

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

DESEMPENHO DA PRECIPITAÇÃO ESTIMADA PELO SATÉLITE TRMM EM UM MODELO CHUVA-VAZÃO

Milene Priebe e Silva¹ ; Rafael Cabral Cruz² & Daniel G. Allasia Picilli³

RESUMO – Dados de precipitação estimados através de satélites surgem como alternativa para locais com escassez de medições. Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi comparar os dados de precipitação do algoritmo 3B42 do satélite TRMM aos dados obtidos a partir de uma estação pluviométrica e, em escala diária, aplicar estes dados em um modelo chuva-vazão para a bacia do Rio Vacacaí-Mirim. As análises dos coeficientes de correlação e determinação para acumulados mensais e anuais demonstraram resultados confiáveis, diferentemente dos dados diários. Na calibração do modelo foi observado o melhor ajuste para vazões máximas em ambos os cenários, enquanto a validação não foi satisfatória. Portanto, nas escalas de tempo mensal e anual, os dados do TRMM podem ser uma fonte útil de dados de precipitação.

ABSTRACT– Satellite precipitation data could be used to supply rainfall information when conventional data are scarce. The purpose of this study was to compare precipitation data observed by conventional station with the information produced by TRMM algorithm 3B42, and at daily time scale apply a model rainfall-runoff in Vacacaí-Mirim river basin. The correlation coefficient and the coefficient of determination were acceptable only for monthly and annual scales. For the hydrologic modeling, acceptable values were obtained for the calibration, but the validation did not show satisfactory results. Thus, for monthly and annual time scales the satellite rainfall products should be a source of data.

Palavras-Chave – Modelagem Hidrológica; Calibração

INTRODUÇÃO

O conhecimento da precipitação em uma bacia hidrográfica é essencial para o planejamento e tomada de decisão dos recursos hídricos (Louzada, 2016), e é considerada, por muitos autores, o mais importante parâmetro atmosférico (Moraes *et al.* 2005), assim como um dos mais difíceis de mensurar devido a sua alta variabilidade no espaço e no tempo (Kummerow *et al.* 2000).

Erros nas medições convencionais de precipitação são muito comuns, além disso, as redes pluviométricas não são densas, fornecendo apenas medições pontuais (Nóbrega *et al.* 2008a; Paula, 2015) o que torna as estimativas de precipitação do satélite *Tropical Rainfall Measurement Mission*

1) Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Camobi, Santa Maria – RS, CEP: 97105-900, milene.priebe@gmail.com

2) Docente, Universidade Federal do Pampa, R. Aluizio Barros Macedo, BR 290, km 423 Bairro Piraf, São Gabriel-RS, rafaelcruz@unipampa.edu.br

3) Docente, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Camobi, Santa Maria – RS, CEP: 97105-900, dallasia@gmail.com

(TRMM) vantajosas, visto que o número de falhas é menor quando comparado aos dados medidos em solo (Collischonn *et al.* 2007; Paula, 2015) além de suprir informações em locais com poucos dados (Nóbrega *et al.* 2008b).

O TRMM foi um satélite lançado em 1997, com o objetivo de monitorar a influência da precipitação nos trópicos e sobre o clima global (Kummerow *et al.* 2000), coletando informações por mais de 17 anos (NASA, 2018). A missão TRMM teve como resultado diversos produtos, sendo um destes o produto 3B42, utilizado neste trabalho, capaz de produzir estimativas de precipitação com resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ graus e temporal de 3 horas (NASA, 2018).

Diversas pesquisas vêm buscando analisar o desempenho do satélite TRMM sobre as precipitações, mais recentemente, cita-se como exemplo, a nível nacional, autores como Paula (2015), Louzada (2016), Bernardi (2016), Fensterseifer *et al.* (2016) Soares *et al.* (2016) e Almeida (2017).

