MONITORAMENTO MULTITEMPORAL (2017 – 2024) DA ÁREA INUNDADA NO TRECHO CODAJÁS–MANACAPURU (BACIA DO SOLIMÕES-AM) USANDO GOOGLE EARTH ENGINE E IMAGENS SENTINEL-1

Andrés Barrera Vilarmau [1], Thaise Rachel Sarmento [2]

[1]ADS, Brasília/DF, andres@aurorads.com.br; [2]USP\Esalq, São Paulo, thaisesarmento@gmail.com

RESUMO

Este estudo analisa a dinâmica de áreas inundadas no trecho Codajás–Manacapuru (bacia do Solimões-AM), utilizando imagens satelitais SAR processadas em com Google Earth Engine. O objetivo é fornecer dados de rápida disponibilização que suportem a gestão e a formulação de estratégias eficazes diante das crescentes incertezas climáticas. Análises de um período de oito anos (2017–2024) revelaram uma tendência de redução na área alagada, possivelmente relacionada à baixa precipitação nos últimos 12 meses estudados. A partir de uma série histórica de oito anos, observou-se que a área alagada no trecho Codajás–Manacapuru apresentou uma redução em 2024, com 2,6% a menos em relação a 2023 e 4,36% em comparação a 2022. Os resultados destacam a importância do monitoramento sistemático e integrado para avaliar os impactos das mudanças climáticas e sugerem a necessidade de estudos futuros que explorem a correlação com dados de vazão hidrológica.

Palavras-chave **—** Áreas inundada, GEE, sentinel-1, chirps, Amazonas.

ABSTRACT

This study analyzes the dynamics of flooded areas in the Codajás–Manacapuru stretch (Solimões River basin, AM), using SAR satellite images processed with Google Earth Engine. The objective is to provide rapidly available data to support management and the formulation of effective strategies in the face of increasing climate uncertainties. Analyses over an eight-year period (2017–2024) revealed a trend of reduction in flooded area, possibly related to low precipitation in the last 12 months studied. From a historical series of eight years, it was observed that the flooded area in the Codajás–Manacapuru stretch decreased in 2024, with a reduction of 2.6% compared to 2023 and 4.36% compared to 2022. The results highlight the importance of systematic and integrated monitoring to assess the impacts of climate change and suggest the need for future studies that explore the correlation with hydrological flow data.

Key words **—** *flooded areas, GEE, sentinel-1, chips, Amazon.*

1. INTRODUÇÃO

Na bacia Amazônica é essencial o papel exercido pela navegação, que é assegurada naturalmente pelas condições hidrográficas peculiares da região, onde se encontram cerca de 27.420 km de vias navegáveis, destacando-se os rios Amazonas, Solimões, Negro, Branco, Madeira, Purus, Juruá e Tapajós [2]. O monitoramento de áreas inundadas é fundamental para a gestão eficiente de recursos hídricos e para a mitigação dos impactos de eventos hidrológicos extremos, especialmente no contexto atual, em que a frequência de eventos climáticos extremos está aumentando. [1].

Regiões como a floresta Amazônica, onde há uma alta variabilidade hidrológica, sofrem a influência dos fenômenos do El Niño e La Niña, a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) bem como aos efeitos de longo prazo das mudanças climáticas. Essas dinâmicas alteram os padrões de precipitação, afetam os regimes dos rios e aumentam a frequência e intensidade de cheias e secas, demandando sistemas robustos de monitoramento ambiental.

Nesse contexto, os dados de Sensoriamento Remoto têm se mostrado particularmente eficazes. Em áreas de alta cobertura de nuvens, como a Amazônia, os dados Radar de Abertura Sintética (SAR), tem vantagens sobre os sensores ópticos, devido a que sofrem uma menor interferência dos efeitos atmosféricos decorrentes de nuvens e da chuva, tornando-os uma importante ferramenta para o monitoramento de áreas tropicais. Estes sensores permitem a extração de corpos hídricos com relativa facilidade, fornecendo uma visão precisa e consistente das variações nas áreas alagadas ao longo do tempo.

