

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CHIRPS E SUA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO DE SECAS NA MESORREGIÃO NOROESTE DO RIO DE JANEIRO

Carlos Augusto Abreu Tórnio ¹
Antonio Carlos da Silva Oscar Júnior ²

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as secas têm sido um dos desastres naturais mais impactantes para a agricultura e o desenvolvimento socioeconômico. Esses eventos tornaram-se mais frequentes e intensos ao longo do tempo, à medida que o clima global se torna mais quente (Ojha et al., 2021). A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define secas como períodos prolongados de falta de chuva que ocorrem lentamente e são difíceis de prever e identificar (Bonsal et al., 2011). Mishra e Singh (2010) identificaram quatro tipos de secas: Meteorológica, Hidrológica, Agrícola e Socioeconômica.

No Brasil, entre 1991 e 2013, 57% das secas ocorreram no Nordeste, 27% no Sul e 14% no Sudeste. No Rio de Janeiro, os efeitos são mais notáveis nas mesorregiões Norte e Noroeste (UFSC, 2013). Estudos alertam para o agravamento das secas no Sudeste, como a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo e Rio de Janeiro (Santana e Santos, 2020).

Para quantificar secas, diversos índices foram desenvolvidos, como aqueles focados apenas na precipitação como, o Índice Padronizado de Precipitação (SPI), Índice Decílico (DI), Percentual do Normal (PN), e outros que também consideram o balanço hídrico como, Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), Índice de Seca de Reconhecimento (RDI) e Índice Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração (SPEI) (FORTIN et al., 2024).

Embora existam muitos estudos sobre o regime pluviométrico no Rio de Janeiro, poucos discutem a ocorrência e severidade das secas nas regiões fluminenses, destacando a necessidade de investigar esse tema (Oliveira-Júnior et al., 2018). Um dos grandes desafios para isso é a disponibilidade de dados históricos confiáveis, sendo uma alternativa o uso de dados estimados por sensoriamento remoto (Soares et al., 2016).

Como os dados observados com boa série histórica têm se tornado escassos, o objetivo deste estudo é verificar a acurácia das estimativas de precipitação mensal do CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations) para investigar secas

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UERJ; carlos.tornio@hotmail.com;

² Professor adjunto do Instituto de Geografia da UERJ; thony.oscar@gmail.com.

usando o SPI em diferentes intervalos de tempo na mesorregião Noroeste do Rio de Janeiro entre 1981 e 2023.

Os resultados mostram que as estimativas do CHIRPS têm boa correlação com dados de pluviômetros ($r > 0,88$), com erros MAE abaixo de 30 mm e RMSE entre 30 e 50 mm. Os valores de SPI do CHIRPS se aproximaram dos gerados a partir dos pluviômetros, com correlação (ρ) superior a 0,71. Testes de Mann-Kendall não indicaram tendências significativas nas chuvas. Assim, o CHIRPS mostrou-se uma alternativa confiável para monitorar precipitação e secas na região, apesar da série histórica relativamente curta. Recomenda-se mais investigações em escala diária ou com outros índices como complemento.

METODOLOGIA

Devido à baixa cobertura de pluviômetros, foram usados dados de seis pluviômetros da Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com série histórica de 1981 a 2023 e falhas abaixo de 5%, organizados em totais mensais. Para as etapas seguintes, foram escolhidas as estimativas de precipitação mensal do CHIRPS v2.0, devido à sua alta resolução espacial de $0,005^\circ$ e comprovada acurácia em vários estados brasileiros (Tórnio et al., 2024; Silva et al., 2020; Oliveira-Junior et al., 2021).