A bacia do Rio Vacacaí-Mirim possui poucos pluviômetros em suas proximidades, e os dados disponíveis não são de períodos coincidentes, o que dificulta a espacialização da chuva nesta bacia, que, comumente, convive com conflitos pelo direito de uso da água. Sendo a estimativa de precipitação através de satélites uma possível solução para este problema, este trabalho tem como objetivo comparar os dados de precipitação do algoritmo 3B42 do satélite TRMM a uma estação pluviométrica, e, em escala diária, aplicar estes dados em um modelo chuva-vazão.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia do Rio Vacacaí-Mirim, de área total de $1.145,7 \text{ km}^2$ (Casagrande, 2004) se localiza na região central do Rio Grande do Sul, tendo como rio principal o Rio Vacacaí-Mirim, que nasce no alto da Serra Geral, em Itaara e tem sua foz no Rio Jacuí, em Restinga Seca, compreendendo também os municípios de Santa Maria, São João do Polesine, Júlio de Castilhos e Silveira Martins (Costa e Pinheiro, 2012).

A área de estudo pertence à referida bacia, e possui área de drenagem de, aproximadamente, 930 km^2 , delimitada pela estação fluviométrica localizada em Restinga Seca, conforme identificada na Figura 1. A temperatura média anual na bacia é de $19,4^\circ\text{C}$ e a precipitação média anual é $1.529,3 \text{ mm}$ (Matzenauer *et al.* 2011).

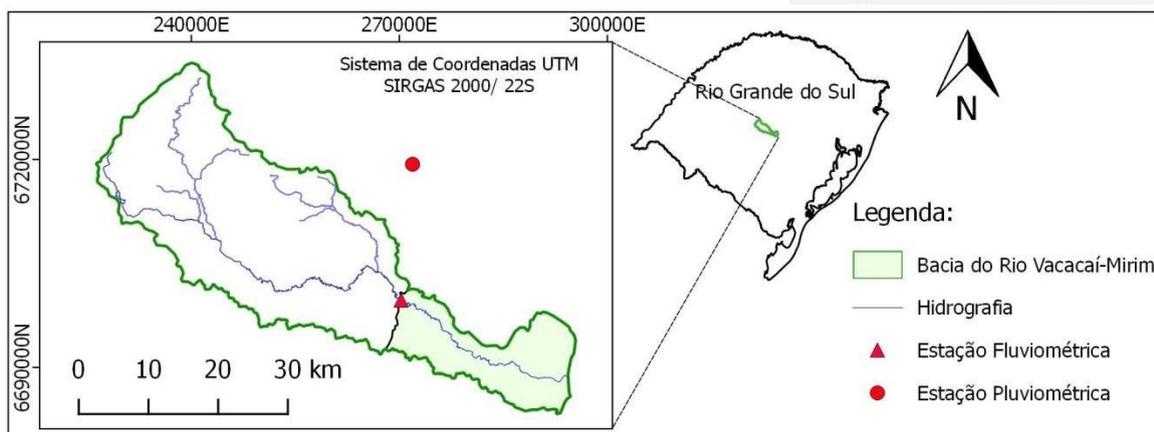


Figura 1 – Localização da área de estudo

A bacia do Rio Vacacaí-Mirim pode ser dividida em três compartimentos geomorfológicos, sendo estes: a Região do Planalto, formado pelo Vulcanismo da Bacia do Paraná, apresentando relevo ondulado e suavemente ondulado e é a zona onde se localizam as nascentes; o Rebordo do Planalto que é uma zona de transição, onde a drenagem flui no sentido da Depressão Central (ou Periférica), e esta última constituída por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, com topografia mais ou menos plana e suavemente ondulada (Castilleero, 1984 *apud* Casagrande, 2004).

Os solos predominantes na bacia, de acordo com o mapa de solo elaborado por Streck *et al.* (2008), são o Argissolo Bruno-Acizentado Alítico abrupto, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Neossolo Regolítico Húmico léptico ou típico e Planossolo Háptico Eutrófico arênico.

