

A superfície de água em períodos de eventos climáticos extremos na Ilha do Careiro, Amazonas (Brasil)

Water Surface During Periods of Extreme Climatic Events on Careiro Island, Amazonas (Brazil)

La Superficie de Agua Durante Períodos de Eventos Climáticos Extremos en la Isla del Careiro, Amazonas (Brasil)

Douglas Damasceno de Jesus

Universidade Federal do Amazonas

douglas.jesus@ufam.edu.br**Rogério Ribeiro Marinho**

Universidade Federal do Amazonas

rogeo@ufam.edu.br**Resumo**

A Ilha do Careiro, localizada no município de Careiro da Várzea (Amazonas), constitui um sistema geomorfológico fluvial altamente dinâmico, sujeito às variações sazonais e aos eventos hidroclimáticos extremos da bacia amazônica. O presente estudo objetiva analisar a variabilidade da superfície de água na Ilha do Careiro durante eventos climáticos extremos recentes, especificamente a cheia de 2021 e a seca de 2024, avaliando os impactos dessa variabilidade da superfície de água sobre a população local e a paisagem regional. A metodologia baseou-se no processamento de imagens do satélite Sentinel-2 MSI através da plataforma Google Earth Engine, permitindo a quantificação e mapeamento das mudanças na superfície hídrica entre os períodos analisados. Os resultados demonstram uma redução significativa de 42,8% na superfície de água entre 2021 e 2024, correspondendo a uma variação de 22.600 hectares para 12.910 hectares, respectivamente. Esta variabilidade extrema evidencia a vulnerabilidade do sistema fluvial amazônico às grandes oscilações do nível de água, com implicações diretas para as comunidades ribeirinhas, a economia regional e os processos ecológicos locais. O sensoriamento remoto demonstrou eficácia como ferramenta de monitoramento ambiental, oferecendo subsídios para estratégias de mitigação dos impactos associados aos eventos extremos na região amazônica.

Palavras-chave: Hidrogeografia; Inundação; Seca; Bacia Amazônica, Sensoriamento remoto.**Abstract**

Careiro Island, located in the municipality of Careiro da Várzea (Amazonas), constitutes a highly dynamic fluvial geomorphological system subject to seasonal variations and extreme hydroclimatic events within the Amazon Basin. The present study aims to analyze water surface variability on Careiro Island during recent extreme climate events, specifically the 2021 flood and the 2024 drought, evaluating the impacts of this water surface variability on local populations and the regional landscape. The methodology was based on processing Sentinel-2 MSI satellite imagery through the Google Earth Engine platform, enabling quantification and mapping of hydrological surface changes between the analyzed periods. Results demonstrate a significant 42.8% reduction in water surface area between 2021 and 2024, corresponding to a variation from 22,600 hectares to 12,910 hectares, respectively. This extreme variability highlights the vulnerability of the Amazonian fluvial system to major water level fluctuations, with direct implications for riparian

communities, the regional economy, and local ecological processes. Remote sensing demonstrated effectiveness as an environmental monitoring tool, providing support for mitigation strategies addressing impacts associated with extreme events in the Amazon region.

Keywords: Hydrogeography; Flooding; Drought; Amazon Basin; remote sensing.

Resumen

La Isla de Careiro, ubicada en el municipio de Careiro da Várzea (Amazonas), constituye un sistema geomorfológico fluvial altamente dinámico, sujeto a variaciones estacionales y eventos hidroclimáticos extremos dentro de la Cuenca Amazónica. El presente estudio tiene como objetivo analizar la variabilidad de la superficie del agua en la Isla de Careiro durante eventos climáticos extremos recientes, específicamente la inundación de 2021 y la sequía de 2024, evaluando los impactos de esta variabilidad de la superficie del agua sobre las poblaciones locales y el paisaje regional. La metodología se basó en el procesamiento de imágenes satelitales Sentinel-2 MSI a través de la plataforma Google Earth Engine, permitiendo la cuantificación y mapeo de los cambios en la superficie hidrológica entre los períodos analizados. Los resultados demuestran una reducción significativa del 42,8% en la superficie del agua entre 2021 y 2024, correspondiente a una variación de 22.600 hectáreas a 12.910 hectáreas, respectivamente. Esta variabilidad extrema resalta la vulnerabilidad del sistema fluvial amazónico ante las grandes fluctuaciones del nivel del agua, con implicaciones directas para las comunidades ribereñas, la economía regional y los procesos ecológicos locales. La teledetección demostró eficacia como herramienta de monitoreo ambiental, proporcionando apoyo para estrategias de mitigación que abordan los impactos asociados con eventos extremos en la región amazónica.

Palabras clave: Hidrogeografía; Inundación; Sequia; Cuenca Amazónica; teledetección.

Introdução

Nas últimas décadas, eventos climáticos extremos relacionados a grandes cheias e secas tem se intensificado em diferentes regiões do globo, em conferências entre as nações sobre as mudanças climáticas e tem sido pauta de recorrentes discussões sobre como mitigar seus impactos (SIDI, 2025).

A Amazônia tornou-se um grande ponto de foco dessas discussões por fatores que estão ligados às mudanças climáticas e suas causas, como, redução da precipitação, períodos anormais de estiagem a perda de vegetação nativa pelo desmatamento, intensificação de queimadas, e consequentemente, prolongação de períodos de seca e de recorrentes registros de baixos níveis dos rios ao longo da bacia hidrográfica, impactando as populações ribeirinhas (BORMA et al., 2013, p. 310).

No período de vazante dos rios amazônicos, a paisagem e a forma dos canais tendem alterar-se de maneira significativa. A exposição de bancos de areia e do leito de alguns rios devido ao baixo nível de água são exemplos de mudanças na paisagem que podem ser verificados nesse

período, em que, com a intensificação de eventos hidrológicos extremos de seca, essa configuração da paisagem se torna mais recorrente (SILVA et al., 2013, p. 210-211).

A discussão em torno dessas ocorrências é importante devido à magnitude dos impactos negativos que eventos climáticos extremos ocasionam na população, principalmente, para as populações ribeirinhas. Atuação das instituições públicas é importante para o monitoramento e ações para mitigar os impactos sob essas populações, porém, necessita de uma maior eficiência devido a maior ocorrência de eventos extremos. No período de secas extremas a população ribeirinha é mais impactada pela redução da capacidade de navegação de pequenas e grandes embarcações, abastecimento de água para consumo, resultando no isolamento geográfico de vastas áreas, impactando comunidades ribeirinhas com diferentes dimensões.

O desenvolvimento de metodologias de monitoramento que subsidiem ações de mitigação dos impactos desses eventos é necessário para auxiliar na contenção dos danos causados pelos períodos considerados extremos. Diferentes dados de sensoriamento remoto estão disponíveis sendo utilizados para o monitoramento hidrológico, podendo auxiliar na compreensão dos impactos na paisagem e na sociedade durante a ocorrência desses eventos (ARRAUT et al., 2013, p. 246).