Além disso, o uso da plataforma Google Earth Engine (GEE) se destaca pela sua capacidade de processar e analisar grandes volumes de dados satelitais de forma rápida e eficiente. Essa infraestrutura baseada em nuvem facilita o acesso a séries temporais históricas, como as utilizadas no presente estudo, e permite o desenvolvimento de análises multitemporais e o processamento de dados em longa escala. A rápida disponibilidade de dados e o poder computacional do GEE são fundamentais para a produção de informações em tempo quase real, o que poderia apoiar aos tomadores de decisão em situações de emergência e na gestão dos recursos hídricos.

A análise contínua e de longo prazo das inundações é essencial para compreender sua dinâmica. O objetivo deste estudo é fornecer dados de rápida disponibilização que suportem a gestão adaptativa e a formulação de estratégias eficazes frente às crescentes incertezas climáticas. Para isso, este trabalho aplica imagens satelitais SAR armazenadas e processadas em ambiente de alta disponibilidade em nuvem (GEE) e de monitoramento multitemporal nas áreas inundadas do trecho Codajás–Manacapuru, na bacia do Solimões (AM), ao longo de um período de oito anos (2017–2024).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estado do Amazonas possui uma extensa rede hidrográfica, destacando-se a Bacia do Solimões como um de seus principais componentes. Para o estudo foi selecionado um trecho entre Codajás – Manacapuru (Figura 1), sendo esta uma rota muito utilizada por embarcações para escoar a produção da província petrolífera do Urucu, fazendo parte de uma importante rota de transporte de cargas e passageiros.

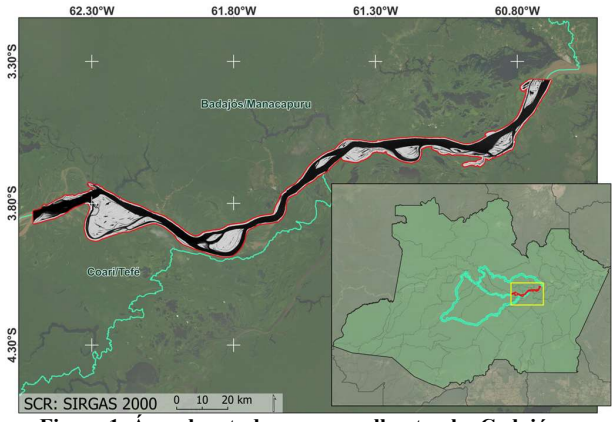

Figura 1. Área de estudo, em vermelho, trecho Codajás–Manacapuru. Na cor ciano as sub-bacias de Badajós/Manacapuru (ao Norte) e Coari/Tefé (ao Sul).

2.2. Materiais

Foram utilizadas imagens SAR (Radar de Abertura Sintética) captadas pelo satélite sentinel-1A operando na banda C (5,405 GHz) nas polarizações VV e VH, operado pela ESA (Agencia Espacial Europeia) dentro do Programa Copernicus. Foram utilizadas 232 imagens na orbita descendente, filtradas para a área de interesse, para o período temporal compreendido entre 24/10/2016 até o 10/06/2024.

As imagens sentinel-1 disponibilizadas pela plataforma Google Earth Engine se correspondem com os produtos de detecção no alcance terrestre (GRD) processadas para ser entregar em coeficiente de retroespalhamento (σ°) em decibéis (dB). O processamento das imagens Sentinel-1 no Google Earth Engine (GEE) segue as etapas: aplicação do arquivo de órbita, remoção do ruído de borda (GRD) e do ruído térmico, calibração radiométrica (usando parâmetros presentes nos metadados GRD) e, por fim, a correção do terreno, utilizando dados SRTM com resolução de 30 metros [3].