Na parte alta da bacia, localiza-se o reservatório de abastecimento público, responsável por cerca de 40% do abastecimento de água do município de Santa Maria (Paiva *et al.* 2006), além disso, a bacia é caracterizada por extensas áreas cultivadas por arroz que ocupam grande parte das várzeas ao longo do rio principal e seus afluentes (Kemerich, 2013), exigindo elevada demanda hídrica, o que, comumente, ocasiona conflitos pelo uso da água em função do bombeamento para as lavouras de arroz.

Obtenção e análise das séries de dados

A série de dados de precipitação do TRMM foi obtida através da plataforma *Google Earth Engine* (<https://code.earthengine.google.com/>), com um código gerado para fornecer a média da precipitação na bacia a cada 3h e realizar o download em arquivo CSV de cada ano, com 8 medições diárias. Além disso, foi necessário considerar que a precipitação estimada no momento da leitura pelo TRMM seria uniforme até que a próxima leitura fosse realizada, permitindo, assim, gerar uma série diária de precipitação. A utilização desta plataforma proporcionou maior facilidade na aquisição de dados.

Os dados de precipitação medidos em solo são provenientes da estação pluviométrica de código 2953008, obtidos no *HidroWeb* (ANA, 2018), localizada nas proximidades da bacia do Rio Vacacaí-Mirim. A falta de estações não permitiu a espacialização da chuva na bacia.

Os dados de precipitação das séries diárias foram acumulados em dados mensais e anuais para realização de testes estatísticos. Foram realizadas análises dos coeficientes de correlação (R) e determinação (R²) no período de 2000 a 2004 e de 2011 a 2014.

Os dados de vazão pertencem a estação fluviométrica de código 85438000, localizada no município de Restinga Seca, obtidos no *HidroWeb* (ANA, 2018). Enquanto os dados de evapotranspiração potencial foram obtidos de AGRITEMPO (2018), estação de código 9000581.

Modelo chuva-vazão

A simulação hidrológica na bacia do Rio Vacacaí-Mirim ocorreu através do WIN_IPH2, no período de 08 de agosto de 2000 a 07 de agosto de 2004 para calibração do modelo, e de 01 de fevereiro de 2012 a 31 dezembro de 2013 para a validação, dados escolhidos de acordo com a disponibilidade de datas coincidentes das fontes utilizadas e inexistência de falhas nas séries.

Dois cenários foram propostos, o primeiro utilizando os dados da estação pluviométrica, e o segundo utilizando os dados do satélite TRMM, mantendo os dados de vazão e de evapotranspiração. Dessa forma, a calibração foi influenciada apenas pela precipitação. O intervalo de tempo da simulação foi diário.

Na etapa de calibração, inicialmente, foi utilizado o método de calibração automática, com as funções objetivo desvio padrão das inversas das vazões (RMSEI) e o coeficiente de Nash-Sutcliffe (CNS), pois a combinação entre estas funções objetivo valorizam as vazões mínimas e máximas, respectivamente (Tucci, 2005). Após, foi realizado o ajuste manual, com o propósito de encontrar valores confiáveis e concordantes com a realidade da bacia. Por fim, ainda com a calibração manual, verificou-se as funções CNS e RMSEI, as quais dão suporte para a discussão dos resultados deste trabalho.

A comparação entre as simulações dos dois cenários foi realizada através da análise gráfica dos hidrogramas, curvas de permanências geradas e pelas estatísticas definidas. Após a calibração, realizou-se, em outro período, a validação do modelo, utilizando as mesmas análises para avaliar se os resultados obtidos são similares à calibração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi realizada uma análise comparativa entre os dados diários, mensais e anuais de precipitação da estação pluviométrica e do satélite TRMM, resultando no coeficiente de

correlação para dados mensais e anuais superiores a 0,85, demonstrando uma correlação forte, enquanto o coeficiente de determinação apresentou valores maiores que 0,75, também satisfatório. Já o encontrado para dados diários não proporcionou bons resultados (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise entre as medições do pluviômetro e estimativas do TRMM

	Período	R	R ²
Anual	2000-2004	0,91	0,83
	2011-2014	0,90	0,82
Mensal	2000-2004	0,92	0,85
	2011-2014	0,86	0,75
Diário	2000-2004	0,24	0,05
	2011-2014	0,42	0,18

Ochoa-Sánchez *et al.* (2014) encontraram melhores resultados à medida que os dados diários foram agregados em semanas e meses, Bernardi (2016) nas séries acumuladas em 15 e 30 dias, enquanto Massagli *et al.* (2011) constataram que as estimativas realizadas para períodos superiores a dez dias apresentavam a maior correlação com os dados observados em solo. Estes trabalhos vão de acordo com os resultados aqui apresentados, com boa correlação entre dados mensais e anuais.

