

REVISÃO SISTEMÁTICA DE ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO QUANTITATIVA POR SENSORIAMENTO REMOTO PARA EVENTOS DE DESASTRES HIDROLÓGICOS PASSADOS

Emanuel Fusinato¹; Anderson Ruhoff² & Rodrigo Cauduro Dias de Paiva³

Palavras-Chave – Estimativa de precipitação quantitativa, Sensoriamento remoto, Desastres hidrológicos.

INTRODUÇÃO

A precipitação é um dos principais processos do ciclo hidrológico e pode desencadear eventos extremos, como inundações e movimentos de massa. As alterações climáticas podem tornar os eventos extremos ainda mais frequentes, assim o monitoramento e a compreensão destes é essencial. No entanto, os sistemas de monitoramento de precipitação são deficitários (CÁNOVAS-GARCÍA; GARCÍA-GALIANO; KARBALAE, 2017) resultando em dados insuficientes ou não representativos. Porém, as tecnologias de sensoriamento remoto, por sua abrangência, podem melhorar a coleta de dados.

Desta forma, esta pesquisa objetiva identificar, a partir de uma revisão da literatura, se a estimativa quantitativa de precipitação (QPE) por meio de sensoriamento vem sendo utilizada para avaliar eventos de desastres hidrológicos passados (CRED), quais são as principais tipologias de desastres avaliados, os métodos empregados e as escalas de aplicação. Nesta pesquisa, considerou-se todos os produtos de sensoriamento remoto como dados brutos ou pós-processamento de satélites, radares meteorológicos e veículos aéreos.

METODOLOGIA

A revisão foi realizada conforme método ROSES (HADDAWAY *et al.*, 2018). A busca considerou publicações científicas em inglês até 31/12/2021 nas principais bases de artigos científicos, Scopus e Web of Science (Martín-Martín *et al.*, 2018). A busca foi realizada com base nos títulos, abstracts e palavras-chave (*remote sensing, flood, landslide, mass movement, rockfall, avalanche, subsidence, rainfall estimation, rainfall prediction, precipitation estimation, precipitation prediction*).

Após um procedimento de busca, 218 elementos únicos foram identificados e posteriormente submetidos à triagem. O critério de inclusão consistiu em estudos que empregam a QPE para eventos de desastres hidrológicos passados, e exclusão de artigos de revisão, notas, opiniões, e estudos com enfoque em previsão de precipitação. Obteve-se 17 artigos, que foram categorizados em país da área de estudo, tipologia de desastre, escala espacial e temporal, fonte de dados, resolução espacial e temporal.

RESULTADOS

Os artigos selecionados avaliaram QPE em 12 países e um estudo global, no qual ressalta-se os Estados Unidos com o maior número de estudos (4). Estes artigos foram publicados entre 2006 e

1) Afiliação: Mestrando, Bolsista CNPq, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: eng.emanuelfusinato@gmail.com.

2) Afiliação: Professor, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: anderson.ruhoff@ufrgs.br.

3) Afiliação: Professor, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: rodrigo.paiva@ufrgs.br.

2021, e avaliaram desastres ocorridos entre 1993 e 2020, demonstrando que é possível realizar análises de eventos antigos.

A escala temporal mais empregada foi a horária, enquanto a escala espacial foi a estadual/regional. Verificou-se que o uso da escala temporal em horas está associado ao uso em modelagem, e a escala espacial à natureza do fenômeno hidrológico. Fenômenos de maior velocidade são avaliados em escalas menores; e de menor velocidade, em escalas maiores.

Os estudos utilizaram para QPE os produtos de satélite e de radares meteorológicos. Os principais consistiram nos produtos de satélite CMORPH, PERSIANN-CCS, TMPA 3B42RT e os radares meteorológicos (Tabela 1). O PERSIANN-CCS apresentou subestimativas ou superestimativas, não sendo capaz de descrever fenômenos extremos de precipitação quando não há aplicação de correções. O TMPA 3B42-RT apresenta um bom desempenho para estimar a acumulação diária de precipitação, principalmente para tempestades com nuvens de temperaturas mais elevadas. O CMORPH apresenta subestimativas quantitativas, principalmente para chuva leve e em picos. No entanto, o CMORPH é indicado para análise qualitativa da distribuição espaço-temporal da precipitação.

A QPE de radares meteorológicos foram empregadas para validação, comparação ou para melhoria de métodos. Os radares meteorológicos apresentaram a melhor resolução espaço-temporal, contudo apresentam elevado custo de implantação e manutenção.

