

**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

DYOGO WLISSES RIBEIRO MATIAS

**COMPONENTES DA SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL DA UNIDADE DE
GESTÃO RECURSOS HÍDRICOS MUNDAÚ/PARAÍBA DIANTE DAS MUDANÇAS
DE COBERTURA E USO DA TERRA E DOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS
EXTREMOS**

Marechal Deodoro – AL
2025

DYOGO WLISSES RIBEIRO MATIAS

**COMPONENTES DA SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL DA UNIDADE DE
GESTÃO RECURSOS HÍDRICOS MUNDAÚ/PARAÍBA DIANTE DAS MUDANÇAS
DE COBERTURA E USO DA TERRA E DOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS
EXTREMOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Suassuna de A. Wanderley

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Larissa Monteiro Rafael



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Marechal Deodoro
Biblioteca Dorival Apratto**

551.48

M433c Matias, Dyogo Wlisses Ribeiro.

Componentes da suscetibilidade ambiental da unidade de gestão recursos hídricos Mundaú - Paraíba diante das mudanças de cobertura e uso da terra e dos eventos pluviométricos extremos / Dyogo Wlisses Ribeiro Matias. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 9,5 MB). – 2025.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: Internet.

Orientação: Prof. Dr. Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley.

Coorientação: Profa. Dra. Larissa Monteiro Rafael.

Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Marechal Deodoro, Marechal Deodoro*, 2025.

1. Gerenciamento de bacias hidrográficas. 2. Rio Mundaú. 3. Enchentes. 4. Variação climática. 5. Cobertura de terra. I. Wanderley, Lucas Suassuna de Albuquerque. II. Rafael, Larissa Monteiro. III. Título.

DYOGO WLISSES RIBEIRO MATIAS

COMPONENTES DA SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL DA UNIDADE DE GESTÃO RECURSOS HÍDRICOS MUNDAÚ/PARAÍBA DIANTE DAS MUDANÇAS DE COBERTURA E USO DA TERRA E DOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Aprovado em:

Orientador:

Documento assinado digitalmente
 LUCAS SUASSUNA DE ALBUQUERQUE WANDER
Data: 23/11/2025 15:06:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Lucas Suassuna de A. Wanderley, IFAL / campus Coruripe.

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 SHEYLA KAROLINA JUSTINO MARQUES
Data: 23/11/2025 13:28:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Sheyla Karolina Justino Marques

Documento assinado digitalmente
 GIANCARLO DE BRITO LYRA SANTOS
Data: 23/11/2025 14:50:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Giancarlo de Brito Lyra Santos

Documento assinado digitalmente
 AYOBAMI BADIRU MOREIRA
Data: 22/11/2025 11:44:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Ayobami Badiru Moreira

Marechal Deodoro, AL

2025

MATIAS, Dyogo Wlisses Ribeiro. **Componentes da Suscetibilidade Ambiental da Unidade de Gestão Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba Diante das Mudanças de Cobertura e Uso da Terra e dos Eventos Pluviométricos Extremos.** 169 f. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – campus Marechal Deodoro, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2025.

RESUMO

A presente dissertação teve como objetivo investigar a suscetibilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM), a ocorrência de eventos climáticos extremos com base nas análises de mudança de cobertura e uso da terra como importante fator que intensifica a suscetibilidade da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba (UGRHMP), que abrange 52 municípios entre os estados de Pernambuco (PE) e Alagoas (AL), a partir da análise das mudanças de cobertura e uso da terra (CUT) e dos eventos climáticos extremos. A Bacia do Rio Mundaú já havia enfrentado diversos problemas, como estiagens e cheias, que impactaram significativamente as sociedades que vivem e dependem da mesma. Considerando a relevância da bacia, buscou-se investigar sua suscetibilidade socioambiental, analisando as transformações na cobertura e uso do solo e compreendendo como essas alterações, em conjunto com os eventos climáticos extremos, intensificaram os impactos socioambientais. As análises foram realizadas de forma integrada, visando ampliar a compreensão acerca da influência dos fenômenos climáticos extremos, do uso e cobertura da terra e dos riscos de suscetibilidade presentes na região. Foram utilizados dados provenientes de instituições como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Agência Nacional de Águas (ANA), a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH). As transformações no uso e cobertura da terra foram identificadas por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, com base em imagens de satélite e mapas temáticos. Os eventos climáticos extremos foram caracterizados por meio de séries históricas pluviométricas e índices específicos calculados com o auxílio do software RClimate. O mapeamento da suscetibilidade socioambiental foi realizado a partir da combinação de parâmetros físicos, sociais e climáticos, permitindo a identificação de áreas mais suscetíveis a inundações, secas e degradação ambiental. Com base nas análises realizadas, foi possível evidenciar os principais impactos associados às alterações no uso do solo e aos eventos hidrometeorológicos, além de avaliar as medidas de mitigação ou adaptação adotadas, quando existentes, pelos poderes públicos locais. Ao final da pesquisa, obteve-se uma visão mais aprofundada da dinâmica ambiental da Bacia do Rio Mundaú, bem como subsídios técnicos que podem orientar políticas públicas voltadas à gestão sustentável dos recursos naturais. Como produto técnico-educacional, foi elaborado um material didático ilustrado e interativo voltado a estudantes do ensino médio, contemplando conteúdos sobre cartografia, uso da terra, eventos climáticos extremos e sustentabilidade ambiental. Espera-se que este material contribua para a formação crítica dos jovens e para o fortalecimento da educação ambiental nos territórios que compõem a bacia.

Palavras-chave: Cobertura de Terra. Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. Rio Mundaú. Enchentes. Variação Climática.

MATIAS, Dyogo Wlisses Ribeiro. **Environmental Susceptibility Components of the Mundaú/Paraíba Water Resources Management Unit in the Face of Land Cover and Land Use Changes and Extreme Rainfall Events.** 169 pages. 2025. Master's Thesis (Master's in Environmental Technologies) – Marechal Deodoro Campus, Federal Institute of Alagoas, Marechal Deodoro, 2025.

