

## Google Earth Engine aplicado ao mapeamento pluviométrico no Triângulo Sul Mineiro (Brasil)

*Google Earth Engine applied to rainfall mapping in Triângulo Sul Mineiro – Brazil*

### Daniela Fernanda da Silva Fuzzo

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)  
Cidade das Águas, Frutal - MG, Brasil  
daniela.fuzzo@uemg.br

 ORCID: 0000-0003-0442-5578

### Letícia Ferreira da Silva

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)  
Cidade das Águas, Frutal - MG, Brasil  
leticia.1093292@discente.uemg.br

 ORCID: 0000-0003-0697-1660

### João Alberto Fischer Filho

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)  
Cidade das Águas, Frutal - MG, Brasil  
joao.fischer@uemg.br

 ORCID: 0000-0001-8787-1631

### Informação sobre o item

**Recibido:** 30/06/2022

**Revisado:** 05/02/2023

**Aceptado:** 22/06/2023

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/at.23.7282

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).  
Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

### RESUMO

Estimativas de precipitação por satélite têm sido propostas em vários trabalhos científicos, contribuindo como uma ferramenta importante para a consistência dos dados, além de diferentes aplicações de inovação refere-se à automação das tarefas, isso proporciona precisão e maior qualidade à própria base de dados. Os objetivos foram avaliar a espacialização da precipitação e a plataforma Google Earth Engine (GEE) no contexto de análise de dados. Foram analisadas a distribuição espacial da precipitação pelo satélite TRMM. Foi possível constatar a variação das chuvas, e verificou-se que a condição de ano seco habitual e chuvoso não se refere essencialmente à altura pluviométrica anual, mas à distribuição das chuvas no decorrer dos meses e a delimitação dos períodos (sazonalidade). Essas estimativas, quando comparadas com valores pontuais, mostram que podem fornecer boa noção da distribuição espacial das chuvas, confirmando que o satélite pode ser utilizado como fonte alternativa de informações sobre a escassez de dados de estações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Clima, Variabilidade, Dados Remotos, Plataforma on-line.

### ABSTRACT

Satellite precipitation estimates have been proposed in several scientific works, contributing as an important tool for data consistency, in addition to different applications of innovation, it refers to the automation of tasks, this provides precision and greater quality to the database itself. The objectives were to evaluate the spatialization of precipitation and the Google Earth Engine platform in the context of data analysis. The spatial distribution of precipitation by the TRMM satellite was analyzed. It was possible to verify the variation of the rains, and it was verified that the condition of the usual dry and rainy year does not refer essentially to the annual rainfall, but to the distribution of rains over the months and the delimitation of the periods (seasonality). These estimates, when compared with point values, show that they can provide a good idea of the spatial distribution of rainfall, confirming that the satellite can be used as an alternative source of information about the scarcity of station data.

**KEYWORDS:** Weather, Variability, Remote Data, Online Platform.

## *Google Earth Engine aplicado al mapeo de precipitaciones en Triângulo Sul Mineiro – Brasil*

### RESUMEN

Las estimaciones satelitales de precipitación han sido propuestas en varios trabajos científicos, contribuyendo como una herramienta importante para la consistencia de los datos, además de diferentes aplicaciones de la innovación, se refiere a la automatización de tareas, esto brinda precisión y mayor calidad a la propia base de datos. Los objetivos fueron evaluar la espacialización de la precipitación y la plataforma de Google Earth Engine en el contexto del análisis de datos. Se analizó la distribución espacial de la precipitación por el satélite TRMM. Se pudo verificar la variación de las lluvias, y se comprobó que la condición de año seco y lluvioso habitual no se refiere esencialmente a la precipitación anual, sino a la distribución de las lluvias a lo largo de los meses y la delimitación de los períodos (estacionalidad). Estas estimaciones, cuando se comparan con los valores puntuales, muestran que pueden proporcionar una buena idea de la distribución espacial de la lluvia, lo que confirma que el satélite se puede utilizar como una fuente alternativa de información sobre la escasez de datos de la estación.

**PALABRAS CLAVE:** Clima, Variabilidad, Datos Remotos, Plataforma on-line.

## *Google Earth Engine appliqué à la cartographie des précipitations dans Triângulo Sul Mineiro – Brésil*

### RÉSUMÉ

Les estimations de précipitations par satellite ont été proposées dans plusieurs travaux scientifiques, contribuant comme un outil important pour la cohérence des données, en plus de différentes applications de l'innovation, elles se réfèrent à l'automatisation des tâches, cela apporte une précision et une plus grande qualité à la base de données elle-même. Les objectifs étaient d'évaluer la spatialisation des précipitations et de la plateforme Google Earth Engine

dans le cadre de l'analyse des données. La distribution spatiale des précipitations par le satellite TRMM a été analysée. Il a été possible de vérifier la variation des pluies, et il a été vérifié que la condition de l'année sèche et pluvieuse habituelle ne se réfère pas essentiellement à la pluviométrie annuelle, mais à la répartition des pluies sur les mois et à la délimitation des périodes (saisonnalité). Ces estimations, comparées à des valeurs ponctuelles, montrent qu'elles peuvent fournir une bonne idée de la répartition spatiale des précipitations, confirmant que le satellite peut être utilisé comme une source alternative d'information sur la rareté des données des stations.

