Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO DO PRODUTO CHIRPS PARA OS MUNICÍPIOS DE SÃO GONÇALO E NITERÓI (RJ)

CHIRPS performance assessment for the municipatilities of São Gonçalo and Niterói (RJ)

Evaluación del desempeño de las estimaciones de precipitación del produto CHIRPS para los municípios de São Gonçalo y Niterói (RJ)

Carlos Augusto Abreu Tórnio
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ
E-mail: carlos.tornio@hotmail.com

Maria Luiza Félix Marques Kede
Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FFP/UERJ
Email: mluizakede@gmail.com

Lucio Silva de Souza
Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FAOC/UERJ
Email: luciodesouza@gmail.com

Resumo: O estudo avaliou o desempenho das estimativas do produto CHIRPS em caracterizar as chuvas nos municípios de São Gonçalo e Niterói, no Rio de Janeiro, em comparação com dados observados in situ de 14 anos (2005-2018). Foram utilizados os indicadores estatísticos: coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação (R^2), raiz do erro médio quadrático (RMSE, mm) e BIAS (%). Os resultados mostraram que o produto CHIRPS obteve desempenho satisfatório. Em três dos cinco pluviômetros analisados, a correlação (r) foi superior a 0,80 e o coeficiente (R^2) superior a 0,64. Nos outros pluviômetros, a correlação foi um pouco mais baixa, com (r) acima de 0,71 e (R^2) em torno de 0,50. O BIAS indicou superestimativa do CHIRPS, geralmente abaixo de 20%, e o RMSE mostrou que nas estimativas do CHIRPS ocorreram menores erros, próximo de 30 (mm). De forma geral, a distribuição anual das chuvas variou entre 850 e 1550 (mm), com maior registro no setor Norte (N) de Niterói, nas direções Sul/Sudeste de São Gonçalo. Conclui-se que o produto CHIRPS foi eficaz

em fornecer estimativas precisas e capazes de caracterizar a variação espaço-temporal da precipitação nos municípios avaliados.
Palavras-chave: Precipitação. Sensoriamento remoto. Acurácia.

Abstract: The study assessed the performance of CHIRPS product estimates in characterizing rainfall in the municipalities of São Gonçalo and Niterói, Rio de Janeiro, compared to 14 years of observed in situ data (2005-2018). Statistical indicators, including Pearson correlation coefficient (r), determination coefficient (R^2), root mean square error (RMSE, mm), and BIAS (%), were employed. The results demonstrated satisfactory performance of the CHIRPS product. In three out of five analyzed rain gauges, the correlation (r) exceeded 0.80, and the coefficient (R^2) was above 0.64. In the remaining rain gauges, the correlation was slightly lower, with (r) above 0.71 and (R^2) around 0.50. The BIAS indicated CHIRPS overestimation, generally below 20%, and the RMSE showed that CHIRPS estimates had smaller errors, close to 30 (mm). Overall, the annual distribution of rainfall ranged from 850 to 1550 (mm), with higher records in the Northern (N) sector of Niterói and the South/Southeast directions of São Gonçalo. In conclusion, the CHIRPS product proved effective in providing accurate estimates and characterizing the spatiotemporal variation of precipitation in the evaluated municipalities.
Keywords: Precipitation. Remote sensing. Accuracy.

Resumen: El estudio evaluó el rendimiento de las estimaciones del producto CHIRPS en la caracterización de las lluvias en los municipios de São Gonçalo y Niterói, en Río de Janeiro, en comparación con datos observados in situ durante 14 años (2005-2018). Se utilizaron indicadores estadísticos, incluyendo el coeficiente de correlación de Pearson (r), el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE, mm) y el BIAS (%). Los resultados demostraron un rendimiento satisfactorio del producto CHIRPS. En tres de los cinco pluviómetros analizados, la correlación (r) fue superior a 0.80 y el coeficiente (R^2) superior a 0.64. En los otros pluviómetros, la correlación fue un poco más baja, con (r) por encima de 0.71 y (R^2) alrededor de 0.50. El BIAS indicó una sobreestimación del CHIRPS, generalmente por debajo del 20%, y el RMSE mostró que en las estimaciones del CHIRPS se produjeron errores menores, cercanos a 30 (mm). En general, la distribución anual de las lluvias varió entre 850 y 1550 (mm), con registros más altos en el sector Norte (N) de Niterói, en las direcciones Sur/Sudeste de São Gonçalo. Se concluye que el producto CHIRPS fue eficaz al proporcionar estimaciones precisas y capaces de caracterizar la variación espacio-temporal de la precipitación en los municipios evaluados.
Palabras clave: Precipitación. Detección remota. Precisión.

Submetido em: 15/07/2023
Aceito para publicação em: 30/12/2023
Publicado em: 25/01/2024

1. INTRODUÇÃO

A precipitação consiste no retorno da água da atmosfera na forma líquida ou sólida (neve ou granizo) (ALMEIDA, 2016). Silva *et al.* (2020) destacam que, a chuva é considerada como o principal tipo de precipitação, sendo uma das variáveis climatológicas fundamentais na determinação das condições do tempo e do clima em escala local.

A precipitação é um dos elementos essenciais nos estudos climáticos e ambientais, visto que exerce influência em diversas áreas das atividades humanas, tais como, agricultura, indústria, na modulação das estações chuvosas e secas, na conservação dos ecossistemas, no regime de vazão dos rios etc. (SILVA *et al.*,2020). Além disso, destacam, Anjos *et al.* (2016) a importância de se estudar as chuvas vai além do fato de serem fundamentais à manutenção da vida, pois também estão associadas a desastres naturais e impactos à vida social. Por isso, monitorar e prevenir desastres torna-se tarefa essencial.

De acordo com Castelhano (2017) os registros meteorológicos são de fundamental importância para o entendimento da variabilidade climatológica de um país; contudo, nem sempre esses dados estão disponíveis ou apresentam consistência necessária (baixa falha de dados). Nos estudos ambientais e climáticos, necessita-se de uma boa confiabilidade dos dados utilizados, principalmente dados pluviométricos, de modo que estes proporcionem resultados significativos nas análises espaciais e temporais, segundo Silva et al. (2020).

A rede de monitoramento, muitas vezes, não apresenta boa densidade espacial, série histórica necessária e, em muitos casos, carece da manutenção adequada, tornando a disponibilidade de dados um grande problema. Por isso, Soares *et al.* (2016) destacam que analisar a variabilidade espaço-temporal da chuva é algo complexo em decorrência da baixa densidade de postos pluviométricos e os problemas operacionais no Brasil e no mundo. Assim, apontam que o problema pode ser amenizado pelo uso de estimativas de precipitação obtidas por sensoriamento remoto. Passow (2010) salientou a importância deste tipo de fonte de dados, ao apontar que ao mesmo tempo em que em determinadas áreas do mundo, a medição do tempo é rotineira e exaustivamente realizada por modernos sistemas de monitoramento, em grande parte do planeta, a única forma de observar o tempo é via sensoriamento remoto, principalmente por satélites.

Eventos severos de chuva, geralmente, levam a inundações nos centros urbanos e seu mapeamento é comprometido devido a uma rede pouco densa, mesmo nula, de monitoramento meteorológico e hidrológico, e assim impõe o uso de modelos que contemplem os escassos dados existentes (LOPES *et al.,* 2023). Em algumas ocasiões, os poucos dados existentes possuem falhas de monitoramento e técnicas de preenchimento como, a da imputação de dados ausentes apresentam-se como alternativa a esse problema (LOPES *et al.,* 2022), desde que aplicadas com todo método e critério científico.

Dentre os produtos de estimativa de precipitação por sensoriamento remoto, destacam-se anteriormente o *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), o *Global Project Climatology Project* (GPCP), o *Climate Prediction Center Morphing Method* (CMORPH) e recentemente o *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) (BERNARDI, 2016).

CHIRPS é um conjunto de dados de precipitação desenvolvido pelo *United States Geological Survey* (USGS) e pelo *Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara* (UCSB). Funk *et al.* (2015) apontam o produto CHIRPS como uma das alternativas mais eficientes na tentativa de obtenção de dados, pois tem elevada resolução espacial de 0,05º (próximo de 5 km) e possui uma cobertura geográfica que envolve todas as longitudes desde latitudes entre 50ºS a 50ºN. Além disso, os dados são disponibilizados nas seguintes escalas: totais diários, em pêntadas (acumulados de cinco dias) e dados mensais. Os dados estimados encontram-se disponíveis desde o ano de 1981 até o presente momento, de forma gratuita nos formatos *NetCDF, GeoTiff e Esri Bil* no domínio: < https://www.chc.ucsb.edu/data>.