ABSTRACT

This dissertation aimed to investigate the susceptibility of the Mundaú River Basin (BHRM) to the occurrence of extreme climatic events based on analyses of land cover and land use change as an important factor that intensifies the susceptibility of the Mundaú/Paraíba Water Resources Management Unit (UGRHMP), which encompasses 52 municipalities between the states of Pernambuco (PE) and Alagoas (AL), through the analysis of land cover and land use (LCU) changes and extreme climatic events. The Mundaú River Basin has already faced several problems, such as droughts and floods, which have significantly impacted the societies that live in and depend on it. Considering the relevance of the basin, this study sought to investigate its socio-environmental susceptibility, analyzing the transformations in land cover and land use and understanding how these changes, together with extreme climatic events, intensified the socio-environmental impacts. The analyses were carried out in an integrated manner, aiming to broaden the understanding of the influence of extreme climatic phenomena, land use and cover, and the risks of susceptibility present in the region. Data from institutions such as the National Institute for Space Research (INPE), the National Institute of Meteorology (INMET), the National Water Agency (ANA), the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC), the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), and the Secretariat of Environment and Water Resources (SEMARNH) were used. Transformations in land use and cover were identified through geoprocessing and remote sensing techniques, based on satellite images and thematic maps. Extreme climatic events were characterized through historical rainfall series and specific indices calculated with the help of the RClimdex software. The mapping of socio-environmental susceptibility was carried out by combining physical, social, and climatic parameters, allowing the identification of areas more susceptible to floods, droughts, and environmental degradation. Based on the analyses carried out, it was possible to identify the main impacts associated with changes in land use and hydrometeorological events, as well as to evaluate the mitigation or adaptation measures adopted, where they exist, by local public authorities. At the end of the research, a more in-depth view of the environmental dynamics of the Mundaú River Basin was obtained, as well as technical information that can guide public policies aimed at the sustainable management of natural resources. As a technical-educational product, an illustrated and interactive didactic material was developed for high school students, covering content on cartography, land use, extreme weather events, and environmental sustainability. It is expected that this material will contribute to the critical thinking of young people and to the strengthening of environmental education in the territories that make up the basin.

Keywords: Land Cover. Watershed Management. Mundaú River. Floods. Climate Variability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba.....	38
Figura 2 – Legenda do sistema de classificação da Cobertura e Uso da Terra utilizado pela rede MapBiomas (2023).....	42
Figura 3 – Dendrograma de agrupamento das estações pluviométricas.....	48
Figura 4 – Validação cruzada contendo o erro médio e o índice regressão para a interpolação das médias pluviométricas.....	49
Figura 5 – Interpolação da precipitação média anual das estações pluviométricas da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba para a série histórica de 1993 a 2024.....	55
Figura 6 – Pluviosidade anual das regiões pluviométricas homogêneas da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paraíba/Mundaú para a série histórica de 1993 a 2024.....	57
Figura 7 – Pluviosidade média mensal das regiões pluviométricas homogêneas da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paraíba/Mundaú para a série histórica de 1993 a 2024.....	58
Figura 8 – Mapa de cobertura e Uso da Terra em 2023 com base nos dados do MaoBiomas.....	65
Figura 9 – Cobertura e Uso da Terra por Classes (Nível 1) – 2023.....	67
Figura 10 – Série Histórica (1983 – 2023) das Classes de Cobertura e Uso da Terra (Nível 1).....	68
Figura 11 – Gráfico de Sankey – Fluxo de transição na CUT da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba entre os anos de 1985 e 2023.....	72
Figura 12 – Série Histórica (1985 – 2023) das classes de CUT (Nível 2).....	81
Figura 13 – Série Histórica (1985 - 2023 da classe de Lavoura Temporária (Nível 3).....	84
Figura 14 – Série Histórica (1985 – 2023) da classe da cana e outras lavouras temporárias (Nível 4).....	87
Figura 15 – Natural x Uso Antrópico na UGRH Mundaú/ Paraíba no ano de 2023...90	90
Figura 16 – Série Histórica (1985 a 2023) de cobertura Natural x Uso Antrópico x Não Definido.....	92

Figura 17 – Série Histórica (1985 a 2023) das classes Natural x Uso Antrópico x Não Definido (Nível 2).....95

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Estações pluviométricas da UGRH Mundaú/Paraíba e respectivos valores de precipitação média anual, mínima, primeiro quartil, segundo quartil, terceiro quartil, valor máximo e percentual de chuvas de verão, de outono, de inverno e de primavera, e a classificação dos grupos (clusters) para a série histórica de 1993 a 2024.....	51
Tabela 2 – Tendências dos Índices de Extremos Pluviométricos por Estação.....	69
Tabela 3 – Dados da Transição das coberturas da terra.....	74
Quadro 1 – Caracterização físico-territorial da UGRH Mundaú/Paraíba.....	38
Quadro 2 – Índices pluviométricos que foram utilizados no teste de tendências da precipitação (PR).....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 JUSTIFICATIVA	15
3 OBJETIVOS	18
3.1 GERAL	18
3.2 ESPECÍFICOS	18
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
4.1 MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS	19
4.2 EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E SUSCETIBILIDADE SOCIOAMBIENTAL	24
4.3 SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	31
5 MATERIAIS E MÉTODOS	37
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
5.2 MATERIAIS	39
5.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICOS	40
5.3.1 Análise das mudanças de Cobertura e Uso da Terra	40
5.3.2 Análise dos dados de CUT	43
5.3.3 Análise da variabilidade climática	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.1 ANÁLISE DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA	52
6.2 ANÁLISE DOS EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS	59
6.3 INVESTIGAÇÃO DE TENDÊNCIAS NAS SÉRIES CLIMÁTICAS DE PLUVIOSIDADE	60
6.4 VARIAÇÃO DA COBERTURA E USO DA TERRA NA UNIDADE DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS MUNDAÚ/PARAÍBA	66
7 CONCLUSÕES	104
8 PRODUÇÃO DE PRODUTO TÉCNICO / TECNOLÓGICO	106
REFERÊNCIAS	108
ANEXOS.....	122

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento acerca da cobertura e uso da terra é um tema que proporciona a compreensão de como o homem transforma o meio natural e a dinâmica de ocupação da terra (IBGE, 2013). Permite compreender as transformações que o homem realiza no meio natural e os possíveis impactos ambientais decorrentes do uso inapropriado.

Segundo Alexandre *et al.* (2016), os conhecimentos acerca de cobertura e uso da terra, também permitem a espacialização da degradação ambiental, no que se refere a prática agropecuárias ou para desmatamento, o que pode acarretar mudanças no regime hidrológico e nos sistemas ambientais.

Como a cobertura da terra influencia diretamente no regime hidrológico, torna-se necessário compreender essa dinâmica nas bacias hidrográficas, que são áreas naturais propícias para a gestão territorial, visando o planejamento, gerenciamento e desenvolvimento econômico e social (Tundisi, 2003, p. 108). Compreender a dinâmica das bacias hidrográficas¹ é de suma relevância para planejamento, conservação e gestão dos recursos hídricos, visto que a água é um elemento da bacia (Machado; Torres, 2012).