**MOTS CLÉ:** Météo, Variabilité, Données distantes, Plateforme on-line.

## *Google Earth Engine applicato alla mappatura delle precipitazioni a Triângulo Sul Mineiro – Brasile*

### SOMMARIO

Le stime delle precipitazioni satellitari sono state proposte in diversi lavori scientifici, contribuendo come strumento importante per la coerenza dei dati, oltre a diverse applicazioni di innovazione, si riferisce all'automazione dei compiti, ciò fornisce precisione e maggiore qualità al database stesso. Gli obiettivi erano valutare la spazializzazione delle precipitazioni e la piattaforma Google Earth Engine nel contesto dell'analisi dei dati. È stata analizzata la distribuzione spaziale delle precipitazioni del satellite TRMM. È stato possibile verificare la variazione delle piogge, ed è stato verificato che la condizione dell'abituale anno secco e piovoso non si riferisce essenzialmente alla piovosità annuale, ma alla distribuzione delle piogge nei mesi e alla delimitazione dei periodi (stagionalità). Queste stime, se confrontate con valori puntuali, mostrano che possono fornire una buona idea della distribuzione spaziale delle precipitazioni, confermando che il satellite può essere utilizzato come fonte alternativa di informazioni sulla scarsità dei dati delle stazioni.

**PAROLE CHIAVE:** clima, variabilità, dati remoti, piattaforma online.

## Introdução

A estimativa da chuva mais próxima do real é fundamental para a avaliação do manejo de culturas, dos rendimentos dos recursos hídricos, do monitoramento de enchentes e das secas. Excesso de chuva provoca inundações e perda de bens e vidas. A ausência prolongada de chuvas leva à secas, que afetam diretamente as colheitas e os limites de consumo humano. As estações meteorológicas convencionais fornecem registros pontuais, frequentemente sujeitos a falhas que limitam o uso dessas informações. Além disso, tais registros contribuem com a baixa densidade de pluviômetros, a longa distância e a distribuição irregular das estações, não permitindo, devido ao seu caráter pontual, capturar a variabilidade espacial da precipitação pluvial. Desse modo, gera-se incertezas nos resultados de diversos estudos aplicados no país.

Em meio ao cenário de mudanças globais, monitorar o clima de uma determinada região, é essencial na rotina do gestor, pois essas informações fazem diferença na tomada de decisão, na otimização do planejamento geral, na gestão socioambiental, na redução de riscos na colheita e na melhoria da qualidade do produto. Além de ter caráter multidisciplinar, pode reunir conhecimentos de diversas áreas do conhecimento, envolvendo relações entre o ambiente físico e os processos biológicos relacionados às atividades agrícolas<sup>1</sup>.

As técnicas de sensoriamento remoto por meio de sensores espaciais proporcionam um excelente complemento para o monitoramento contínuo de evento de chuva tanto espacial quanto temporal. Com a baixa densidade de estações meteorológicas, estudos voltados ao sensoriamento remoto têm demonstrado ser uma ferramenta extremamente útil a utilização desses dados estimados por satélite<sup>2</sup>.

Nos últimos anos observou-se considerável crescimento na utilização de sensoriamento remoto para estimativa de precipitação pluvial, aumentando assim a quantidade de informações meteorológicas disponíveis para uma determinada região. Diversos estudos demonstram a boa acurácia das estimativas de precipitação com dados oriundos do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), por meio do sensor PR (Precipitation Radar)<sup>3</sup>.

## Aplicações das Geotecnologias na análise climatológica

A utilização do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) já consolidou seu desempenho no levantamento de dados de precipitação pluvial. E alguns trabalhos reforçam a sua boa acurácia nas estimativas do TRMM, entre eles<sup>4</sup>: avaliaram os Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil entre o período de 1998 e 2011. Os autores verificaram que os dados de precipitação mensal estimada pelo TRMM e por 183 estações espalhadas por todo o Brasil apresentou uma concordância de aproximadamente 97%. Porém, notou-se valores de 9%, 8%, 6%, 13% e 9% maiores que os das redes de estações meteorológicas do INMET/CPTEC para a região Centro-Oeste, Sul, Norte, Sudeste e Nordeste. Contudo, os 13 anos de dados observados do TRMM apresentam uma boa concordância entre os padrões espaciais de precipitação anual. Como resultado da validação dos dados de precipitação pelo TRMM, para o estado do Paraná, observaram que o satélite estimou de maneira satisfatória a precipitação pluvial em relação às estações meteorológicas convencionais do SIMEPAR, concluindo que, na ausência de informação de superfície, os dados obtidos pelo satélite TRMM se mostraram eficientes<sup>5</sup>.

O TRMM foi um satélite lançado em 27 de novembro de 1997, advindo de um consórcio entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA), agência espacial americana, e a Japan Exploration Aerospace Agency (JAXA), agência espacial japonesa. O mesmo foi lançado com o objetivo de monitorar, verificar e subsidiar os estudos quanto à influência da precipitação nos trópicos e sobre o clima global<sup>6</sup>. A missão saiu de órbita em 08 de abril de 2015.

Dentre os produtos gerados das estimativas do satélite TRMM, o presente estudo utilizou o “TRMM 3B42: 3-Hourly Precipitation Estimates (3B42)” que combina as estimativas de alta qualidade / IR fundidas de 3 horas (3B42) com a precipitação global acumulada mensal. Esse produto possui a resolução temporal de 3 horas e a resolução espacial é de 0,25 x 0,25 graus. Os instrumentos do TRMM são: imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da

<sup>1</sup> Bambini et al., 2014. Templeton et al., 2014.

<sup>2</sup> Silva-Fuzzo; Praela-Pantano; Camargo, 2015.