Após a análise dos dados e a verificação de que os dados mensais e anuais possuem concordância, iniciou-se a simulação no modelo WIN_IPH2, em escala diária. A Tabela 2 demonstra a faixa de valores utilizados para cada parâmetro e os valores obtidos na simulação diária com o pluviômetro e o satélite TRMM.

Tabela 2 – Parâmetros do IPH2 otimizados

Parâmetros	Faixa de variação	Pluviômetro	TRMM
I ₀ (mm.dia ⁻¹)	100-250	130	168.61
I _b (mm.dia ⁻¹)	0,1-10	3	5
H (adim)	0.01-0.99	0,2	0.12
K _s (dia)	0.01-10	8	9.9
K _{sub} (dia)	5-30	10	8
R _{max}	0-9	8	8.99
Alfa (adim)	0.01-20	0,01	0.01

I₀: capacidade de infiltração inicial; I_b: capacidade de infiltração quando o solo está saturado; H: parâmetro de decaimento da infiltração no solo; K_s: parâmetro de propagação do escoamento superficial; K_{sub}: parâmetro de propagação do escoamento subterrâneo; R_{max}: capacidade máxima do reservatório de interceptação; Alfa: parâmetro que afeta a separação do escoamento quando a equação de Horton não pode ser aplicada.

Os hidrogramas gerados para o período de calibração estão representados na Figura 2, onde se observa o melhor ajuste para vazões máximas em ambos os cenários. Além disso, é possível identificar que alguns picos da vazão observada não foram simulados, o que indica que as chuvas podem não ser representativas da bacia, possivelmente porque o período em que se observam os

piores ajustes ocorre durante a predominância de chuvas convectivas. O período de validação não apresentou bom ajuste em nenhum dos cenários (Figura 3).

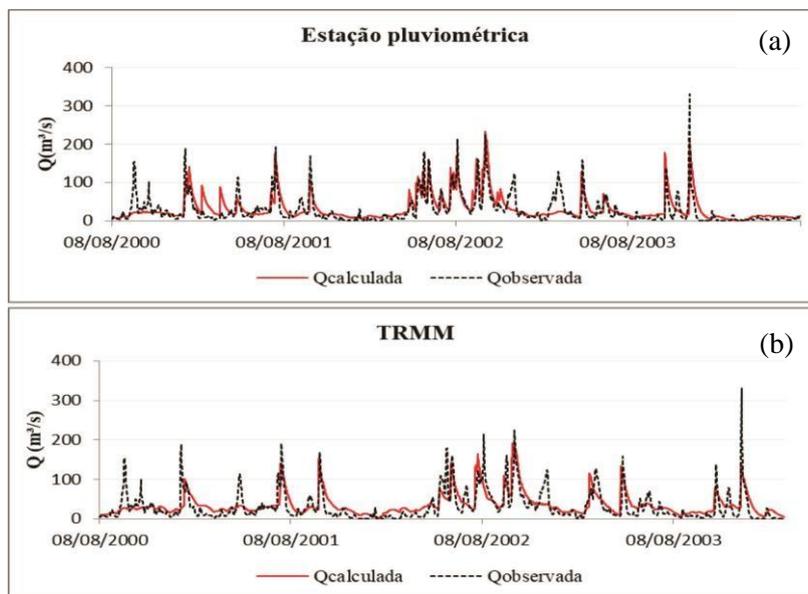


Figura 2 – Hidrograma no período de calibração com dados da (a) estação pluviométrica e (b) satélite TRMM

