Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ENCHENTE DE 2024 NO RIO GRANDE DO SUL: CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E ALTERAÇÕES NA COBERTURA VEGETAL NA SUB-BACIA DO RIO JACUÍ

2024 Flood in Rio Grande do Sul: Climatic Conditions and Changes in Vegetation Cover in the Jacuí River Sub-Basin

Inundación de 2024 en Rio Grande Do Sul: Condiciones Climáticas y Cambios en la Cobertura Vegetariana en la Subcuenca del Río Jacuí

Eduarda Regina Agnolin
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
eduardagnolin@gmail.com

Elenita Garcia Soares
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
elenitaibiraquera@gmail.com

Francisco de Assis Mendonça
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.
03FAM10@gmail.com

Resumo: As mudanças climáticas globais têm se intensificado e estão ligadas diretamente a crescente pressão populacional, a degradação dos ecossistemas e a variabilidade climática, afetando diversas regiões do mundo. O presente trabalho tem como objetivo analisar a enchente de 2024 no Rio Grande do Sul, sob a perspectiva climática, com foco na sub-bacia do rio Jacuí, comparando dados de precipitação, umidade e a qualidade da cobertura vegetal entre os anos de 2023 e 2024. Para tal, utilizou-se a Plataforma de processamento Google Earth Engine (GEE (2023 e 2024), dados do Climate Hazards Group Infra Red Precipitation with Station data (CHIRPS) e imagens Sentinel 2, a qual foi transformada em índices (Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)); estes últimos foram utilizados para aferir os níveis de umidade em superfície e a qualidade da vegetação. Identificou-se nos resultados que o NDVI passou de -0,78 a 0,95 em 2023 para -0,74 a 0,95 em 2024, evidenciando uma pequena perda na qualidade vegetacional; e, as áreas úmidas no NDWI aumentaram em 2024, restando remanescentes da enchente.
Palavras-chave: Enchente. Rio Grande do Sul. Índices. Precipitação

Abstract: Global climate change has intensified and is directly linked to increasing population pressure, ecosystem degradation and climate variability, affecting several regions of the world. This paper presents an analysis of the flood that occurred in the Brazilian state of Rio Grande do Sul in April and May 2024, comparing two periods of extreme precipitation in the Jacuí River Sub-basin. For this purpose, the following were used: Google Earth Engine (GEE, 2023 and 2024) processing platform, data from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) and Sentinel-2 images—converted into Normalized Difference Water Index (NDWI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)—were used, with the latter serving to assess surface moisture levels and vegetation quality. The results show that the NDVI ranged from -0.78 to 0.95 in 2023 and from -0.74 to 0.95 in 2024, indicating a small loss in vegetation quality. Additionally, the NDWI revealed an increased in wet areas in 2024, leaving remnants of the flood.
Keywords: Flood. Rio Grande do Sul. Indices. Precipitation.

Resumen: Los cambios climáticos mundiales se han acentuado y están relacionados directamente con la creciente presión poblacional, la degradación de los ecosistemas, la variabilidad climática y afectan varias regiones del mundo. Este trabajo tiene el objetivo de analizar la inundación de 2024 en Rio Grande do Sul, desde el punto de vista climático, específicamente en la sub cuenca del río Jacuí, comparando datos de precipitación, humedad y la calidad de la cobertura vegetal entre 2023 y 2024. Para eso, se han usado: la Plataforma de procesamiento Google Earth Engine (GEE (2023 y 2024), datos del Climate Hazards Group Infra Red Precipitation with Station data (CHIRPS) e imágenes Sentinel 2, lo que derivó en índices (Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) e Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI); estos últimos se han utilizado para medir los niveles de humedad en la superficie y la calidad de la vegetación. En los resultados, se ha identificado que el NDVI pasó de -0,78 a 0,95 en 2023 para -0,74 a 0,95 en 2024, evidenciando una pequeña pérdida en la calidad de la vegetación; y las áreas húmedas en el NDWI aumentaron en 2024, con remanentes de la inundación.
Palabras clave: Inundación. Río Grande del Sur. Índices. Precipitación.

Submetido em: 30/05/2025
Aceito para publicação em: 16/10/2025
Publicado em: 24/07/2026

1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul foi acometido por um desastre de natureza climática-meteorológica que atingiu 471 cidades, nas quais mais de 170 pessoas perderam a vida, e expulsou 600 mil moradores de suas casas. As chuvas persistentes e os temporais se intensificaram a partir do dia 26 de abril de 2024 e, em pouco tempo, causou a elevação dos níveis dos rios Taquari, Caí, dos Sinos, Antas, Pardo, Jacuí e Gravataí, dentre outros, fazendo com que várias cidades registrassem forte impacto da enchente. Além disso, o lago Guaíba subiu mais de 5 metros, superando recordes como o de 1941 que chegou a 4,7 metros, impactando na cidade e em sua população (Marengo et al., 2024).

Esse desastre teve sua configuração imbricada por riscos naturais, tecnológicos e sociais. Um encadeamento do fenômeno natural El Niño somado a falhas na infraestrutura, como o colapso de barragens e a insuficiência dos sistemas de drenagem, ampliou a magnitude e abrangência dos impactos, assim como a ocupação desordenada de áreas e as falhas de planejamento urbano, propiciaram ocorrência de uma catástrofe de grandes dimensões.

A disponibilidade de água no país está intrínseca ao contexto climático ao qual está inserido, visto que o ciclo anual das chuvas e de vazões varia entre bacias, segundo Marengo (p. 83, 2008) “[...] a variabilidade interanual do clima, associada aos fenômenos de El Niño, La Niña, ou à variabilidade na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical e Sul podem gerar anomalias climáticas, que produzem grandes secas.”

No que se trata das projeções da precipitação para o estado do Rio Grande do Sul (RS) frente às mudanças climáticas, a região ao qual está inserida entre os paralelos 27°03'42" e 33°45'09" de latitude Sul, é favorável a atuação de uma gama de fenômenos meteorológicos que afetam o tempo e o clima do Estado, tendo como exemplo as frentes frias, que passam regularmente favorecendo a boa distribuição das chuvas, e o fenômeno do El Niño responsável pelo aquecimento das águas do Oceano Pacífico (Cera; Ferraz, 2015).

A concepção de riscos híbridos está assentada no fato de que raramente os riscos estão relacionados a somente um elemento ou fator desencadeador. Admitindo-se que os riscos constituem uma construção social, entende-se, de maneira direta, que há uma fortíssima sobreposição entre as instâncias da natureza, da sociedade e da tecnologia, isso para ficar

restrito aos três grandes e clássicos tipos de riscos presentes na literatura relativa ao tema: naturais, sociais e tecnológicos (Mendonça, 2021).

Nessa perspectiva, os chamados riscos naturais parecem ter uma nominação inadequada, posto que não existe risco para a natureza. Apesar de terem um elemento ou evento extremo de ordem natural altamente importante na sua constituição a ameaça, o perigo e os impactos se dão na sociedade que a eles se encontra exposta. Isso serve para os problemas de ordem social (auto impactos) e tecnológicos (Mendonça, 2021).

Os chamados riscos naturais, que são híbridos, se originam da interação de fatores climáticos, geológicos, hídricos e sociais; os fenômenos naturais extremos se associam a condições sociais de vulnerabilidade, fato que expõe a população a perigos. Na enchente do Rio Grande do Sul observou-se a ocorrência de movimentos de massa, que desabrigou uma grande parcela da população riograndense (Agência Nacional das Águas, 2025).

É de grande relevância também, neste caso, ressaltar que os riscos sociais foram derivados de conflitos de interesses, pois o Executivo fez a fusão entre Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura, por meio do Decreto nº 54.550, de 2 de abril de 2019, retirou da Constituição Ambiental Estadual, Lei nº 15.434/2020, 170 artigos, flexibilizando parâmetros de proteção ambiental, permitindo a ocupação de áreas de preservação permanente e autorizando aos empresários o autolicenciamento (Lei nº 15.434/2020; Brasil de Fato, 2024).