Este produto incorpora a chuva mensal acumulada do *Climate Hazards Center's Precipitation Climatology* (CHPCLIM), dados de imagens de satélite geoestacionários do canal infravermelho das fontes de dados da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), dados de chuva estimados pelo satélite TRMM, dados do campo pluviométrico do modelo do NOAA, do *Climate Forecast System v. 2* e também, dados de estações reais na superfície dos continentes que são fornecidos por serviços meteorológicos de vários países.

Farias (2019) salienta que os valores de chuva deste produto são construídos a partir da análise da densidade de estações reais próximas, aliados a observação do satélite. Assim, o algoritmo deste produto por meio da média ponderada, seleciona estações específicas

dentro do banco de dados e mapeia estações mais próximas dentro de um raio crescente de pesquisa até que seja possível construir um conjunto mínimo para a interpolação das chuvas. Geralmente, esse conjunto de dados é formado por quatro pluviômetros, contudo, na ausência de estações, esse raio de busca é ajustado.

Diante disso, o presente estudo, objetiva avaliar o desempenho das estimativas do produto CHIRPS na caracterização das chuvas, para os municípios de São Gonçalo (RJ) e Niterói (RJ) em relação aos dados observacionais dos pluviômetros da Agência Nacional de águas (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Estação Climatológica Convencional da Faculdade de Formação de professores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (ECC-FFP/UERJ) disponíveis na área de estudo, para um período de catorze anos (2005-2018).

2. METODOLOGIA

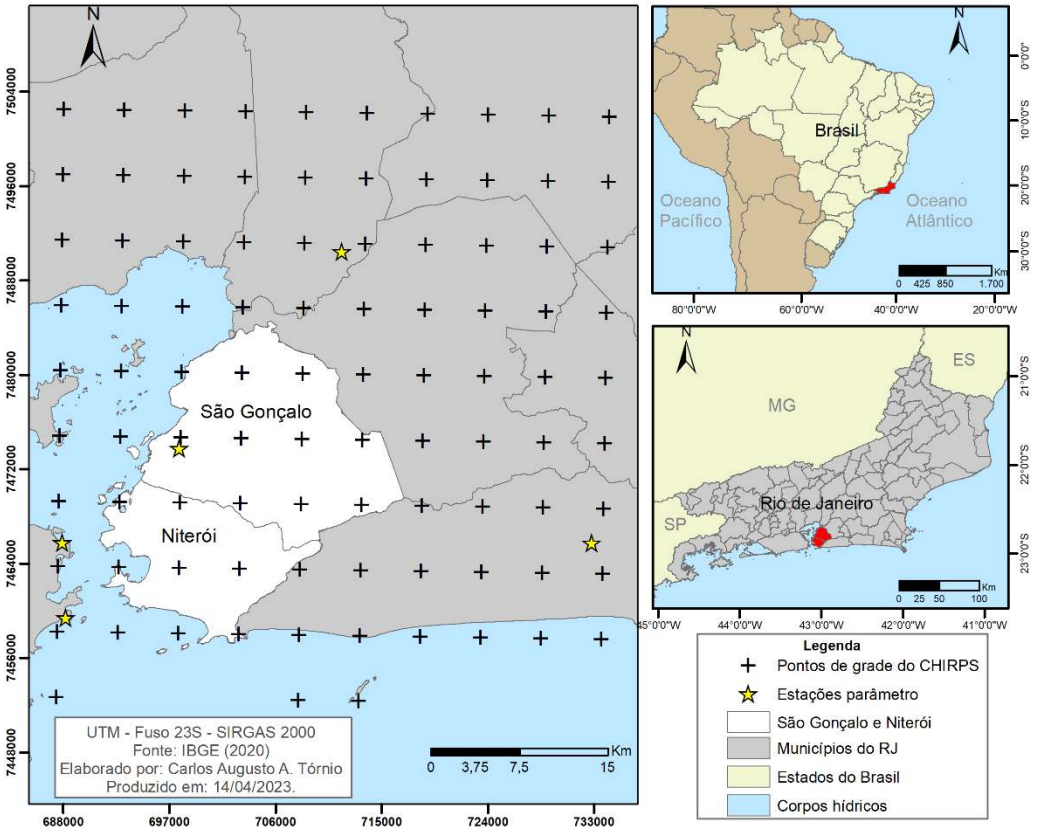
São Gonçalo e Niterói são municípios pertencentes ao leste (E) da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). O primeiro apresenta população de 896.744 habitantes, com densidade populacional de aproximadamente 3.613,57 hab/km² em uma área de 248,160 km². De acordo com o IBGE, por volta de 99,9% da população gonçalense reside em áreas consideradas urbanas (IBGE, 2023). Enquanto Niterói possui população de 481.758 habitantes, território de 133,757 km², densidade demográfica de 3,601,74 habitantes por km² e 100% de sua população residindo em áreas urbanas (IBGE, 2023) (figura 1).

Sant'Anna Neto (2005) apresentou um mapa dos subclimas da região Sudeste do Brasil (SEB). Nele, a região que contempla os municípios de Niterói e São Gonçalo corresponde a climas tropicais quentes e úmidos contendo entre 1 e 2 meses secos. Na classificação climática tradicional de Köppen, Bertolino *et al.* (2007) classificam essa região como Aw. O que significa dizer que existem duas estações do ano bem marcadas, uma seca e outra chuvosa. A estação mais chuvosa se inicia na primavera, e vai até o fim do verão, enquanto a estação mais seca ocorre nos meses de outono e inverno. Nos meses mais chuvosos, os totais podem superar os 200 mm (BERTOLINO *et al.*, 2007; 2012).

Salgado et. al (2007) através de estudos do comportamento da precipitação nos municípios do leste metropolitano fluminense, verificaram que, de forma geral, a média da

precipitação anual nessa região varia entre 1.000 mm até por volta dos 2.000 mm nas áreas onde o relevo é mais acentuado. Bertolino *et al.* (2007) e Bertolino *et al.* (2012) indicam que nessa região cerca de 73,3% das chuvas anuais costumam ocorrer nos meses da estação úmida entre novembro e abril.

Figura 1 - Localização de São Gonçalo e Niterói e pontos de grade do CHIRPS.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

2.1 Obtenção e organização de dados

O período selecionado para este estudo vai de 2005 a 2018. Essa escolha foi feita porque esse período corresponde à série histórica da estação ECC-FFP, localizada em São Gonçalo, que é a única estação convencional na região. Além disso, essa série é comum à maioria dos pluviômetros usados como referência para avaliar as estimativas de satélite. Como não há outros pluviômetros com séries históricas superiores a dez anos nessas áreas, foram utilizados dados de quatro pluviômetros em municípios vizinhos, operados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esses pluviômetros têm uma baixa taxa de dados ausentes, o que permitiu sua utilização. Os dados

foram organizados em totais mensais e anuais para comparação com as estimativas de satélite nas etapas subsequentes (tabela 1 e figura 1).

Tabela 1 -Postos pluviométricos localizados nas adjacências de São Gonçalo e Niterói.

Estação	operador	município	Latitude	Longitude	início	dados válidos
Manuel Ribeiro	ANA	Maricá	-22,91	-42,73	1967	99,1%
Estação Bomb. de Imunana	ANA	Guapimirim	-22,68	-42,94	1967	99,4%
Normal Climatológica	INMET	Rio de Janeiro	-22,90	-43,17	1961-2017	97,8%
Forte de Copacabana	INMET	Rio de Janeiro	-22,97	-43,17	2008	98,1%
ECC-FFP	UERJ	São Gonçalo	-22,83	-43,07	2005	94,8%

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para a estimativa da precipitação, optou-se pelo uso do produto CHIRPS V2.0, pois este representa uma das alternativas mais eficientes e recentes na estimativa de precipitação, devido sua altíssima resolução espacial de 0,05° (próximo de 5 km) (FUNK; *et al.,* 2015). O CHIRPS já foi avaliado por diversos autores e tem sua destreza na representação da precipitação em nosso país descritas por Castelhano *et al.* (2017), Paredes-Trejo *et al.* (2017), Costa *et al.* (2019), Silva *et al.* (2019), Silva *et al.* (2020), Santos *et al.* (2022), Lima Júnior *et al.* (2023), Marinho e Rivera (2021) e Oliveira-Junior *et al.* (2021).

Sendo assim, foram obtidos os totais estimados de precipitação pelo produto CHIRPS na escala mensal e anual entre 01/01/2005 e 31/12/2018 para a área de estudo. Neste procedimento, criaram-se estações virtuais a cada 5 km com base nos pontos de grade do CHIRPS. Para as análises, foram baixados dados no formato *raster* referentes ao período mencionado. Após a coleta, foi realizado um recorte dos arquivos *raster* com base em um arquivo vetorial que cobre a área de estudo e os pluviômetros adjacentes, isto é, foi feita uma extração dos pixels com base na máscara (área de estudo). Posteriormente, foi feita a conversão dos pixels da malha da área de estudo em pontos que, neste caso representam as estações virtuais, somando 93 pontos. Na etapa final, a avaliação estatística desses dados foi aplicada a espelho do que fizeram Silva e Rocha (2013), Almeida *et al.* (2015), Alves *et al.* (2017), Abreu *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2020) quando trabalhavam com produtos semelhantes de precipitação estimada por satélite.