Tabela 1 – Produtos de precipitação, resolução espaço-temporal e aplicação para tipos de eventos de desastres

PRODUTO	RESOLUÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL	TIPOLOGIA DE DESASTRE
CMORPH [2] [5] [14] [16]	0.1°; 30 min	Deslizamento; Tufão; Inundação gradual; Fluxo de detritos; Inundação brusca
IMERG [17]	0.1°; 30 min	Inundação brusca
Meteosat 7 [11]	5 km; 30 min	Inundação gradual
Meteosat 8 [12]	3 km; 15 min	Ciclone; Inundação gradual
MRMS/Q3 [14]	1 km; 1 hora	Inundação brusca
MPE [7]	4 km; 15 min	Inundação gradual; Inundação brusca
PERSIANN [2] [16]	0.25°; 3 horas	Deslizamento; Inundação gradual
PERSIANN-CCS [3] [5] [13] [15]	0.04°, 0.25°; 1 hora	Inundação gradual; Tufão; Deslizamentos; Fluxo de detritos; Inundação gradual
SM2RASC [2]	12.5 km; 1 dia	Deslizamento
SSM/I [11]	12.5 km; 12 horas	Inundação gradual
TMPA 3B42RT [2] [5] [10] [14]	0.25°; 3 horas	Deslizamento; Tufão; Inundação gradual; Fluxo de detritos; Inundação brusca
TMPA 3B42V6 [5]	0.04°, 0.25°; 3 horas	Tufão; Inundação gradual; Deslizamentos; Fluxo de detritos
TMPA 3B42V7 [9]	0.25°; 3 horas	Inundação gradual
Radar meteorológico [1] [4] [5] [6] [8] [13] [14] [16] [17]	Específico; Tempo real – 1 hora	Inundação brusca; Inundação gradual; Tufão; Deslizamentos; Fluxo de detritos.

[1] ARMON *et al.*, (2018)

[2] BRUNETTI *et al.*, (2018)

[3] CÁNOVAS-GARCÍA; GARCÍA-GALIANO; KARBALAE, (2017)

[4] CHANG *et al.*, (2016)

[5] CHEN *et al.*, (2013)

[6] CREMONINI; TIRANTI, (2018)

[7] EL HASSAN *et al.*, (2013)

[8] GOU *et al.*, (2020)

[9] KHAN *et al.*, (2014)

[10] KIRSCHBAUM; STANLEY;

ZHOU, (2015)

[11] KOTRONI *et al.*, (2006)

[12] MISHRA; VANGANURU, (2020)

[13] NGUYEN *et al.*, (2015)

[14] NIKOLOPOULOS *et al.*, (2015)

[15] SADEGHI *et al.*, (2021)

[16] STAMPOULIS; ANAGNOSTOU;

NIKOLOPOULOS, (2013)

[17] VARLAS *et al.*, (2018)

Os produtos de satélites, devido à baixa resolução espacial e temporal, não são recomendados para QPE de desastres hidrológicos de alta intensidade e concentração. Além disso, fatores topográficos, climáticos e meteorológicos podem afetar a qualidade da QPE. No qual, os radares meteorológicos costumam apresentar um bom desempenho para todas as tipologias de precipitação e terreno, e, entre

os produtos de satélite, o CMORPH é particularmente adequado para chuvas mistas com efeito orográfico.

CONCLUSÕES

As técnicas de sensoriamento remoto para eventos de desastres estão sendo desenvolvidas em nível global, em especial nos países desenvolvidos. Nestes, observa-se uma boa capacidade de estimativa qualitativa e quantitativa da precipitação, devido à extensa rede de radares meteorológicos e à alta resolução espaço-temporal. No entanto, não consiste em uma realidade global. Por outro lado, os satélites oferecem uma maior cobertura espacial, mas uma menor resolução espaço-temporal, o que limita o uso para QPE de eventos hidrológicos extremos de alta velocidade em terrenos montanhosos.

A crescente urbanização em terrenos complexos, aliada às mudanças climáticas, tem exigido a necessidade de se aprimorar a qualidade da QPE. A falta de dados ou a precariedade da coleta de dados de precipitação são um desafio permanente para a compreensão efetiva dos desastres hidrológicos, o que acaba por estimular a promoção de soluções, visando ampliar a cobertura e/ou a qualidade dos dados.

Como limitação da pesquisa, tem-se o uso de apenas duas bases de dados. Para pesquisas futuras, pode-se utilizar o Google Scholar a fim de abranger publicações além de artigos científicos.