As chuvas que caem no Estado do Rio Grande do Sul são resultantes da atuação de diferentes sistemas atmosféricos. No verão elas são trazidas sobretudo pela convecção e a ZACAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), no outono e primavera por sistemas convectivos de mesoescala, no inverno por frentes frias; além dos ciclones extratropicais e sistemas convectivos de mesoescala subtropicais que, acrescidos dos jatos de altos e baixos níveis (JBN) - este último em especial foi o que se instaurou sobre o Rio Grande do Sul - provocando intensa chuva, foco deste trabalho (Rocha; Reboita; Crespo, 2024).

O ENOS, ou seja, El Niño (EN) e La Niña (LN), apresenta-se como a mais comumente discutida forma de variabilidade da precipitação na América do Sul, porém sabe-se da complexidade dos sistemas climáticos juntamente as escalas temporais e espaciais. Além disso, para a análise e composição global da variabilidade climática, destacam-se os demais

modos de variabilidade que não serão tratados aqui, mas que tem sua importância (Grimm, 2011; Goudard, 2023).

Entende-se que o Rio Grande do Sul está submetido a uma gama de eventos extremos atrelados à pluviosidade. Os ciclos do El Niño-Southern Oscillation (ENSO) são bem acentuados na região seja em fase de El Niño, onde a precipitação apresenta maior intensidade ou em período de La Niña, onde ocorre a estiagem podendo levar a secas severas para população do norte-noroeste do estado.

Os desastres climáticos não podem de maneira alguma ser a gênese única das catástrofes climáticas; eles devem ser concebidos como riscos híbridos (Mendonça, 2021). Segundo Nascimento (2022), o espaço ainda permanece como receptáculo do clima, mas ele já não é absoluto, uma vez que, as estruturas espaciais podem ser removidas, transferidas, alteradas e modificadas por meio de parâmetros jurídicos, econômicos e políticos (como o mercado de carbono) ou pelo aparato dos sistemas técnicos-científicos- informacionais (planos de contenção informacionais e desastres) na gestão do território.

O desastre ocorrido em abril/maio de 2024, traz para a discussão, a soma de eventos extremos e as vulnerabilidades estruturais, sociais e ambientais da sub-bacia do Rio Jacuí. Pode-se considerar a escassez de estudos que levem em consideração a quantificação, a espacialização e as alterações ambientais que foram geradas durante todo o processo. Além disso, partir de dados meteorológicos e sensoriamento remoto, pode auxiliar na compreensão da perda da qualidade vegetacional, no aumento de áreas úmidas que pode ser comparativa durante os dois períodos.

A hipótese deste estudo, pauta-se no resultado combinado de chuvas extremas e sucessivas em curto intervalo associadas a fragilidades socioambientais, como os diferentes usos da terra e a falha em infraestrutura de contenção. A partir do evento pode-se mensurar impactos na paisagem por meio de índices ambientais (NDVI e NDWI), ou seja, espacializar a redução da vegetação e o aumento de áreas úmidas.

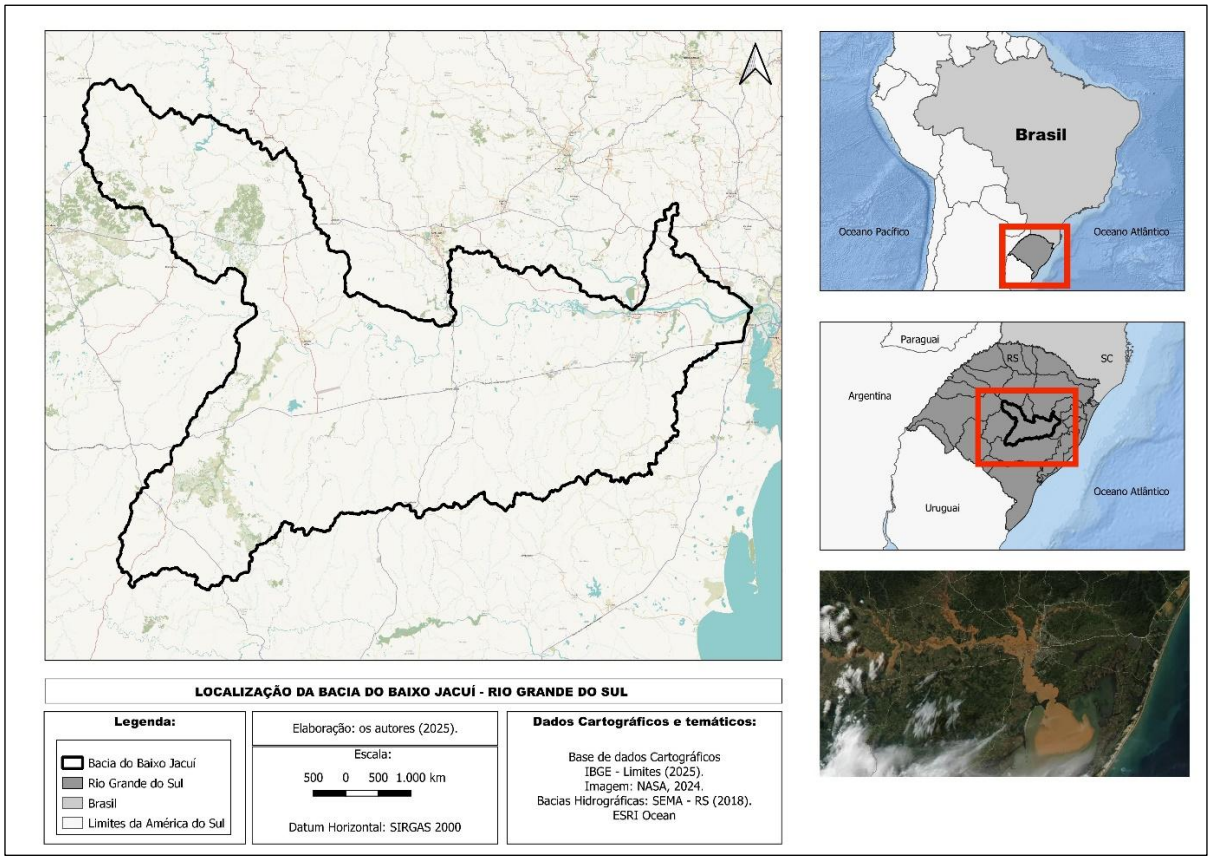
Este trabalho tem como objetivo analisar a enchente de 2024 no Rio Grande do Sul, sob a perspectiva climática, com foco na sub-bacia do rio Jacuí, comparando dados de precipitação, umidade e a qualidade da cobertura vegetal entre os anos de 2023 e 2024.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área alvo

Para a elaboração deste estudo escolheu-se uma área que foi fortemente impactada pelo desastre hidrometeorológico registrado no Rio Grande do Sul em 2024. A área localiza-se a oeste da Região Metropolitana de Porto Alegre; é a sub-bacia do Baixo Jacuí, parte da bacia hidrográfica do Guaíba (Figura 01), sendo composta pela confluência entre os rios Vacacaí e Jacuí. Esta área vem sofrendo alterações de natureza antropogênica desde o século XIX, tendo sido relatada por naturalistas e exploradores (Accordi, 2003).