A avaliação estatística foi feita através da correlação e comparação dos totais mensais observados nos pluviômetros com os totais mensais estimados pelo CHIRPS. Para estabelecer a precisão e acurácia das estimativas do CHIRPS, destacam-se alguns parâmetros. O primeiro é o coeficiente de correlação de Pearson (r), que mede o grau de correlação linear entre as estimativas de chuva do satélite e os totais observados em pluviômetro nos diferentes períodos de acumulação (SILVA *et al.,* 2020) (Equação 1). De acordo com Dancey e Reindy (2006), quanto mais próximo de 1 for esse coeficiente, mais forte será a associação. Outro parâmetro utilizado é o coeficiente de determinação ou concordância (R^2), que avalia a associação entre dois fatores (OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.,* 2021) (Equação 2). Assim como na correlação de Pearson, o valor ideal é 1. Além disso, medidas de desempenho que quantificam o erro associado às estimativas de chuva foram utilizadas, como a Raiz do Erro Médio Quadrático ou *Root Mean Square Error* (RMSE, mm), que é a raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre a chuva obtida por satélite e por pluviômetros (Equação 3). Também foi considerado o BIAS (%), que representa a média do erro sistemático em cada tempo, ou seja, a média dos erros individualizados (Equação 4). Para o RMSE e BIAS, quanto menor o valor encontrado, melhor o ajuste do CHIRPS, o primeiro é dado em (mm) de chuva e o segundo em porcentagem.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i - \mathrm{P})^2 * (O_i - \mathrm{O})}{\sqrt{\Sigma_{\mathrm{i}=1}^{N}(P_i - \mathrm{P})^2 * \Sigma_{\mathrm{i}=1}^{N}(O_i - \mathrm{O})^2}} \quad (1)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i - \acute{O}_i)^2}{\Sigma_{\mathrm{i}=1}^{N}(O_1 - \acute{O}_1)^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{(P_i - O_i)^2}{N}} \quad (3)$$

$$BIAS = 100 \frac{\Sigma_i^n{=}1\,(P_i - O_i)}{\Sigma_i^n{=}1(O_i)} \quad (4)$$

Em que: Pi = precipitação estimada (mm) pelo satélite CHIRPS no intervalo de tempo i; Oi = precipitação observada (mm) em determinado intervalo de tempo i; n = número de dados analisados; P = valor médio estimado de precipitação (mm) pelo CHIRPS; Ó = valor médio observado de precipitação (mm) em determinado pluviômetro (SILVA; ROCHA, 2013; ALMEIDA *et al.,* 2015; SANTOS *et al.,* 2022; LIMA JÚNIOR *et al*., 2023).

2.2 Distribuição espacial das chuvas

Para o entendimento da distribuição espacial das chuvas anual e ao longo das estações do ano, se fez necessária a interpolação dos pontos de grade do CHIRPS para a área de estudo. Para isso, utilizou-se da ferramenta geoestatística de interpolação espacial denominada Krigagem Ordinária (KO) disponível no *Geoestatistical Analyst* do software ARC GIS 10.4. A Krigagem é um método geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas (LANDIM, 2000). Optou-se por este método, por este apresentar resultados mais satisfatórios, se comparado aos demais, ao especializar a chuva (WANDERLEY *et al.,* 2009; MARCUZZO *et al.,*2010; LUCAS *et al.,* 2013).

De acordo com Yamamoto *et al.* (2013) a equação que representa a Krigagem Ordinária (KO) é:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \, Z(x_i) \tag{5}$$

Em que: Z*(x) – Valor a estimar; λi -Peso que é dado a cada um dos valores observados da variável no lugar X; Z(xi) – Valor em pontos amostrados perto do local a ser interpolado.

Baio (2020) destacou que ao analisar os dados a serem interpolados por este método, é de extrema importância avaliar os *outliers.* Para isso, faz-se necessária uma análise exploratória com uso das ferramentas de geoestatística via histograma no intuito de verificar a distribuição dos dados amostrados. Além disso, deve-se também observar o semivariograma, e caso haja necessidade, analisar os valores da distribuição espacial dos pontos a fim de ajustar e remover os *outliers.* Sendo assim, para gerar os mapas de distribuição, foram utilizados 93 pontos que cobrem a área de estudo e alguns municípios adjacentes, de modo que esses pontos também cobrissem os pluviômetros que serviram de parâmetro para correlação e avaliação das estimativas de chuva do CHIRPS. O modelo de semivariograma que mais bem se ajustou foi o esférico, com pontos mais próximos à linha de tendência e *Root-Mean-Square Standardized* mais próximo de 1 (BAIO, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

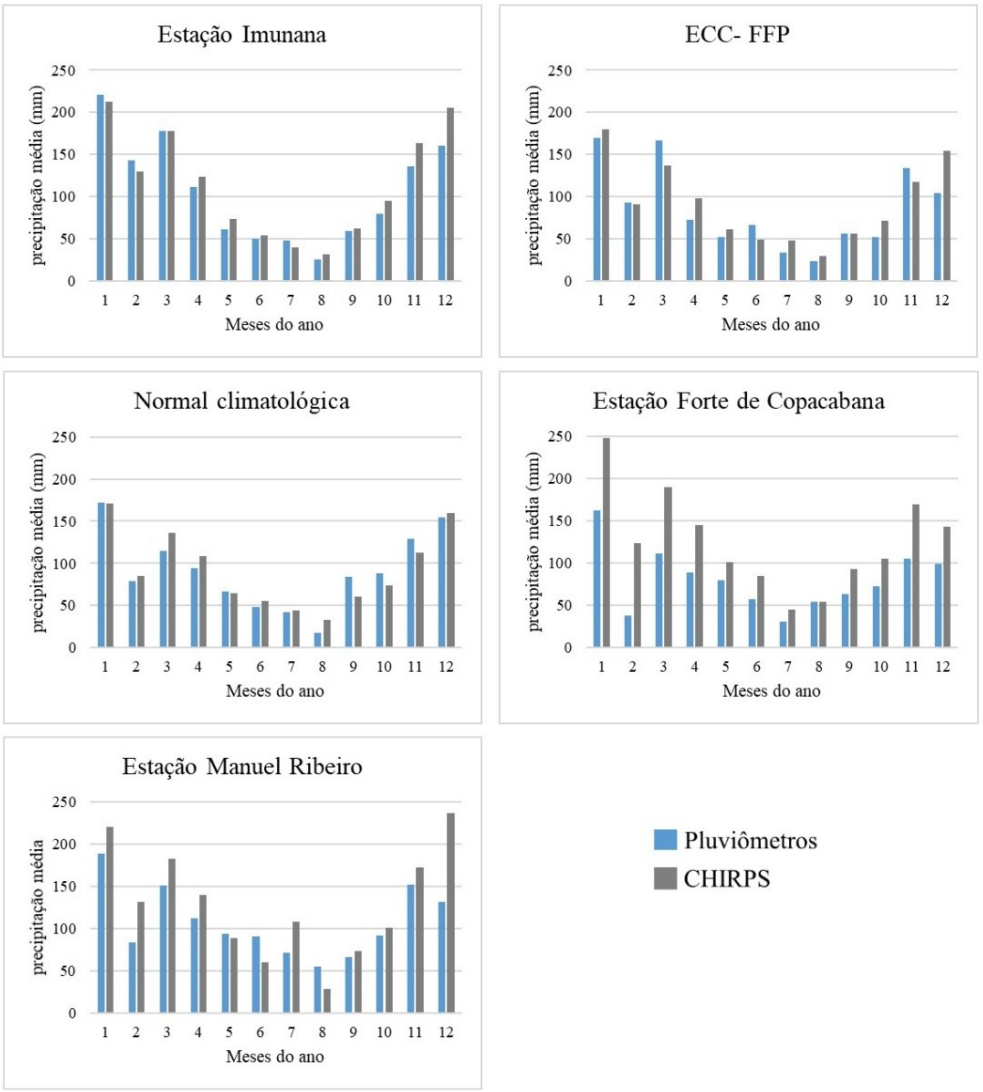
Ao analisar a variabilidade média da chuva ao longo dos meses do ano, verifica-se que, de modo geral, a sazonalidade da precipitação estimada esteve condizente com a chuva

observada nos pluviômetros mais próximos dos pontos de grade. A variação sazonal das chuvas descrita pelos pluviômetros foi bem representada pelo CHIRPS, com destaque para a transição da estação chuvosa entre outubro e novembro e final do período de chuvas por volta de abril, enquanto a estação seca, a qual ocorre entre maio e setembro, coincidindo com as observações de Bertolino *et al.* (2007; 2012). Em consonância com estudos de Costa *et al.* (2019), Silva *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2020) que ao compararem a variabilidade mensal das chuvas estimadas e observadas, afirmam a precisão deste produto em calcular as chuvas e de acompanhar a variação de estação para estação.