REFERÊNCIAS

- Armon, M., Dente, E., Smith, J. A., Enzel, Y., & Morin, E. (2018). Synoptic-Scale Control over Modern Rainfall and Flood Patterns in the Levant Drylands with Implications for Past Climates. *Journal of Hydrometeorology*, 19(6), 1077–1096. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-18-0013.1>
- Brunetti, M. T., Melillo, M., Peruccacci, S., Ciabatta, L., & Brocca, L. (2018). How far are we from the use of satellite rainfall products in landslide forecasting? *Remote Sensing of Environment*, 210(June 2017), 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.016>
- Cánovas-García, F., García-Galiano, S., & Karbalaee, N. (2017). Validation of a global satellite rainfall product for real time monitoring of meteorological extremes. In C. M. Neale & A. Maltese (Eds.), *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIX* (Vol. 1042109, Issue May, p. 8). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2278398>
- Chang, W.-Y., Vivekanandan, J., Ikeda, K., & Lin, P.-L. (2016). Quantitative Precipitation Estimation of the Epic 2013 Colorado Flood Event: Polarization Radar-Based Variational Scheme. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55(7), 1477–1495. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0222.1>
- Chen, S., Hong, Y., Cao, Q., Kirstetter, P. E., Gourley, J. J., Qi, Y., Zhang, J., Howard, K., Hu, J., & Wang, J. (2013). Performance evaluation of radar and satellite rainfalls for Typhoon Morakot over Taiwan: Are remote-sensing products ready for gauge denial scenario of extreme events? *Journal of Hydrology*, 506, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.026>
- Cremonini, R., & Tiranti, D. (2018). The Weather Radar Observations Applied to Shallow Landslides Prediction: A Case Study From North-Western Italy. *Frontiers in Earth Science*, 6(September), 1–12. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00134>
- El Hassan, A. A., Sharif, H. O., Jackson, T., & Chintalapudi, S. (2013). Performance of a conceptual and physically based model in simulating the response of a semi-urbanized watershed in San Antonio, Texas. *Hydrological Processes*, 27(24), 3394–3408. <https://doi.org/10.1002/hyp.9443>
- Gou, Y., Wang, Z., Hu, Y., Chen, H., & He, J. (2020). Polarimetric radar measurements and rainfall performance during an extreme rainfall event in complex terrain over Eastern China. *IGARSS 2020*

- 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, iii, 5337–5340. <https://doi.org/10.1109/IGARSS39084.2020.9323352>

Haddaway, N. R., Macura, B., Whaley, P., & Pullin, A. S. (2018). ROSES RepOrting standards for Systematic Evidence Syntheses: pro forma, flow-diagram and descriptive summary of the plan and conduct of environmental systematic reviews and systematic maps. *Environmental Evidence*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0121-7>

Khan, S., Hong, Y., Gourley, J., Khattak, M., & De Groeve, T. (2014). Multi-Sensor Imaging and Space-Ground Cross-Validation for 2010 Flood along Indus River, Pakistan. *Remote Sensing*, 6(3), 2393–2407. <https://doi.org/10.3390/rs6032393>

Kirschbaum, D., Stanley, T., & Zhou, Y. (2015). Spatial and temporal analysis of a global landslide catalog. *Geomorphology*, 249, 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.016>

Kotroni, V., Lagouvardos, K., Defer, E., Dietrich, S., Porcù, F., Medaglia, C. M., & Demirtas, M. (2006). The Antalya 5 December 2002 Storm: Observations and Model Analysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45(4), 576–590. <https://doi.org/10.1175/JAM2347.1>

Martín-Martín, A., Orduna-Malea, E., Thelwall, M., & Delgado López-Cózar, E. (2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. *Journal of Informetrics*, 12(4), 1160–1177. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.09.002>

Mishra, A. K., & Vanganuru, N. (2020). Monitoring a tropical super cyclone Amphan over Bay of Bengal and nearby region in May 2020. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20(September), 100408. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100408>

Nguyen, P., Thorstensen, A., Sorooshian, S., Hsu, K., & Aghakouchak, A. (2015). Flood forecasting and inundation mapping using HiResFlood-UCI and near-real-time satellite precipitation data: The 2008 Iowa flood. *Journal of Hydrometeorology*, 16(3), 1171–1183. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0212.1>

Nikolopoulos, E. I., Bartsotas, N. S., Anagnostou, E. N., & Kallos, G. (2015). Using High-Resolution Numerical Weather Forecasts to Improve Remotely Sensed Rainfall Estimates: The Case of the 2013 Colorado Flash Flood. *Journal of Hydrometeorology*, 16(4), 1742–1751. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0207.1>

Sadeghi, M., Shearer, E. J., Mosaffa, H., Gorooh, V. A., Rahnamay Naeini, M., Hayatbini, N., Katiraie-Boroujerdy, P.-S., Analui, B., Nguyen, P., & Sorooshian, S. (2021). Application of remote sensing precipitation data and the CONNECT algorithm to investigate spatiotemporal variations of heavy precipitation: Case study of major floods across Iran (Spring 2019). *Journal of Hydrology*, 600(January), 126569. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126569>

Stampoulis, D., Anagnostou, E. N., & Nikolopoulos, E. I. (2013). Assessment of High-Resolution Satellite-Based Rainfall Estimates over the Mediterranean during Heavy Precipitation Events. *Journal of Hydrometeorology*, 14(5), 1500–1514. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0167.1>

Varlas, G., Anagnostou, M. N., Spyrou, C., Papadopoulos, A., Kalogiros, J., Mentzafou, A., Michaelides, S., Baltas, E., Karymbalis, E., & Katsafados, P. (2018). A Multi-Platform Hydrometeorological Analysis of the Flash Flood Event of 15 November 2017 in Attica, Greece. *Remote Sensing*, 11(1), 45. <https://doi.org/10.3390/rs11010045>

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, pelas bolsas recebidas e ao PPGRHSA - UFRGS/IPH.

Este trabalho recebeu o apoio financeiro parcial da CAPES - Brasil.