Para a estimativa da precipitação foram utilizados os dados CHIRPS, presente no acervo de GEE. Trata-se de um conjunto de dados de precipitação de mais de 35 anos; abrangendo as latitudes entre 50°S e 50°N (e todas as longitudes) com uma serie temporal desde 1981 até o presente (31/08/2024) [4]. Para este estudo, foram utilizados dados de precipitação registrados entre outubro de 2017 e setembro de 2024 para as sub-bacias de Coari/Tefé e Badajós/Manacapuru (Figura 1), situadas a montante do trecho do rio que corresponde à área de interesse.

2.3. Método

A área de interesse está dominada por vegetação e corpo hídrico, como pode ser apreciado no histograma da Figura 2, que apresenta uma distribuição bimodal. Baseado no formato do histograma se optou pelo método de Thresholding para segmentar a imagem e assim separar as áreas com cobertura de água do resto da imagem.

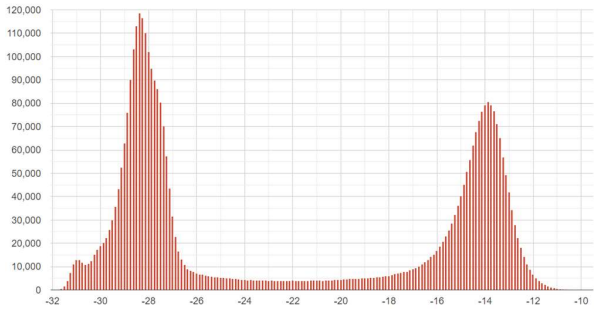

Figura 2. Histograma da série histórica sentinel-1. No eixo das abcissas é apresentado a contagem de pixel para a área de interesse, no eixo das ordenadas os valores de retroespalhamento (σ°).

A definição de limiares de separação entre as feições de água e vegetação permitiu estimar a área alagada para cada imagem da série histórica possibilitando a elaboração de gráficos temporais mostrando a evolução desta variável.

3. RESULTADOS

A intensa seca que vem afetando o Amazonas em 2024 foi alertada por diversos sistemas de monitoramento. Dados oficiais do Ministério de Minas e Energia indicam que, neste ano, o nível do Rio Solimões pode atingir valores abaixo da mínima histórica, anteriormente registrada em 2023 [5].

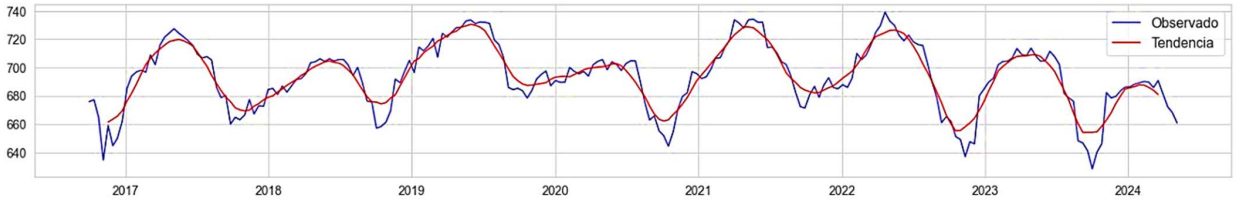

Figura 3. Área alagada em km² (linha azul) e linha de tendência (linha vermelha).

As análises temporais da área alagada na região de estudo evidenciam uma diminuição durante o período de cheia (de fevereiro a setembro) em 2024, com uma redução de 2,6% em relação a 2023 e de 4,36% em comparação a 2022 (Figura 3). A tendência foi calculada utilizando um modelo aditivo com período de 18 observações, correspondendo a aproximadamente seis meses no conjunto de dados estudado. A linha de tendência mostra que, após dois anos de comportamento relativamente estável (2021 e 2022), uma diminuição contínua na área alagada é observada a partir de 2023.

A Figura 4 apresenta a comparação entre a pluviometria média mensal dos últimos 12 meses e a média para o período de referência de sete anos. Observa-se que, no último ano, os valores de precipitação mensal ficaram abaixo da média histórica, o que provavelmente contribuiu para a redução da área alagada observada. Para o cálculo da precipitação, foram consideradas as duas sub-bacias hidrográficas que delimitam diretamente a área de estudo, proporcionando um contexto hidrológico mais representativo da região.