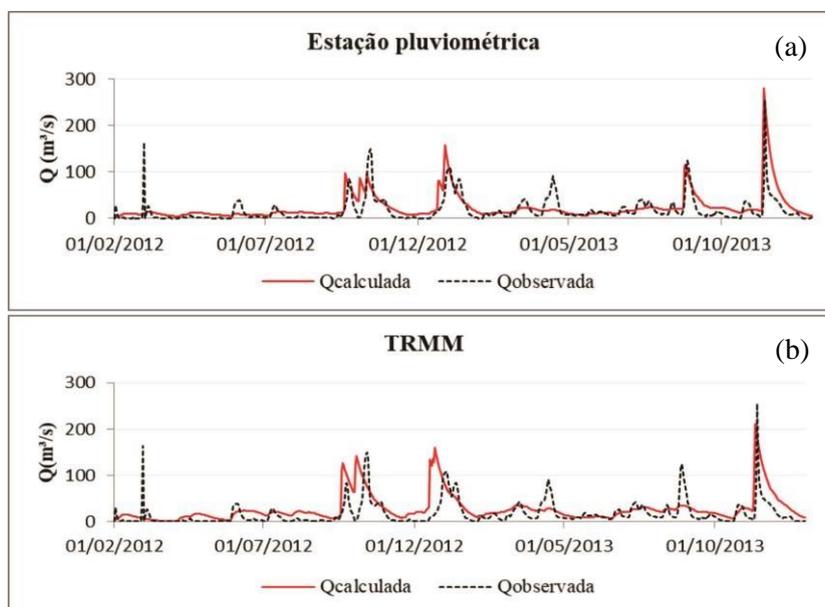


Figura 3 – Hidrograma no período de validação com dados da (a) estação pluviométrica e (b) satélite TRMM

Os resultados dos CNS e RMSEI são apresentados na Tabela 3, tanto para o período de calibração quanto de validação do modelo, onde se percebe que no período de calibração todos os resultados foram satisfatórios com $CNS > 0,5$ e RMSEI próximo de zero. No período de validação os resultados não foram satisfatórios.

Tabela 3 - Resultados das funções objetivo

Medição	CNS		RMSEI	
	Calibração	Validação	Calibração	Validação
Pluviômetro	0,54	0,26	0,52	1,14
TRMM	0,53	-0,24	0,52	1,13

As curvas de permanência, na calibração, representaram bem as vazões mais altas, e, apesar da escolha de combinar duas funções objetivo, as vazões mínimas foram superestimadas pelo modelo (Figura 4). Enquanto no período de validação, é possível observar o mesmo comportamento, com o modelo superestimando as vazões (Figura 5).

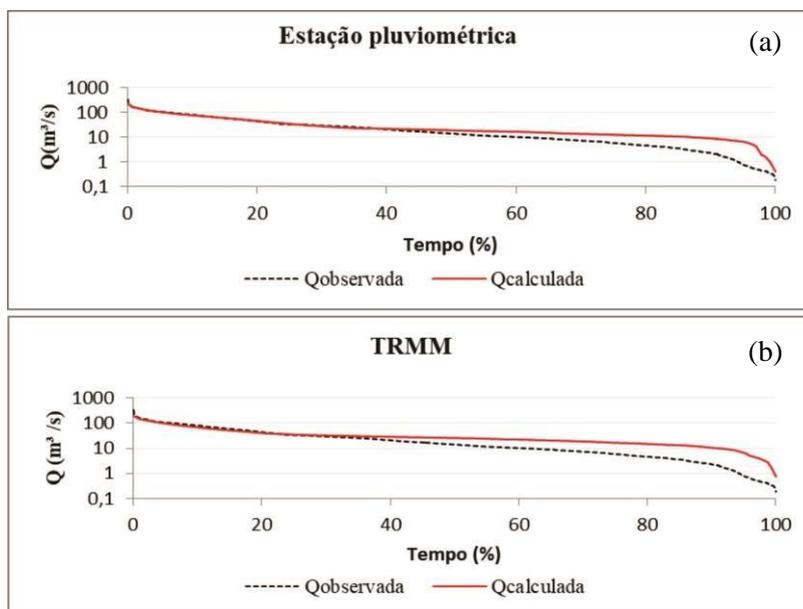


Figura 4 – Curva de permanência no período de calibração com dados da (a) estação pluviométrica e (b) satélite TRMM