Os eventos climáticos extremos influenciam na cobertura e uso da terra, sendo desencadeados em sua grande maioria pelas ações antrópicas ao meio ambiente, de forma isolada ou relacionadas a fatores ambientais e regionais. Estes eventos são ainda influenciados pelos sistemas meteorológicos atuantes, resultando em longos períodos de seca ou chuvas de alta intensidade em curto período. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as atividades humanas, especialmente a emissão de gases de efeito estufa, têm contribuído significativamente para o aumento da frequência e intensidade desses eventos extremos (IPCC, 2014). Além disso, estudos indicam que a urbanização descontrolada e o desmatamento agravam a suscetibilidade das áreas afetadas, exacerbando os impactos negativos dos eventos climáticos extremos (Haddeland *et al.*, 2014).

¹ Existem diferentes conceitos acerca do que é uma bacia hidrográfica. Aqui apresentamos o conceito de Garcez & Alvares (1988), para os autores a bacia hidrográfica é “uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda a vazão afluente possa ser medida ou descarregada através desse ponto.”

Na Região Nordeste do Brasil, ocorrem diversos eventos climáticos extremos, e compreender as dinâmicas climáticas e da cobertura e uso da terra (CUT) nas bacias hidrográficas configura-se como importante ferramenta para a gestão de riscos. As bacias hidrográficas não são apenas unidades hidrológicas, mas também unidades biofísicas e sociopolíticas, que contribuem com papel relevante na determinação de serviços sociais, alimentares, de hábitat e econômicos, sendo, portanto, meio de suporte de vida para as pessoas (Taye; Moges, 2020).

As intervenções no uso e cobertura da terra das bacias, causam grandes modificações nas características do ambiente natural, com isso, vários aspectos fisiográficos do ambiente são alterados, a exemplo: a vegetação, o relevo, uso, fauna, hidrologia e o clima (Vale; Costa; Pimentel, 2021).

Assim, o estudo das mudanças do Uso e Cobertura da terra (CUT), fornece informações importantes sobre a qualidade ambiental das bacias hidrográficas, uma vez que as mudanças na paisagem afetam diretamente os processos hidrológicos, a qualidade da água e a dinâmica da bacia, que também, sofre com as interferências do clima.

Os eventos climáticos extremos estão influenciando os ecossistemas e a vida das pessoas que vivem e dependem de bacias hidrográficas, seja na área da agricultura, indústria, entre outros exemplos. Nesse sentido, a compreensão dos impactos das mudanças climáticas nos sistemas ambientais é um caminho essencial para se pensar estratégias e medidas de mitigação e de adaptação (IPCC, 2022).

Quando mencionamos as mudanças climáticas, bem como políticas de mitigação, não podemos deixar de chamar à atenção para o aquecimento global e o padrão das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEEs), em especial o CO₂ (gás carbônico ou dióxido de carbono). Vários estudos demonstraram a relação existente entre a concentração de CO₂ e as anomalias de temperatura do ar no planeta.

As emissões de GEE continuam elevadas, apesar dos alertas da comunidade científica e de mecanismos políticos que vêm sendo propostos há décadas para minimização ou não. A verdade é que o volume das emissões e o acúmulo de CO₂ na atmosfera tem relação direta com o efeito estufa e com as mudanças do clima terrestre (IPCC, 2021). Dessa forma, o caminho para mitigar os impactos dessas mudanças está centrado na redução das emissões de GEE. Segundo estudos e análises publicados pelo Grupo de Trabalho I do *Intergovernmental Panel on*

Climate Change (IPCC), em seu último relatório (AR6) a projeção é para o aumento da temperatura, podendo chegar a atingir ou exceder 1,5°C até o final do século.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) aponta que os riscos reais que as mudanças climáticas podem trazer incluem três componentes principais: o clima, que engloba tanto a variabilidade natural quanto às mudanças de origem antropogênica (perigo ou ameaça); a biodiversidade e os ecossistemas; e a sociedade. Esses componentes estão interligados e contribuem para os padrões de suscetibilidade e exposição dos sistemas socioecológicos (IPCC, 2022). A suscetibilidade e a exposição são resultados de condições sociais, econômicas e ecológicas de sistema, nas quais as mudanças no ‘perigo’ (clima), também desempenham um importante papel (Oppenheimer *et al.*, 2014).

A suscetibilidade é propensão ou predisposição a ser adversamente afetado; remete fortemente à ideia de perda, de suscetibilidade e, mais recentemente, reconhece que considerar apenas as perturbações ambientais e socioeconômicas é insuficiente para entender as respostas e os impactos nos grupos sociais, ecossistemas ou lugares expostos à ameaça climática (Blaikie *et al.*, 1994; Cutter; Boruff; Shirley, 2003; De Sherbinin; Schiller; Pulsipher, 2007; Füssel; Klein, 2006; IPCC, 2018). A suscetibilidade também compreende a capacidade de lidar e se adaptar aos impactos, de forma que as estratégias ou mecanismos disponíveis constituem elementos chave da resposta dos sistemas urbanos e suas populações. (De Sherbinin; Schiller; Pulsipher, 2007; IPCC, 2018).

A Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba (UGRHMP), localizada entre os estados de Pernambuco e Alagoas, está inserida nesse contexto em que mudanças de uso e cobertura da terra potencializaram efeitos negativos de eventos climáticos extremos. Chuvas intensas ou estiagens severas podem se tornar mais frequentes a partir do desequilíbrio da dinâmica climática global.

Tendo em vista os aspectos mencionados, a pesquisa em tela tem por objetivo investigar a suscetibilidade da BHRM, a ocorrência de eventos climáticos extremos com base nas análises de mudança de cobertura e uso da terra como importante fator que intensifica a suscetibilidade da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba (UGRHMP).

De que forma a suscetibilidade da Bacia Hidrográfica dos Rios Mundaú e Paraíba (BHRMP), associada à ocorrência de eventos climáticos extremos e às

mudanças na cobertura e uso da terra, intensifica a suscetibilidade da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba (UGRHMP)?

2 JUSTIFICATIVA

A análise da suscetibilidade ambiental da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba (UGRHMP) assume papel estratégico diante dos desafios contemporâneos relacionados à gestão hídrica, mudanças climáticas e degradação ambiental. A região da Bacia Hidrográfica dos Rios Mundaú e Paraíba (BHRM) vem enfrentando intensos processos de transformação socioambiental que afetam diretamente a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos. Nesse contexto, o desenvolvimento de pesquisas científicas que abordem a interação entre as mudanças no uso e cobertura da terra (CUT) e a ocorrência de eventos climáticos extremos torna-se essencial para o entendimento da dinâmica ambiental regional.

A relevância deste estudo se ancora em três dimensões fundamentais: científica, política e socioambiental. No aspecto científico, observa-se uma lacuna significativa quanto ao monitoramento integrado de dados sobre alterações na paisagem e eventos extremos em escala regional. Grande parte dos estudos existentes concentra-se em áreas locais ou não considera a articulação entre suscetibilidade social e impactos cumulativos sobre o meio físico. Esta pesquisa busca superar essas limitações por meio da integração de dados geoespaciais, séries pluviométricas históricas e indicadores socioeconômicos, promovendo uma abordagem sistêmica e interdisciplinar. A proposta, portanto, contribui para o avanço do conhecimento técnico-científico e pode servir de base para investigações futuras no campo das Tecnologias Ambientais.