Os dados do CHIRPS foram convertidos de formato raster para vetorial para os 504 meses da série histórica. Usando o software R 4.3.2, os pontos de grade do satélite foram filtrados e organizados para validação estatística em relação aos pluviômetros. Parâmetros estatísticos como coeficiente de correlação de Pearson (r) (Equação 1), coeficiente de determinação (R^2) (Equação 2), Erro Médio Absoluto (EMA) (Equação 3), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) (Equação 4) e VIÉS ou BIAS (%) (Equação 5) foram utilizados para avaliar as estimativas de precipitação (Silva et al., 2020; Oliveira-Junior et al., 2021).

Após verificar a precisão do CHIRPS, o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) foi calculado com o pacote SPEI em linguagem R, tanto para os dados observados quanto para os estimados pelo CHIRPS. O SPI é calculado ajustando dados de precipitação mensal à função Gamma, transformando a probabilidade em uma densidade de probabilidade normal (McKee et al., 1993).

A classificação do SPI segue Lloyd-Hughes & Saunders (2002): ≥ 2 é extremamente úmido, 1,5 a 1,99 é muito úmido, 1 a 1,49 é moderadamente úmido, 0 a 0,99 é pouco úmido, 0 a -0,99 é pouco seco, -1 a -1,49 é moderadamente seco, -1,5 a -1,99 é muito seco, e ≤ -2 é extremamente seco.

Para avaliar a proximidade entre os SPI do CHIRPS e dos pluviômetros, foi usado o coeficiente de correlação de Spearman (rho) (Equação 6) para todos os intervalos de tempo (1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses) (Degefu et al., 2022).

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

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{O}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(P_i - O_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$BIAS = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \quad (5)$$

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N(N^2 - 1)} \quad (6)$$

Onde: P_i = precipitação estimada (mm) pelo satélite CHIRPS no intervalo de tempo i ; O_i = precipitação observada (mm) em um dado intervalo de tempo i ; n = número de dados analisados; d_i = a diferença entre P_i e O_i ; \bar{P} = valor médio estimado de precipitação (mm) pelo CHIRPS; \bar{O} = valor médio de precipitação observado (mm) em um pluviômetro específico (Tórnio et al. 2024; Degefu et al., 2022; Santos et al., 2022).

Utilizando a classificação do SPI por Lloyd-Hughes & Saunders (2002), foi aplicado o Método Gráfico Cronológico de Processamento de Informação (MGCTI) para classificar os 42 anos de acordo com o SPI de 12 meses (anual), como fizeram Poirier e Fortin (2023), identificando períodos secos e úmidos. Para o mapeamento do SPI, foi utilizado o método da Ponderação Inversa da Distância (IDP) no ARC GIS 10.4.

Para verificar se existem tendências de aumento ou redução da precipitação a partir do SPI 12 na área de estudo, foi empregado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1948), que determina a presença de tendências monótonas significativas (Equações 7 e 8).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(X_j - X_i) \quad (7)$$

Onde $X_j - X_i$ corresponde aos valores sequenciais da série, sendo n o comprimento da série:

$$\text{Sign}(X_j - X_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } X_j - X_i > 0 \\ 0 & \text{si } X_j - X_i = 0 \\ -1 & \text{si } X_j - X_i < 0 \end{cases} \quad (8)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1A resume os resultados obtidos por meio do cálculo de indicadores estatísticos usados para verificar a precisão do CHIRPS para o Noroeste fluminense.