A estação chuvosa tem seu ápice entre janeiro e março, com uma diminuição em fevereiro que aparece tanto nos pluviômetros, quanto no CHIRPS. A diminuição dos acumulados mensais ao longo do Rio de Janeiro durante os meses de fevereiro foi observada por Brito et al. (2017) que atribuíram essa redução a ocorrência dos veranicos, períodos entre 4 e 15 dias de tempo estável durante o período chuvoso. As menores diferenças nas médias mensais ocorrem justamente nos meses em que os totais de precipitação foram maiores. Na estação de bombeiros de Imunana as maiores diferenças médias foram observadas nos meses de novembro e dezembro, com 27,48 mm e 45, 06 mm, respectivamente. Na ECC-FFP a diferença foi significativa e observada no mês de dezembro com 50,32 mm, já na Normal climatológica quase não houve diferença, pois em todos os meses a diferença não superou os 21,4 mm. Enquanto no pluviômetro do Forte de Copacabana a diferença superou os 85 mm em janeiro e fevereiro, ficou entorno dos 78,5 mm em março e superou os 64,5 mm em novembro. Em Manuel Ribeiro, as maiores diferenças foram observadas em fevereiro e dezembro, 48 mm e 105,7 mm, respectivamente. Sobre esta situação, Silva *et al.* (2020) salientam que devido a maior quantidade de nebulosidade, o produto CHIRPS pode apresentar uma leve superestimativa da precipitação nos períodos chuvosos, e um melhor ajuste nos meses em que chove menos, se comparados aos dados observados. A variabilidade das estimativas diferiu de forma mais acentuada nos pluviômetros “Forte de Copacabana” e “Manuel Ribeiro”, onde o produto CHIRPS apresentou médias maiores tanto para a estação chuvosa quanto para os períodos mais secos (figura 2). Paredes-Trejo *et al.* (2016) sinalizaram algumas questões, tais como, a proximidade do mar (áreas costeiras) e fatores envolvendo a complexidade do terreno, nomeadamente, a orografia como influentes na diminuição da acurácia das estimativas do CHIRPS. E, pontuam que, este produto obteve melhores

resultados em áreas planas e abertas no continente. Almazroui (2011) após trabalhar com o produto TRMM 3B42, semelhante ao CHIRPS, sinalizou que o desempenho das estimativas era superestimado nas áreas costeiras. Alguns anos mais tarde, Nastos *et al.* (2016) indo ao encontro desses apontamentos, concluíram que o produto de estimativas que estavam trabalhando (naquele caso, o TRMM) apresentava superestimativas significativas nas áreas litorâneas se comparadas às estações localizadas no interior do continente de sua área de estudo. Evidenciando-se que essas duas condições (complexidade do terreno e proximidade com o mar) podem influenciar na menor precisão do CHIRPS em relação aos pluviômetros "Manuel Ribeiro" e "Forte de Copacabana".

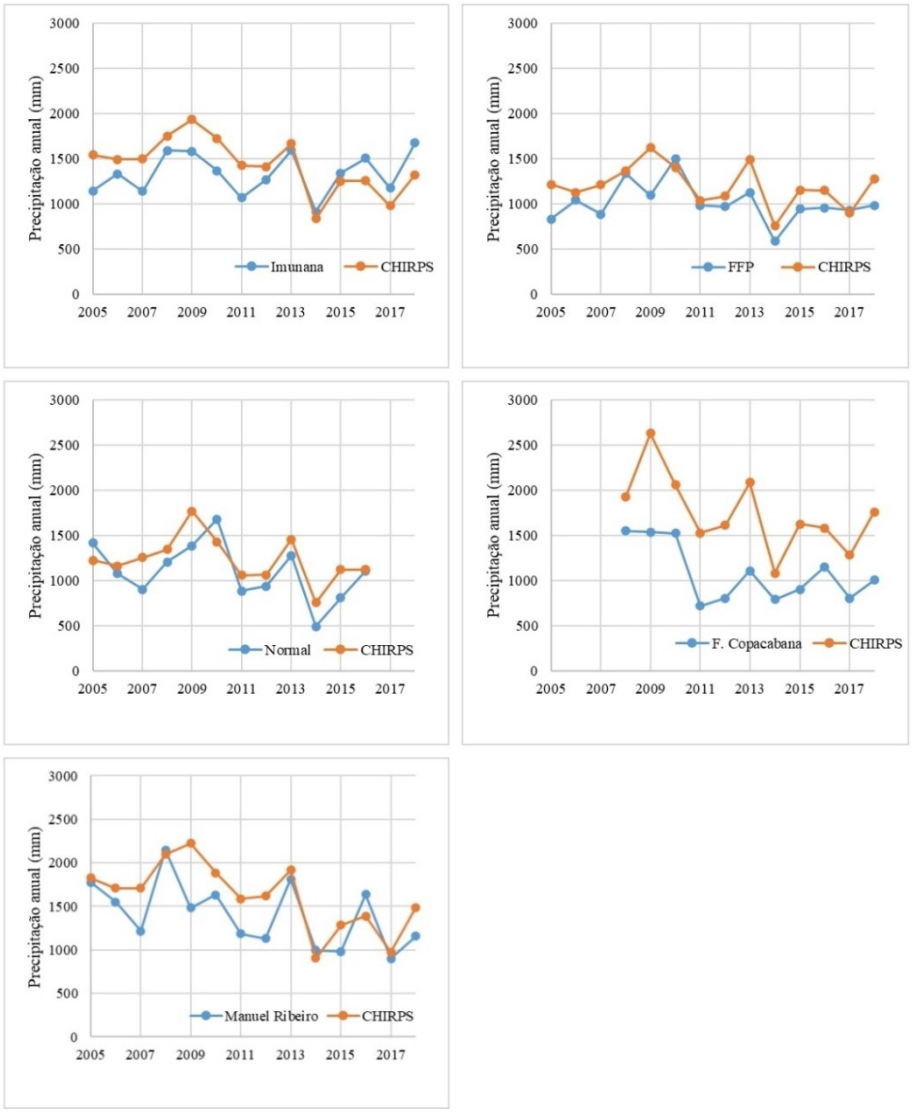
Figura 2 - Médias mensais da precipitação (mm) ao longo dos pluviômetros e do CHIRPS entre 2005-2018.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Quando analisados os totais anuais, torna mais evidente a proximidade que os resultados apresentados pelo CHIRPS têm dos dados observados. Verifica-se uma variação semelhante entre os totais dos dois grupos (estimada/observada), ou seja, a variabilidade temporal coincide entre os anos com menor registro de chuva, principalmente em 2014 (ano mais seco) e também, nos anos mais chuvosos como 2009, 2010 e 2013. Contudo, vale destacar que a variabilidade estimada diferiu dos observados, novamente na estação "Forte de Copacabana" que além de ter um recorte temporal um pouco menor (2008-2018), registrou totais distintos não só do CHIRPS como também dos demais pluviômetros adjacentes (figura 3).

Figura 3 -Totais anuais de precipitação (mm) modelada pelo CHIRPS (cor laranja) e observada pelos pluviômetros (cor azul).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na tabela 2, estão descritos os resultados dos indicadores estatísticos utilizados para verificar a acurácia das estimativas do produto CHIRPS. Por meio do coeficiente de correlação de Pearson aplicado aos dois conjuntos de 168 meses (14 anos), obtiveram-se os seguintes resultados: 0,85 para o pluviômetro localizado na Estação de Bombeiros de Imunana, 0,80 para a ECC-FFP, 0,87 para a Normal Climatológica, 0,71 no Forte de Copacabana e 0,73 em Manuel Ribeiro. Dancey e Reidy (2006) classificaram os graus positivos de correlação de Pearson da seguinte forma: entre 0,10 e 0,30 tem-se uma associação fraca, entre 0,4 e 0,6 moderada, e entre 0,7 e 1 tem-se uma forte associação. Hopikins (2009) apud Oliveira-Junior *et al.* (2021) de maneira um pouco distinta, classifica que: entre 0 e 0,1 há uma associação baixíssima, entre 0,1 e 0,3 há uma baixa associação, entre 0,3 e 0,5 uma moderada associação, entre 0,5 e 0,7 uma alta associação, entre 0,7 e 0,9 uma altíssima associação, e entre 0,9 e 1 uma quase perfeita associação. Silva *et al.* (2020) ao trabalhar com as estimativas de precipitação do CHIRPS, consideraram que valores de correlação entre o produto e os pluviômetros, a partir de 0,47 como significativos, e relativamente bem correlacionados. Pois, tratando-se de variáveis atmosféricas, e sobretudo a precipitação, o grau de dificuldade para fazer estimativas por satélite é enorme. Sendo assim, dentro de uma perspectiva ou de outra, a correlação de Pearson observada pode ser considerada elevada estando acima dos 0,71 em todos os casos, e acima dos 0,80 em três dos cinco pluviômetros considerados na análise.