O sensoriamento remoto constitui uma ferramenta tecnológica fundamental para análises ambientais detalhadas e rápidas, oferecendo vantagens específicas no monitoramento de eventos extremos através de sua ampla disponibilidade temporal, extensa cobertura espacial e capacidade de obtenção de informações espectrais, espaciais e radiométricas da superfície terrestre (NOVO, 2008, p. 398). Para o monitoramento de corpos d'água, esta tecnologia demonstra particular eficácia ao permitir o detalhamento e acompanhamento da extensão espacial, dos componentes orgânicos e inorgânicos, profundidade e temperatura de diferentes sistemas hídricos (JENSEN, 2009, p. 415).

A água tem um fator significativo na vida dos diferentes grupos sociais que moram e vivem na região amazônica. Sternberg (1998, p. 44) explica que “a importância das águas não se resume somente ao fato de cobrirem e descobrirem a terra, nem se mede pela espessura maior ou menor da lâmina líquida que sobre estas se estende [...]”. Os períodos de cheia e seca dos grandes rios são fundamentais para análises e monitoramento, permitindo compreender o comportamento dos corpos d'água durante essas fases distintas e avaliar seus impactos sobre a população e a paisagem regional. A intensificação de eventos climáticos extremos tem aumentado a frequência de fenômenos considerados anômalos, como grandes cheias e secas severas, ampliando a necessidade de estudos geomorfológicos detalhados desses sistemas fluviais.

Partindo-se deste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar a variabilidade da superfície de água na Ilha do Careiro no período de eventos hidroclimáticos extremos recentes, assim como, o impacto dessa variabilidade para a população e à paisagem. A realização desse

estudo se dá em decorrências dos eventos extremos recentes de cheia e secas nos anos de 2021, 2023 e 2024, respectivamente, que impactaram os grupos sociais da Amazônia, o meio ambiente, a economia e a indústria da região durante suas ocorrências.

A metodologia utilizada agrupa um conjunto de dados de superfície de água adquiridos por meio do algoritmo ‘Automatic Water Detect’ (CORDEIRO et al., 2021), onde foram utilizadas imagens de satélites de 2021 e 2024. Utiliza-se também dos dados relacionados as águas permanentes e sazonais para a Ilha do Careiro, como também dados do programa MapBiomas Água para análise das séries temporais da superfície de água, e do Serviço Geológico do Brasil (SGB) com dados de nível do rio no ano de 2024. A partir deste conjunto de dados, foram elaborados produtos cartográficos e gráficos para representações neste artigo.

Este estudo apresenta uma análise da variabilidade da superfície da água em períodos de eventos climáticos extremos de seca e cheia na Ilha do Careiro, região de confluência dos rios Negro e Solimões, no município de Careiro da Várzea. A ocorrência desses eventos está ligada, principalmente, em períodos de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, onde são registrados as menores e maiores cotas fluviométricas registradas no Porto de Manaus, respectivamente.

Área de estudo

A Ilha do Careiro localiza-se no município de Careiro da Várzea, no Estado do Amazonas, na confluência dos rios Negro e Solimões que dão origem ao Encontro das Águas na frente da cidade de Manaus (Figura 1). A ilha situa-se aproximadamente 6 km do Porto da Ceasa em Manaus. Segundo o Censo de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população do município de Careiro da Várzea, corresponde a um total de 19.637 pessoas, com uma densidade demográfica de 7,47 hab./km².

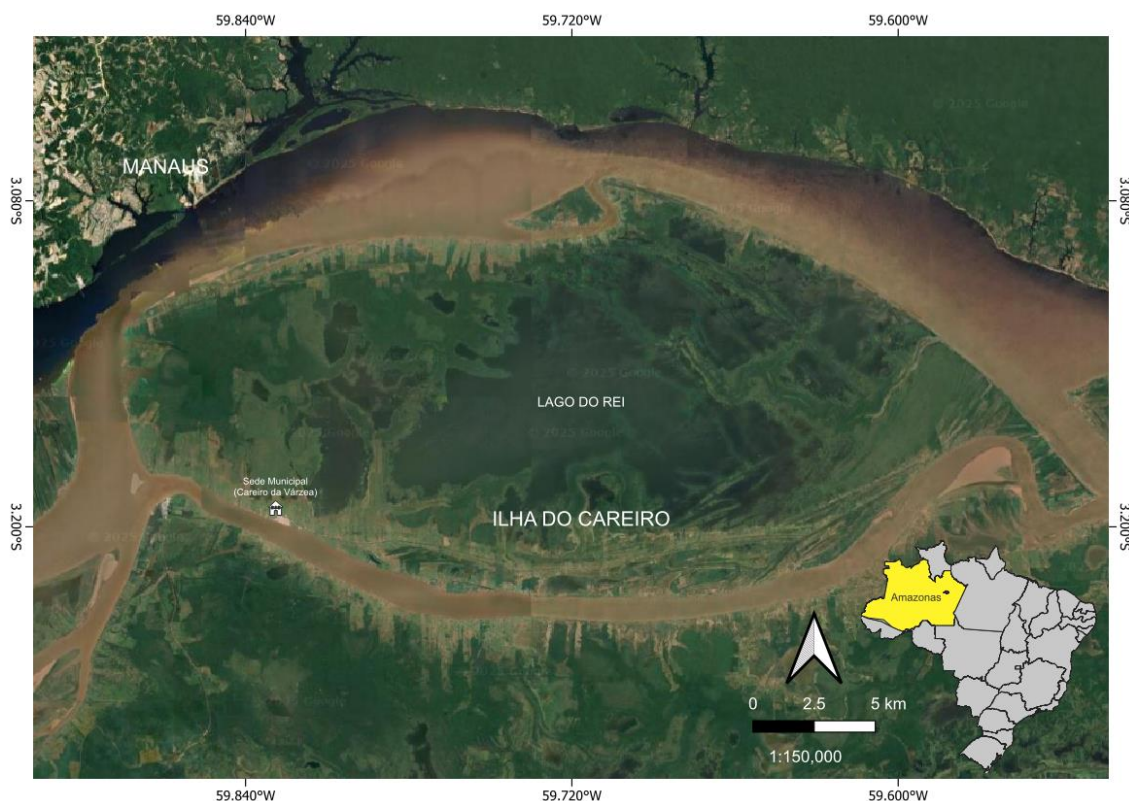


Figura 1 – Localização da Ilha do Careiro, no município de Careiro da Várzea, Amazonas.
Fonte: Google Earth Pro.

No município de Careiro da Várzea, a população é composta em sua maioria por pessoas do sexo masculino, com cerca de 10.293 homens, enquanto as mulheres são cerca de 9.344 com faixa etária da população entre 5 e 54 anos. A sede municipal situa-se na Ilha do Careiro, as margens do Paraná do Careiro. A população urbana corresponde a 2.960 pessoas e a população rural é cerca de 16.677, uma característica peculiar tendo em vista que na maioria dos municípios a maior concentração está nas cidades e não nas áreas rurais, isso se dá por essa população rural estar concentrada em comunidades ribeirinhas distribuídas ao longo da ilha.