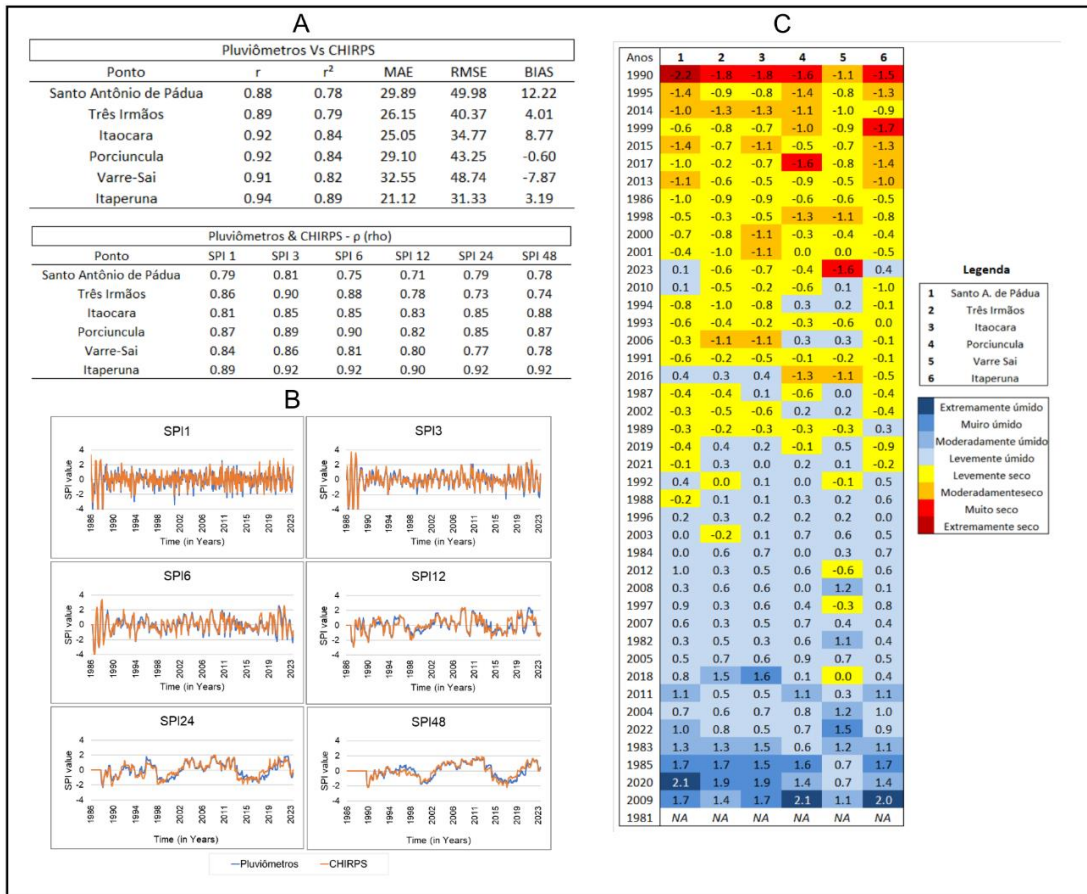


Figura 1 – Compilado de resultados: Estatísticas (A), Comparação do SPI em diferentes escalas (B) e MGCTI da localização dos seis pluviômetros (C). Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Ao direcionar o olhar sobre a correlação (r), observa-se uma forte associação entre os dados observados e os dados estimados. Nos seis pluviômetros utilizados, a correlação (r) foi mais significativa que 0,8, variando entre 0,88 e 0,94. Hopkins (2009) classifica graus de correlação entre 0,7 e 0,9 como associações muito altas. Portanto, fica claro que o desempenho do CHIRPS mostrou uma relação altamente correlacionada com os dados das estações meteorológicas para a escala mensal.

Seguindo estudos que visaram validar o CHIRPS, como Tórnio et al. (2024), Oliveira-Júnior et al. (2021), Santos et al. (2022) e Silva et al. (2020), o coeficiente (R^2) variou entre 0,78 e 0,89, indicando um bom ajuste. As medidas de desempenho, MAE e RMSE, quantificam o erro associado as estimativas do CHIRPS. O MAE variou entre 21,12 mm e 29,89 mm, enquanto o RMSE variou entre 31,33 mm e 50 mm, ambos demonstrando ajustes satisfatórios.