Tabela 1- Coeficiente de correlação de Pearson (r), determinação (r^2), BIAS e RMSE dos totais mensais entre 2005-2018.

Pluviômetro	Ponto de grade	r	R^2	BIAS (%)	RMSE (mm)
Est. de Bomb. de Imunana	26	0,85	0,72	3,89%	28,73
ECC-FFP	53	0,80	0,64	19,47%	26,96
Normal Climatológica	61	0,87	0,75	11,04%	17,48
Forte de Copacabana	71	0,71	0,50	51,68%	39,34
Manuel Ribeiro	80	0,73	0,53	11,52%	30,04

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O coeficiente (R^2) obteve ajuste satisfatório, entre 0,64 e 0,75 na ECC-FFP, na Estação de Bombeiros de Imunana e na Normal Climatológica. Enquanto nos pluviômetros do Forte de Copacabana e Manuel Ribeiro, esse ajuste foi menor, sendo 0,5 e 0,53 respectivamente.

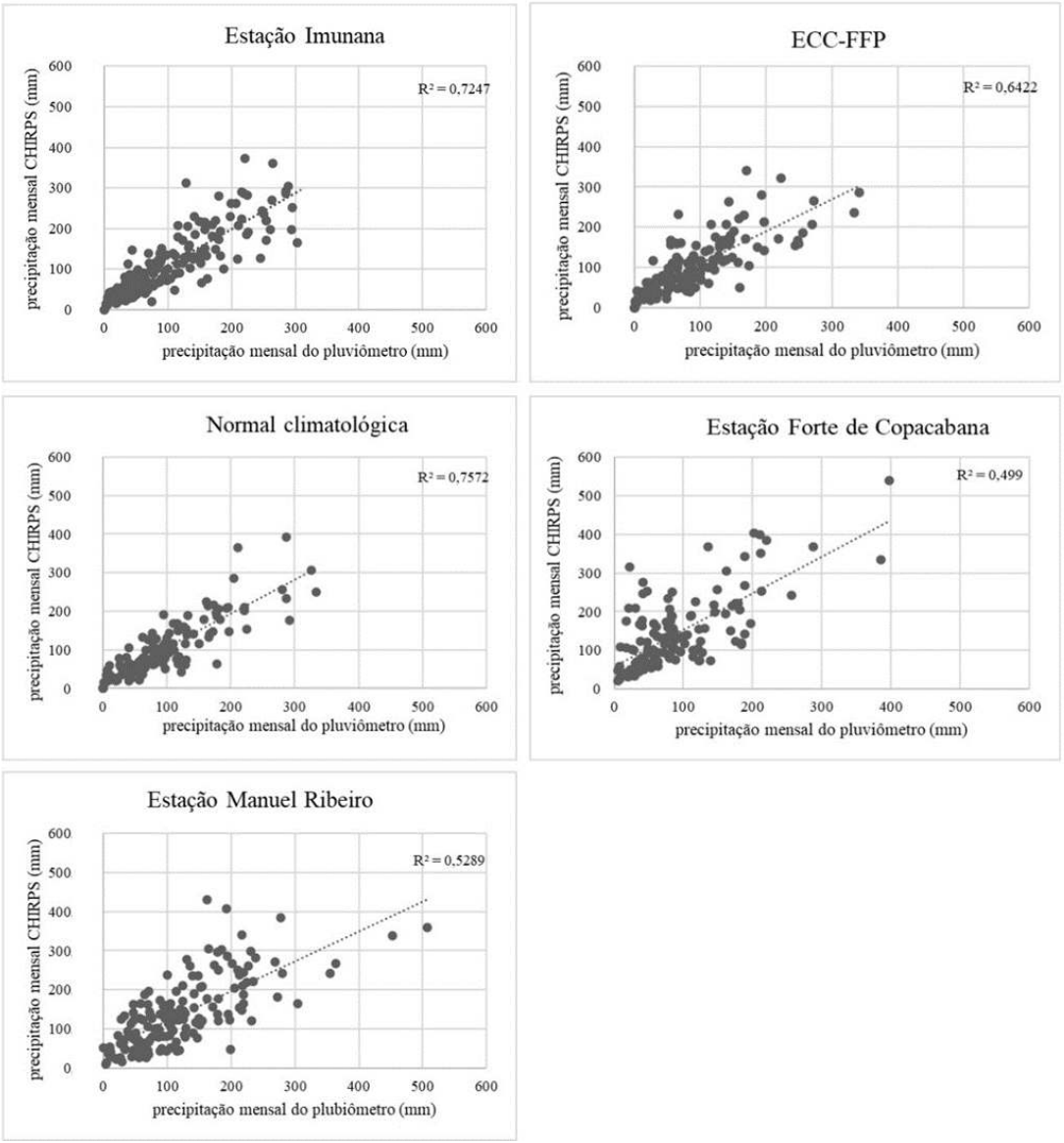
Embora sejam um pouco mais baixos, ainda apresentam ajustes satisfatórios. Santos et al. (2022) consideraram que ajustes do CHIRPS a partir de 0,64 já podem ser considerados ótimos.

Ainda na tabela 2, observam-se os valores de BIAS e da RMSE. Costa *et al.* (2019) salientam que o BIAS serve para identificar se há subestimativa ou superestimativa média dos valores estimados pelo CHIRPS. Quando é igual a zero, não há erro sistemático, mas quando os valores são positivos ou negativos, ocorre a superestimativa e a subestimativa, respectivamente. No pluviômetro da Estação de Bombeiros de Imunana, o BIAS indicou superestimativa de 3,89%, na ECC-FFP indicou superestimativa de 19,47%, na Normal Climatológica indicou 11,04%, no pluviômetro do Forte de Copacabana indicou 51,68%, e em Manuel Ribeiro indicou 11,52%. Santos *et al.* (2017) analisando diferentes produtos de estimativa de chuvas, consideraram valores de BIAS entre 0 e 25 (positivos ou negativos) como valores baixos, e valores acima de 25 como um pouco mais expressivos. Sendo assim, o BIAS referente a Estação de Bombeiros de Imunana foi aquele mais próximo de zero, indicando uma baixíssima superestimativa do CHIRPS. Enquanto que na Normal Climatológica, na ECCFFP e Manuel Ribeiro, a superestimativa também foi baixa, indicando uma boa performance na estimativa de chuvas pelo CHIRPS. No ponto correspondente ao pluviômetro Forte de Copacabana, a superestimativa de chuva foi um pouco maior indicando uma superestimativa mais expressiva.

O RMSE auxilia a verificar a acurácia das estimativas do satélite em relação aos dados observados. Valores mais baixos de RMSE indicam ajustes melhores (SILVA *et al.,* 2020). Os valores de RMSE foram de: 28,73 mm na Estação de Bombeiros de Imunana, 26,96 mm na ECC-FFP, 17,48 mm na Normal Climatológica, 39,34 mm no Forte de Copacabana e 30,04 mm em Manuel Ribeiro. Embora o RMSE tenha sido próximo na grande maioria, cabe destacar que no Forte de Copacabana, onde houve uma superestimativa das chuvas maior, também houve um ajuste pior do RMSE. Oliveira-Junior *et al.* (2021) ao validar os dados do CHIRPS com postos pluviométricos dos estados de Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS), consideraram que, de forma geral, o CHIRPS apresentou uma alta precisão com elevados valores de correlação e valores de RMSE variando entre 34,56 mm e 64,85 mm, indicando que, os valores observados aqui, mostram que as estimativas do satélite enquadram-se num bom resultado.

Na figura 4, são apresentados os gráficos de dispersão expressando o coeficiente de determinação (R^2).