A Ilha do Careiro possui duas unidades geomorfológicas principais, a “Planície de bancos e meandros atuais” e o “Depósito de inundação”. Sendo a planície de bancos de meandros atuais caracterizada pela faixa arenosa de sedimentos arenosos depositada pelo rio por meio da migração lateral. Já o depósito de inundação compreende as áreas planas com pequenos canais e lagos de diversos tamanhos normalmente colmatados (IRIONDO, 1981, p. 36).

Na Ilha do Careiro se têm contantes ocorrências de processos de erosão lateral de margem, regionalmente conhecida como “terras caídas”, que pode ser compreendido a partir de Carvalho (2006) como um termo regional amazônico para designar a erosão fluvial acelerada de margem que envolve desde processos mais simples a altamente complexos. Tal fenômeno é considerado comum, principalmente, na região da várzea amazônica, na planície de inundação.

De acordo com Carvalho (2006), no rio Amazonas-Solimões, dada as suas características e dimensão, o processo de erosão de margem é considerado altamente complexo, resultado de uma ação conjunta de fatores. Sendo esses fatores a pressão hidrodinâmica, pressão hidrostática, a composição do material de margem, a neotectônica, fatores climáticos e fatores antrópicos variados como o ‘banzeiro’ de embarcações ou desmatamento da vegetação ciliar.

Esse fenômeno ocorre com maior frequência principalmente na região a montante da ilha, região de maior hidrodinâmica na confluência entre os rios Negro e Amazonas. Devido a alta descarga líquida e velocidade de fluxo do rio Solimões-Amazonas, ocorre maior pressão hidrostática e hidrodinâmica nessa região, composta principalmente por sedimentos finos, mais suscetíveis aos processos de erosão fluvial e lateral de margem.

Contudo, apesar da ocorrência desse processo de erosão fluvial na região da ilha drenada pelo rio Solimões-Amazonas, em outros trechos da ilha, que não recebe uma energia hidrostática exacerbada do rio, predomina processos de deposição dos sedimentos. Esse processo dá origem às chamadas “terras novas” que são oriundas do material sedimentar transportado pelo rio depositado em diferentes regiões, que forma grandes depósitos arenosos.

A cobertura vegetal da Ilha do Careiro apresenta dois padrões distintos, onde, as áreas não antropizadas da ilha predomina-se uma mata arbórea-arbustiva fechada com árvores de grande porte e campos gramíneos. As zonas alagáveis caracterizam-se por extensos aningais (*Montrichardia arborescens*) e chavascais, sendo, a primeira com o predomínio de cobertura composta pelos aninguais e que corresponde por o aningal uma área coberta por aninga, uma planta aquática característica em áreas alagadas da Amazônia, enquanto o chavascal são ambientes úmidos, cobertos por uma mais vegetação densa (CRUZ, 2007, p. 121).

A área de estudo possui um diversificado acervo de lagos que se distribuem ao longo de toda a extensão da ilha, com destaque para o Lago do Rei na região central, onde os moradores da ilha desenvolvem a pesca, uma das principais atividades de subsistência da população da ilha do Careiro, que sofre impactos durante os períodos de seca com a mortalidade de peixes pelos baixos níveis de água e pouco espaço para reprodução dos peixes (DA COSTA et al., 2023, p. 11).

Material e método

Os dados da superfície coberta por água na região da Ilha do Careiro foram obtidos com a utilização do script “*Automatic Water Detect*”¹ desenvolvido por Cordeiro et al. (2021) executado na plataforma de processamento em nuvem *Google Earth Engine* (GEE). O script utiliza as

¹ Disponível em: <https://code.earthengine.google.com/f3ab1ab5f1a197a3212baf1cde2a72bc>

coleções de imagens do satélite Sentinel-2 MSI da Copernicus (ESA), em que, a nomenclatura da coleção utilizada refere-se a Copernicus/S2_SR_HARMONIZED.

Para obtenção dos dados necessários para a análise, o script utiliza o NDWI (Normalized Difference Water Index), MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) e Mir2 (Infravermelho Médio), que são combinados para a extração dos dados das imagens de satélite na região do infravermelho de ondas curtas. Assim, realiza a classificação dos ‘clusters’ que determinam os valores nos pixels correspondentes a áreas cobertas por água no valor 1 e o valor 0 para as áreas consideradas sem presença de água. Como resultado, a exportação de camadas *rasters* para representação dos dados de superfície de água.

A utilização das bandas espectrais localizadas na região do infravermelho de ondas curtas (SWIR) são consideradas ideais para a delimitação de corpos d’água e áreas alagadas devido aos baixos valores de reflectância da água que diferem dos demais alvos, como o solo e a vegetação que possuem maior nível de reflectância nos comprimentos de ondas do infravermelho (ZANI *et al.*, 2010). Os dados de residências e edificações na Ilha do Careiro foram obtidos através da ferramenta Google Open Buildings² com validação visual.

Foram realizados os procedimentos de pós-processamento no software QGIS com o recorte para a área de estudo e cálculos da área de cobertura de água durante os períodos delimitados por meio da ferramenta “r.report”.

Utilizou-se de dados de cotas fluviométricas registradas no 44º Boletim Hidrológico da Bacia do Amazonas levantados pelo Serviço Geológico Brasileiro (SGB/ANA), assim como registros das cotas mínimas e máximas da Bacia do Rio Amazonas. Analisaram-se dados de séries temporais entre 1985 e 2024 da superfície de água para o município de Careiro da Várzea oriundos da plataforma MapBiomas Água em conjunto com dados de superfície de água permanente na área de estudo oriundos da plataforma “*Global Surface Water Explorer*” do Programa Copernicus da Agência Espacial Europeia (ESA).

Resultados e Discussão

Variabilidade da superfície de água na Ilha do Careiro

Os anos de 2021 e 2024 foram marcados por eventos de significativo impacto para os recursos hídricos na Amazônia e a população ribeirinha. De acordo com o boletim do SGB, em 2021 foi registrado o maior nível das águas do rio Negro na estação fluviométrica do Porto de Manaus (30,02 m), causando impactos sociais e econômicos em diversas cidades.

² Disponível em: <https://sites.research.google/gr/open-buildings/>

Em 2024, o rio Negro atingiu, em Manaus, a cota histórica de 12,13 metros, o nível mais baixo em 120 anos de medições no porto de Manaus. A exposição de bancos de areia, de áreas com rochas e o encalhamento de embarcações se tornaram recorrentes. Os impactos sociais referem-se ao isolamento de comunidades ribeirinhas (Figura 2), redução ao acesso de água potável, proliferação de doenças (por exemplo, malária e diarreia) e o encerramento do período letivo escolar antecipado para as escolas ribeirinhas devido à dificuldade de acesso as escolas.



Figura 2 – Detalhe da variabilidade da superfície de água na Ilha do Careiro durante período de águas altas (a) e baixas (b) de 2024.

Fonte: Planet Explore.

A comparação entre os períodos extremos revela uma diferença significativa nas cotas fluviométricas, com amplitude hidrológica de 17,89 m entre seca de 2024 e cheia de 2024, representando uma variação muito superior aos períodos normais que não ultrapassam 10 metros de diferença entre cheia e vazante. Esta extrema variabilidade do sistema hidrológico reflete-se diretamente na distribuição da superfície de água, onde os dados de 2021 e 2024 evidenciam modificações significativas na Ilha do Careiro, demonstrando mudanças expressivas da superfície hídrica ao longo de toda a extensão insular (Figura 3).