Do ponto de vista político-institucional, esta pesquisa está alinhada à Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), que estabelece como princípios a gestão descentralizada, participativa e integrada dos recursos hídricos. Além disso, dialoga com as diretrizes do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), especialmente no que se refere à identificação de áreas críticas e ao planejamento de medidas adaptativas frente aos efeitos das mudanças climáticas.

Adicionalmente, a proposta está em consonância com a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, contribuindo para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Em especial, destaca-se a relação com o ODS 6 (assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento), o ODS 11 (tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros,

resilientes e sustentáveis) e o ODS 13 (tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos).

No contexto da gestão de recursos hídricos, esses objetivos representam diretrizes fundamentais para a integração entre políticas ambientais, sociais e econômicas, orientando a formulação de estratégias que promovam a segurança hídrica, a mitigação dos impactos climáticos e o uso sustentável dos recursos naturais. Assim, a pesquisa reforça a importância de incorporar os ODS como instrumentos norteadores no planejamento territorial e na gestão adaptativa de bacias hidrográficas.

No que se refere à dimensão socioambiental, a UGRH Mundaú/Paraíba apresenta histórico de impactos severos associados a enchentes, estiagens prolongadas, inundações e alagamentos. Tais eventos têm se intensificado nas últimas décadas, afetando diretamente a qualidade de vida da população, os serviços ecossistêmicos e a estabilidade dos sistemas produtivos locais. Paralelamente, as transformações antrópicas na paisagem, como o desmatamento e a expansão urbana desordenada, agravam os impactos dos eventos extremos, influenciando negativamente os processos hidrológicos, a qualidade da água e a dinâmica dos ecossistemas aquáticos.

A presente pesquisa assume um potencial técnico-científico e educativo ao propor uma abordagem integrada baseada em geotecnologias, modelagem estatística e indicadores ambientais. O objetivo é compreender como a dinâmica da cobertura e uso da terra e os eventos climáticos extremos afetam a gestão dos recursos hídricos. Essa análise possibilitará identificar áreas críticas e vulneráveis, além de propor estratégias de mitigação e adaptação sustentadas por evidências. Os resultados da pesquisa têm potencial para subsidiar políticas públicas e ações de governança ambiental mais eficazes, contribuindo para a sustentabilidade da região.

Complementarmente, será elaborado um produto técnico-educacional ilustrado e interativo voltado para estudantes do ensino médio. Esse material será um recurso didático de apoio à educação ambiental nos municípios da bacia, abordando conteúdos sobre cartografia, uso da terra, mudanças climáticas e conservação dos recursos hídricos. A proposta busca estimular a consciência crítica dos jovens e o engajamento em ações socioambientais no território onde vivem.

Dessa forma, esta justificativa sustenta a importância teórica, metodológica e prática da pesquisa, destacando sua contribuição para o campo científico, para a

formulação de políticas públicas e para a formação cidadã em territórios marcados por suscetibilidades sociais e ambientais.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Compreender a suscetibilidade da UGRH Mundaú/Paraíba a partir da relação entre a dinâmica da cobertura e uso da terra e a ocorrência de eventos climáticos extremos.

3.2 ESPECÍFICOS

- Estudar as mudanças da cobertura e uso da terra na UGRH Mundaú/Paraíba entre 1985 e 2024;
- Caracterizar a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica e a ocorrência de eventos climáticos extremos na UGRH Mundaú/Paraíba ao longo das últimas três décadas;
- Identificar tendências nas séries temporais de precipitação pluviométrica da UGRH Mundaú/Paraíba;
- Analisar a variabilidade climática na UGRH Mundaú/Paraíba ao longo das últimas três décadas;
- Sintetizar os componentes da suscetibilidade da UGRH Mundaú/Paraíba relativos à mudança de cobertura e uso da terra e aos eventos pluviométricos extremos.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

As mudanças no uso e cobertura da terra (LUCC) vêm sendo amplamente estudadas devido aos impactos diretos sobre a sustentabilidade ambiental de bacias hidrográficas. Segundo Obeidat *et al.* (2019), a análise da bacia do rio Yarmouk, na Jordânia, revelou perda significativa de vegetação natural e aumento de áreas urbanas, demonstrando a estreita relação entre crescimento populacional e degradação ambiental. Utilizando técnicas de sensoriamento remoto e SIG, os autores identificaram padrões de conversão da terra que intensificam processos erosivos e comprometem a qualidade dos recursos hídricos. A substituição da vegetação por áreas agrícolas e urbanas altera o balanço hidrológico da região, aumentando a suscetibilidade a desastres naturais. Este estudo reforça a importância de integrar dados espaciais ao planejamento ambiental de bacias.

Thakkar *et al.* (2017) avaliaram os efeitos de programas de gestão de bacias hidrográficas na Índia e destacaram que práticas conservacionistas bem planejadas podem reduzir a pressão antrópica sobre o solo. Por meio de análises multitemporais com imagens de satélite, foi possível verificar um aumento na cobertura vegetal após a implementação de intervenções como terraceamento e reflorestamento. A pesquisa demonstra que o monitoramento constante do uso da terra permite não só identificar áreas críticas, como também medir a eficácia de políticas públicas. A gestão participativa das comunidades envolvidas também foi apontada como fator essencial para a manutenção dos resultados positivos. O estudo mostra que ações locais podem gerar impactos ambientais significativos em escala regional.

No estudo conduzido por Hamud, Prince e Shafri (2019), o mapeamento do uso e cobertura da terra em bacias fluviais demonstrou que o crescimento de áreas urbanas substituindo áreas vegetadas leva a aumento do escoamento superficial e perda da biodiversidade local. Os autores utilizaram integração ambiental com ferramentas de geoprocessamento para detectar áreas de maior risco ecológico. A conversão da cobertura florestal por usos antrópicos intensifica o ciclo hidrológico, contribuindo para enchentes e assoreamento. Assim, a vigilância contínua sobre as alterações no território é uma ferramenta indispensável para mitigação de impactos

ambientais. O estudo destaca também a utilidade dos dados multiespectrais em análises ambientais aplicadas à gestão hídrica.

Olorunfemi, Fasinmirin e Olufayo (2020) exploraram o caso de Ekiti, na Nigéria, onde a perda de cobertura vegetal foi acompanhada de aumento de áreas degradadas, afetando a sustentabilidade ambiental da região. As alterações na paisagem causaram diminuição na recarga de aquíferos e aumento na erosão dos solos. A pesquisa utilizou imagens de satélite e dados geoespaciais para entender como o crescimento populacional não planejado impacta os ecossistemas. Os autores argumentam que a fragmentação das áreas naturais reduz a resiliência ambiental frente aos eventos climáticos extremos. Esse cenário reforça a urgência de políticas integradas que articulem planejamento urbano com conservação ambiental.

