

# DE INUNDAÇÕES EXTREMAS A TERRAS CAÍDAS: MAPEANDO DESASTRES NO RIO AMAZONAS ATRAVÉS DE SATÉLITES E MODELAGEM HIDROLÓGICA

*Ayan Santos Fleischmann<sup>1</sup>; Fabrice Papa<sup>2</sup>; Alice Fassoni-Andrade<sup>3</sup>; Stephen K. Hamilton<sup>4</sup>; Sly Wongchuig<sup>5</sup>; André Zumak<sup>6</sup>; Priscila Camelo Alves<sup>7</sup>; Rodrigo Paiva<sup>8</sup>; Walter Collischonn<sup>9</sup>*

**Palavras-Chave** – Planícies de inundação; hidrodinâmica; inundação; dinâmica fluvial; Amazônia

## INTRODUÇÃO

Mudanças ambientais nas últimas décadas têm levado a um aumento expressivo na frequência de cheias extremas ao longo do Rio Amazonas e suas planícies de inundação (BARICHIVICH et al., 2018). Sete dos 10 maiores níveis máximos anuais de água registrados nos últimos 119 anos em Manaus, na confluência entre os rios Negro e Amazonas, ocorreram desde 2009. Isto inclui o maior nível de água já registrado, em junho de 2021, que afetou mais de 500,000 pessoas no Estado do Amazonas (ESPINOZA et al 2022). Este processo é causado, principalmente, por um aumento de ~17% na precipitação da estação úmida na parte norte da bacia hidrográfica (norte de 5° S) desde 1981 (ESPINOZA et al 2019). Por outro lado, a dinâmica fluvial natural do Rio Amazonas causa mudanças periódicas do leito e das margens fluviais, associados a processos erosivos (o fenômeno de “terras caídas”), que são capazes de destruir rapidamente amplas áreas de comunidades ribeirinhas, e processos sedimentares, que causam formação de praias e prejudicam o acesso de comunidades aos rios.

Nas últimas décadas, tem ocorrido um rápido avanço de técnicas de mapeamento de extensão de áreas inundáveis e da dinâmica fluvial, em especial com o uso de ferramentas como sensoriamento remoto e modelagem hidrológica e hidrodinâmica (FLEISCHMANN et al., 2019; FASSONI-ANDRADE et al., 2021). Assim, surgem novas oportunidades para mapear desastres naturais ao longo dos complexos sistemas fluviais amazônicos. O presente trabalho apresenta uma série de estudos, em múltiplas escalas espaciais, visando a melhor caracterizar os padrões e tendências de inundações e mudanças geomorfológicas ocorridas na região, e propõe uma discussão de seus impactos nas populações ribeirinhas sob a óptica de desastres naturais.

## METODOLOGIA

Para mapeamento de inundação na Amazônia, bem como suas tendências de longo prazo, utilizou-se uma coleção sem precedentes de bases de dados de inundação da Amazônia, publicados recentemente por FLEISCHMANN et al. (2022) (WebGIS disponível em <<http://amazon-inundation.herokuapp.com/>>). A coleção inclui produtos de múltiplas fontes, incluindo dados

1) Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá; [ayan.fleischmann@mamiraua.org.br](mailto:ayan.fleischmann@mamiraua.org.br)

2) University of Brasília (UnB), Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS), Université Toulouse; [fabrice.papa@ird.fr](mailto:fabrice.papa@ird.fr)

3) Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá; University of Stirling; [alice.fassoni@gmail.com](mailto:alice.fassoni@gmail.com)

4) Kellogg Biological Station, Michigan State University, Hickory Corners, MI 49060, USA; [hamilton@msu.edu](mailto:hamilton@msu.edu)

5) Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS), Université de Toulouse, CNES/CNRS/IRD/UT3, Toulouse, France; [xinox010@gmail.com](mailto:xinox010@gmail.com)

6) Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá; [andre.nascimento@mamiraua.org.br](mailto:andre.nascimento@mamiraua.org.br)

7) Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá; [priscila.alves@mamiraua.org.br](mailto:priscila.alves@mamiraua.org.br)

8) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; [rodrigocpaiva@gmail.com](mailto:rodrigocpaiva@gmail.com)

9) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; [waltercollischonn@gmail.com](mailto:waltercollischonn@gmail.com)

processados a partir de satélites com sensores ópticos (como o “Global Surface Water” (GSW); PEKEL et al., 2016), micro-ondas passivo (como GIEMS; PRIGENT et al., 2020) e radar (como o produto de HESS et al., 2015), e modelagem hidrológica-hidrodinâmica de grande escala (como o MGB; SIQUEIRA et al., 2018). As bases de dados de inundação foram comparadas a fim de responder à questão “qual a extensão de áreas inundáveis na Amazônia”, e tendências de longo prazo foram avaliadas a partir dos dados mensais de inundação que são disponíveis desde 1984, como GSW e MGB.

A dinâmica fluvial do Rio Solimões foi realizada a partir de análise de imagens ópticas do Landsat, com uso do produto GSW (disponível em < <https://global-surface-water.appspot.com>>). Foram avaliadas as mudanças ao longo dos canais do rio Amazonas e os processos de erosão/ sedimentação associados. Além disso, identificou-se 238 comunidades ribeirinhas a partir do censo socioeconômico do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (MAMIRAUÁ, 2018) para a região da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, que engloba o trecho mais largo da várzea do Rio Solimões-Amazonas, próximo ao município de Tefé/AM. Para cada uma das comunidades mapeadas, extraiu-se, a partir dos dados GSW, a mudança na geomorfologia fluvial dentro de um buffer de 1 km ao redor das respectivas áreas. Assim, foi possível quantificar comunidades e população total afetada diretamente por processos erosivos (terras caídas) e de sedimentação (formação de praias).