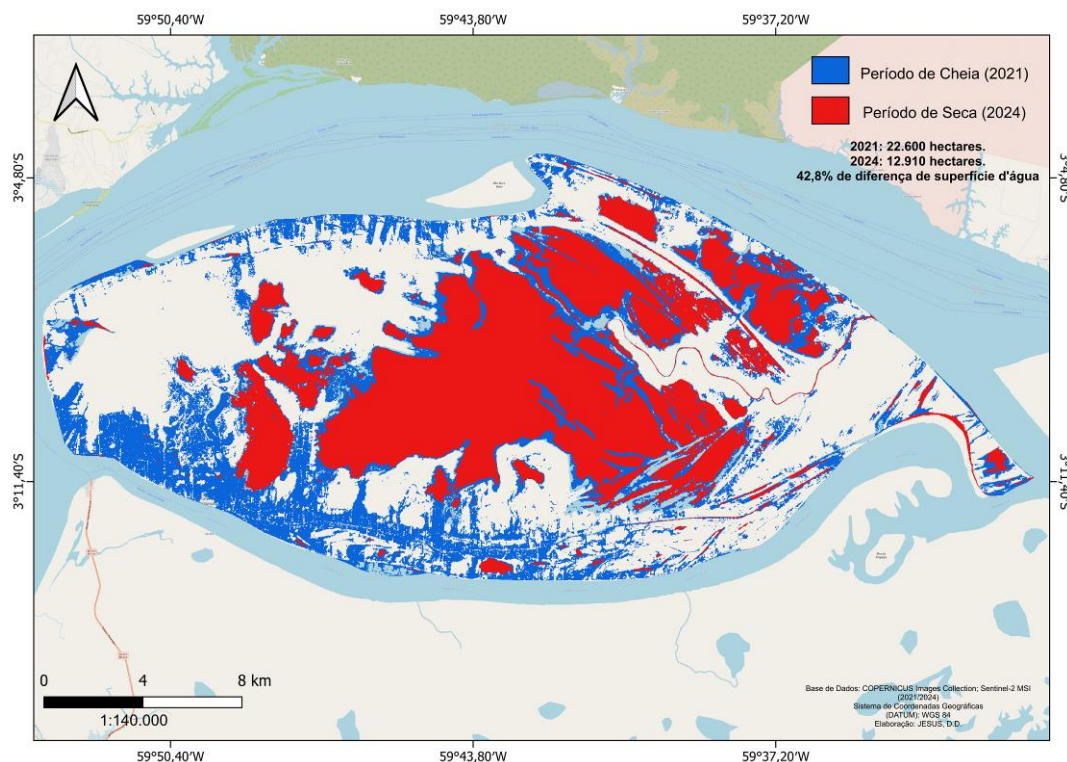


Figura 3 – Superfície de água na ilha do Careiro nos anos de 2021 (azul) e 2024 (vermelho).
Fonte: Sentinel-2 MSI/Copernicus (ESA). Elaboração: os autores.

As áreas azuis na Figura 3 representam superfícies hídricas durante a cheia de 2021 (22.600 ha), enquanto as vermelhas indicam os corpos d'água remanescentes na seca de 2024 (12.910 ha). Nota-se uma diferença bem definida da superfície ocupada por água, em termos quantitativos, diferença essa de 42,8% entre os períodos.

Observa-se que no ano de 2024, o conjunto de lagos da ilha encontram-se bem mais definidos, porém, mais isolados dado o baixo nível de água na área. Já em 2021, é possível observar que, devido ao grande volume de água, a superfície mapeada foi maior, cobrindo áreas que antes não estavam hidrologicamente conectadas pela cheia normal do rio.

Durante a cheia excepcional de 2021, o processo de conectividade da água entre os lagos e outros cursos d'água é mais evidente, dado aos altos níveis de cota registrados, em específico, durante esse período. Com a distribuição de água bem maior ao longo da superfície da ilha, o alagamento de várias áreas na ilha tornou-se mais amplo.

A Ilha do Careiro experimenta alagamentos sazonais regulares durante as cheias do rio Solimões-Amazonas, restringindo-se à orla urbana em anos hidrológicos normais. Contudo, a cheia excepcional de 2021 atingiu cotas inéditas, expandindo a zona de inundação para áreas não impactadas pelas cheias anteriores (Figura 4).

Entre os impactos da cheia de 2021 destaca-se a necessidade de elevação do assoalho de casas, construção de pontes sobre as ruas para a circulação de pessoas, paralisação temporária de

atividades em postos de saúde e escolas, perdas de cultivos na várzea, redução da área de pastagens para gado na ilha, entre outros.



Figura 4 – Vista aérea da cidade de Careiro da Várzea inundada pela cheia de 2021.

Fonte: Bruno Kelly/Reuters – Notícias UOL.

Na ilha do Careiro, esse fenômeno se caracterizou interessante dada a diferença entre os períodos de cheia e seca extrema. Ao espacializar os dados de residências e edificações na ilha, foi observado de forma mais clara como foi a variabilidade da superfície d'água durante aquele período (Figura 5).

Durante a seca extrema de 2024, observa-se que grande parte das edificações e da população não foram impactadas de forma tão direta por se localizarem as margens de canais principais, como o rio Amazonas e Paraná do Careiro, contudo, as casas mais distantes das margens tiveram uma disponibilidade bem menor de água potável, pesca e para realizar os deslocamentos das embarcações, o que causa problemas de locomoção de grupos de pessoas vulneráveis como crianças e idosos.

A problemática da seca extrema na ilha intensifica-se para as comunidades localizadas distantes das margens fluviais, que enfrentam dificuldades de acesso aos cursos d'água para utilização de embarcações essenciais às atividades de subsistência, como pesca, e ao transporte para outras comunidades ou áreas urbanas. Percursos, antes realizados em pouco minutos, passam a durar horas dada a navegabilidade dificultada pelo baixo nível de água e surgimento de bancos de areia ao longo do percurso.