O BIAS (%) indica a presença de subestimação ou superestimação nas estimativas do CHIRPS. Valores próximos de zero indicam ausência de erro sistemático, enquanto valores positivos e negativos indicam superestimação e subestimação, respectivamente. O CHIRPS apresentou baixa superestimação na maioria dos postos, variando entre 3% e 12,2%, com exceção de Porciúncula e Varre-Sai, que apresentaram subestimação de -0,6% e -7,8%, respectivamente. Santos et al. (2017) consideram valores de BIAS entre 0 e 25 como baixos, o que indica que o CHIRPS apresentou erros sistemáticos baixos.

A correlação de Spearman demonstrou alta associação em todos os intervalos temporais, sempre acima de 0,71, indicando boa precisão tanto em escalas curtas (1, 3 e 6 meses) quanto em longas (12, 24 e 48 meses). Nos gráficos de linha do SPI (figura 1B), os valores do CHIRPS e dos pluviômetros quase se sobrepõem frequentemente e permanecem próximos, especialmente entre os anos de 1994 e 2011.

Apesar da forte correlação do SPI proveniente do CHIRPS e dos pluviômetros na escala de 3 meses (superior a 0,8), optou-se por representar os valores de SPI na escala anual SPI 12 (superior a 0,7) por limitações de espaço. A Figura 1C mostra os valores médios de SPI 12 para cada um dos seis pluviômetros ao longo dos 42 anos, destacando os dez anos mais secos: 1990, 1995, 2014, 1999, 2015, 2017, 2013, 1986, 1998 e 2000. O mapeamento da média do SPI para os seis anos mais secos foi realizado, mas optou-se por representar apenas a variação mensal do SPI 12 para 2014 (figura 2B), ano recente e notório pela crise nos reservatórios do Sudeste (Santana e Santos, 2020).

Exceto nos primeiros dois meses do ano, entre março e dezembro de 2014 houve um agravamento das condições de seca, com um padrão claro nas áreas mais afetadas: seca mais amena ao Norte e Leste, e mais severa ao Sul e Oeste. Esse comportamento não foi consistentemente observado em outros anos secos, como 2015, 1990, 1999 e 2017, que mostraram padrões diferentes. Compreender a espacialidade das secas implica entender a relação dos fatores geográficos locais com os sistemas atmosféricos que atuam na região e suas relações, claras ou não, com outros fenômenos meteorológicos que atuam em maiores escalas espaciais como os ENOS, por exemplo (próximos passos deste trabalho). Embora 2014 tenha sido influenciado pelo El Niño (CPTEC, 2018), não há indícios na literatura que o fenômeno está diretamente relacionado à variação da precipitação nas regiões fluminenses (Sobral et al., 2019).

O teste de Mann-Kendall não revelou tendências significativas de mudança na precipitação nos pontos de grade do CHIRPS com base no SPI 12. Com valores de "p" superiores a 0,005, as tendências observadas no teste da Inclinação de Sen (%) mostraram-se

praticamente nulas, tanto positivas quanto negativas (figura 2C). Valores negativos foram observados ao centro-leste em direção Norte. Estudos anteriores também relataram tendências não significativas na região Noroeste fluminense (Sobral et al., 2019; Santos e Santos, 2020), confirmando a boa performance do CHIRPS.