<sup>3</sup> Rodrigues et al., 2022. Leivas et al., 2014. Bardin-Camparotto et al., 2013. As-Syakur et al., 2011. Karaseva; Prakash; Gairola, 2011.

<sup>4</sup> Pereira et al., 2013.

<sup>5</sup> Silva-Fuzzo; Rocha, 2016.

<sup>6</sup> Berg; Kummerow; Morales, 2002.

superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor de imageamento de relâmpagos (LIS).

Ao avaliarem as estimativas de chuva do satélite TRMM no estado da Paraíba<sup>7</sup>, obtiveram como resultado, o satélite reproduziu de maneira geral o padrão espaço-temporal do regime de chuvas. Os autores observaram que houve áreas de maior concordância e áreas de menor concordância entre as medições pluviométricas e o TRMM. Com o aumento do período de tempo de acumulação, aumentou-se a concordância entre as estimativas. Para os autores, a análise pontual se faz necessária no diagnóstico específico do desempenho das estimativas do TRMM.

No passado, antes da utilização do sensoriamento remoto, o único modo à disposição era o levantamento no solo, porém, esse método tem por característica ser oneroso, não apresentar dados momentâneos e com falhas e os resultados em alguns casos podem ser imprecisos. Por outro lado, com o sensoriamento remoto, é possível fazer um registro histórico das informações coletadas<sup>8</sup>. Além do mais, com o avanço das tecnologias e com a disponibilidade dos Sistemas de Informações Geográficas e dos satélites há a possibilidade de processar, analisar e adquirir os dados confiáveis de forma mais rápida<sup>9</sup>.

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma em nuvem que foi desenvolvida para processar e armazenar grandes coleções de dados. Os arquivos de dados presentes na plataforma incluem dados que se baseiam nos Sistemas de Informação Geográficas e entre eles os dados meteorológicos e climáticos<sup>10</sup>.

A plataforma Google Earth Engine possui um catálogo com um vasto repertório de dados geoespaciais e o acervo de vários satélites, entre eles os de tempo e clima. Os dados são pré-processados e prontos para o uso. A linguagem de programação empregada é a Java Scripts. O GEE possui uma interface de desenvolvimento, onde os usuários manipulam os scripts<sup>11</sup>. Com o ambiente propício para dados inerativos e desenvolvimento de algoritmos, o usuário tem a possibilidade de inserir seus próprios dados e coleção, com o auxílio do recurso de nuvem do Google para executar o processo<sup>12</sup>.

A plataforma também se mostra capaz ao rodar a biblioteca de outros satélites, como no estudo realizado por que apresentaram um caso na área da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, contribuindo com as funcionalidades do Google Earth Engine e de como a plataforma pode auxiliar na análise de dados em recursos hídricos<sup>13</sup>. Houveram resultados satisfatórios utilizando a ferramenta Google Earth Engine a favor da cafeicultura no Sul de Minas Gerais<sup>14</sup>. Os autores realizaram mapeamento de áreas cafeeiras e índices de vegetação com o satélite Sentinel-2 MSI e o Landsat 8 TOA – Tier 2 e concluíram que a utilização de machine learning e a computação de alta performance trazem novas perspectivas para o setor agrícola.

O município de Frutal possui a maior população na sua microrregião e atualmente possui a sexagésima segunda maior população do estado de Minas Gerais, Brasil. A Microrregião possui uma extensão territorial de 16.840 km<sup>2</sup> e está localizada no estado de Minas Gerais, especificamente na região oeste da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Dadas as dimensões territoriais da área estudada, faz-se necessária uma grande densidade de estações meteorológicas ou sensores de pluviométricos para representar com precisão a distribuição da chuva na região, entretanto, em países em desenvolvimento e com grandes extensões territoriais, como o caso do Brasil, há dificuldade de abranger toda área de forma representativa.

O único município pertencente a essa região que conta com uma estação meteorológica, com dados disponíveis gratuitamente, está localizado no município de Campina Verde, e é fato que o monitoramento climatológico apenas com uma estação não é capaz de fazer toda a cobertura para uma região com essa extensão territorial, sendo que sua área de abrangência é de aproximadamente 25 km de raio em torno da sua área<sup>15</sup>. Em função disso, justifica-se que a utilização da informação remota vem contribuir para os técnicos que atuam no setor primário, bem como toda a cadeia produtiva, na realização dos planejamentos necessários para minimizar perdas, ainda mais devido a grande variedade de produtos de sensoriamento remoto em estimativa de chuva que estão disponíveis em resoluções espaciais e temporais mais detalhadas.

<sup>7</sup> Soares; Paz; Piccili, 2016.

<sup>8</sup> Sazib; Mladenova; Bolten, 2018.

<sup>9</sup> Gaida et al., 2020.

<sup>10</sup> Mutanga; Kumar, 2019.

<sup>11</sup> Gorelick et al., 2017.

<sup>12</sup> Mutanga; Kumar, 2019.

<sup>13</sup> Mota et al., 2020.

<sup>14</sup> Souza et al., 2019.

<sup>15</sup> Alencar et al., 2016.

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi verificar o desempenho das estimativas produzidas pela missão TRMM para a microrregião de Frutal - MG, no período de 2000 a 2019 e as funcionalidades da plataforma Google Earth Engine.

## Material e Métodos

A área de estudo é a microrregião de Frutal - Brasil (Figura 1), que possui uma extensão territorial de 16.840 km<sup>2</sup> e está localizada no estado de Minas Gerais, a oeste da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. A região possui uma população estimada em 179.525 habitantes, distribuída em doze cidades, sendo elas: Limeira do Oeste, União de Minas, Campina Verde, Carneirinho, Iturama, São Francisco de Sales, Itapagipe, Comendador Gomes, Frutal, Fronteira, Pirajuba e Planura (IBGE, 2018).