Butt *et al.* (2015), ao analisar a bacia de Simly, no Paquistão, identificaram um desequilíbrio crescente entre áreas naturais e áreas ocupadas por usos urbanos e agrícolas. A perda de cobertura florestal resultou em impactos negativos sobre a disponibilidade hídrica e qualidade da água. O uso intensivo da terra reduziu a infiltração e aumentou o escoamento superficial, contribuindo para inundações frequentes. Os autores enfatizam a importância do monitoramento sistemático do uso da terra como suporte para políticas de proteção das bacias hidrográficas. A aplicação de SIG e imagens de sensoriamento remoto demonstrou ser eficaz para acompanhar e prever os impactos ambientais de mudanças antrópicas.

Na Etiópia, Meshesha, Tripathi e Khare (2016) investigaram a dinâmica da mudança de uso do solo entre 1984 e 2015 na bacia Beressa, revelando o crescimento da agricultura em áreas de vegetação nativa. Essa conversão causou aumento dos processos erosivos e degradação dos corpos hídricos da região. Os autores destacam que fatores como expansão populacional e escassez de políticas de gestão territorial explicam parte das mudanças. A pesquisa defende a necessidade de integração entre conservação ambiental e uso racional do solo em contextos vulneráveis. A adoção de práticas sustentáveis é apresentada como alternativa viável para mitigar os impactos negativos observados.

Tadese *et al.* (2020) analisaram a bacia do rio Awash, na Etiópia, onde identificaram expansão urbana acelerada e crescimento agrícola desordenado como principais motores da modificação da paisagem. As alterações geraram efeitos cumulativos sobre os recursos hídricos, como aumento da poluição e redução da

biodiversidade aquática. A análise multitemporal evidenciou um declínio gradual das zonas de vegetação natural. O estudo propõe a aplicação de tecnologias geoespaciais no planejamento regional para garantir a sustentabilidade das bacias. Além disso, os autores sugerem a inclusão de comunidades locais nas estratégias de adaptação ambiental.

Chowdhury e Hasan (2020), ao investigarem a bacia do rio Halda, em Bangladesh, identificaram cinco principais tipos de uso do solo com mudanças significativas ao longo do tempo. O aumento da urbanização e da agricultura contribuiu para o declínio da vegetação ripária e do equilíbrio hidrológico. A pesquisa demonstra que a fragmentação do uso da terra reduz a capacidade de retenção hídrica das bacias, tornando-as mais vulneráveis a eventos extremos. As análises baseadas em dados Landsat reforçam a eficiência das ferramentas de geoprocessamento na avaliação ambiental. Os autores recomendam estratégias de conservação para restaurar áreas críticas e reduzir riscos ecológicos.

Barakat *et al.* (2019) realizaram uma avaliação dos impactos das mudanças de uso do solo no distrito de Béni-Mellal, no Marrocos. A degradação do solo, erosão e redução da cobertura vegetal foram os principais impactos observados. A conversão de áreas florestais para agricultura intensiva e pastagem foi apontada como a principal causa da deterioração ambiental. O estudo salienta a necessidade de ordenamento territorial e controle da expansão agrícola para evitar o colapso ecológico da região. Os autores também indicam que os dados obtidos via sensoriamento remoto são fundamentais para a tomada de decisão em escala local e nacional.

Bewket e Abebe (2013), em seu estudo sobre uma bacia tropical na Etiópia, identificaram uma redução de 64% na cobertura florestal entre 1957 e 2001, atribuída à expansão agrícola e ocupações humanas. A pesquisa reforça que pressões socioeconômicas, como pobreza rural e falta de governança ambiental, são fatores determinantes nas transformações do uso da terra. A substituição de vegetação nativa por agricultura extensiva resultou em perda de habitat e diminuição da estabilidade dos ecossistemas. A gestão sustentável dos recursos naturais é apresentada como uma necessidade urgente para evitar o agravamento da degradação ambiental. O estudo propõe medidas de curto e longo prazo com base em planejamento ambiental integrado.

As mudanças no uso e cobertura da terra no Nordeste brasileiro têm

provocado impactos ambientais significativos, especialmente em regiões semiáridas. Cunha, Alvalá e Kubota (2015) demonstram que alterações como desmatamento e expansão agrícola afetam o balanço energético e os padrões de precipitação da região. O estudo evidencia que o uso da terra interfere diretamente no microclima local, intensificando períodos de seca e ampliando a suscetibilidade ambiental. Essas transformações também afetam a disponibilidade hídrica e a estabilidade dos ecossistemas. Com isso, torna-se essencial compreender os efeitos espaciais dessas mudanças para o planejamento ambiental regional.

A caatinga, bioma predominante no Nordeste, sofre intensamente com a conversão de áreas naturais em atividades antrópicas. Jardim *et al.* (2022) utilizaram sensoriamento remoto para avaliar os impactos conjuntos das mudanças climáticas e do uso da terra na caatinga. Os autores apontam que a degradação da vegetação nativa tem reduzido a capacidade de resiliência ecológica da região. Além disso, há uma tendência de substituição da cobertura florestal por áreas de pastagem e agricultura de subsistência. Esse cenário contribui para processos de desertificação e perda de biodiversidade, exigindo estratégias integradas de mitigação.

No contexto urbano, Maceió, capital de Alagoas, apresenta um caso emblemático da relação entre expansão urbana e alterações ambientais. Correia Filho e Santiago (2019) evidenciam que o avanço da urbanização modificou profundamente o uso e cobertura do solo, resultando em aumento das temperaturas de superfície. O estudo aponta que áreas anteriormente vegetadas foram ocupadas por construções e infraestrutura, reduzindo a permeabilidade do solo e aumentando o risco de alagamentos. Essas transformações exigem políticas de planejamento urbano mais sustentáveis e integradas com a gestão ambiental da cidade.

A análise regional também mostra que as transformações no uso da terra seguem padrões espaciais distintos. Klimanova, Naumov e Greenfieldt (2018) identificaram tendências de conversão de áreas florestais em pastagens e agricultura intensiva, especialmente no Nordeste brasileiro. Essas mudanças refletem pressões econômicas e sociais, como o avanço do agronegócio e a urbanização desordenada. A pesquisa destaca a necessidade de monitoramento contínuo e políticas de regulação fundiária. A governança ambiental deve considerar as especificidades locais para garantir a sustentabilidade territorial e evitar a degradação dos recursos naturais.