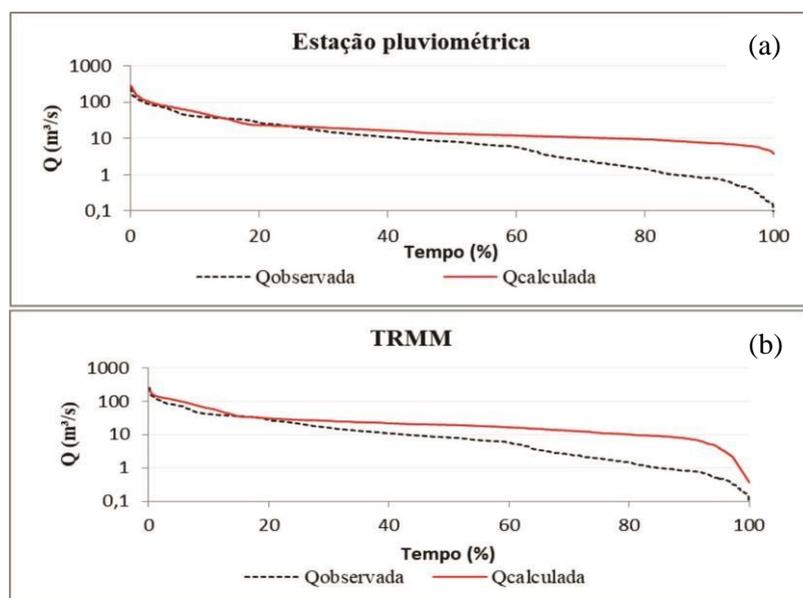


Figura 5 – Curva de permanência no período de validação com dados da (a) estação pluviométrica e (b) satélite TRMM

Apesar da superestimativa das vazões mínimas é possível notar que o modelo se adequa para previsão de cheias. As estimativas de precipitação por satélite demonstraram que são satisfatórias para a previsão de enchentes e que podem auxiliar em sistemas de alerta quando se tem poucos dados medidos em solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram comparados os dados do produto 3B42 do satélite TRMM a uma estação pluviométrica localizada nas proximidades da bacia do Rio Vacacaí-Mirim, em escala anual, mensal e diária. Posteriormente, os dados diários foram aplicados a um modelo chuva-vazão.

As análises dos coeficientes de correlação e determinação para acumulados mensais e anuais demonstraram resultados confiáveis, diferentemente dos dados diários. Ainda assim, os dados diários foram calibrados no WIN_IPH2 e apresentaram resultados satisfatórios para vazões máximas, tanto para o cenário da estação pluviométrica quanto do TRMM, porém, no período de validação não foram bem representados em ambos os cenários.

Para o cenário do TRMM este fato pode ser explicado pela escala de tempo utilizada, Collischonn (2006) e Paula (2015) já haviam constatado a antecipação da estimativa do satélite em relação aos dados coletados em solo. Quanto ao cenário da estação pluviométrica, não há garantia de que estes dados estejam corretos e, principalmente, podem não representar as chuvas da bacia do Rio Vacacaí-Mirim.

Além disso, cabe ressaltar que os dados do TRMM são estimativas, e que foram consideradas chuvas uniformes de uma leitura até a realização da leitura posterior. Mas, possivelmente, a calibração de um modelo chuva-vazão em escala mensal trará melhores resultados, já que os resultados aqui obtidos demonstraram que as estimativas são mais concordantes com as leituras em solo com escala superior a diária.

Os dados de precipitação estimados pelo TRMM para períodos mensais e anuais podem ser uma alternativa para locais com escassez de dados observados em solo, como é o caso da bacia do Rio Vacacaí-Mirim.