O clima da região é o tropical, caracterizado pela alternância de estações úmidas e secas, com precipitação média anual de 1.550 milímetros e a temperatura média anual de 22°C<sup>16</sup>. Os solos predominantes são

representados por Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo<sup>17</sup>.

As imagens utilizadas foram do produto 3b42 do satélite TRMM de precipitação durante o intervalo de tempo: janeiro de 2000 até dezembro de 2019. Foi desenvolvido o script para analisar e processar os dados via plataforma online GEE (Google Earth Engine) e SIG (sistema de Informação Geográfica) para realização do layout final. A plataforma GEE consiste num catálogo de dados, na ordem dos multipetabyte, que estão ecocalizados com o serviço de computação paralela<sup>18</sup>. A razão da espacialização é para que as informações obtidas consigam ser usadas para análise da variação ao longo do terreno. A alteração dos seus parâmetros foi realizada por meio da comparação visual nos mapas temáticos gerados para o produto utilizado e para facilitar esta visualização, no SIG, os mapas foram reclassificados (Re-class) em classes de mm de precipitação.

Esse serviço contém várias bibliotecas e permite o processamento desses dados nos seus próprios servidores, garantindo assim dois aspectos que são relevantes para o trabalho em detecção remota - a visualização de dados em grande quantidade, e o processamento desses

Figura 1. Localização da Área de Estudo



<sup>16</sup> Rosa et al., 1991.

<sup>17</sup> Brito, 2001.

<sup>18</sup> Gorelick et al., 2017.

dados com muito maior celeridade que teríamos a processar localmente. O acesso ao Google Earth Engine (GEE) é feito através do browser, onde funciona com base numa interface para aplicação de programação (API – Application Programming Interface). Paralelamente, pode também funcionar com base num ambiente de desenvolvimento interativo (IDE). A versão usada para este estudo – a API – recorre a linguagem de programação JavaScript, e disponibiliza uma biblioteca de operadores que auxiliam o utilizador a gerir, processar e analisar os dados disponibilizados pela biblioteca pública de dados<sup>19</sup>.

Foram obtidos os produtos de interesse para o estudo no GEE, via biblioteca digital dos dados do TRMM, obtiveram-se inicialmente os dados completos: neste caso, todos os dados desde janeiro de 2000 a dezembro de 2019, com cobertura global. Isso torna necessário selecionar os dados, inclusive limitá-los para a região,

o que foi feito por meio da criação de um shapefile da área de estudo mencionado anteriormente. Posteriormente, foi desenvolvido um script, na própria plataforma, que possibilitou o agrupamento e análise dos dados a nível mensal.

A geração dos mapas temáticos foi realizada por meio de técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG, utilizando o *software* livre QGIS 3.0.

## Resultado e Discussão

A distribuição sazonal das chuvas acumulada por pixel é apresentada na Tabela 1, observa-se que os meses de verão foram destacados com os mais chuvosos e os de inverno com valores menores. Valores discrepantes são identificados, como como o mês de janeiro de 2014 com 40 mm e janeiro de 2009 com 36 mm de chuva acumulada.

Tabela 1. Distribuição sazonal das chuvas acumuladas por pixel

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Acum Anual
<b>2000</b>	117,1	135,7	97,5	17,2	3,9	2,1	8,9	16,7	42,3	13,8	80,7	98,6	634,1
<b>2001</b>	57,3	53,7	71,4	14,3	37,9	4,4	2,2	16,1	25,9	54,8	81,4	116,9	536,9
<b>2002</b>	117,4	107,7	46,3	2,3	22,9	0,0	9,1	6,9	24,7	16,8	65,6	84,1	504,4
<b>2003</b>	183,7	65,4	106,1	60,8	17,6	4,1	1,2	7,2	11,6	25,6	52,4	74,3	610,6
<b>2004</b>	92,3	82,4	43,0	55,7	41,0	17,7	11,0	1,1	2,4	48,1	60,5	133,8	590,4
<b>2005</b>	151,3	21,1	98	17,6	36,6	15,4	13,5	3,4	37,3	41,1	72,9	106,7	614,8
<b>2006</b>	103,5	147,5	74,8	46,7	15,4	6,8	1,4	11,0	25,6	74,9	74,8	109,8	692,2
<b>2007</b>	196,1	92,4	56,1	31,3	31,4	7,5	23,6	0,0	4,6	35,3	54,8	74,0	607,8
<b>2008</b>	135,8	111,7	102,5	51,0	22,0	4,1	0,1	10,9	4,8	45,1	66,9	130,4	685,6
<b>2009</b>	114,6	96,5	114,9	42,4	25,3	12,0	8,2	22,0	88,6	60,2	63,2	175,9	824,3
<b>2010</b>	156,7	71,2	90,1	46,3	6,7	7,0	0,8	0,2	25,8	63,4	53,2	69,7	591,6
<b>2011</b>	116,2	98,8	226,4	36,7	8,2	24,5	3,3	3,6	8,7	66,8	60,6	100,3	754,4
<b>2012</b>	138,5	74,1	64,8	42,7	21,2	47,1	3,4	0,3	40,9	22,9	77,7	90,5	624,7
<b>2013</b>	101,0	71,3	106,3	47,3	43,7	32,3	8,4	0,7	19,0	34,8	64,	60,4	590,2
<b>2014</b>	40,4	73,3	110,8	28,9	13,9	2,4	39,9	0,0	33,1	20,2	102,3	72,2	538,5
<b>2015</b>	54,6	104,5	96,8	36,2	52,4	5,9	16,9	4,8	41,4	39,7	75,8	86,8	615,6
<b>2016</b>	146,2	90,6	69,5	12,7	41,5	25,2	0,3	16,3	10,2	56,5	98,7	90,0	658,1
<b>2017</b>	120,0	59,2	73,2	44,3	44,2	0,8	0,0	9,0	5,6	42,7	113,1	84,1	596,8
<b>2018</b>	109,9	68,0	39,1	27,7	7,1	0,5	0,0	18,3	36,6	75,5	102,8	56,5	542,5
<b>2019</b>	36,0	104,6	66,7	64,8	16,2	1,1	2,9	12,7	22,0	40,9	61,4	93,7	523,4
<b>Média Mensal</b>	114,3	86,5	87,7	36,3	25,5	11,0	7,8	8,1	25,6	44,0	74,1	95,4	