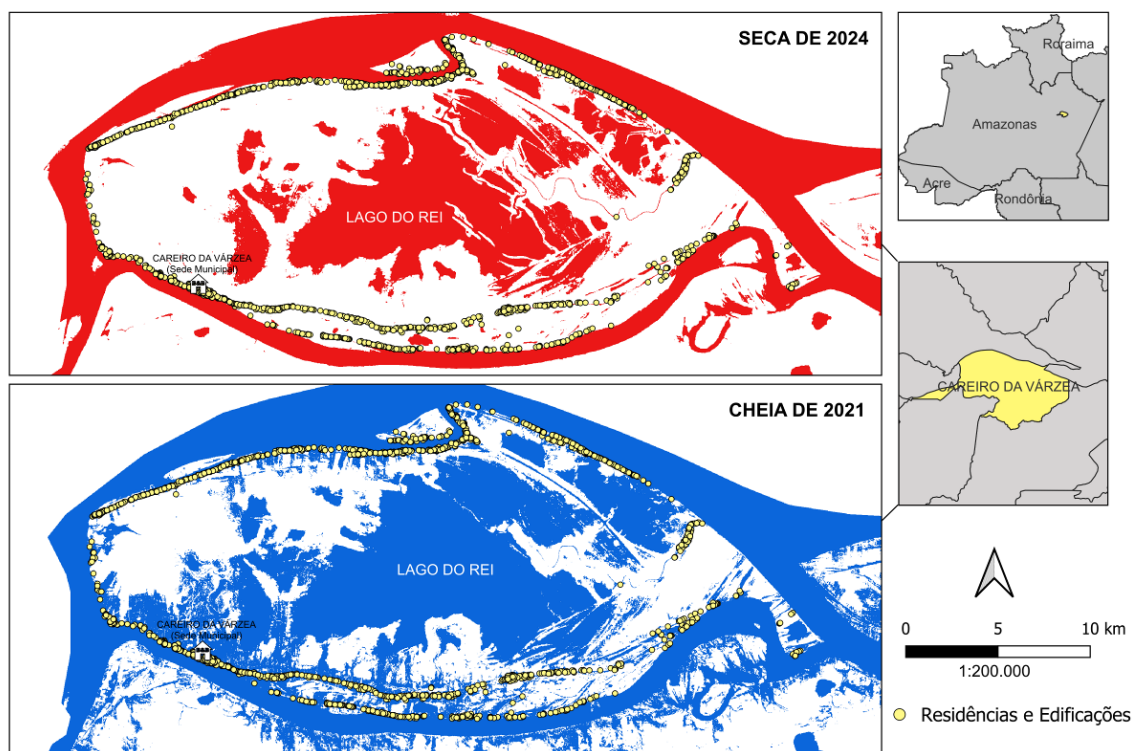


Figura 5 – Residências e edificações da ilha do Careiro na cheia de 2021 e seca de 2024.
 Fonte: Google Open Buildings. Elaboração: os autores.

Em 2021, o cenário contrastou drasticamente, com residências localizadas às margens dos cursos d'água e em áreas suscetíveis à inundação sofrendo impacto direto do nível hídrico elevado. Conforme demonstrado na Figura 4, a cheia excepcional resultou no alagamento completo da cidade, demandando estratégias emergenciais de mitigação dos impactos, particularmente na área urbana onde a concentração de residências e estabelecimentos comerciais ampliou a vulnerabilidade populacional.

A conectividade fluvial em 2021 dos lagos, igarapés e furos com as águas do rio Amazonas e outros corpos d'água durante a cheia na ilha do Careiro foi maior. Segundo Ward (1997) *apud* Zanandrea *et al.* (2020, p. 438), “a conectividade fluvial refere-se à transferência de energia pela paisagem fluvial”. Assim, áreas de pastagem e plantio foram completamente alagadas, causando perda de plantações e necessidade de remanejamento do gado para a terra firme buscando proteger os rebanhos. Contudo, esta cheia permitiu a conexão fluvial de lagos, igarapés e outros corpos d'água ocorresse rapidamente.

A conectividade hidrológica, segundo Zanandrea *et al.* (2020, p. 438), pode ser compreendida como “a passagem da água entre os componentes da paisagem e no comportamento do seu escoamento pela bacia hidrográfica”. Esse tipo de conectividade permite com que ocorra um

escoamento da água para diferentes áreas, como no caso entre o furo do Rei e o lago do Rei no interior da ilha (Figura 6).

De acordo com Zanandrea et al., (2020, p. 439), a conectividade fluvial permite que ocorram transferências pela paisagem, onde, essa energia pode ser caracterizada como a própria água ou como a própria vegetação e a vida animal, como o processo de migração de peixes para outras regiões devido o alto nível das águas.



Figura 6 – Vista do furo do Rei em direção ao lago do Rei (início do período de cheia).

Fonte: os autores.

O pulso de inundação desempenha um importante papel para a compressão desse processo na planície de inundação amazônica. Junk et al. (1989, p. 112) define pulso de inundação como “uma principal força direcionada, sendo responsável pela existência, produtividade e interações da biota nos sistemas rio-planície de inundação”. Esse pulso de inundação influencia no processo de conectividade pelo fato de cargas sedimentares, orgânicas e bioquímicas são transportadas para determinadas áreas onde a inundação ocorre, assim, nutrindo o solo e alimentando cursos d’água.

No período de seca várias comunidades ribeirinhas passaram pelo processo de isolamento geográfico – especificamente, aquelas localizadas em tributários, distantes do canal principal – devido do baixo nível de água, que dificultava o transporte por embarcações pequenas e encalhamento de embarcações maiores.

Outras comunidades, não chegaram a ficar isoladas, mas tiveram um aumento de distância da margem do rio até o trecho onde se tinha água. Em um trabalho de campo, junto da Defesa Civil de Manaus, em comunidades do baixo rio Negro, um mês antes do pico de vazante de 2024, de ribeirinho da comunidade de Monte Sinai do Igarapé Açu destacaram em relatos:

“É horrível meu amigo, ano passado (2023) ficamos isolados por 3 meses diretos, devido a água que não chegava aqui e dos bancos de areia que se forma mais ali embaixo, os barcos não conseguiam passar. Ali para baixo virou foi barranco de pelo menos 4 metros de altura, que se você visse, nem imaginava que estava debaixo d’água. A gente tinha que ir lá para outra “ponta”, por trás da comunidade para poder pegar as coisas que chegava nos barcos, tinha que andar umas duas horas no meio da mata para chegar lá. Foi sofrido e esse ano (2024) parece que vai ser pior, né? Que Deus nos abençoe e nos ajude a passar por isso, de novo”. Morador da comunidade, 2024.

O surgimento de bancos de areia ao longo dos rios e afloramentos rochosos são recorrentes na região com a redução dos níveis dos rios. Na ilha do Careiro, os impactos socioecológicos da seca estão relacionados com o isolamento de alguns lagos e trechos de cursos d’água, o encerramento do ano letivo escolar antecipadamente devido à dificuldade de deslocamento de alunos de algumas comunidades mais distante e a relativa mortandade de peixes pela falta de espaço e oxigenação pelo baixo nível de água.

A pesca é uma das principais atividades exercidas pela população das comunidades ribeirinhas, essa atividade garante sua sobrevivência e sua subsistência, além da manutenção do seu modo de vida e sua cultura (DA COSTA et al., 2023, p. 3). A mortandade dos peixes implica na alimentação e na diminuição dos meios de renda das comunidades, que buscam alternativas de renda como a plantação hortaliças para manter sua subsistência durante o período de vazante (DA COSTA et al., 2023, p. 11)

A ilha do Careiro apresenta, explicitamente, uma configuração de águas sazonais e permanentes que é bem característica das regiões de várzea na Amazônia, em que, passam um período com áreas alagadas e outro não, em processo chamado de “pulso de inundação” (JUNK et al., 1989, p. 112) devido ao recuo da água na vazante. Na figura 7, é possível observar a distribuição espacial da variabilidade média anual (água sazonal e permanente) no entorno ilha do Careiro da Várzea.