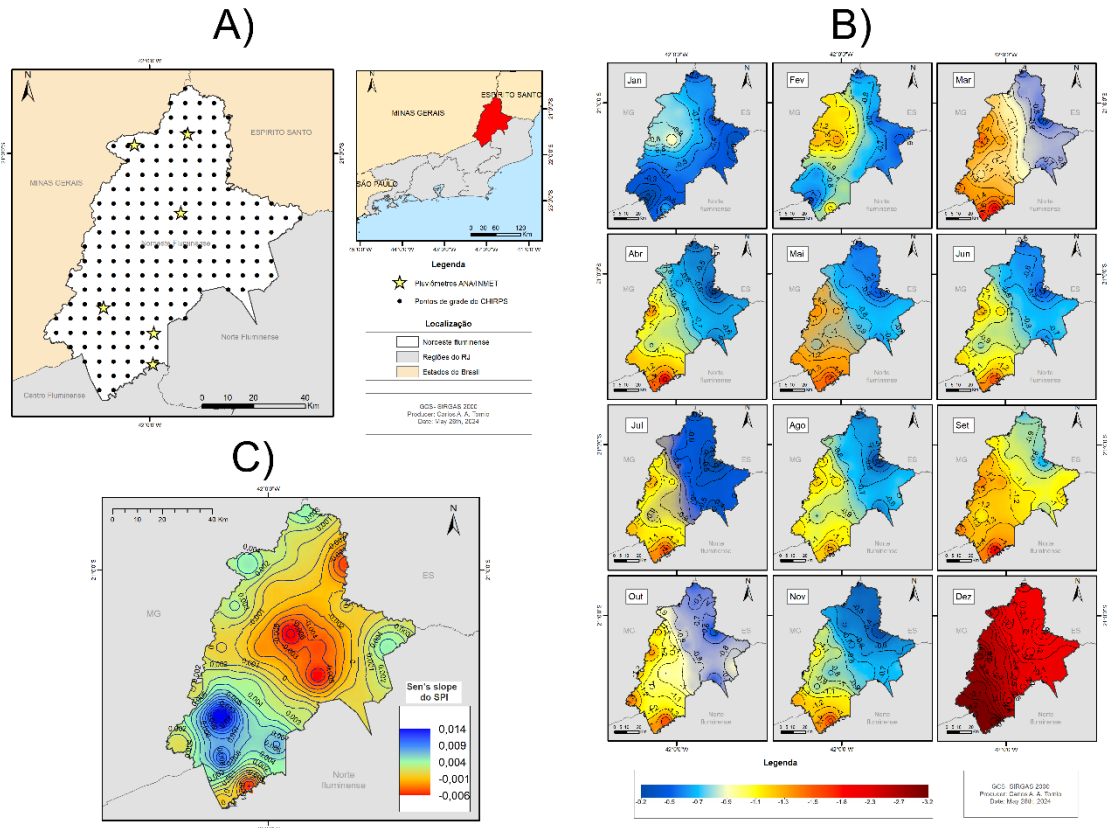


Figura 2- Área de estudo com pontos de grade do CHIRPS (A); Variação do SPI 12 ao longo do ano de 2014 (B); Inclinação de Sen (%) do teste de Mann-Kendall (C). Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A ausência de tendência significativa no SPI 12 para uma amostra de 42 anos não implica que não haja tendências de mudança na região. Outros índices ou métodos podem complementar a investigação, como aqueles que considerem o Balanço Hídrico Climatológico ou análises em escala diária para identificar dias consecutivos secos e úmidos. Estudos nas regiões Norte, Noroeste e dos Lagos sugerem mudanças locais heterogêneas na precipitação e pontuam que a precipitação pode estar se concentrando em poucos dias do ano (Santana e Santos, 2020; Santos e Santos, 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em resumo, foi possível verificar que o produto CHIRPS representou satisfatoriamente a variabilidade mensal da precipitação ao longo da mesoregião Noroeste

fluminense. Em relação aos dados brutos de precipitação a correlação (r) superou 0,88, os erros associados as estimativas mantiveram-se abaixo dos 30 mm (MAE) e, variaram entre 30 e 50 mm nos valores de RMSE. Os erros sistemáticos, associados a superestimativa ou subestimativas, foram baixíssimos, entre -7,8 e 12,2%, atestando a boa precisão do produto.

Quando analisada a proximidade do SPI em diferentes intervalos de tempo, curto (1, 3, 6) e longo (12, 24 e 48), verificou-se que os valores provenientes do CHIRPS se mantiveram muito próximos e, em muitos períodos quase se sobrepuseram aos valores advindos dos dados observados em superfície. A correlação (ρ) entre eles foi superior a 0,71 em todas as escalas para todos os pontos. Indicando, mais uma vez que, este produto possui precisão suficiente para ser utilizado no monitoramento da precipitação e de secas na região.