<sup>19</sup> Silva, 2018.

do no pixel. Em contrapartida, o mês de janeiro de 2003 apresentou 180 mm.

Em relação aos dados observados e estimados pelo TRMM, diversos trabalhos têm relatado o bom desempenho na validação com os dados de estação de superfície, como que observaram altos valores de  $d$  de Willmott e correlação entre os valores<sup>20</sup>. A área de estudo do Triângulo Mineiro Sul, apresenta baixa densidade de estações de superfície, fazendo com que a região não tenha uma boa cobertura e espacialização dos dados de precipitação. Por esse motivo, quando realizada a comparação dos dados de estação convencional que correspondem a dados pontuais, esses podem não apresentar um bom ajuste, por se tratar de um dado pontual e um outro maior com pixel de aproximadamente  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  de área.

Utilizando dados de quatro estações meteorológicas e seis pluviômetros localizados na bacia do rio Jamari, no estado de Rondônia e comparando com os dados do algoritmo 3B42 do TRMM<sup>21</sup>, realizaram análise estatística com base no coeficiente de correlação entre as estações meteorológicas, postos pluviométricos e estimados pelo 3B42. Os resultados indicaram que o TRMM se correlaciona melhor com uma rede mais densa de pluviômetro, até mesmo do que as estações meteorológicas comparadas com os pluviômetros.

Para analisar a qualidade do uso do GEE na quantificação da pluviosidade da região, utilizou-se como exemplo o mês de janeiro, por caracterizar a estação de verão no Hemisfério Sul e ser o mês com maior pluviosidade (Figura 2). Ao considerar valores contrários, observa-se que para o ano de 2007 (Figura 2a), foram identificados os maiores acumulados de chuva, com valores próximos a 200 mm. Entre os anos 2007/2008 foi identificado o evento El Niño juntamente com o evento La Niña que de acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) foi de forte intensidade, o que pode ter provocado aumento de chuva para na região sudeste do Brasil<sup>22</sup>.

Em contraste, o menor acumulado de chuva para janeiro foi observado em 2014 (Figura 2b). O principal fator para a baixa pluviosidade foi a atuação de um intenso e persistente sistema de alta pressão atmosférica que prejudicou o transporte de umidade da Amazônia,

assim como a passagem e desenvolvimento dos principais sistemas causadores de chuva, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul e as frentes frias<sup>23</sup>, segundo os autores, esse sistema, denominado de bloqueio atmosférico, teve uma duração de 45 dias, fato que resulta extremamente raro.

Segundo, a região sudeste do Brasil passou por um de seus mais importantes períodos de seca<sup>24</sup>, com o estabelecimento de uma grave crise hídrica, com muitas questões e impactos sociais, os déficits mais expressivos de precipitação foram observados durante o verão 2013/2014 que foi classificado como excepcionalmente seco com término exageradamente adiantado da estação chuvosa em função da ausência de episódios de ZCAS, particularmente nos primeiros meses de 2014 e 2015. A combinação dos baixos índices pluviométricos, o grande crescimento da demanda de água e o ineficiente gerenciamento desse recurso têm gerado uma “crise hídrica” durante o ano 2014.

A região sudeste do Brasil sofreu durante os verões 2013/2014 e 2014/2015 importantes déficits de precipitação, resultando no estabelecimento de condições de seca e uma crítica crise de água com impactos em diversos setores da sociedade, incluindo o abastecimento humano, agricultura e a geração de energia hidroelétrica<sup>25</sup>.

Para o período de inverno no Hemisfério Sul e como o mais seco na região, destaca-se o mês de julho (Figura 3). Para exemplificar, foram apresentados os anos de 2017 e 2018 com os menores índices de pluviométrico.

Os anos de 2017 e 2018 foram caracterizados como secos, com valores de precipitação próximos a zero. Tal fato se deve à atuação da La Niña no período, o que provocou a falta de chuva e intensificação de veranicos na região Sul e Sudeste do Brasil. De forma semelhante, o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, da Universidade de São Paulo, identificou, no ano de 2017, o mês de julho como o mais seco para aquele ano, com apenas 2,2 mm de chuva. Os autores destacam ainda, que o mês de julho foi caracterizado como o 4º mais seco de uma série de mais de 80 anos<sup>26</sup>.

As várias bibliotecas de dados que o GEE disponibiliza resultam em uma única localização, dispensando

<sup>20</sup> Collischonn et al., 2007. Nóbrega; Souza; Sousa, 2008. Souza; Nóbrega; Galvêncio, 2008. Pereira et al., 2013.