A comparação entre as Figuras 3 e 7 evidencia que o lago central (Lago do Rei) mantém relativamente estável sua superfície hídrica ao longo do ano hidrológico, porém perde significativamente a conectividade com outros lagos no interior da ilha. Este padrão característico ocorre durante os períodos de redução pluviométrica e estiagem amazônica, coincidindo com a vazante do Rio Solimões-Amazonas, resultando no isolamento dos sistemas lacustres.

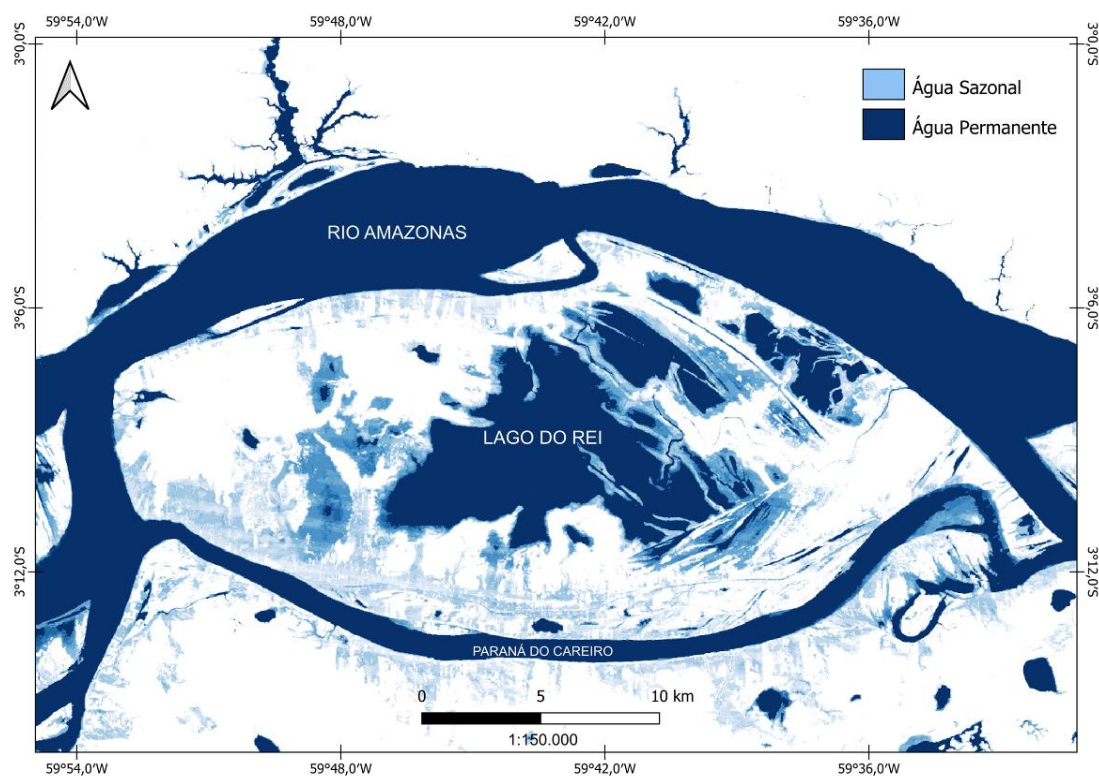


Figura 7 – Distribuição espacial da água sazonal e permanente na região do Careiro da Várzea. Fonte: Global Surface Water Explorer/Copernicus (ESA). Elaboração: a autoria.

Análise temporal da superfície de água

A superfície de água na região do município de Careiro da Várzea no ano de 2024 teve uma diferença expressiva em comparação aos dados de superfície de água média mensal entre os anos anteriormente mapeados, conforme destacado na Figura 8. Observou-se que entre os meses de março e abril, ocorreu um aumento na área da superfície d'água no município de Careiro da Várzea, com máximo entorno de 70.000 hectares de superfície de água, no período de cheia do rio Amazonas-Solimões. A partir do mês de junho, se têm uma redução no padrão normal de transição dos períodos de cheia para a vazante.

No mês de agosto, observa-se uma mudança brusca de superfície d'água na região, que permanece até o mês de novembro. O período, entre os meses de agosto a novembro, está relacionado ao período de vazante do rio Amazonas, que no ano de 2024 passou por uma estiagem severa e com pouca predominância de chuvas durante todos esses meses, influenciando na quantidade de água presente na superfície. Foi registrado um pico mínimo com números abaixo dos 30.000 hectares, uma diferença de mais ou menos 57% entre o período de maior e o de menor pico.

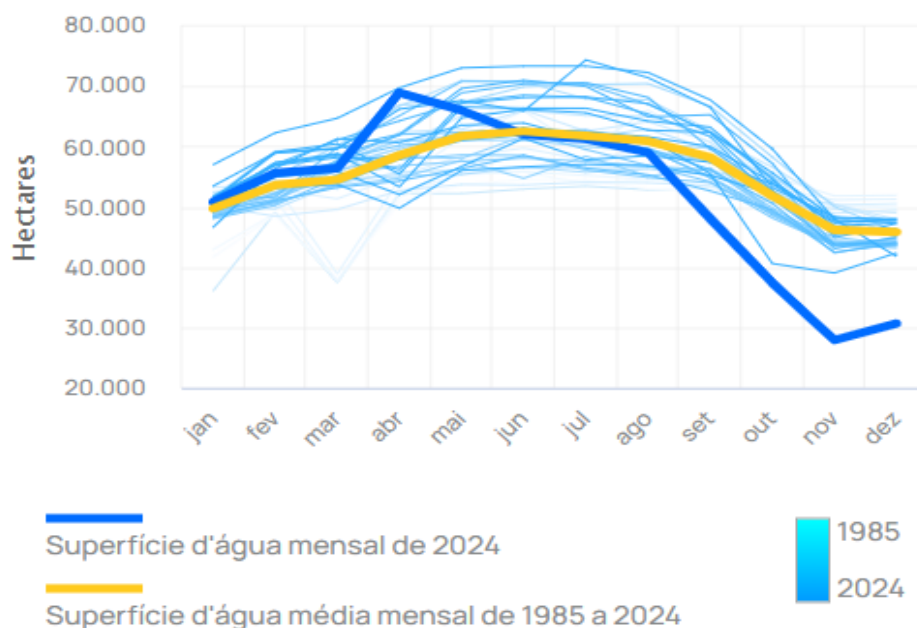


Figura 8 – Série temporal mensal da superfície d'água na área do município de Careiro da Várzea entre 1985 e 2024. Fonte: MapBiomias Água.

A Figura 8 demonstra a severidade do período de vazante e estiagem de 2024 na Amazônia, enquanto a análise da série temporal entre 1985 e 2024 (Figura 9) revela a magnitude dessas variações entre 1985 e 2024. Segundo dados do MapBiomias Água, o município de Careiro da Várzea possui extensão média de superfície de água de 58.352 hectares, atingindo máxima de 67.250 hectares em 2022, possivelmente relacionada à grande cheia de 2021. Estes dados evidenciam a razão do alerta sobre eventos climáticos extremos amazônicos, uma vez que a redução drástica da superfície hídrica impacta comunidades, ambiente e setores econômicos dependentes dos rios para transporte, sustento e escoamento produtivo.