Figura 4 -Gráficos de dispersão de dados observados e dados CHIRPS (mm) para os pluviômetros de Est. de Bomb. de Imunana, ECC-FFP, Normal Climatológica, Forte de Copacabana e Manuel Ribeiro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

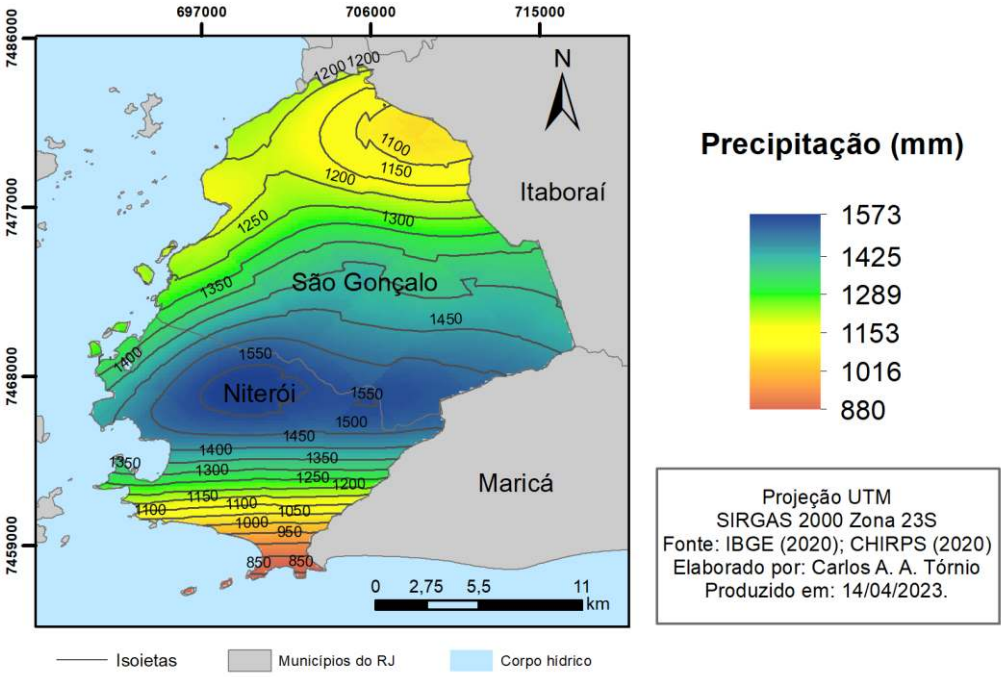
Como mencionado anteriormente, os valores do coeficiente R^2, em sua maioria, foram superiores a 0,64 com similaridade aos valores encontrados por Soares *et al.* (2016), Oliveira-Junior (2021) e Santos *et al.* (2022), no estado da Paraíba, Região Centro-Oeste e Amazônia brasileira, respectivamente, indicando conformidade entre os dados estimados e os observados em pluviômetros. Ficou em evidência que a variabilidade mensal da chuva é semelhante para ambos os conjuntos (satélite e observados), e os pontos se posicionam próximos nos gráficos. Contudo, é importante destacar que, essa semelhança é mais perceptível nos períodos onde os totais mensais foram menores. Quando os valores mensais foram superiores aos 200 mm, os valores do CHIRPS superestimam os pluviômetros. Situação

semelhante foi observada por Santos *et al.* (2022) que chamou atenção para as limitações do CHIRPS em ter precisão com valores próximos dos 500 mm mensais. Ainda, Silva *et al.* (2020) salientam que durante a estação chuvosa, quando os totais de chuva são maiores, é mais provável que os erros nas estimativas do CHIRPS sejam mais expressivos, uma vez que, durante a estação chuvosa a convecção, e consequentemente a formação de nuvens é mais frequente, o que influencia nas estimativas do satélite já que o CHIRPS mensura a precipitação por meio do infravermelho, através da temperatura do topo das nuvens. A presença de nuvens por si só não impõe a ocorrência de chuvas, contudo, nem sempre o satélite consegue fazer essa distinção, resultando, dessa forma, em maiores erros. Com todas as ressalvas destacadas, os dados aqui apresentados estão em conformidade com aqueles valores encontrados por outros trabalhos que analisaram a acurácia do CHIRPS no Brasil (OLIVEIRA-JUNIOR et al., 2021; SANTOS *et al.,* 2022).

3.1 Interpolação e distribuição espacial das chuvas

A distribuição média das chuvas variou entre 850 mm e 1573 mm anualmente. A maior concentração de chuvas foi observada por todo o setor Norte de Niterói se deslocando rumo ao Sul/Sudeste de São Gonçalo, com totais entre 1450 mm – 1500 mm. Em contraponto, ao Norte (N) de São Gonçalo, principalmente na faixa Nordeste, ocorreu menor registro de chuvas, próximo dos 1100 mm. Situação similar é observada ao Sul de Niterói, principalmente nas áreas que compreendem as Bacias Hidrográficas que drenam para as lagoas de Piratininga e Itaipu, em contato com o Oceano Atlântico, com valores de 850 mm mais ao Sul (S) e 1000 mm – 1100 mm a Sudoeste (SW). Por toda a faixa Oeste dos municípios, em contato com a Baía de Guanabara, os acumulados médios estiveram na casa dos 1200 mm – 1300 mm (figura 5). Esses resultados dialogam com os estudos de Salgado *et al.* (2007) os quais apontaram que nessa região os acumulados anuais variam entre os 1.100 mm e 1.400 mm.

Figura 5 – Distribuição espacial anual média da chuva (mm) nos municípios de São Gonçalo e Niterói entre 2005-2018.

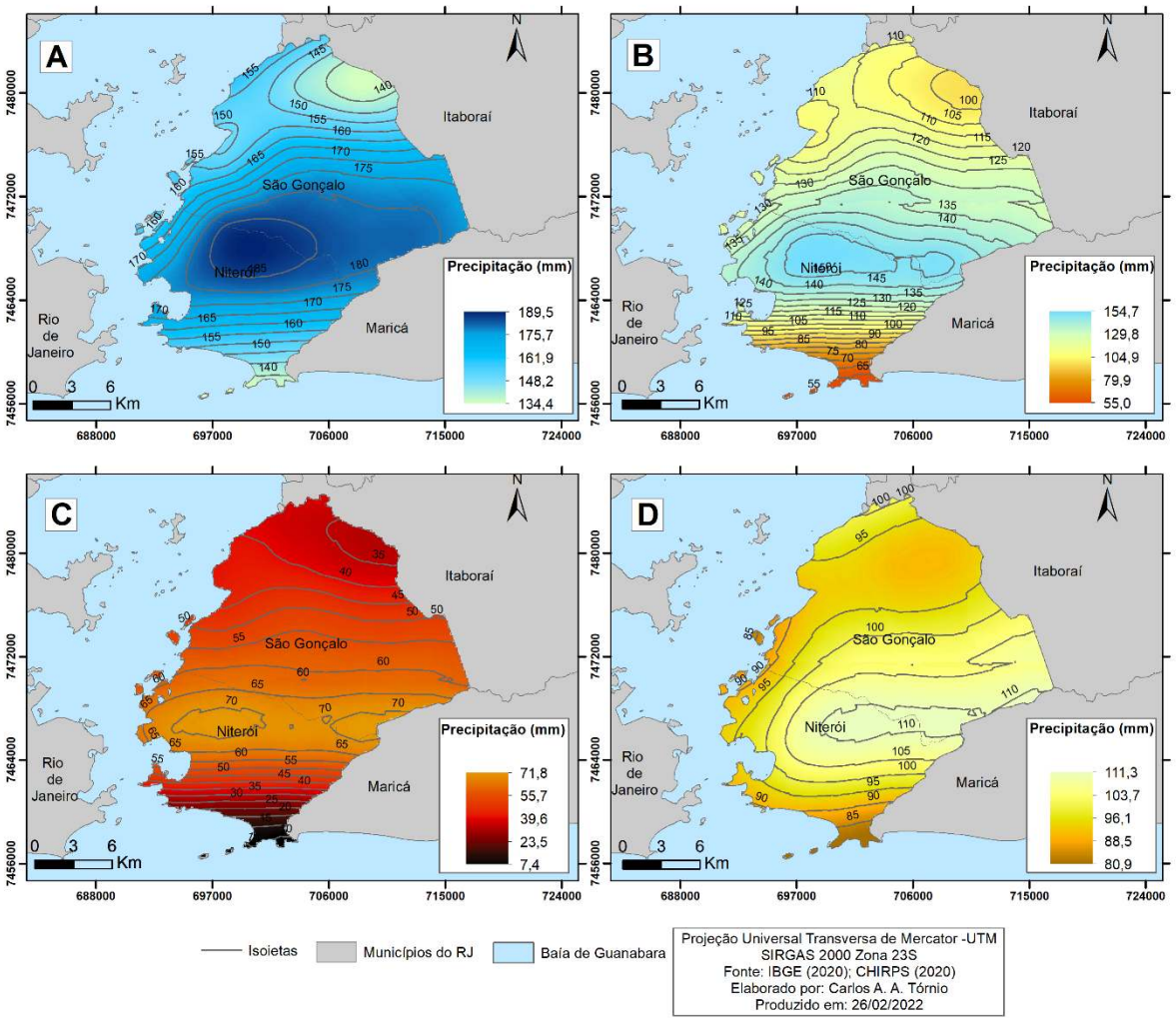


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na figura 6, observa-se a variabilidade média da chuva sazonal ao longo dos 14 anos analisados (2005-2018). Em relação as estações do ano, fica em evidência a boa precisão ao descrever a sazonalidade das chuvas, com uma distribuição espacial que varia entre os 134,4 mm e os 189,5 mm no verão, outono mostrando uma queda na concentração da precipitação, indicando a transição entre o período chuvoso e o mais seco, com valores entre 55 mm e 154,7 mm, inverno seco apresentando em certas áreas 7,4 mm e noutras algo próximo dos 71,8 mm, e a demonstração da retomada das chuvas na primavera, com valores entre 80,9 mm e 111,3 mm. A variabilidade do CHIRPS está em conformidade com estudos recentes, por exemplo, Costa *et al.* (2019) que ao trabalharem com uma série histórica de 13 anos, destacaram a concordância favorável entre o comportamento descrito pelo produto e os dados observados em pluviômetros do INMET. A mesma evidência é apontada nos trabalhos de Silva *et al.* (2020) e Oliveira-Junior *et al.* (2021), no primeiro caso, tratando-se da bacia do rio Apeú em Castanhal-PA, os autores destacaram que a alternância entre as estações chuvosas e menos chuvosas foi bem representada e foi estimada de modo satisfatório sobre a bacia em questão. Oliveira Junior *et al.* (2021) ao referir aos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul,