<sup>21</sup> Nóbrega; Souza; Galvêncio, 2008.

<sup>22</sup> Soppa et al., 2011.

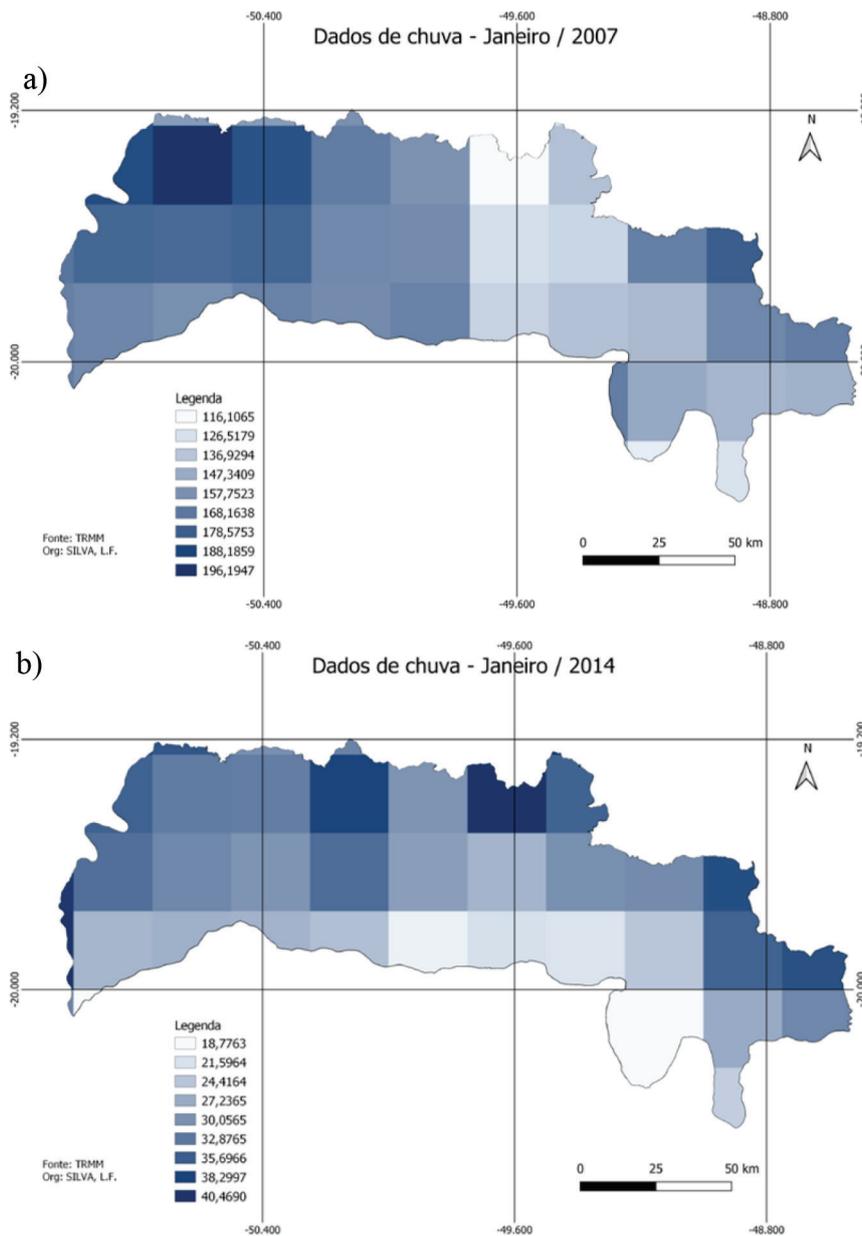
<sup>23</sup> Marengo et al., 2015.

<sup>24</sup> Coelho; Cardoso; Firpo, 2016.

<sup>25</sup> Santos et al., 2017.

<sup>26</sup> IAG/USP, 2017.

Figura 2. Precipitação para a região Sul do Triângulo Mineiro, referente a janeiro de 2007a e 2014b



ao utilizador recorrer a diferentes localizações para os diferentes tipos de dados que o seu trabalho possa requerer. Adicionalmente, todos esses dados estão armazenados nos seus próprios servidores, dispensando assim ao utilizador o uso do seu próprio espaço de armazenamento. Por fim, o poder computacional do GEE permite que um milhão de horas de CPU sejam calculáveis em dias<sup>27</sup>, facilitando o entendimento e análise dos dados climatológicos.