Montenegro e Ragab (2012) analisaram cenários futuros para regiões

semiáridas do Nordeste, combinando variáveis climáticas e de uso do solo. O estudo projeta que, sem intervenções efetivas, a intensificação da seca e o uso inadequado da terra levarão a colapsos ecológicos e sociais. Os autores recomendam práticas de uso racional da água e proteção das áreas vegetadas. A combinação entre escassez hídrica e pressão antrópica forma um quadro de alta suscetibilidade socioambiental. Portanto, a integração entre políticas públicas e ciência é fundamental para a adaptação climática nessas áreas críticas.

A cidade de Arapiraca, em Alagoas, também passou por intensos processos de urbanização nas últimas décadas. Correia Filho e Oliveira-Júnior (2022) discutem como a expansão urbana influenciou indicadores socioeconômicos e ambientais, destacando impactos negativos como aumento da impermeabilização e redução de áreas verdes. A pesquisa demonstra que a urbanização sem planejamento agrava problemas como ilhas de calor, poluição e déficit de infraestrutura básica. O caso de Arapiraca reforça a importância do ordenamento territorial e da preservação de áreas naturais urbanas como instrumentos de sustentabilidade.

O avanço urbano em Maceió foi objeto de estudo por Batista e Correia Filho (2021), que analisaram a expansão horizontal da cidade e seus impactos na cobertura vegetal. Os autores identificaram substituição intensa de áreas vegetadas por uso urbano, sem contrapartidas em áreas verdes planejadas. Essa mudança compromete a qualidade ambiental e o conforto térmico da população. A pesquisa sugere a adoção de políticas de arborização urbana e criação de corredores ecológicos. O planejamento ecológico das cidades deve integrar a gestão do solo e da cobertura vegetal como prioridades estratégicas.

Em Pernambuco, estado vizinho de Alagoas, Bezerra e Silva (2022) demonstraram a variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo e os impactos sobre os parâmetros biofísicos. O estudo utilizou séries temporais para monitorar mudanças e suas implicações ambientais. Os dados mostram degradação acelerada em áreas de uso intensivo e crescimento urbano. Os autores destacam que políticas públicas devem ser baseadas em evidências geoespaciais para conter a degradação e promover a recuperação ambiental. A experiência pernambucana é relevante para entender processos similares em Alagoas e no restante do Nordeste.

A degradação ambiental em Maceió também foi analisada por Correia Filho e Santiago (2021), que utilizaram sensores orbitais para mapear os efeitos da urbanização sobre o ambiente natural. A pesquisa propôs intervenções paisagísticas

baseadas na arborização urbana como forma de mitigar os impactos. A substituição de cobertura vegetal por superfícies impermeáveis alterou o microclima e agravou problemas como enchentes e baixa umidade. As propostas de intervenção reforçam a importância de soluções baseadas na natureza como estratégia de adaptação urbana e recuperação ambiental.

Por fim, Santos e Nascimento (2020) investigaram as mudanças na cobertura florestal na região semiárida brasileira entre 2000 e 2018, com ênfase nas tendências de desmatamento. O estudo identificou redução expressiva da vegetação nativa, mesmo em áreas legalmente protegidas. A expansão de áreas agrícolas e a pecuária extensiva foram os principais vetores da degradação. Os autores alertam que, sem uma reorientação das práticas produtivas e maior fiscalização ambiental, o semiárido poderá sofrer perdas irreversíveis. A conservação da vegetação nativa é importante para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e da qualidade de vida da população local.

4.2 EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E SUSCETIBILIDADE SOCIOAMBIENTAL

Eventos climáticos extremos têm aumentado em frequência e intensidade, revelando fragilidades socioambientais profundas nas regiões urbanas e costeiras. Szewrański e Kazak (2020) propõem uma abordagem integrada para avaliar a suscetibilidade socioambiental considerando a pressão urbana, desigualdades sociais e mudanças climáticas. Os autores destacam que o planejamento urbano sustentável deve ser guiado por dados socioambientais, com foco na justiça climática. Regiões com baixa capacidade adaptativa e alta densidade populacional sofrem mais intensamente os efeitos de extremos climáticos, como inundações e ondas de calor. Assim, a avaliação de suscetibilidades precisa incorporar aspectos sociais, espaciais e ecológicos.

No contexto das montanhas do Himalaia, as variações altitudinais produzem diferentes graus de exposição e suscetibilidade frente aos eventos climáticos. Gupta *et al.* (2019) analisaram como sistemas socioambientais ao longo do gradiente altitudinal reagem às mudanças climáticas, identificando riscos crescentes de escassez hídrica e insegurança alimentar. As comunidades mais elevadas apresentam maior sensibilidade devido à menor infraestrutura e isolamento geográfico. A pesquisa reforça a importância de políticas diferenciadas e adaptadas

às especificidades regionais. A resiliência dessas populações depende de ações que integrem saberes locais e dados científicos para reduzir a suscetibilidade ambiental.

Em áreas costeiras, a elevação do nível do mar e a intensificação de tempestades agravam a suscetibilidade socioambiental. Mavromatidi, Brice e Claeys (2017) mapearam os riscos associados às mudanças climáticas em cidades mediterrâneas da França, apontando a exposição de populações socialmente vulneráveis. O estudo utiliza análise espacial para integrar variáveis físicas e sociais, permitindo identificar zonas de risco com maior precisão. A urbanização desordenada e a ocupação de zonas costeiras agravam o impacto dos eventos climáticos. A gestão do território precisa considerar essas suscetibilidades para evitar crises ambientais e humanitárias.

A continuidade dos estudos no Himalaia reforça o padrão de alta suscetibilidade em diferentes altitudes. Gupta *et al.* (2020) mostraram que mesmo comunidades em zonas intermediárias sofrem impactos significativos de eventos extremos como secas e deslizamentos. A fragmentação ecológica e o declínio de práticas tradicionais sustentáveis agravam a situação. O mapeamento da suscetibilidade permite direcionar investimentos em infraestrutura adaptativa e fortalecimento das capacidades comunitárias. A combinação de métodos qualitativos e geoespaciais foi importante para capturar a complexidade socioambiental dessas regiões montanhosas.

A suscetibilidade socioambiental não é apenas técnica ou geográfica, mas também cultural. Long e Steel (2020) destacam que comunidades indígenas nos Estados Unidos são especialmente vulneráveis aos impactos climáticos por dependerem de ecossistemas específicos para sua sobrevivência cultural e material. As políticas públicas muitas vezes ignoram esses vínculos, agravando o risco socioambiental. A pesquisa propõe que avaliações de suscetibilidade incluam variáveis culturais e históricas. Assim, políticas mais sensíveis às realidades locais podem promover justiça climática e resiliência comunitária.