Figura 1 - Rio Grande do Sul e bacia do baixo Jacuí - Localização

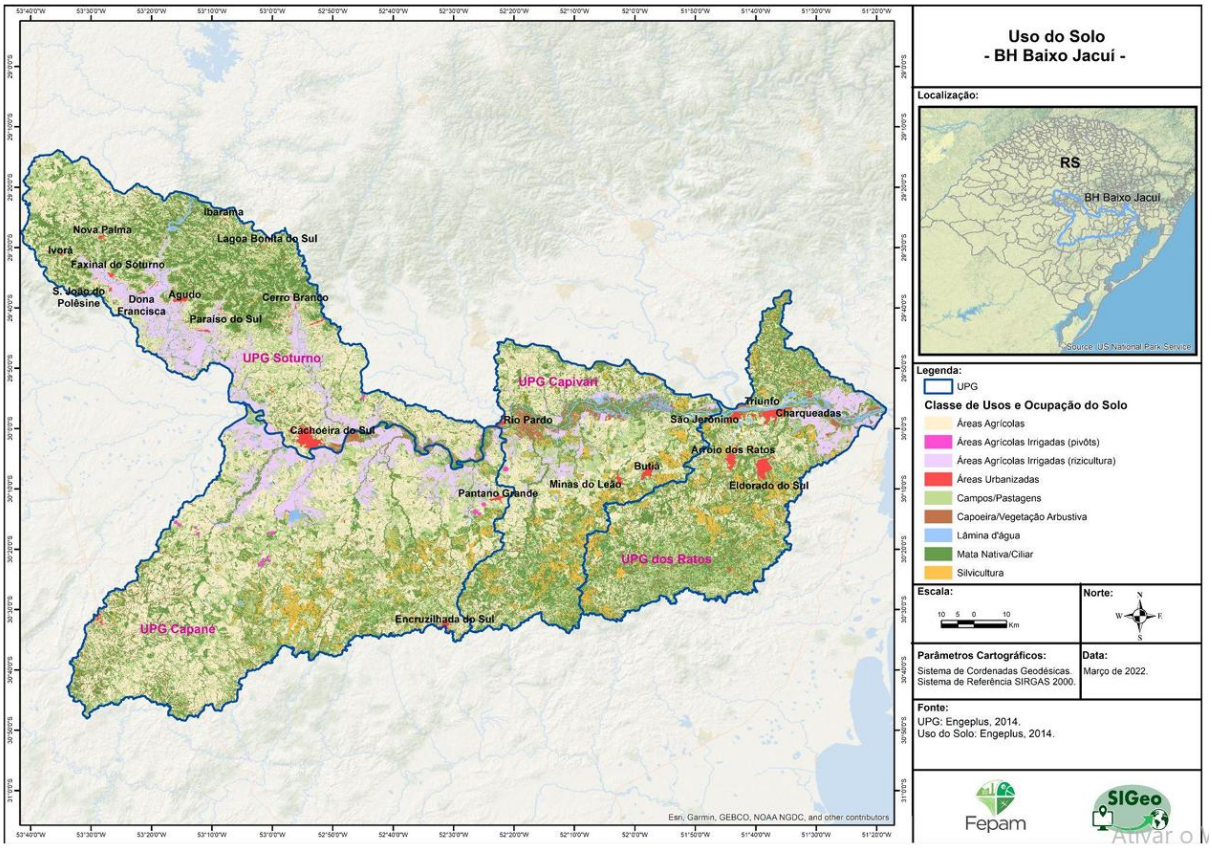


Fonte: Os autores, 2025.

A Figura 2, mostra os usos do solo conforme a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental), a qual separa em onze classes, sendo: silvicultura, mata nativa ciliar, lâmina de água, vegetação capoeira arbustiva, campos, pastagem, área urbanizada, áreas agrícolas

irrigadas, áreas agrícolas. Desta forma, observa-se que a classe com maior abrangência na área é a agricultura seguida pelas áreas de campo.

Figura 2 - Bacia do baixo Jacuí / RS - Usos do solo



Fonte: FEPAM, 2022.

A bacia do Jacuí em sua totalidade é composta por Áreas Agrícolas (27,87%), Campos/Pastagens (27,83%), Mata Nativa/Ciliar (24,22%). Dentro da bacia há as Unidades de Planejamento e Gestão (UPGs), que são fundamentais para o gerenciamento e planejamento das áreas. Visto isso, a Bacia do Jacuí possui quatro UPGs, sendo elas, Soturno, Capané, Capivari e Ratos, cada qual UPG têm usos e ocupação da terra específicos, como pode-se observar na tabela 01 abaixo:

Tabela 01 - Usos do solo nas UPGs da Bacia do baixo Jacuí / RS

UPGs da Bacia do Jacuí	Campos/Pastagens	Áreas Agrícolas	Mata Nativa/Ciliar
UPG Soturno	(29,15%)	**(26,97%)**	(23,96%)
UPG Capané	(28,70%)	**(34,67%)**	(18,75%)
UPG Capivari	**(26,83%)**	(26,44%)	(25,65%)
UPG dos Ratos	(25,23%)	(17,05%)	**(34,05%)**

Fonte: Plano de Bacia, 2015.

O clima subtropical tem suas especificidades, como temperaturas médias abaixo de 18ºC, além disso, sua localização geográfica em faixa de transição de sistemas atmosféricos, faz com que a amplitude térmica tenha uma variação entre 9 ºC e 35ºC, apresenta uma sazonalidade bem definida e a pluviosidade bem distribuída ao longo do ano, as variações médias aproximam-se de 1.400mm a 2.000 mm ao ano (Goudard, 2021).

Além disso, quando se trata da escala regional, Rossato (2011) realizou uma classificação para o Rio Grande do Sul, onde a área deste estudo tem precipitações médias em torno de 1700-1900 mm ao ano, sendo distribuídas em média de 110 a 140 dias.

Segundo o Atlas Socioeconômico do estado do RS (2020), a normal climatológica referente a temperatura apresenta-se com variações sazonais, com verões quentes e invernos bastante rigorosos, as médias variam entre 15°C e 18°C, com mínimas de até -10°C e máximas de 40°C. Já no que tange a precipitação, pode-se observar que são contínuas ao longo de todo o ano, com diferentes volumes, no Sul a média varia de 1.299 a 1.500 milímetros e no Norte está entre 1.500 e 1.800 milímetros.

2.2 Procedimentos Metodológicos

Para este trabalho foi utilizado como ferramenta o *Google Earth Engine* (GEE), plataforma disponível gratuitamente online (Zang, et al., 2025). Dentro dela utilizou-se de dois scripts, um para aferir os dados CHIRPS Daily (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data*) conforme Auliyani; Wahyuningrum (2021), e outro para baixar os índices NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NDWI (*Normalized Difference Water Index*) os quais são aferidos a partir de processamentos sobre as imagens de satélite do Sentinel 2.

Coleta dos dados CHIRPS

O primeiro passo empregado foi a definição da região de interesse, a bacia do baixo Jacuí, que delimitada utilizando-se de uma geometria simples (como um polígono); para tanto utilizou-se do *Shapefile* do Estado do Rio Grande do Sul.

A base de dados selecionada foi a coleção de dados *CHIRPS Daily*, a qual fornece a cobertura global das precipitações diárias, essa base de dados combina satélite com dados pluviométricos in situ, fornecendo uma estimativa de alta resolução espacial, de 0.05° ou por volta de 5 km. O período analisado foi compreendido como o mês de abril 2023 e 2024.

Para que fosse possível ter o dado de precipitação acumulada, foi realizado um cálculo, para somar todas as imagens diárias, resultando em uma imagem representando a precipitação acumulada em abril de 2023 e 2024.

No script também foi inserido a criação de gráficos para a representação da precipitação diária somada ao longo dos anos de 2023 e 2024, e posteriormente criou-se os gráficos da precipitação diária somada de abril de 2023 e abril de 2024, sendo que o eixo X: representa as datas, e o eixo Y: representa a precipitação acumulada diária (mm).

O download da imagem raster contendo os dados CHIRPS, foi realizada por meio do *Google Drive* no formato GeoTIFF e manipulada no *Qgis 3.4 Madeira*, para a composição final.

Coleta de dados do Sentinel -2

Para a coleta de imagens do Sentinel-2, foi definido o shapefile da bacia do baixo Jacuí e um script para calcular os índices ambientais NDVI e NDWI. As imagens foram filtradas em um intervalo de tempo de 01 de maio a 31 de dezembro de 2023 e de 01 de maio a 31 de dezembro de 2024.

Para uma melhor visualização, foi aplicada uma máscara de nuvens, a qual tem o objetivo de remover pixels afetados por nuvens; posteriormente as imagens são compiladas em uma mediana temporal (median), representando valores médios ao longo período.

Calculou-se os índices ambientais NDVI e NDWI, os quais são gerados utilizando expressões matemáticas que envolvem as bandas espectrais do Sentinel-2.

O NDVI, tem como objetivo avaliar a qualidade/saúde folhar da vegetação com base na absorção de luz no vermelho (RED) e na reflexão no infravermelho próximo (NIR), conforme equação 01 (Chanpichaigosol; Chaichana; Rinchumphu, 2025; Patil et al., 2024).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

O NDWI, tem como objetivo ressaltar acumulações hídricas e minimizar o restante dos alvos da superfície, assim como a detecção e monitoramento de ligeiras mudanças no teor de água. Destaca corpos d'água com base na diferença entre a banda verde (GREEN) e o infravermelho de ondas curtas (SWIR1), conforme equação 02 (Tulbure et al., 2016).