### Considerações finais

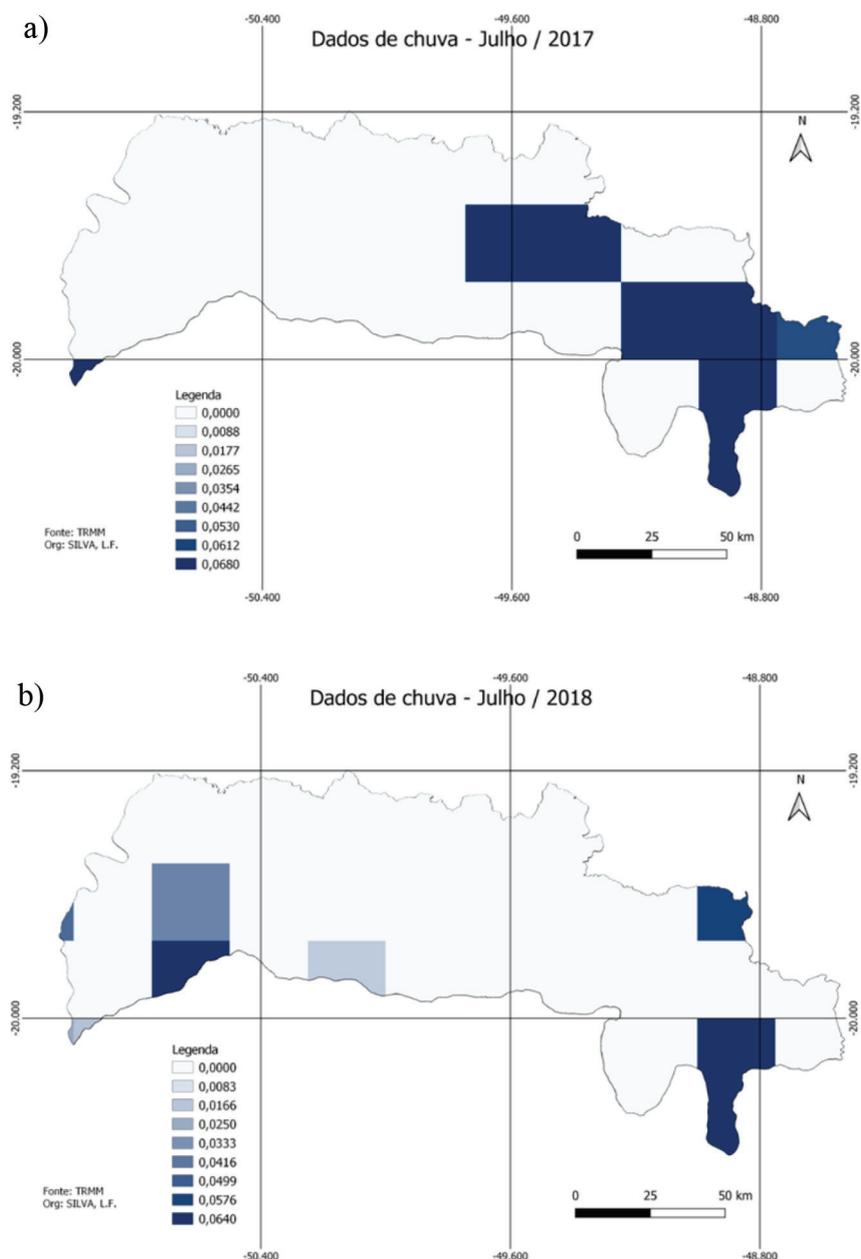
Para região sul do Triângulo Mineiro, Brasil, foram identificados períodos de estação chuvosa, com destaque ao mês de janeiro, e estação seca, especialmente o mês de julho.

Foram identificados eventos que provocaram anos com altos volumes de chuva, como em 2007 e 2014, e os anos de 2017 e 2018 com baixa precipitação pluviométrica.

O uso do Google Earth Engine possibilitou entender o comportamento e a distribuição da precipitação ao

<sup>27</sup> Gorelick et al., 2017.

Figura 3. Precipitação para a região Sul do Triângulo Mineiro, referente a julho de 2017a e 2018b



longo da série histórica analisada, e mostrou ser uma ferramenta útil na análise de dados climatológicos, em específico a precipitação, podendo ser um recurso quando não há dados de estações de superfície disponíveis.

### Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Bolsas de Produtividade em Pesquisa (PQ/UEMG) pela concessão de bolsas ao primeiro e terceiro autor.

### Referências Bibliográficas

Alencar, Junia R. A.; Romani, Luciana A. S.; Merlo, Tiago P.; Evangelista, Sílvio R. M.; Otavian, Adriano F. 2016: "Avaliação dos impactos do uso do sistema de monitoramento Agrometeorológico (Agritempo)". *Revista Política Agrícola*, 26 (1), 5-19,

As-Syakur, A. R.; Tanaka, T.; Prasetya, R.; Swardika, I. K.; Kasa, I. W. 2011: "Comparison of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) products and daily-monthly gauge data over Bali". *International Journal of Remote Sensing*, 32 (24), 8969-8982. <http://doi.org/10.1080/01431161.2010.531784>