O desenvolvimento de frameworks integrados é essencial para mapear suscetibilidades específicas a diferentes tipos de riscos naturais. Alves, Djordjević e Javadi (2021) propuseram um modelo que combina exposição a riscos, sensibilidade social e capacidade adaptativa em áreas urbanas. Aplicado em diferentes contextos urbanos, o framework identificou zonas de alta suscetibilidade a enchentes. Os autores defendem que políticas urbanas devem ser baseadas em dados espaciais e

demográficos, a fim de otimizar a gestão do risco. A integração entre academia, gestão pública e sociedade é chave para prevenir desastres e promover sustentabilidade.

Em estudos realizados na Nigéria, a percepção da população sobre os efeitos das mudanças climáticas fornece dados importantes para o planejamento ambiental. Ajibade *et al.* (2015) analisaram como fatores pessoais e sociais influenciam a forma como os indivíduos experienciam eventos extremos. A pesquisa revelou que, mesmo em contextos de alta exposição, o grau de suscetibilidade percebida varia com base em classe social, gênero e acesso à informação. Isso reforça a ideia de que estratégias de adaptação devem ser culturalmente sensíveis e socialmente inclusivas. A comunicação de risco precisa ser adaptada aos diferentes públicos para ser efetiva.

No Brasil, a suscetibilidade socioambiental a eventos extremos é amplificada por desigualdades históricas. Araújo e Rosa (2014) investigaram o caso do Espírito Santo, evidenciando que a ocupação irregular do solo e a precariedade habitacional expõem amplas camadas da população aos riscos de chuvas intensas. O estudo salienta que políticas públicas devem priorizar territórios vulneráveis com ações preventivas, como o mapeamento de risco e realocação segura. A gestão de desastres precisa ir além da resposta emergencial, incluindo ações estruturantes e inclusivas para reduzir a exposição ao risco.

Krennberg, Welz e Link (2019) discutem como a fragmentação socioespacial das cidades contribui para a amplificação das suscetibilidades diante de eventos climáticos extremos. A pesquisa evidencia que áreas periféricas, marcadas por infraestrutura deficiente, são mais impactadas por enchentes e ondas de calor. A segregação urbana dificulta o acesso a recursos adaptativos e serviços essenciais. O estudo propõe abordagens metodológicas integradas para análise da suscetibilidade urbana, considerando tanto variáveis físicas quanto sociais. A urbanização inclusiva e planejada aparece como caminho fundamental para reduzir os impactos de eventos extremos.

Já Szewrański, Świąder e Kazak (2018) apresentaram um estudo de caso em Wrocław, Polônia, onde mapearam a suscetibilidade a enchentes considerando fatores como envelhecimento populacional e pobreza. Os autores argumentam que características socioeconômicas específicas amplificam a exposição ao risco e dificultam a recuperação pós-desastre. O mapeamento espacial dessas condições

permite direcionar ações governamentais mais eficazes. A combinação de dados demográficos com análises geográficas oferece uma visão completa do risco socioambiental. Investimentos direcionados a grupos vulneráveis são essenciais para aumentar a resiliência urbana.

Eventos climáticos extremos têm se tornado cada vez mais recorrentes no Nordeste brasileiro, com implicações diretas sobre as condições socioambientais da população. Segundo Ribeiro *et al.* (2022), as secas prolongadas, enchentes repentinas e alterações de temperatura têm contribuído para o agravamento de desigualdades sociais e o aumento da insegurança sanitária. A região, já marcada por suscetibilidades históricas, enfrenta limitações em infraestrutura e serviços essenciais que dificultam a resposta adequada aos desastres naturais. A pesquisa destaca a urgência de políticas públicas de prevenção e adaptação climática para proteger as populações em situação de risco.

Ribeiro (2021) reforça que os desastres ambientais no Nordeste estão fortemente associados a fatores hidrometeorológicos, mas também a aspectos sociais e sanitários. A combinação entre chuvas intensas e ocupações irregulares em áreas de risco amplia os danos causados por enchentes e deslizamentos. A pesquisa demonstra que a suscetibilidade não é apenas física, mas multidimensional, envolvendo pobreza, acesso precário à informação e baixa capacidade de adaptação. Essa perspectiva reforça a importância de abordagens integradas que considerem tanto o ambiente natural quanto o contexto socioeconômico.

A cidade de Salvador, na Bahia, foi analisada por Vieira, Oliveira Caram e Saito (2025), que avaliaram dados socioambientais e riscos hidrológicos em áreas urbanas. Os autores identificaram que a precariedade de moradias em encostas e margens de rios potencializa os impactos dos eventos extremos. A urbanização desordenada, combinada com a impermeabilização do solo, agrava enchentes e prejudica a drenagem urbana. A pesquisa propõe estratégias de adaptação baseadas em soluções naturais e planejamento urbano resiliente como caminhos viáveis para reduzir os riscos associados ao clima.

No estado de Alagoas, Fernandes (2021) investigou os efeitos de eventos climáticos associados ao fenômeno La Niña, revelando uma série de desastres naturais que afetaram áreas rurais e urbanas. Os impactos incluíram perda de plantações, desabrigados e danos à infraestrutura. O estudo destaca a carência de

sistemas de alerta precoce e de planos de contingência bem estruturados no estado. Além disso, ressalta que as populações mais afetadas são as que vivem em situação de suscetibilidade social, reforçando a necessidade de políticas públicas com foco territorializado.

Oliveira-Junior e Correia Filho (2021) mapearam tendências de precipitação no Nordeste usando dados in situ e do produto CHELSA, identificando padrões preocupantes de chuvas extremas e secas severas. Essas oscilações climáticas têm efeitos diretos sobre os ecossistemas e a saúde pública, sobretudo em regiões de baixa renda. A pesquisa enfatiza a importância de tecnologias de monitoramento climático para antecipar cenários críticos e subsidiar ações de mitigação. A relação entre eventos extremos e desigualdade ambiental torna evidente o caráter socioambiental da suscetibilidade regional.

Melo (2021) analisou os impactos de eventos extremos de precipitação em capitais da costa leste nordestina, incluindo Maceió. Os dados revelaram correlação entre as chuvas intensas e a ocorrência de desastres como deslizamentos e alagamentos. O estudo propõe a inclusão de variáveis climáticas nos planos diretores das cidades, destacando que o planejamento urbano deve integrar a gestão de riscos. A integração entre meteorologia, urbanismo e políticas sociais pode reduzir significativamente a exposição de populações vulneráveis aos efeitos dos extremos climáticos.

A questão da adaptação climática no semiárido nordestino foi abordada por Mendes *et al.* (2022), que investigaram três casos de políticas públicas voltadas à mitigação dos efeitos do clima. Os autores apontam que, embora haja iniciativas promissoras, ainda existem lacunas na execução e no engajamento comunitário. A participação social é vista como elemento essencial para a eficácia das ações de adaptação. A descentralização da gestão e o fortalecimento da governança local são estratégias defendidas para construir resiliência nas comunidades afetadas.