O NDWI é relativamente fácil de calcular e tem qualidade aceitável em muitas regiões, como regiões sem edifícios e com baixa sedimentação, lagos. Consequentemente, para os lagos com pouca turbidez, o NDWI exibe uma discriminação precisa e clara dos limites da água, eliminando assim a interferência de outras correções como aquelas provocadas por outros índices de influência de sedimentos ou sombras. NDWI melhora a precisão de tais trabalhos de pesquisa, reduzindo o ruído da vegetação refletância, mas, ao mesmo tempo, define os limites da água, especialmente essencial para o rastreamento eficiente das mudanças nas águas superficiais dos lagos. Esse, a escolha depende de determinadas condições ambientais locais, dados de sensores, ou dados que são usados no estudo ou às vezes objeto de pesquisa positivos. O NDWI é mais apropriado em situações onde a delimitação do limite vegetação-água é fundamental (Mohammed et al., 2025, p.4).

$$NDWI = \frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1}$$

A exportação destas imagens raster, contendo o NDVI e o NDWI, foram realizadas por meio do Google Drive no formato GeoTIFF e posteriormente manipulada no Qgis 3.4 Madeira, para a composição do layout das imagens.

Utilizou-se da interpretação visual das imagens de satélite processadas, que geraram os índices ambientais NDVI e NDWI e os dados de precipitação diária em CHIRPS, que foram extraídos do GEE. Após a coleta das imagens, foram organizadas e visualizadas no software QGIS 3.4 Madeira, onde criou-se o layout dos mapas dos anos de 2023 e 2024, a interpretação dos dados foi realizada de forma qualitativa e considerando os valores obtidos nos índices.

3. DESENVOLVIMENTO

A enchente de abril e maio de 2024, é considerada “um dos eventos hidrológicos extremos mais devastadores já registrados no Brasil, com chuvas de intensidade, duração e abrangência sem precedentes. As inundações e deslizamentos causaram impactos socioeconômicos e ambientais de grande magnitude” (ANA, 2025, p.07).

Os resultados apresentados são consistentes com os estudos de Marengo et al., (2024), o qual descreve intensa pluviometria concentrada em abril e maio na porção norte do RS, somado ao que foi descrito pelo autor, apontamos na análise realizada por CHIRPS, também uma intensidade concentrada de precipitação na porção médio-central da bacia do Jacuí em abril de 2024.

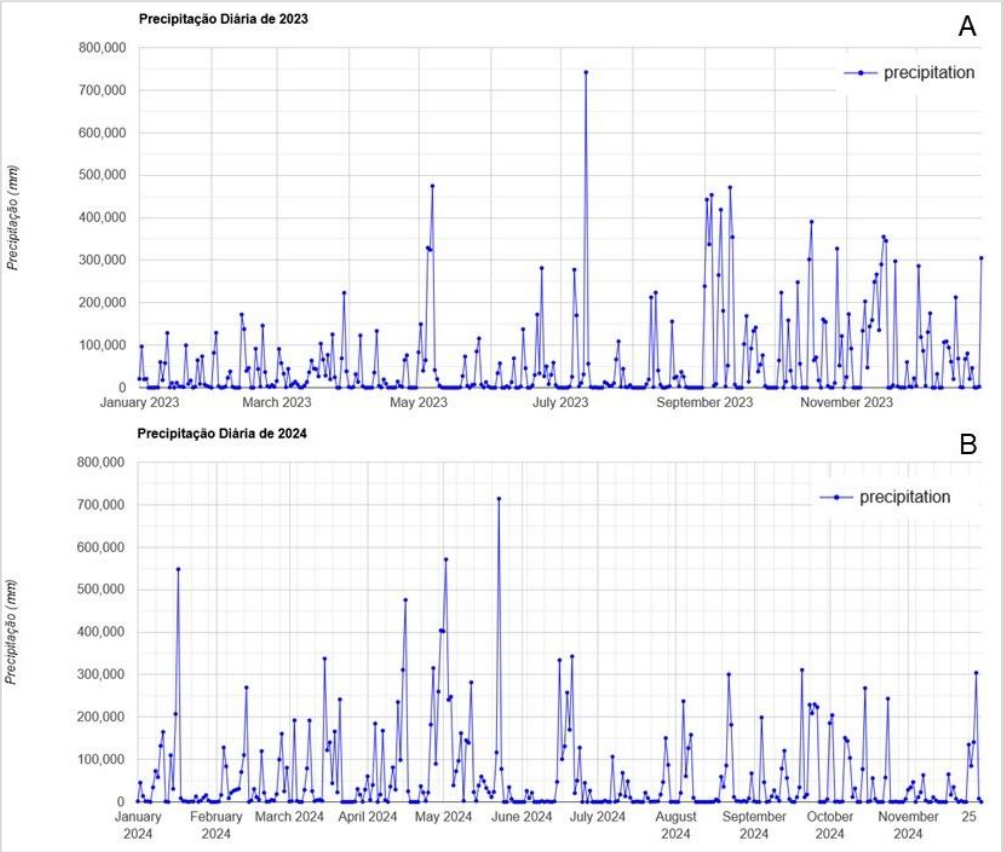
Pode-se atrelar o desastre de 2024 a uma combinação de precipitações com forte magnitude, intensidade e abrangência, associadas a geografia do RS, com áreas elevadas, declivosas, solos rasos e um alto volume de escoamento (Collischonn et al., 2024a).

As normais climatológicas variam de 1.299 a 1.500 milímetros anuais. Neste episódio os acumulados de chuva superaram 700 mm na parte norte do estado. Pode-se exemplificar, por meio da chuva de 3 dias em 10.000 km² ou pela superação, sendo 47% maior que o recorde anterior de precipitação, a precipitação de 2024 foi mais volumosa e mais intensa que o registro de 1941 (Collischonn et al., 2024b).

Os resultados apontam que o Rio Grande do Sul registrou a ocorrência de eventos de precipitação extrema nos dois anos, com magnitudes aproximadas de mais de 700 milímetros mensais em meses diferentes. Além disso, a precipitação apresentou-se de maneira irregular; o ano de 2023, por exemplo, registrou três episódios de precipitação acima de 300 milímetros por dia até o mês de setembro. Todavia, de setembro a dezembro deste mesmo ano, os episódios acima de 300 milímetros por dia são mais comuns.

O ano e 2024, por sua vez, registrou episódios de chuva intensa acima de 300 mm/dia até julho de 2024, com somente três episódios de mais de 300 mm do meio para o fim do ano (Figura 3 - precipitação diária representada por pontos e linhas azuis; A: 2023 e B: 2024).

Figura 3 - Rio Grande do Sul - Precipitação diária 2023(A) e 2024(B)