Figura 4. Gráfico comparativo da precipitação para os últimos 12 meses do estudo (outubro 2023, setembro 2024) com a média mensal para o período 2017-2023).

A Figura 5 evidencia que, nos últimos 12 meses, a área alagada no trecho estudado permaneceu abaixo da média mensal observada ao longo da série histórica de sete anos. A única exceção foi o mês de dezembro, que apresentou um valor praticamente igual à média histórica (+0,001%). É importante destacar que, com exceção de junho, todos os meses ficaram abaixo da média histórica de área alagada (representada pela linha tracejada vermelha na Figura 5). Em contraste, durante o período de estudo de 2017 a 2023, a média mensal de área alagada para os meses de março a setembro, consistentemente, excedeu essa média histórica, indicando uma alteração recente nos padrões de inundação.

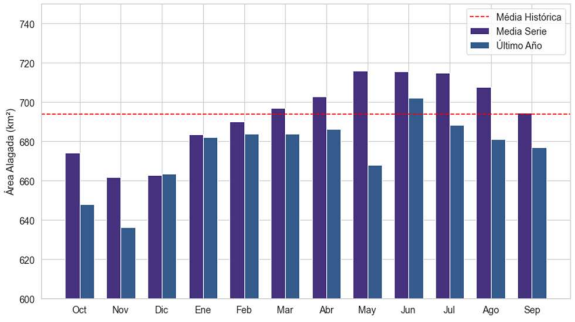

Figura 5. Comparativo da média da série histórica (2017-2024) com o último ano estudado (outubro 2023 - setembro 2024). A linha tracejada vermelha indica a área alagada média para toda a série histórica (693.88 km²).

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das imagens SAR do Sentinel-1, processadas no Google Earth Engine (GEE), permitiram a identificação e quantificação das áreas alagadas nas sub-bacias de Coari/Tefé e Badajós/Manacapuru ao longo do período de estudo. A aplicação do método de *Thresholding* nas imagens possibilitou a segmentação da superfície de água, evidenciando um padrão de inundação sazonal nas sub-bacias de interesse. Esse comportamento é condizente com a dinâmica de vazão dos rios amazônicos, onde a extensão das áreas alagadas varia consideravelmente de acordo com o regime pluviométrico [6].

Os dados de precipitação do CHIRPS, utilizados como referência para o período, mostraram variações sazonais relacionadas às flutuações nas áreas alagadas detectadas nas imagens SAR. Durante os períodos de maior precipitação, observou-se um aumento nas áreas alagadas, com um deslocamento de aproximadamente dois meses, possivelmente devido à ação da vegetação na infiltração da água [7]. Da mesma forma, a diminuição das chuvas resultou em uma redução das áreas alagadas. Essa relação sugere que o método empregado é eficaz para detectar mudanças sazonais em áreas alagáveis.

A utilização de dados em diferentes polarizações (VV e VH) mostrou-se favorável para a distinção entre água e

vegetação [8], pois estes alvos apresentam comportamento bem diferenciado em ambas as polarizações o que contribui para a separabilidade dos retornos de retroespalhamento específicos desses alvos. Embora muitos estudos apontam o melhor desempenho da polarização VV [9] no uso para áreas alagadas, neste estudo a polarização VH apresentou maior capacidade de separabilidade, possivelmente devido ao uso de um único limiar para todo o período de estudo.

Esses resultados apontam para a eficácia da abordagem baseada em imagens Sentinel-1 e processamento GEE na análise de áreas alagáveis em áreas ribeirinhas amazônicas. Além disso, demonstram o potencial do uso integrado de séries temporais de dados de precipitação e imagens de radar na detecção de padrões de alagamento. Os dados obtidos podem ser acrescentados nos estudos de mensuração e comparar os níveis dos rios com a eficácia das ações de mitigação tomadas tanto em secas como em enchentes [10].