enfatizaram que o produto CHIRPS se mostrou capaz de representar a espacialidade das chuvas de forma satisfatória.

Figura 6 -Distribuição espacial média das chuvas ao longo das estações do ano: verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Assim como observado nos totais anuais, quando analisada a variabilidade média sazonal das chuvas, embora haja algumas variações, a distribuição mantém certa similaridade o ano inteiro, com a faixa mais ao Norte de Niterói em direção ao Sul/Sudeste de São Gonçalo concentrando mais chuvas. A esse respeito, Tórnio *et al.* (2021) ao analisarem o comportamento das chuvas em São Gonçalo, destacaram que a faixa mais ao Sul do município concentra os maiores acumulados de chuva, possivelmente devido ao relevo mais acentuado naquela área.

No verão, observa-se uma maior concentração de chuvas bem ao Norte de Niterói em direção ao Sudeste de São Gonçalo, exemplificada por uma "mancha" mais escura, registrando valores na casa dos 180 mm. Em ambos os municípios, todas as faixas que circundam essa área de maior concentração, apresentam comportamento semelhante, com totais próximos dos 160/170 mm. As únicas exceções estão ao Norte de São Gonçalo e no extremo Sul de Niterói em contato com o Oceano Atlântico, variando, em ambos os casos por volta dos 140 mm. No outono, este comportamento se mantém com uma concentração próxima a observada no verão no setor Norte de Niterói em direção ao Sudeste do município vizinho, com registros próximos dos 150 mm. Contudo, nas demais áreas observa-se uma redução na concentração de chuvas. Ao Norte de São Gonçalo, a menor concentração expandiu-se do setor mais a Nordeste para o Oeste em contato com a Baía de Guanabara, registrando valores na casa dos 100 mm a 110 mm. No Sul de Niterói a redução foi ainda maior com valores entre os 60 mm e 70 mm.

No inverno, a situação parece intensificar o comportamento já observado no outono, com totais próximos dos 70 mm entre o Norte de Niterói e Sudeste de São Gonçalo, Sul de Niterói mais seco abaixo dos 10 mm e valores próximos dos 35 mm a 50 mm nas demais localidades. Na primavera, quando a quantidade de chuvas volta a crescer, a maior concentração de chuvas já descrita anteriormente, parece se deslocar do Norte de Niterói para o Nordeste em direção não apenas ao Sudeste do município vizinho, como também pelo Nordeste indo em direção aos municípios de Maricá e Itaboraí, com valores próximos dos 110 mm.

A maior concentração de chuvas no setor Norte de Niterói rumo ao Sudeste de São Gonçalo pode ter relação com o sítio em que os municípios em questão estão inseridos. Fialho *et al.* (2005) sinalizaram que o padrão de distribuição de chuvas em São Gonçalo possivelmente seja influenciado pela posição a sotavento de maciços costeiros presentes na região, destacando-se principalmente a Serra da Tiririca em Maricá-RJ, município limítrofe. Em um estudo feito a partir de dados das estações meteorológicas dos aeroportos do município do Rio de Janeiro-RJ, Oliveira-Júnior *et al.* (2017) observaram que no contexto da Baía de Guanabara, os ventos predominam de Leste e Sudeste na estação Galeão (localizada na Ilha do Governador). Assim, sugerem Pereira *et al.* (2021) que a região pode ser impactada pelo efeito sombra de chuva em virtude de uma maior porção da precipitação ficar restrita aos

maciços costeiros próximos do litoral de Maricá e Niterói em direção a São Gonçalo. Assim sendo, esta ideia nos apontaria para possíveis causas da maior concentração de chuvas sempre ocorrer entre o Norte de Niterói e o Sul/Sudeste de São Gonçalo, porção que acompanha o relevo mais acentuado, atingindo em certos pontos altitudes superiores aos 500 metros. O vento úmido então (Leste/Sudeste), entra em contato com os maciços costeiros a partir de Maricá, que em certos pontos varia entre os 600m e 800m de altitude, como na Serra do Macaco (635 m), em direção a pontos como a Serra da Tiririca em Niterói (400 m) e Serra do Calaboca (393m) em São Gonçalo o que favorece mais umidade nessa porção, ao passo que, no eixo Sul de Niterói e entre o Oeste e Norte de São Gonçalo o ar pode possuir uma quantidade menor de umidade disponível.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, o produto CHIRPS representa satisfatoriamente a variabilidade das chuvas no E da RMRJ, neste caso São Gonçalo e Niterói, em conformidade com os pluviômetros, e a sazonalidade, isto é, o período chuvoso (novembro -abril) e o período menos chuvoso (maio-outubro).

Com base nos indicadores estatísticos utilizados, pode-se verificar a acurácia das estimativas do produto frente aos dados observados em pluviômetros, com resultados satisfatórios que evidenciam sua qualidade e acurácia. O coeficiente de correlação de Pearson é elevado em três dos cinco pontos analisados (Est. Bomb. de Imunana, ECC-FFP e Normal Climatológica), o RMSE indica menor erro na maior parte dos pontos, abaixo dos 30 mm, exceto no Forte de Copacabana (40 mm). O BIAS mostra uma superestimativa (do produto CHIRPS) abaixo dos 25% em quase todos os casos, novamente, a exceção é observada no Forte de Copacabana (51,68%).

O coeficiente de determinação mostra que as estimativas do CHIRPS são bastante similares e próximas dos dados observados nos pluviômetros. Essa semelhança/proximidade se torna perceptível nos períodos onde os totais mensais são inferiores, quando os totais mensais são superiores aos 200 mm essa proximidade diminui significativamente.

Em suma, é fundamental destacar a qualidade e acurácia nas estimativas do CHIRPS para a região de estudo e que pode ser devidamente aplicado para outras regiões com

características similares a área de estudo. Este produto é capaz estimar as chuvas e descrever sua distribuição espaço-temporal de forma precisa e eficaz, sendo importante, sobretudo para as regiões onde a cobertura de postos pluviométricos é baixa ou inexistente.

A utilização das estimativas de chuva por satélite apresenta-se como uma ferramenta útil para regiões onde as séries históricas são recentes, com muitas falhas, ou até mesmo inexistentes. Por isso, este estudo é uma alternativa eficiente para o entendimento da dinâmica espacial das chuvas no contexto do Leste da RMRJ.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro-FAPERJ pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. C. *et al*. Comparison and validation of TRMM satellite precipitation estimates and data observed in Mato Grosso Sul state, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 567-590, 2020. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/68569. Acesso em: 13 jul. 2023.

ALMAZROUI, M. Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. **Atmospheric Research**, v. 99, n. 3-4, p. 400-414, 2011. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169809510003091. Acesso em: 13 jul. 2023.

ALMEIDA, C. T. *et al*. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. **FLORAM - Revista Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 279-286, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2179-8087.112114. Acesso em: 13 jul. 2023.

ALMEIDA, H. A. de. **Climatologia aplicada a Geografia** [Livro Eletrônico]./Hermes Alves de Almeida. Campina Grande: EDUEPB, 2016.

ALVES, A. V. P. *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, p. 417-429, 2017. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/45865. Acesso em: 13 jul. 2023.

ANJOS, R. S. D. Caracterização das chuvas através do satélite TRMM em Petrolândia-PE. **Revista Brasileira de Climatologia**, [*s. l.*], ano 12, v. 18, p. 307-326, 2016. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/44652. Acesso em: 13 jul. 2023.

BERNARDI, E. C. S. **Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado do Rio Grande do Sul**. Orientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli. 2016. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7658. Acesso em: 13 jul. 2023.