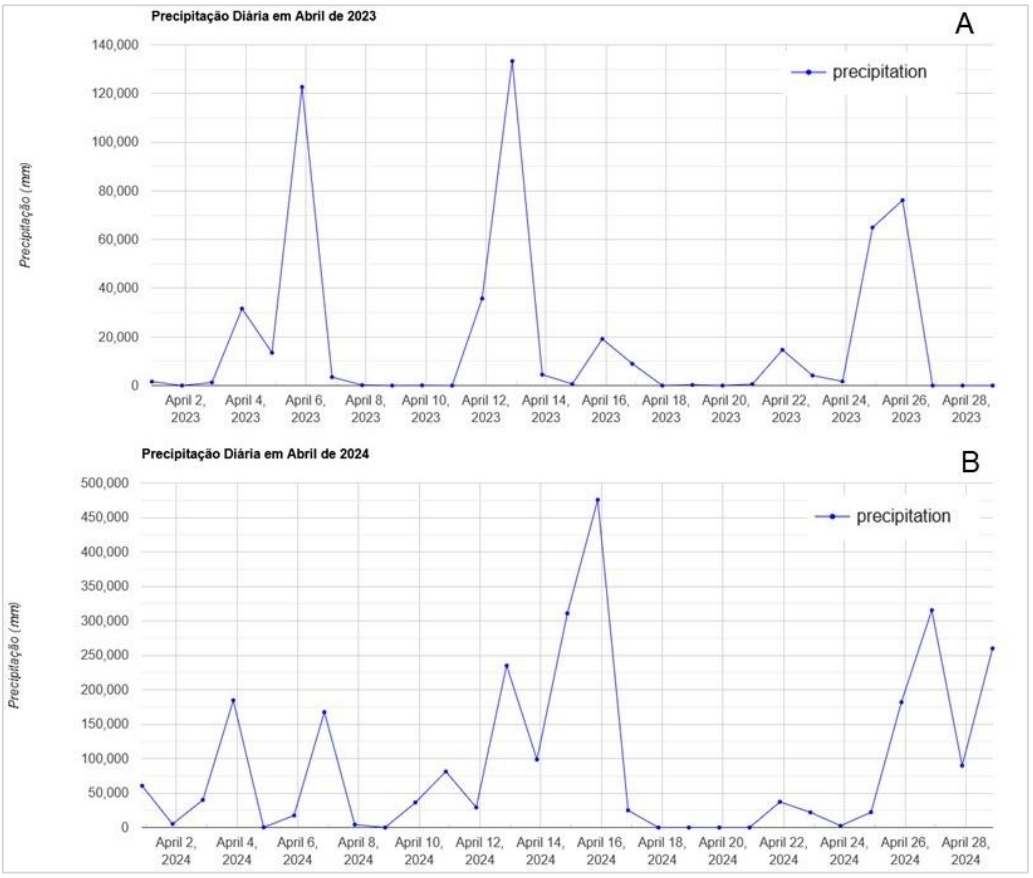


Fonte: Os autores, 2025.

A precipitação registrada foi inferior a <100 mm/dia, e observou-se um grande número de dias sem chuva; a chuva se distribuiu de forma espaçada ao longo do ano 2023. O mês de maio destacou-se por ultrapassar 700 mm/ dia, ocasionado um evento extremo com impactos consideráveis sobre a região. O mês de setembro, por sua vez, destacou-se pela série de precipitações altas e com totais inferiores a 500mm em vários dias do mês, conforme a Figura 4.

No ano de 2024 a precipitação registrada foi, de maneira geral, também baixa quanto a quantidade de chuva diária; todavia, houve registro de eventos pontuais acima de 500 mm. O mês de junho, apesar de ser o mês mais chuvoso, não foi o momento de impactos mais significativos. Em final de abril e início de maio também houve chuvas acima de 400 mm, que se repercutiram em danos importantes na estrutura urbano-viária e de edificações no Estado do Rio Grande do Sul.

Figura 4 - Rio Grande do Sul - Precipitação diária de abril 2023(A) e 2024(B)



Fonte: Os autores, 2025.

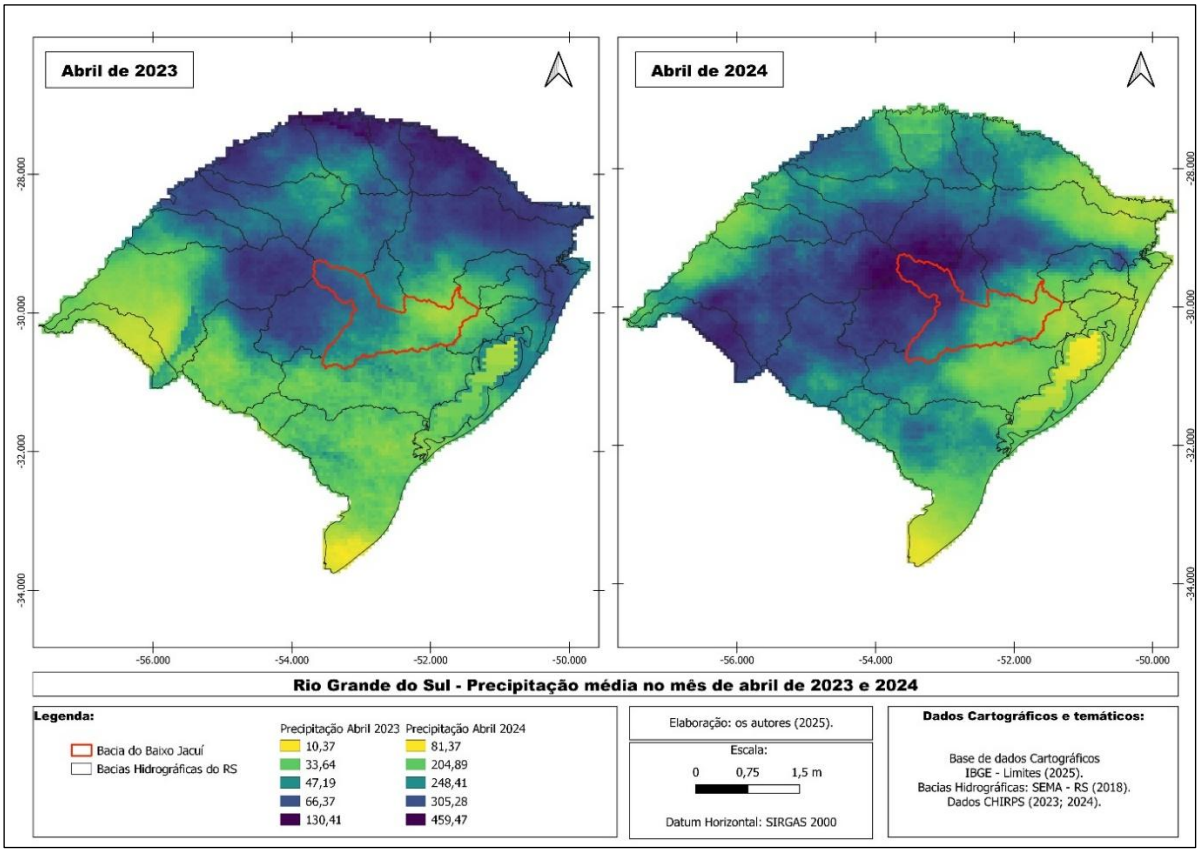
Em abril de 2023 a precipitação acima de 120 mm ocorreu em dois dias (06 e 13) e, entre os dias 24 a 26, choveu de 60mm a 80mm. Neste mês também foi possível perceber baixa precipitação intercalando chuvas com alta precipitação.

No mês de abril de 2024 a chuva ficou concentrada na segunda quinzena do mês; entre os dias 12 a 18 deste mês foram registradas chuvas acima de 450mm, que encharcaram os solos; posteriormente, em 26 de abril, registrou-se chuvas acima de 300mm/dia que concorreram para desencadear a enchente histórica do RS, seguindo para maio com forte chuvas. Assim, observa-se que a catástrofe registrada em final de abril e início de maio resultou de um acúmulo de água na superfície que vinha sendo depositada com a queda sequencial de importantes volumes de águas nas semanas anteriores ao episódio de abril/maio de 2024.

Este elevado volume de precipitação, não causou somente inundações em áreas que tiveram a precipitação sobre seus territórios, mas sim no leito dos rios que compõem a bacia hidrográfica do Jacuí e seu desague na lagoa dos Patos (Rocha; Reboita; Crespo, 2024).

No mês de abril de 2024, foram registrados valores de precipitação mais altos que 2023; a precipitação máxima no mesmo mês, em 2023, foi de 130 mm, tendo sido de 460mm em 2024 (Figura 5). As áreas nas quais foram registrados altos volumes de chuvas estão localizadas nas partes em azul escuro no mapa; em 2024 estiveram mais concentradas na porção médio central do território riograndense. Em 2023, a concentração dos maiores totais pluviométricos se deu principalmente na porção norte e central do estado.