- Bambini, Martha B.; Coltri, Priscila P.; Furtado, André T.; Zullo Junior, Jurandir.** 2014: "Collaborative innovation in agrometeorology: Coordination strategies to develop a monitoring IT system for Brazil". *Journal of Technology Management & Innovation*, 9 (1), 119-130. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242014000100010>
- Bardin-Camparotto, Ludmila; Blain, Gabriel C.; Giarolla, Angélica; Adami, Marcos; Camargo, Marcelo B.** 2013: "Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17 (6), 665-671. <http://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600013>
- Berg, Wesley; Kummerow, Christian; Morales, Carlos A.** 2002: "Differences between East and West Pacific Rainfall Systems". *Journal of Climate*, 15 (24), 3659- 3672, 2002. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<3659:DBEAWP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<3659:DBEAWP>2.0.CO;2)
- Brito, J. L. S.** 2001: *Adequação das potencialidades do uso da terra na Bacia do ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG): Ensaio de Geoprocessamento*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo: FFLCH, São Paulo (Brasil).
- Coelho, Caio A. S.; Cardoso, Denis H. F.; Firpo, Mári A. F.** 2016: "A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil". *Revista Climanalise*, 55-66.
- Collischonn, Bruno; Allasia, Daniel; Collischonn, Walter; Tucci, Carlos E. M.** 2007: "Desempenho do Satélite TRMM na Estimativa de Precipitação sobre a Bacia do Paraguai Superior". *Revista Brasileira de Cartografia*, 59 (1), 93-99.
- Gaida, William; Breunig, Fábio M.; Galvão, Lênio S.; Ponzoni, Flávio J.** 2020: "Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão". *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(1), 229-248. <https://doi.org/10.26848/rbgfv.13.1.p229-248>
- Gorelick, Noel; Hancher, Matt; Dixon, Mike; Llyushchenki, Simon; Thau, David Moore, Rebecca.** 2017: "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone". *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG/USP.** 2017: *Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG/USP/Seção Técnica de Serviços Meteorológicos*. São Paulo: IAG/USP, 77p.
- Karaseva, Marina O.; Prakash, Satya; Gairola, R M.** 2011: "Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgystan". *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 147-157. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0509-6>
- Leivas, Janice F.; Andrade, Ricardo G.; Castro-Victoria, Daniel; Torresan, Fábio E.; Bolfe, Edson. L.** 2014: "Monitoramento da seca 2011/2012 no nordeste brasileiro a partir do satélite SPOT-Vegetation e TRMM". *Revista Engenharia na Agricultura*, 22(3), 211-221. <https://doi.org/10.13083/reveng.v22i3.454>
- Marengo, José A.; Nobre, C. A.; Seluchi, M. E.; Cuartas, A.; Alves, L. M.; Mediondo, E.M.; Obregón, G.; Sampaio, G.** 2015: "A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo". *Revista USP*, 106, 31-44.
- Mota, F.; Gonçalves, M.; Aguiar, M.; Adamatti, D.** 2020: Google Earth Engine e sua aplicabilidade na gestão de recursos hídricos. In: *Anais do XI Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais*. SBC, p. 161-170.
- Mutanga, Onesimo; Kumar, Lalit.** 2019: "Google earth engine applications". *Remote Sensing*, 11(5), 591, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- Nóbrega Ranyére. S.; Souza, Ênio P. de; Sousa, Francisco A. S.** 2008: "Análise da utilização de dados do satélite TRMM em um modelo hidrológico semi distribuído na bacia do Rio Jamari (RO)". *Revista Brasileira de Geografia Física*, 1(1), 47-61.
- Nóbrega, Ranyére S.; Souza, Ênio P.; Galvíncio, Josiclêda D.** 2008: "Análise da Estimativa de Precipitação do Trmm em uma Sub-Bacia da Amazônia Ocidental". *Revista de Geografia*, 25(1), 6-20.
- Pereira, Gabriel; Silva, Maria Elisa S.; Moraes, Elisabete C.; Cardozo, Francielle D. S.** 2013: "Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(3), 139-148.
- Rodrigues, Maria A.; Garcia, Sâmia R.; Kayano, Mary T.; Calheiros, Alan J.; ANDREOLI, Rita V.** 2022: "Onset and demise dates of the rainy season in the South American monsoon region: A cluster analysis result". *International Journal of Climatology*, 42(3), 1354-1368. <https://doi.org/10.1002/joc.7307>
- Rosa, R., Lima, S. C.; Assunção, W. L.** 1991: "Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia-MG". *Sociedade & Natureza*, 3, 91-108.
- Santos, B. C.; Souza, P. H.; Vecchia, F. A. S.** 2017: "A caracterização da precipitação do ano hidrológico de 2013-2014 na região de São Carlos/SP e sua repercussão no espaço geográfico". *Revista Brasileira de Climatologia*, 21, 135-152. <https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.51505>
- Sazib, Nazmus; Mladenova, Iliana; Bolten, John.** 2018: "Leveraging the Google Earth Engine for drought assessment using global soil moisture data". *Remote Sensing*, 10(8), 1265. <https://doi.org/10.3390/rs10081265>

- Silva, Ana Luísa Fernandes.** 2018: Estudo de seca na Península Ibérica usando o Google Earth Engine, dissertação de mestrado, Universidade do Porto, Porto (Portugal).
- Silva-Fuzzo, Daniela F.; Prela-Pantano, Angélica; Camargo, Marcelo B. P.** 2015: "Modelagem agrometeorológica para estimativa de produtividade de soja para o Vale do Médio Paranapanema-SP". *Irriga*, 20(3), 490-501.
- Silva-Fuzzo, Daniela. F.; Rocha, Jansle V.** 2016: "Validação dos Dados de Precipitação Estimados Pelo TRMM, para o Estado do Paraná, e sua Contribuição ao Monitoramento Agrometeorológico". *Revista Formação (Online)*, 3(23), 301-316. <https://doi.org/10.33081/formacao.v3i23.4148>
- Soares, Alexleide S. D.; Paz, Adriano R; Piccili, Daniel G. A.** 2016: "Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(2), 288-299. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p288-299>
- Soppa, M. A.; Souza, R. B.; Pezzi, L. P.** 2011: "Variabilidade das anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sudoeste e sua relação com o fenômeno El Niño-Oscilação Sul". *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26, 375-391. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000300005>
- Souza, V. C. O.; Parede, D.A.; Volpato, M.M.L.; Alves, H. M. R.** 2019: Aplicações do Google Earth Engine na cafeicultura do sul de Minas Gerais. *X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*.
- Templeton, Scott R.; Perkins, M. Shane; Aldridge, Heather D.; Bridges, William C.; Lassiter, Bridget R.** 2014: "Usefulness and uses of climate forecasts for agricultural extension in South Carolina, USA". *Regional Environmental Change*, 14(2), 645-655. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0522-7>