Os eventos climáticos extremos impactam severamente a população ribeirinha amazônica, alterando significativamente a paisagem regional. Nas últimas décadas, esses eventos hidrológicos causam danos sociais diretos ao longo da bacia amazônica, afetando principalmente as comunidades ribeirinhas que enfrentam dificuldades no transporte, escassez de água e alimentos, além da prevalência de doenças epidêmicas durante estes períodos críticos (SILVA et al., 2013, p. 210-211).



Figura 9 – Série temporal da extensão da superfície d'água em Careiro da Várzea.
Fonte: MapBiomias Água.

A região do Careiro da Várzea sofre mudanças significativas com os baixos níveis dos rios, onde, com o recuo da água, alguns cursos de água como paranás e pequenos igarapés tendem a secar intensamente ou até mesmo secar por completo. Isso pode ser verificado a partir das Figuras 2 e 3 que evidenciam que no período que corresponde a vazante, e, posteriormente, seca extrema de 2024, a superfície de água reduziu drasticamente na ilha do Careiro, com uma área de 12.910 hectares de superfície de água estimada.

Tal fato possui forte impacto, em especial, para a população da ilha e do município, quando se considerado que uma das suas principais atividades, como a pesca, realizada no interior da ilha, é dificultada pelo acesso limitado das embarcações aos lagos. Outro impacto social devido aos baixos níveis dos rios está relacionado com a necessidade que algumas comunidades na ilha têm ao acesso a saúde e educação, onde essas comunidades necessitam de polos centrais – comunidades com Unidades Básicas de Saúde e outros atendimentos – ou até mesmo necessitando se deslocar até a capital para terem suas demandas atendidas.

O monitoramento dos níveis dos rios é de fundamental importância, pelo fato que o cotidiano de boa parte da população amazônica depende dos rios para seus meios de sobrevivência e subsistência. A variação dos níveis de água dos rios é um componente hidrológico importante para avaliar os impactos dos eventos hidrológicos extremos, monitoramento podendo ser feito a partir de redes de estações hidrométricas.

Dados de cotas registradas ao longo do ano de 2024 na região do Careiro da Várzea chamam a atenção pelo fato dos níveis mínimos de água ficarem bem abaixo da média anual para a região nos anos de 2023 e 2024, como apresentado na Figura 10.

Em 2024, as cotas mínimas diárias mantiveram-se significativamente abaixo da normalidade desde o início do ano, com descida drástica a partir de agosto, registrando níveis próximos a 100

cm. Esta situação compromete severamente a navegação de embarcações de grande porte, que necessitam de 3 a 4 metros de profundidade para passagem segura, considerando suas dimensões, peso e carga. O Porto de Manaus registrou cota mínima histórica de 12,70 metros em 2023, já impactante para a bacia, porém 2024 estabeleceu novo recorde negativo com 12,13 metros, evidenciando um desequilíbrio hidrológico em relação aos anos anteriores e intensificando os impactos sobre o sistema de transporte fluvial amazônico.

A partir da observação de dados multitemporais é possível constatar que o rio Amazonas vem sofrendo variações consideráveis ao longo dos anos (Figura 11), na qual a ausência de precipitação na região da bacia impacta diretamente no abastecimento dos tributários que drenam para o rio Amazonas, e que contribuem com sua abundância hidrográfica.

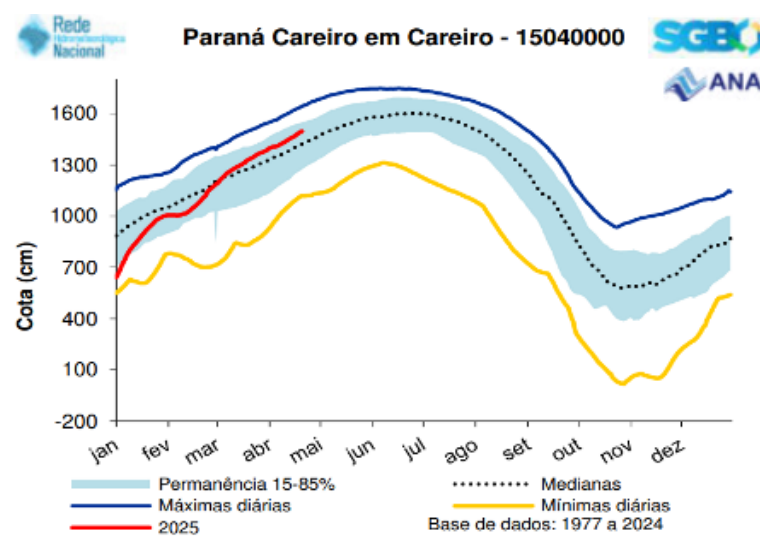


Figura 10 – Cotagrama da estação do SGB/ANA no Paraná do Careiro, em Careiro da Várzea. Fonte: Rede Hidrometeorológica Nacional (SGB/ANA).

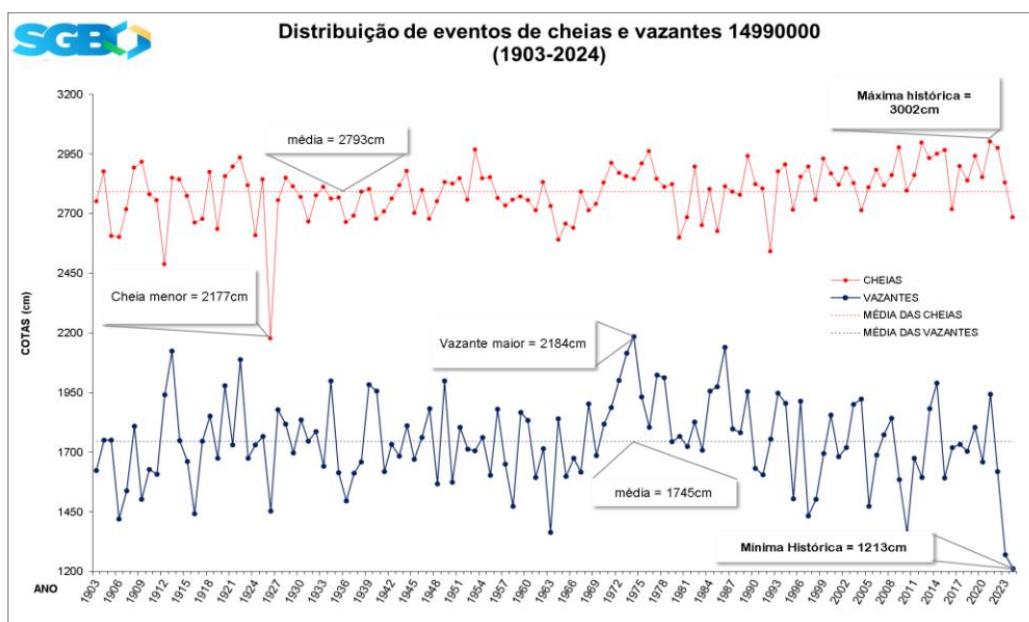


Figura 11 – Variabilidade dos níveis de cheia e vazante do rio Negro entre 1902 e 2024.
Fonte: SGB/ANA.