Estudos futuros poderiam beneficiar-se do uso de algoritmos de aprendizado de máquina ou de técnicas mais avançadas de detecção de bordas para aprimorar a precisão na delimitação das áreas alagadas, inclusive fazendo predições no comportamento dos rios em diferentes regímenes hidrológicos.

5. CONCLUSÕES

Os conjuntos de dados satelitais disponíveis em plataformas alocadas na nuvem como GEE, permitem o processamento e de dados em longa escala, facilitando o aprimoramento da análise das informações geradas. Houve uma tendência de redução na área alagada do Rio Solimões, possivelmente associada à baixa precipitação observada nos últimos 12 meses, além dos efeitos acumulados de um período de seca intensa na região amazônica em 2024. A comparação entre a média mensal de área alagada recente e a série histórica de sete anos revelou que, exceto por dezembro e junho, todos os meses estiveram abaixo da média de inundação. Essa tendência de redução contínua a partir de 2023 marca uma mudança significativa nos padrões hidrológicos da área de estudo, ressaltando o impacto direto da redução pluviométrica sobre a dinâmica de alagamento.

Esses resultados reforçam a importância do monitoramento sistemático e integrado entre séries temporais de precipitação e alagamento para avaliar as implicações das mudanças climáticas e dos eventos extremos na região amazônica. Estudos futuros devem considerar o estudo da correlação entre estes dados e dados de vazão obtidos nas estações hidrológicas. Análise de longo prazo para identificar padrões que possam prever ou mitigar os impactos dessas variações sobre os ecossistemas locais e a segurança hídrica.

8. REFERÊNCIAS

[1] R. Alexande et al. Mudança do Clima 2023 (Versão Traduzida). Relatório Síntese do Sexto Relatório de Avaliação do IPCC. Disponível em: www.ipcc.ch https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf

[2] R. de C. M. De Moraes. Ferramenta de avaliação do transporte hidroviário de passageiros da Região Amazônica. UFPA: Belém. 2013.

[3] Google Earth Engine. Sentinel-1 Algorithms. Disponível em https://developers.google.com/earth-engine/guides/sentinel1. Consultada em 21 outubro de 2024.

[4] C. Funk, et al. The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes. Scientific Data 2, 150066. Doi:10.1038/sdata.2015.66 2015.

[5] SGB. Serviço Geológico do Brasil. https://www.sgb.gov.br/sala-de-imprensa/-/asset_publisher/ujyx/content/seca-na-regiao-amazonica-rio-solimoes-tem-65-de-probabilidade-de-ficar-abaixo-da-minima-historica-. Consultado em 31/10/2024

[6] L. G. S. Alves, D. D. da Silva, F. F. Pruski e N. Filizola. Estimativa do coeficiente de Manning para cálculo de vazão em regime sob efeito de remanso hidráulico na Bacia Amazônica. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

[7] A. P. V. Carvalho, D. V. Brumatti e H. C. T. Dias. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, vol. 2, n. 2, pp. 148-156, dezembro 2012.

[8] A. Twele, W. Cao, S. Plank e S. Martinis. Sentinel-1-based flood mapping: a fully automated processing chain. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 37, n. 13, pp. 2990–3004, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1192304.

[9] H. Cao, H. Zhang, C. Wang e B. Zhang. Operational flood detection using Sentinel-1 SAR data over large areas. *Water*, vol. 11, p. 786, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/w11040786.

[10] A. L. N. Zogahib, D. C. S. Simas, A. F. do N. Filho, N. N. B. de O. Norte, R. A. C. de Sales, J. S. de Lima e M. A. P. de L. Braga. Mudanças climáticas e seus impactos nas cidades: estudo de caso do fenômeno da seca no Estado do Amazonas, Brasil. *Research, Society and Development*, vol. 13, n. 9, e9913946940, 2024. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i9.46940.