## RESULTADOS

A partir da comparação de 29 conjuntos de dados de inundação para a Bacia Amazônica, encontrou-se uma maior concordância para a extensão da máxima área inundável ao longo da planície de inundação do rio Amazonas. Por outro lado, foram encontradas importantes discrepâncias ao longo de áreas úmidas interfluviais, enfatizando a necessidade de buscar técnicas de fusão ideais para melhorar as estimativas de inundação locais para grande escala. Ao analisar os conjuntos de dados dinâmicos de inundação, foram analisadas as tendências de inundação de longo prazo, revelando um grande aumento de 26% na inundação máxima anual ao longo do Rio Amazonas desde 1980. Além disso, encontrou-se uma maior duração da inundação e um aumento na conectividade superficial entre rio e planície de inundação em múltiplas áreas de várzea do Rio Amazonas, especialmente na região do Baixo Amazonas, onde as imagens ópticas são melhor capazes de mapear inundações devido à relativa baixa cobertura florestal das áreas úmidas da região.

Embora as mudanças nos processos hidroclimáticos em escala regional tenham levado à intensificação do ciclo hidrológico da Amazônia, os processos geomorfológicos locais são capazes de alterar em grande parte as interações rio-várzea. Ao analisar mudanças nas margens do Rio Amazonas, foram identificadas grandes mudanças ao longo do rio nas últimas décadas (1984 até o presente). O mapeamento dos impactos em 238 comunidades ribeirinhas mostrou que 21% foram afetadas pela erosão das margens (terras caídas), o que costuma danificar várias propriedades, enquanto 19% foram afetadas pela criação de praias (sedimentação), o que prejudica o transporte e reduz o acesso às águas do rio. Não foi encontrada uma relação clara entre tamanho populacional das comunidades e o tipo de processo ocorrido (erosão, sedimentação, ou nenhum dos dois).

## CONCLUSÕES

Este estudo apresenta novas possibilidades para o mapeamento de inundações ao longo dos sistemas fluviais amazônicos, avaliando os padrões e tendências da extensão de áreas inundáveis. Mostrou-se um grande aumento de 26% na inundação máxima anual ao longo do Rio Amazonas desde 1980. Além disso, com o uso de imagens das missões Landsat desde 1984, foi possível mapear comunidades ribeirinhas afetadas por processos geomorfológicos em escala mais local, como terras caídas e formação de extensas praias. Por um lado, o uso de produtos de sensoriamento remoto e modelagem

hidrológica para mapeamento de desastres naturais em grande escala na Amazônia se mostrou muito promissor. Por outro, muitos desafios persistem, associados a fatores como a alta cobertura de nuvens ao longo do ano e à dificuldade de se obter dados para calibração e validação de modelos devido, por exemplo, à grande dimensão dos sistemas amazônicos e à localização remota de muitos de seus rios e planícies de inundação. Por fim, salienta-se que estas mudanças registradas, e seus grandes impactos nas populações ribeirinhas, contrastam com uma percepção comum a muitos gestores da área de desastres no Brasil de que as populações amazônicas são bem adaptadas à paisagem dinâmica dos sistemas fluviais amazônicos, e fortalecem a necessidade de melhor mapear desastres naturais e seus impactos nas populações humanas ao longo da maior bacia hidrográfica do mundo.

## REFERÊNCIAS

BARICHIVICH, Jonathan et al. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Science Advances*, v. 4, n. 9, 2018.

ESPINOZA, Jhan Carlo et al. The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods. *Weather and Climate Extremes*, v. 35, p. 100406, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212094721000931>.

ESPINOZA, Jhan Carlo et al. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*, v. 52, n. 9–10, p. 5413–5430, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2>.

FASSONI-ANDRADE, Alice César et al. Amazon Hydrology From Space: Scientific Advances and Future Challenges. *Reviews of Geophysics*, v. 59, n. 4, p. 1–97, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020RG000728>.

FLEISCHMANN, A.S. et al. River Flood Modeling and Remote Sensing Across Scales: Lessons from Brazil. In: SCHUMANN, Guy J.P. (org.). *Earth Observation for Flood Applications*. Elsevier, 2021. p. 61–103. E-book. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128194126000043>.

FLEISCHMANN, A.S. et al. How much inundation occurs in the Amazon River basin?. *Remote Sensing of Environment*, v. 278, n. April, p. 113099, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/essoar.10508718.1>.

PRIGENT, C.; JIMENEZ, C.; BOUSQUET, P. Satellite-Derived Global Surface Water Extent and Dynamics Over the Last 25 Years (GIEMS-2). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 125, n. 3, p. 1–18, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019JD030711>.

HESS, Laura L et al. Wetlands of the Lowland Amazon Basin: Extent, Vegetative Cover, and Dual-season Inundated Area as Mapped with JERS-1 Synthetic Aperture Radar. *Wetlands*, v. 35, n. 4, p. 745–756, 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13157-015-0666-y>.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MAMIRAUÁ (MAMIRAUÁ). *Censo socioeconômico da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá 2018*. 2018. Tefé, Amazonas.

SIQUEIRA, Vinícius A et al. Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 22, n. 9, p. 4815–4842, 2018. Disponível em: <https://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/hess-2018-225/>.