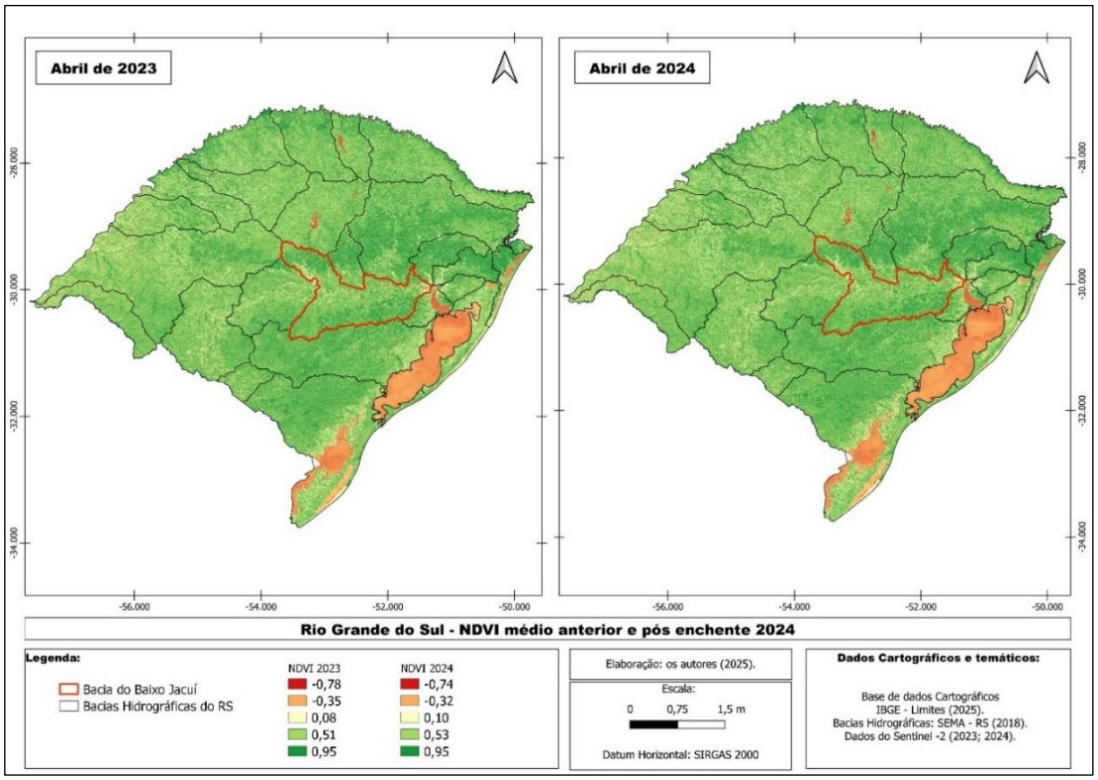
Figura 5 - Rio Grande do Sul - Precipitação média no mês de abril de 2023 e 2024.



Fonte: Os autores, 2025.

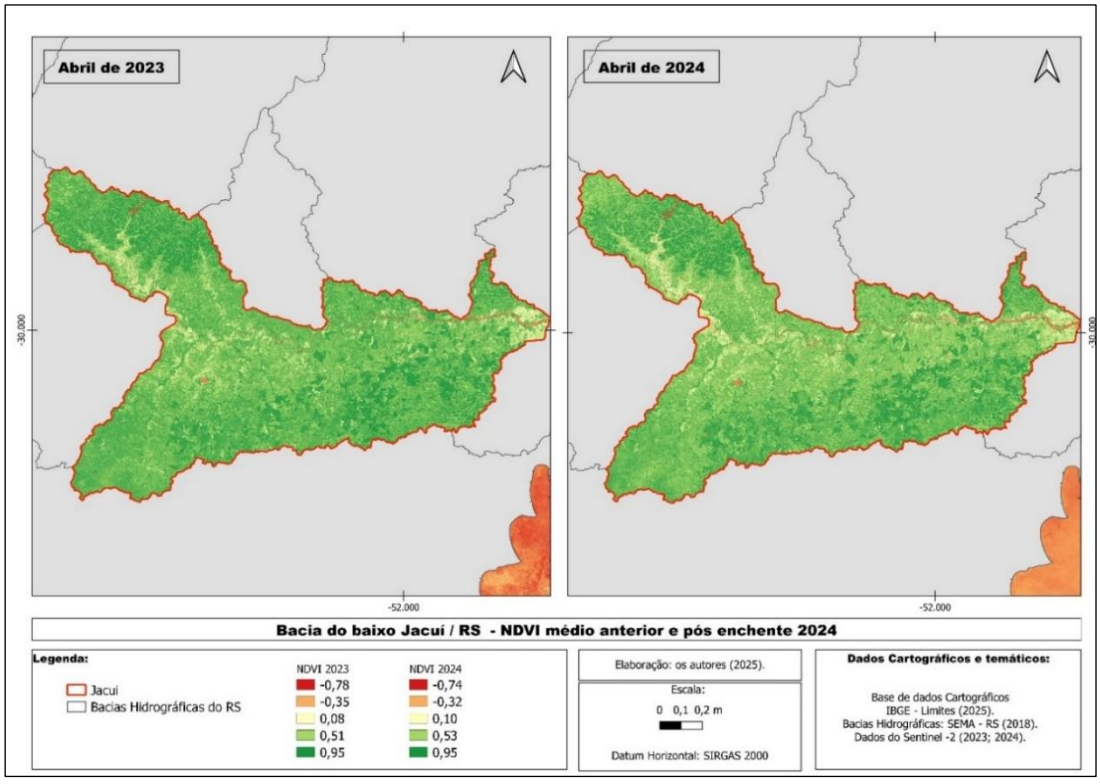
A ocorrência da enchente de abril-maio de 2024, derivou da interação entre o excesso de precipitação, práticas de usos da Terra e a falha na manutenção de estrutura de controle de inundações, provocando a erosão, a destruição de áreas verdes de preservação, causando um impacto significativo na qualidade vegetacional – NDVI (Figura 6 e 7) da região estudada quando comparado com o período anterior de 2023, além do impacto generalizado no RS.

Figura 6 - Rio Grande do Sul - NDVI médio anterior e pós enchente 2024.



Fonte: Os autores, 2025.

Figura 7 - Bacia do Baixo Jacuí- NDVI médio anterior e pós enchente 2024

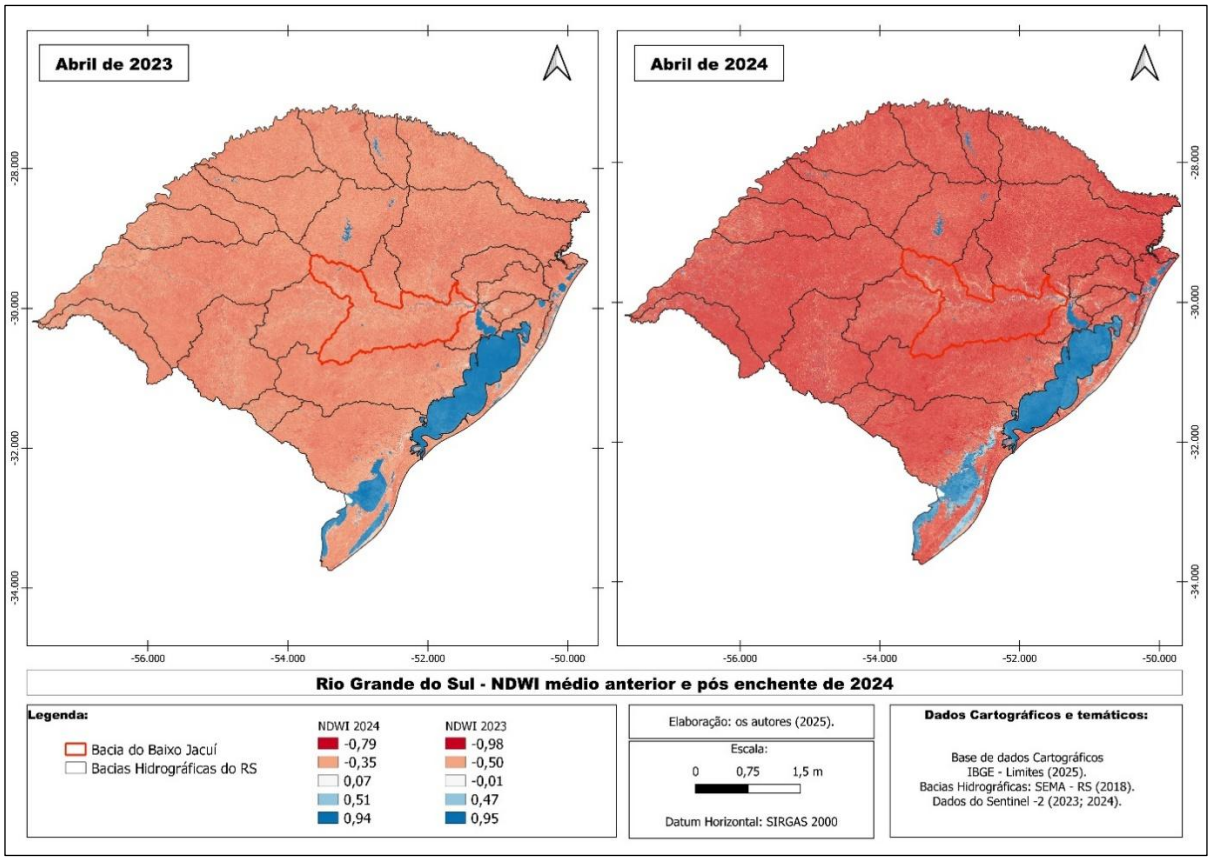


Fonte: Os autores, 2025.