BERTOLINO, A. V. F. A. *et al*. Análise da Dinâmica Climatológica no Município de São Gonçalo/RJ: Triênio 2004 - 2007. **Revista Tamoios**, São Gonçalo, ano IV, n. 2, p. 1-13, 14 jul. 2023. Disponível em: https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/tamoios/article/view/624/656. Acesso em: 13 jul. 2023.

BERTOLINO, A. V. F. A. *et al*. As repercussões pluviais e os movimentos de massa na porção leste da Baía de Guanabara: estudo de caso de São Gonçalo - RJ. *In*: *In*: SILVA, C. A; FIALHO, E. S. (Org.). **Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica**, 2012. Cap.10. p. 233-256.

BRITO, T. T. et al. Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, [s. l.], v. 129, p. 469-478, 2017. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-016-0481-x. Acesso em: 18 dez. 2023.

CASTELHANO, F. J. *et al*. Correlação entre dados pluviométricos de superfície e satélites para estudos climatológicos. **Geosul**, v. 32, p. 179-192, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.5007/2177-5230.2017v32n64p179. Acesso em: 13 jul. 2023.

CHIRPS. **Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data**, 2021. Disponível em: https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps. Acesso em: 13 jul. 2023.

COSTA, J. *et al*. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2019. 24, 228-243. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60237. Acesso em: 13 jul. 2023.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia**: Usando SPss para Windows. 3a. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 608 p. ISBN 978-85-363-0688-9. Disponível em: https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-939171. Acesso em: 13 jul. 2023.

FARIAS, O. G. **Interpoladores híbridos e não híbridos aplicados com dados CHIRPS e de estações pluviométricas na região montanhosa do litoral sul fluminense**. Orientador: José Francisco de Oliveira Júnior. 2019. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biossistemas) - Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 2019.

FIALHO, E. S. *et al*. Os Impactos Pluviais em São Gonçalo-RJ. *In*: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 11, 2005, São Paulo. **Anais do XI SBGFA**. São Paulo: USP, 2005. Cd-rom

FUNK, C. *et al*. The climate hazards infrared precipitation with Stations a new environmental record for monitoring extremes, 2015. **Scientific data** 2, 1-21. Disponível em: https://www.nature.com/articles/sdata201566. Acesso em: 13 jul. 2023.

GEOESTATÍSTICA: Validação cruzada no ArcGis. Realização de Baio, F.. Chapadão do Sul-Ms, 2020. (56 min.), videoaula, P&B. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=oCv64k4zUB0. Acesso em: 13 jul. 2023.

HOPKINS, W.G. A new view of statistics: Correlation coefficient. 2009. Apud OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. *et al*. Confronting CHIRPS dataset and in situ stations in the detection of wet and drought conditions in the Brazilian Midwest. **INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY**, p. 1-16, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **São Gonçalo-RJ Panorama**. 2023. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/saogoncalo/panorama. Acesso em: 13 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Niterói-RJ Panorama**. 2023. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/niteroi/panorama. Acesso em: 13 jul. 2023.

LIMA JÚNIOR, A. F. *et al*. Avaliação do desempenho da precipitação estimada pelo CHIRPS para o Estado do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 32, p. 363–382, 2023 2023. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/16143. Acesso em: 13 jul. 2023.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. UNESP, Texto Didático 02, 20 pp. 2000. Disponível em: http://clip2net.com/clip/m14793/1259865010-surfer03-2228kb.pdf. Acesso em: 13 jul. 2023.

LOPES, C. B. *et al*. Análise da distribuição pluviométrica na Baixada Fluminense, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 413-433, 2022. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15225. Acesso em: 13 jul. 2023.

LOPES, C. B. *et al*. Mapeamento do perigo de inundação em bacia urbana com poucos dados hidrológicos. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 24, n. 92, p. 226–246, 2023. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/63476. Acesso em: 13 jul. 2023.

LUCAS, T. P. B. *et al*. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 7-21, 2013. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13709. Acesso em: 13 jul. 2023.

MARCUZZO, F. F. N. *et al*. Uso dos Métodos de Krigagem e Spline de Tensão no Mapeamento de Chuvas na Região Metropolitana de Goiânia e Seu Entorno. In: II Simpósio Internacional Caminhos Atuais da Cartografia na Geografia, 2010, São Paulo. **Anais do II SICACG**. São Paulo: EDUSP, 2010. v. 1. p. 128-128.

MARINHO, R. R.; RIVERA, I. A. A Precipitação Estimada por Satélite na Bacia do Rio Negro, Noroeste Amazônico (1981-2017). **Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, PR, V.50, p. 44 – 61. 2021. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/67426. Acesso em: 13 jul. 2023.

NASTOS, P. T *et al*. Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. **Atmospheric Research**, v. 169, p. 497-514, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169809515002525. Acesso em: 13 jul. 2023.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. *et al*. Estudo da circulação dos ventos na Baía de Guanabara/RJ, entre 2003 e 2013. **Revista Brasileira de Climatologia**, [*s. l.*], ano 13, v. 21, p. 59-80, 2017. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/51492/33284. Acesso em: 13 jul. 2023.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. *et al*. Confronting CHIRPS dataset and in situ stations in the detection of wet and drought conditions in the Brazilian Midwest. **INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY**, p. 1-16, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1002/joc.7080. Acesso em: 13 jul. 2023.

PAREDES-TREJO, F. J. *et al*. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of arid environments**, v. 139, p. 26-40, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009. Acesso em: 13 jul. 2023.

PAREDES-TREJO, F. J. *et al*. Intercomparison of improved satellite rainfall estimation with CHIRPS gridded product and rain gauge data over Venezuela. **Atmósfera**, v. 29, n. 4, p. 323-342, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187623617300346. Acesso em: 13 jul. 2023.

PASSOW, M. J. TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom. **TerraeDidatica**, v. 6, n. 1, p. 03-08, 2010. Disponível em: https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v6_1/pdf-v6_1/TD_vi_a1-s-link-prss-quality.pdf. Acesso em: 13 jul. 2023.

PEREIRA, V. C. M. *et al*. As chuvas de verão sob a influência do fenômeno El Niño, entre 2005 e 2018, e o risco de inundações no município de São Gonçalo-RJ (Brasil). **TERRITORIUM (COIMBRA)**, v. 2, p. 27-41, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_3. Acesso em: 13 jul. 2023.

SALGADO, C. M. *et al*. Caracterização temporal e espacial da precipitação no entorno do município de São Gonçalo-RJ: considerando a série histórica de 1968 a 2002. Revista **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 19, v. 1, p. 19-31, 2007. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/9244. Acesso em: 13 jul. 2023.

SANT'ANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, nº1, 2005. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25232. Acesso em: 13 jul. 2023.

SANTOS, B. C. *et al*. Análise espaço-temporal da precipitação na região central do estado de São Paulo utilizando dados CHIRPS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*s. l.*], v. 15, ed. 05, p. 2582-2600, 2022. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/253191. Acesso em: 13 jul. 2023.

SANTOS, S. R. Q. *et al*. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: Validação da série de precipitação mensal do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*s. l.*], v. 10, n. 06, p. 1721-1729, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234143/27504. Acesso em: 13 jul. 2023.

SILVA, C. B. *et al*. Precipitação na América do Sul dados obtidos em estações meteorológicas automáticas e sistemas orbitais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p. 54-79, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.58813. Acesso em: 13 jul. 2023.

SILVA, D. F.; ROCHA, J. V. Interpolação dos dados observados de precipitação pluvial e comparados com dados estimados pelo satélite TRMM. *In*: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu - PR. **Anais do XVI SBSR**, 2013. Disponível em: http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.38.37/doc/p1275.pdf. Acesso em: 13 jul. 2023.

SILVA, D. T. *et al*. Precipitação estimada por sensoriamento remoto no estado de Sergipe. **Nativa**, v. 8, p. 198, 2020. Disponível em: https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7821. Acesso em: 13 jul. 2023.

SILVA, E. R. M. *et al*. Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 1094, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/243392. Acesso em: 13 jul. 2023.

SOARES, A. *et al*. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba / Assessment of rainfall estimates of TRMM satellite on Paraíba state. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, p. 288-299, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p288-299. Acesso em: 13 jul. 2023.

TÓRNIO, C. A. A. *et al*. Distribuição espacial das chuvas e os impactos das inundações em São Gonçalo-RJ no triênio (2016-2018)**.** ***In*****:** XIV ENANPEGE. Campina Grande: Realize Editora, 2021. **Anais**. Disponível em: https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/77958. Acesso em: 13 jul. 2023.

WANDERLEY, H. S. *et al*. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DE ALAGOAS. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos-SBRH, 2009, Campo Grande-MS. **Anais do XVIII SBRH**, 2009. v. XVIII.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. [S.l: s.n.], 2013.