AGRADECIMENTOS - O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. *Sistema de Monitoramento Agrometeorológico*. Disponível em <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/>>

ALMEIDA, K. N. (2017). “*Análise de Desempenho do Satélite TRMM na Estimativa de Precipitação Sobre a Região Hidrográfica do Rio Itapemirim*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 125f.

ANA. Agência Nacional de Águas. *Sistema de Informações Hidrológicas*. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>>

BERNARDI, E. C. S.(2016). “*Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado do Rio Grande do Sul*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 166 p.

CASAGRANDE, L. (2004). “*Avaliação do parâmetro de propagação de Sedimentos do modelo de Williams (1975) na bacia do rio Vacacai-Mirim com o auxílio de técnicas de geoprocessamento*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 242 p.

COLLISCHONN, B. (2006). “*Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído*”. Dissertação (Mestrado em Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 193 p.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2007). “*Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior*”. Revista Brasileira de Cartografia, v. 59, n. 1, pp. 93-99.

COSTA, E. S.; PINHEIRO, D. K. (2012). “*Imagens de satélites no auxílio da educação ambiental: O estudo da Sub-Bacia do Rio Vacacai-Mirim com alunos da Escola Estadual Professora Margarida Lopes*”. Revista Monografias Ambientais, v. 6, n. 6, pp. 1405-1413.

FENSTERSEIFER, C., ALLASIA, D. G., & PAZ, A. R. (2016). “*Assessment of the TRMM 3B42 precipitation product in southern Brazil*”. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, v. 52, n. 2, pp. 367-375.

GOOGLE EARTH ENGINE. *Earth Engine Code Editor* Disponível em: < <https://code.earthengine.google.com/>>

KEMERICH, P. D. C. (2013). “*Análise ambiental em áreas de infiltração máxima de água na bacia hidrográfica do rio Vacacai-Mirim-RS*”. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,SC, 267 p.

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

LOUZADA, F. L. R. de O. (2016). “*Balanço hídrico climatológico com dados estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission para a bacia hidrográfica do Rio Doce*”. Dissertação (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre,ES, 168 p.

MASSAGLI, G. O.; VICTORIA, D. de C.; ANDRADE, R. G. (2011). “*Comparação entre precipitação medida em estações pluviométricas e estimada pelo satélite TRMM*”. In anais do 5º Congresso interinstitucional de iniciação científica, Campinas, 2011, 5, pp. 1-8.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. de. (2011). “Atlas Climático: Rio Grande do Sul”. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.cemet.rs.gov.br/conteudo/4731/?Refer%C3%Aancia>>

MORAES, B. C. de; COSTA, J. M. N.de; COSTA, A. C. L. da; COSTA, M. H. (2005). “Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará”. Acta Amazon, v. 35, n. 2, pp. 207-214.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. *TRMM Data Downloads*. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm>>

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P. de; SOUSA, F. de A. S. (2008a). “Análise da utilização de dados do satélite TRMM em um modelo hidrológico semidistribuído na bacia do rio Jamari (RO)”. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 1, n. 1, pp. 47-61.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. (2008b). “Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental”. Revista de Geografia, v. 25, n. 1, pp. 06-20.

OCHOA-SÁNCHEZ, A. E. *et al.* (2014). “Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific-Andean region of Ecuador and Peru”. Hydrology and Earth System Sciences, v. 18, p. 3179-3193.

PAIVA, R. C. D.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. (2006). “Estimativa das vazões naturais nas subbacias do Vacacaí Mirim através de modelo simplificado”. In anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba, 2006, 1, pp. 1-18.

PAULA, S. C. de. (2015). “Precipitação estimada por satélite para uso em modelo concentrado chuva-vazão aplicado em diferentes escalas de bacias”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 168 p.

SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R. P.; PICCILLI, D. G. A. (2016). “Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21 n. 2 pp. 288 – 299.

STRECK, E. V. *et al.* (2008). *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS: EMATER/RS-ASCAR, 222p.

TUCCI, C. E. M. (2005). *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 678 p.