O impacto da enchente na vegetação ficou evidenciado na redução da cobertura vegetal, que foi submersa ou arrastada pelas águas; o índice de NDVI passou de -0,78 a 0,95 em 2023, a ser -0,74 a 0,95 em 2024 (Figura 6 e 7), sendo perceptível o aumento de tons vermelhos, alaranjados e amarelos, especialmente ao longo dos rios.

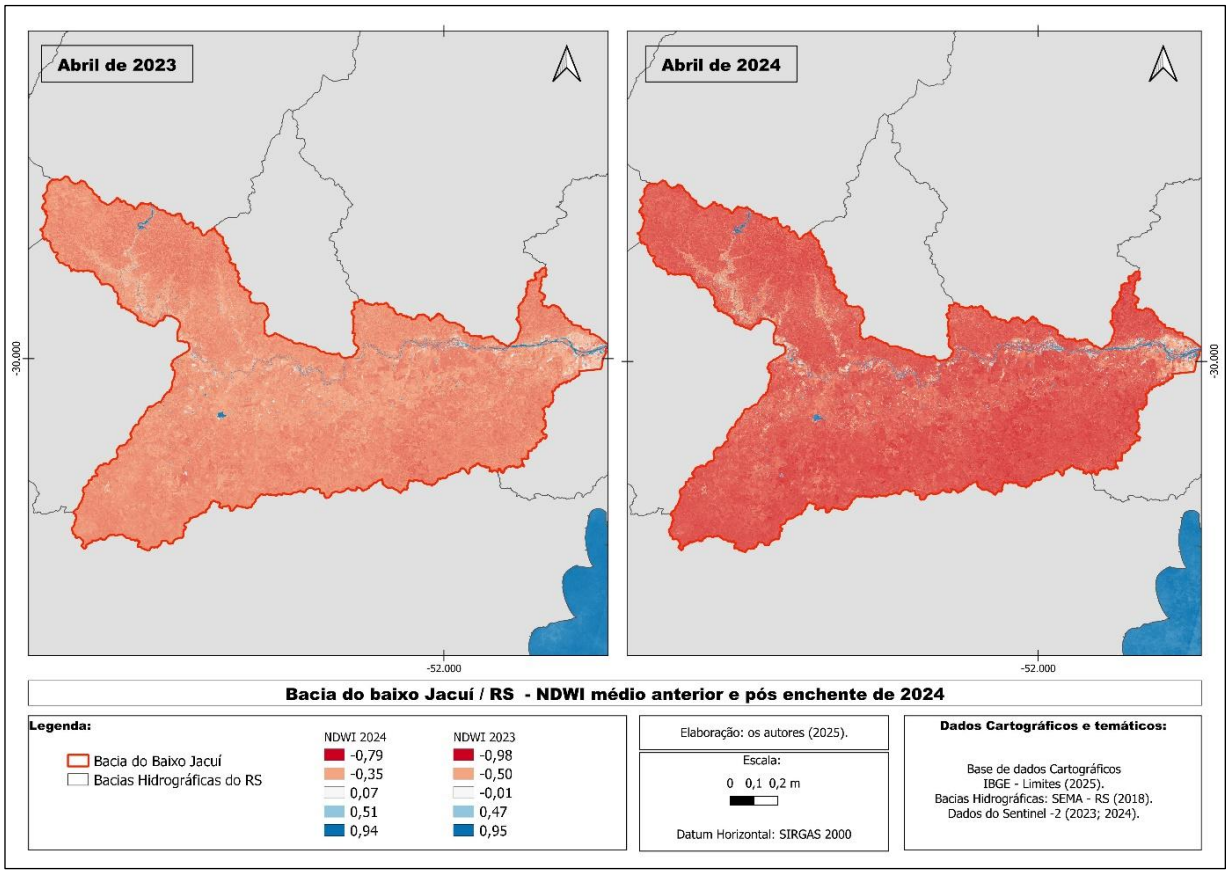
Com a precipitação de 460 mm no mês de abril e a enchente, observou-se a alterações nos corpos d'água e áreas úmidas; para esta constatação aplicou-se o NDWI (Figura 8 e 9).

Figura 8 - Rio Grande do Sul - NDWI médio anterior e pós enchente de 2024.



Fonte: Os autores, 2025.

Figura 9 - Bacia do Baixo Jacuí - NDWI médio anterior e pós enchente de 2024.



Fonte: Os autores, 2025.

O NDWI apresenta a configuração dos corpos hídricos antes da enchente, em condições de normais; (Figura 8 e 9) ele indica os locais com maior presença de água e umidade (azul) e os locais com pouca ou ausência de água (vermelho). Nota-se que pós enchente, houve mudanças nas áreas úmidas com aumento delas, indicando que houve aumento do fluxo de água e o transbordamento dos canais de escoamento ou de repouso da água em superfície.

A redução observada do NDVI pós precipitação acumulada, mesmo que pequena na amplitude global de -0,78 a -0,74, apresentou padrões espaciais consistentes com danos em áreas ripárias e lavoura de várzea, o mesmo apresentado pelos autores na perda da cobertura vegetal (Patil et al., 2024; Tulbure et al., 2016). Já o aumento do NDWI demonstra a expansão de áreas úmidas pós precipitação confirmam a presença de água superficial persistente, compatível com relatos de inundações prolongadas e assoreamento descritos pela Agência Nacional das Águas (2025).

A enchente, neste caso, causou impactos nas áreas rurais e urbanas. Nas áreas de agricultura o excesso de água e seu fluxo desenvolveu um processo de lixiviação/lavagem da superfície, a perda de infraestruturas agrícolas e urbano-industriais, perda ou degradação de habitações e a proliferação de vetores e doenças, dentre outros, à população riograndense.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível identificar que eventos extremos de precipitação (de 460mm/dia, por exemplo) alteram as configurações espaciais devido a formação de situações de enchente e inundações. Esse tipo de fenômeno deixa rastros na paisagem com a perda da qualidade vegetacional e o aumento de áreas úmidas, além das perdas sociais e econômicas.

A análise dos dados nos mostrou, que o mês de abril de 2024 teve um volume maior de precipitação que o de 2023, essas chuvas em curtos períodos causam a saturação do solo, que contribuiu para a enchente de 2024. Os índices por sua vez, demonstraram uma redução da qualidade vegetacional, e um aumento expressivo nas áreas úmidas o que indica que houve uma permanência de água na superfície. Além disso, é possível entender a relação entre a alta precipitação, a ocupação do solo e os usos da terra, que intensificaram os impactos na Bacia do Baixo Jacuí, reforçando a importância da incorporação dos monitoramentos climáticos e da gestão dos usos do solo.

Em suma, devem ser retomados os estudos que indicam quais os locais de maior incidência de riscos para a população em eventos extremos, as políticas públicas-sociais, a abolição da conduta negacionista e reintrodução dos artigos abolidos no código ambiental estadual, maior fiscalização e investimentos maciços em infraestrutura. Além disso, esse trabalho reforça a necessidade de estratégias de mitigação, adaptação e resiliência climática frente a eventos extremos como as enchentes.