Os eventos extremos de cheia e seca na calha do Rio Solimões-Amazonas constituem fenômenos de ampla discussão devido aos significativos impactos ambientais, sociais e econômicos regionais. Na região amazônica, os rios representam as principais vias de locomoção e acesso territorial, tornando o monitoramento sistemático dos níveis dos corpos d'água uma necessidade crescente para a mitigação desses impactos potenciais.

Os avanços tecnológicos das últimas décadas tornaram os sensores remotos ferramentas fundamentais para pesquisadores e analistas devido à ampla disponibilidade de dados. Segundo Novo (2008), a capacidade desses sensores de produzirem imagens com excelente resolução temporal, espacial, espectral e radiométrica permite mapeamentos, medições e estudos de fenômenos com maior qualidade e rapidez. Contudo, as imagens ópticas de sensores orbitais apresentam limitações de mapeamento da superfície d'água, especialmente em áreas alagadas cobertas por vegetação densa, comuns na Amazônia, onde a reflexão direta da energia aos sensores fica comprometida. As imagens de radar de abertura sintética constituem alternativa a esta limitação.

Considerações finais

A análise da variabilidade da superfície de água na Ilha do Careiro durante os eventos climáticos extremos de 2021 e 2024 evidencia a vulnerabilidade dos sistemas fluviais amazônicos às oscilações hidroclimáticas. A redução de 42,8% da superfície hídrica entre os períodos analisados demonstra como fenômenos climáticos intensos impactam abruptamente a população, o

meio ambiente e os setores econômicos regionais, resultando em isolamento populacional, escassez de recursos e comprometimento das atividades de subsistência.

O ano de 2024 consolidou-se como excepcional na vazante dos rios amazônicos, com o registro histórico de 12,13 metros no Porto de Manaus, exigindo planos de contingência municipais e estaduais para mitigação dos impactos atuais e futuros. Embora a ocorrência do fenômeno El Niño (2023-2024) possa estar relacionada à intensificação destes eventos extremos, tal relação demanda investigações específicas em estudos posteriores.

O monitoramento sistemático da superfície de água e das cotas fluviométricas torna-se imprescindível para a compreensão e previsão de impactos durante esses períodos críticos. O sensoriamento remoto demonstra potencial promissor para análises sinóticas, especialmente quando integrado a ferramentas de geoprocessamento, auxiliando agentes governamentais na formulação de estratégias de mitigação. Contudo, faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias mais efetivas para monitoramento hidrológico, similar às consolidadas para queimadas e desmatamento amazônicos.

Recomenda-se para estudos futuros o mapeamento de rotas de navegação em diferentes cenários climáticos e o desenvolvimento de índices de acessibilidade para comunidades ribeirinhas, visando quantificar os impactos da variabilidade hidrológica sobre a navegabilidade regional e subsidiar políticas públicas de adaptação aos eventos extremos.

Agradecimentos

Agradecimentos a CAPES (CNPq) pelo apoio ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas (PPGGEOG). À Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de bolsa de estudos de mestrado ao primeiro autor. Este trabalho é uma contribuição ao Projeto HYPERSED (EDITAL N. 001/2023 - UNIVERSAL - FAPEAM 20 ANOS) desenvolvido por pesquisadores do Laboratório HIDROGEO/UFAM com apoio da Fundação de Amparo a Pesquisas do Estado do Amazonas (FAPEAM)

Referências

A Crítica. **Seca extrema isola comunidades ribeirinhas e afeta educação no Amazonas**. Elizabeth Cavalcante. Disponível em: <https://www.acritica.com/educacao/seca-extrema-isola-comunidades-ribeirinhas-e-afeta-educac-o-no-amazonas-1.357137>. Acesso em: jun. 2025.

ARRAUT, E. M. et al. Secas extremas na planície de inundação amazônica: alguns impactos sobre a ecologia e a biodiversidade. In: BORMA L. S. e NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia: causas e consequências**. Oficina de Textos, São Paulo, 2013.

BORMA, L. S. et al. Impactos dos eventos extremos de seca e cheia sobre os recursos hídricos amazônicos e ações da defesa civil. In: BORMA L. S. e NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia: causas e consequências**. Oficina de Textos, São Paulo, 2013.

CARVALHO, J. A. L. **Terras caídas e consequências sociais: Costa do Miracauera-Paraná da Trindade, município de Itacoatiara-AM, Brasil**. 2006.

CORDEIRO, M. C. R. et al. Automatic Water Detection from Multidimensional Hierarchical Clustering for Sentinel-2 Images and a Comparison with Level 2A Processors. **Remote Sensing of Environment** 2021, 253, 112209. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112209>.

CRUZ, M. de J. M. **Territorialização camponesa na várzea da Amazônia**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DA COSTA, M. S. B. et al. Percepção da comunidade local sobre os efeitos da mortandade de peixes no lago do Rei no Careiro do Várzea Amazonas. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, p. e27712138710-e27712138710, 2023.

GOOGLE. Open Buildings. Google Resarch Sites. Disponível em: <<https://sites.research.google/gr/open-buildings/>>. Acesso: jun. 2025

IRIONDO, Martin H. Geomorfologia da planície Amazônica. IV Simpósio do Quaternário do Brasil, v. 4, p. 323-348, 1981.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres** (tradução). José Carlos Neves Epiphanyo [et al.]. Parêntese, São José dos Campos-SP, 2009.

JUNK, W. et al. **The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems**. Can. Spec. Public Fish. Aquat. Sci.. 106. (1989).

NOVO, E. M. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais. Informações derivadas de sensoriamento remoto**. Oficina de Texto, São Paulo, 2008.

MapBiomas. **Plataforma MapBiomas Água**. <https://plataforma.agua.mapbiomas.org/water/brazil>. Acessado: jun. 2025.

Notícias UOL. **Cheia dos rios no Amazonas afeta mais de 450 mil pessoas no estado**. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-brasil/2021/05/27/cheia-dos-rios-no-amazonas-afeta-mais-de-450-mil-pessoas-no-estado.htm>. Acesso em: jun. 2025.

SILVA, J. S. et al. Variabilidade Espacial do Nível D'água na Bacia Amazônica Durante Eventos Extremos. In: BORMA L. S. e NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia: causas e consequências**. Oficina de Textos, São Paulo, 2013.

SGB. 44º Boletim Hidrológico da Bacia do Amazonas. **SACE: Sistema de Alerta de Eventos Críticos. Bacia do Rio Amazonas**. 2025

SIDI. Eventos climáticos extremos: o que são e por que você deveria se preocupar? Sidi.org.br. Disponível em: <https://www.sidi.org.br/pt-br/blog/eventos-climaticos-extremos-o-que-sao-e-por-que-voce-deveria-se-preocupar>. Acesso em: jun. 2025.

ZANANDREA, Franciele et al. Conectividade dos sedimentos: conceitos, princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020.

ZANI, H; MARINHO, R. R; GAVLAK A, A. Avaliação de métodos para extração de corpos d'água e áreas inundadas em imagens Landsat-TM. **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**, VIII, Belo Horizonte, 2010.