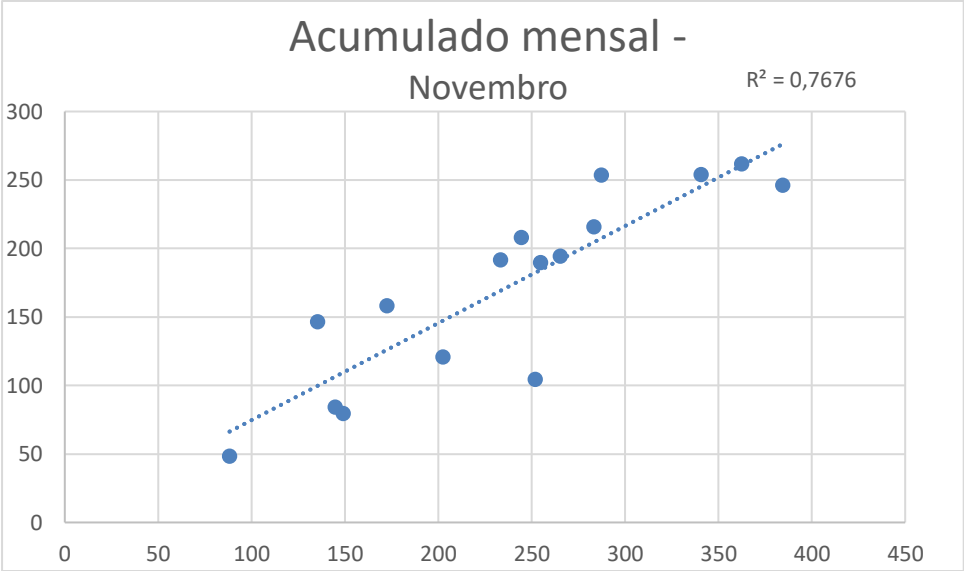

Figura 21. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de novembro.

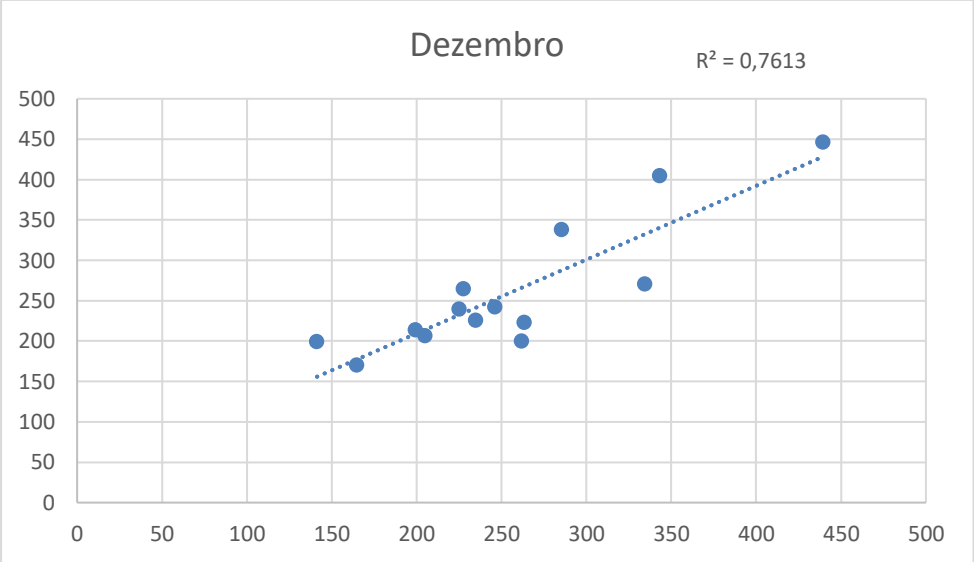

Figura 22. Coeficiente de correlação entre o posto pluviométrico e o TRMM para o acumulado mensal do mês de dezembro.