Não se pode deixar de destacar as limitações, como a dependência de produtos remotos nas estimativas do NDWI e do NDVI, a utilização de dados com resolução espacial definida como 5km e uma janela de temporalidade curta. Estudos desenvolvidos no futuro devem incorporar séries longas, modelagem e a quantificação das cheias. Este trabalho tem o caráter introdutório ao estudo dos eventos climáticos extremos e seus impactos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ACCORDI, I. A. **Levantamento e análise da conservação da avifauna na sub-bacia do baixo Jacuí, Rio Grande do Sul, Brasil.** 2003.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **As enchentes no Rio Grande do Sul:** lições, desafios e caminhos para um futuro resiliente/Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. – Brasília: ANA, 2025.

Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2024). Disponível em: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/clima-temperatura-e-precipitacao#:~:text=As%20temperaturas%20apresentam%20grande%20varia%C3%A7%C3%A3o,m%C3%A1ximas%20de%2040%C2%B0C. Acesso em: 02 jul. 2025.

AULIYANI, D.; WAHYUNINGRUM, E. N. "Rainfall Variability Based on the Climate Hazards Group Infra Red Precipitation with Station Data (CHIRPS) in Lesti Watershed, Java Island, Indonesia". IOP **Conference Series: Earth and Environmental Science**. Doi: 10.1088/1755-1315/874/1 /012003. 2021.

BRASIL DE FATO. **Em 2019, Leite cortou ou alterou quase 500 pontos do Código Ambiental do RS.** Disponível em ttps://www.brasildefators.com.br/2024/05/03/em-2019-leite-cortou-ou-alterou-quase-500-pontos-do-codigo-ambiental-do-rs. Acesso em: 02 Jan. 2025.

BRASIL. Estado do Rio Grande do Sul. **Decreto nº 54.550, de 2 de abril de 2019**. Dispõe sobre a estrutura básica da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Palácio Piratini, Porto Alegre, 2 abr. 2019.

BRASIL. Estado do Rio Grande do Sul. **Lei nº 15.434, de 9 de janeiro de 2020**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, 9 jan. 2020.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T**.** Variações climáticas na precipitação no Sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 30, n. 1, p. 81–88. 2015.

CHANPICHAIGOSOL, N.; CHAICHANA, C.; RINCHUMPHU E. D. Urban Heat Island Classification through Alternative Normalized Difference Vegetation Index. 2025. **Global Journal of Environmental Science and Management**. Doi: 10.22034/gjesm.2025.01.04.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. ; POSSANTTI, I.; DORNELLES, F.; PAIVA, R.; MEDEIROS, M. S.; PICCILLI, D. G. A. Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, v. 29, p. e50, 2024a. Disponível em: https://doi. org/10.1590/2318-0331.302520240119. Acesso em: 02 jul. 2025.

COLLISCHONN, W.; RUHOFF, A.; CABELEIRA FILHO, R.; PAIVA, R.; FAN, F.; POSSA, T.; PICKBRENNER, K. Nota técnica: **Chuva da cheia de 2024 foi mais volumosa e intensa que a da cheia de na bacia hidrográfica do Guaíba.** Porto Alegre: UFRGS-IPH; Serviço Geológico do Brasil, 2024b. Disponível em: https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/06/Comparacao-2024-e-1941-final.pdf. Acesso em: Acesso em: 02 jul. 2025.

DA ROCHA, R. P.; REBOITA, M. S.; CRESPO, N. M. Análise do evento extremo de precipitação ocorrido no Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024. **Journal Health NPEPS**, *9*(1). 2024.

FEPAM. **Qualidade Da Água Superficial Na Bacia Hidrográfica Do Baixo Jacuí**. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://fepam.rs.gov.br/upload/arquivos/202303/01153801-relatorio-tecnico-bh-baixojacui2022.pdf&ved=2ahUKEwjWkOOtuJ6LAxWSGVkFHWWXN4YQFnoECC4QAQ&usg=AOvVaw2V5IRqL8-rmaJ7Fo_-_6eZ2022. Acesso em: Acesso em: 02 Jan. 2025.

GOUDARD, G. Variabilidade das precipitações em Curitiba (Paraná) e o efeito de diferentes tipos de El Niño – Oscilação Sul (ENOS). In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, XIV, 2021,** João Pessoa. Anais. João Pessoa: ABClima / SBCG, 2021. v. 1. p. 3327-3341.

GOUDARD, Gabriela. Interações oceano-atmosfera e efeitos na variabilidade pluvial do clima subtropical brasileiro. 2023. **Tese (Doutorado em Geografia)** – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: Impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, p. 537–554, 2011.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Normais Climatológicas**. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais#. Acesso em: 02 jul. 2025.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. In: **Parcerias Estratégicas,** n. 27, p. 149-176, 2008. Brasília: CGEE.

MARENGO, J. A.; DOLIF, G.; CUARTAS, A.; CAMARINHA, P.; GONÇCALVES, D.; LUIZ, R.; NOBRE, C. A. O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. **Estudos Avançados**, *38*(112), 203-228. 2024.

MENDONÇA, F.A. **Riscos híbridos:** concepções e perspectivas socioambientais. (org). São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

MOHAMMED, M. R.; ABRAHEM B. I.; JUMAAH H. J.; ALALWAN H. A.; MOHAMMED, M. M. Drought Monitoring of Large Lakes in Iraq Using Remote Sensing Images and Normalized Difference Water Index (NDWI). 2025. **Engineering**. Doi: 10.1016/j.rineng.2024.103854.

NASA. **Imagens de satélite mostram enchente arrasadora na Grande Porto Alegre.** Disponível em: https://metsul.com/imagens-de-satelite-mostram-enchente-arrasadora-na-grande-porto-alegre/. Acesso em: 02 Jan. 2025.

NASCIMENTO JÚNIOR, L. Seletividade espacial na abordagem geográfica do clima. In: SANT'ANNA NETO, J. L. (Org.). **Clima, sociedade e território.** Jundiaí: Paco Editorial, 2022. p. 39–64.

PATIL, P. P.; JAGTAP, M. P.; KHATRI, N.; MADAN, H.; VADDURI, A. A.; PATODIA, T. Exploration and advancement of NDDI leveraging NDVI and NDWI in Indian semi-arid regions: A remote sensing-based study. 2024. Case Stud. **Chem. Environ**. Eng. (15 pg).

PLANO DE BACIA, 2015, p. 13. **Relatório da Etapa C: Plano da Bacia Hidrográfica – REC**. Disponível em: https://rsgovbr-my.sharepoint.com/personal/raiza-schuster_sema_rs_gov_br/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fraiza%2Dschuster%5Fsema%5Frs%5Fgov%5Fbr%2FDocuments%2FBiblioteca%20DIPLA%2FPBHs%2FG070%20%2D%20Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20do%20Baixo%20Jacu%C3%AD%2FRelat%C3%B3rio%20da%20Etapa%20C%20%2D%20REC%2Epdf&parent=%2Fpersonal%2Fraiza%2Dschuster%5Fsema%5Frs%5Fgov%5Fbr%2FDocuments%2FBiblioteca%20DIPLA%2FPBHs%2FG070%20%2D%20Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20do%20Baixo%20Jacu%C3%AD&ga=1. Acesso: 02 Jan. 2025.

RAMADHAN, W. **Calculate Vegetation and Spectral Indices in Google Earth Engine.** Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=DNArGgj728A. Acesso em: 02 Jan. 2025.

ROSSATO, Maíra Suertegaray. Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia. 2011. **Tese (Doutorado em Geografia)** – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

TULBURE, M. G.; BROICH, M.; STEHMAN, S.V.; KOMMAREDDY, A. Surface water extent dynamics from three decades of seasonally continuous Landsat time series at subcontinental scale in a semi-arid region. **Remote Sens. Environ.** v.178. p.142–157. 2016.

ZANG, Y.; WANG, K.; XU, S.; XIAO, W.; TONG,T.; SUN, H.; CHONG, L. Identification of Surface Mining and Assessment of Ecological Restoration Effects Using GEE and Sentinel-2 Image Data - A Case Study on Yangtze River Watershed, China. 2025. **Ecological Engineering** 212: 107525. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2025.107525.