Palavras-chave: Monitoramento de secas; Precipitação; CHIRPS; SPI.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

BONSAL, B. R., et al. Pesquisa sobre seca no Canadá: Uma revisão. **Atmosphere-Ocean**, v. 49, n. 4, p. 303-319, 2011.

CPTEC/INPE. El Niño e La Niña. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 13 jun. 2024.

DEGEFU, M. A., et al. Avaliando o desempenho de 20 produtos de precipitação globais e quase-globais na representação de eventos de seca na Etiópia I: Análise visual e de correlação. **Weather and Climate Extremes**, v. 35, p. 100416, 2022.

FORTIN, et al. **Development of a Drought Vulnerability Index for New Brunswick**. Relatório de estágio. Universidade de Moncton, New Brunswick, 2024. Projeto no: 230043. Financiado por New Brunswick Environmental Trust Fund. Impresso.

HOPKINS, W. G. **Uma nova visão sobre estatísticas: coeficiente de correlação**. 2009.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.

LLOYD-HUGHES, B.; SAUNDERS, M. A. Uma climatologia de seca para a Europa. **International Journal of Climatology**: a Journal of the Royal Meteorological Society, v. 22, n. 13, p. 1571-1592, 2002.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, p. 245-259, 1945.

MCKEE, T. B., et al. A relação entre frequência e duração de secas em escalas de tempo. In: **Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology**, p. 179-183, 1993.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. Uma revisão dos conceitos de seca. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202-216, 2010.

OJHA, S. S.; SINGH, V.; ROSHNI, T. Comparação de seca meteorológica usando SPI e SPEI. **Civil Engineering Journal**, v. 7, p. 2130-2149, 2021.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., et al. Drought severity based on the SPI index and its relation to the ENSO and PDO climatic variability modes in the regions North and Northwest of the State of Rio de Janeiro-Brazil. **Atmospheric Research**, v. 212, p. 91-105, 2018.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., et al. Confrontando o conjunto de dados CHIRPS e estações in situ na detecção de condições úmidas e de seca no Centro-Oeste brasileiro. **International Journal of Climatology**, p. 1-16, 2021.

POIRIER, C., et al. Características espaciais e temporais das secas passadas em New Brunswick (1971–2020). **International Journal of Climatology**, v. 43, n. 15, p. 7183-7198, 2023.

SANTANA, G. R. A.; SANTOS, E. B. Caracterização Espaço-Temporal das Secas na Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [s. l.], v. 43-4, p. 364-375, 2020.

SANTOS, B. C., et al. Análise espaço-temporal da precipitação na região central do estado de São Paulo usando dados CHIRPS. **Revista Brasileira de Geografia física**, v. 15, n. 5, p. 2582–2600, 2022.

SANTOS, G. D. R. N.; SANTOS, E. B. Análise das Secas nas Regiões Norte e Noroeste Fluminense. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, p. 01_10-01_10, 2020.

SANTOS, S. R. Q., et al. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: validação da série mensal de precipitação do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia física**, v. 10, n. 06, p. 1721-1729, 2017.

SILVA, E. R. M., et al. Avaliando o desempenho da estimativa de precipitação do produto CHIRPS para a Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia física**, v. 13, p. 1094-1105, 2020.

SOARES, A., et al. Avaliação das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado da Paraíba. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 21, p. 288-299, 2016.

SOBRAL, B. S., et al. Drought characterization for the state of Rio de Janeiro based on the annual SPI index: trends, statistical tests and its relation with ENSO. **Atmospheric research**, v. 220, p. 141-154, 2019.

TÓRNIO, C. A. A., et al. Avaliação de desempenho do CHIRPS para os municípios de São Gonçalo e Niterói (RJ). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 34, n. 20, p. 79-103, 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.