Menezes *et al.* (2021) analisaram padrões espaciais de suscetibilidade à seca na região semiárida, considerando indicadores de saúde pública. Os resultados mostram que municípios com menor infraestrutura básica apresentam maior correlação com surtos de doenças durante os períodos de estiagem. A pesquisa reforça que os efeitos das mudanças climáticas não se distribuem de forma homogênea, sendo agravados por desigualdades socioespaciais. O estudo propõe uma abordagem intersetorial na formulação de políticas, integrando saúde, meio

ambiente e assistência social.

Embora focado na bacia do Rio Doce, o estudo de Mateus (2025) traz contribuições relevantes ao analisar a relação entre eventos climáticos extremos e mudanças no uso da terra. A pesquisa mostra como a ocupação desordenada e a degradação ambiental amplificam os impactos de secas e enchentes. A extração desses resultados para o Nordeste permite refletir sobre a importância do ordenamento territorial como medida preventiva. A articulação entre políticas de uso do solo e adaptação climática aparece como eixo central para reduzir a suscetibilidade socioambiental.

Badiru, Humaire e Wanderley (2017) examinaram o impacto das mudanças climáticas no potencial turístico do Nordeste brasileiro, com foco nas tendências futuras de extremos climáticos. Embora o setor turístico nem sempre seja visto como vulnerável, o estudo revela que alterações no regime de chuvas e aumento de temperaturas impactam diretamente a atratividade e infraestrutura das cidades litorâneas. A pesquisa propõe o redesenho de políticas públicas que considerem a sustentabilidade climática do setor, bem como o envolvimento das comunidades locais em estratégias adaptativas.

Os eventos extremos de precipitação no Nordeste brasileiro têm se tornado cada vez mais frequentes e intensos, impactando diretamente a infraestrutura urbana e os sistemas naturais. Lyra *et al.* (2024) analisaram eventos severos ao longo da costa leste da região, demonstrando que sistemas sinóticos específicos, como zonas de convergência e cavados, têm papel determinante nessas ocorrências. A pesquisa também utilizou o modelo MPAS, que confirmou a sensibilidade do clima regional a pequenas alterações nas condições iniciais, ressaltando a necessidade de previsão precisa e medidas preventivas.

A compreensão dos fatores meteorológicos que originam chuvas extremas é essencial para a mitigação de seus impactos. Comin, Justino e Pezzi (2021) realizaram uma análise numérica de eventos intensos no litoral nordestino e mostraram que a interação entre sistemas de baixa pressão e o aquecimento anômalo do oceano Atlântico contribui para o aumento da intensidade das chuvas. Os autores sugerem que modelos de previsão com alta resolução espacial podem ser ferramentas decisivas na gestão de riscos.

No contexto da climatologia regional, Oliveira, Santos e Lima (2017) identificaram tendências de aumento na frequência de eventos extremos em sub-

regiões do Nordeste, com destaque para o agreste e zona da mata. O estudo, com base em séries temporais de precipitação, revela uma intensificação dos extremos tanto em quantidade de chuva quanto em sua distribuição irregular, o que agrava a suscetibilidade das populações locais. Os autores sugerem a adaptação das políticas públicas às novas realidades climáticas regionais.

Rodrigues e Gonçalves (2020) contribuíram para o entendimento da distribuição espacial da recorrência de chuvas intensas, estabelecendo níveis de retorno em diversas áreas do Nordeste. Os resultados indicam que Alagoas possui zonas de alta susceptibilidade a eventos com tempo de retorno inferior a 10 anos, o que exige ações contínuas de monitoramento e urbanização planejada. A identificação dessas zonas críticas é vital para estratégias de defesa civil e planejamento urbano resiliente.

Analizando a variabilidade temporal e espacial das chuvas em Alagoas, Lyra, Oliveira-Junior e Zeri (2014) aplicaram técnicas de análise de agrupamento e evidenciaram padrões significativos de distribuição pluviométrica entre diferentes microrregiões. Os autores associam os padrões à topografia e à influência de sistemas meteorológicos sazonais, propondo que o conhecimento dessas dinâmicas pode orientar políticas regionais de gerenciamento hídrico e redução de danos.

A pesquisa de Firmino (2024) focou especificamente na climatologia dos eventos extremos de precipitação em Maceió, destacando o aumento da frequência de chuvas acima da média histórica nas últimas duas décadas. O estudo reforça que a urbanização acelerada, sem planejamento, agrava os impactos, especialmente em áreas com drenagem insuficiente. A autora sugere medidas integradas de infraestrutura e educação ambiental para minimizar os efeitos desses eventos extremos.

A análise em escala subdiária, conduzida por Araújo, Silva e Rodrigues (2023), mostrou que a intensidade de chuvas em curtos períodos é um fator determinante para alagamentos e deslizamentos em centros urbanos nordestinos. O estudo aponta a necessidade de revisões nos códigos de obras municipais e a incorporação de dados de microclima nos projetos de engenharia. A pesquisa também ressalta que as cidades costeiras estão entre as mais afetadas, devido à combinação de fatores climáticos e geomorfológicos.

Espinoza *et al.* (2021) investigaram os deslizamentos provocados pelas chuvas extremas de maio de 2017 na costa leste nordestina, incluindo áreas de

Alagoas. A análise revelou que áreas com ocupação desordenada e ausência de cobertura vegetal apresentaram maior incidência de desastres. A pesquisa reforça a importância do mapeamento de risco e da readequação do uso do solo como ferramentas de prevenção a catástrofes relacionadas à chuva.

Em novo estudo, Lyra *et al.* (2025) caracterizaram os padrões sinópticos associados aos eventos extremos de precipitação no Nordeste. A pesquisa indica que vórtices ciclônicos, frentes frias e sistemas de brisa desempenham papel fundamental na formação desses eventos. A identificação de tais padrões é estratégica para melhorar os sistemas de alerta precoce e ampliar a capacidade de resposta das defesas civis regionais.

Santos (2023) analisou a influência das fases extremas do El Niño–Oscilação Sul (ENSO) sobre os episódios de chuvas intensas em Alagoas. Os dados apontam que tanto El Niño quanto La Niña alteram significativamente a distribuição das chuvas, podendo gerar extremos em ambos os sentidos (seca ou enchente). A pesquisa recomenda que políticas de gestão ambiental e urbana incorporem previsões climáticas sazonais em seus planejamentos, reduzindo a exposição a eventos críticos.

4.3 SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A gestão sustentável dos recursos hídricos em bacias hidrográficas é uma tarefa complexa que envolve múltiplas variáveis ambientais e sociais. Oxley, Mays e Murray (2016) propuseram um modelo de otimização capaz de balancear demandas hídricas diversas com a disponibilidade de água, priorizando a sustentabilidade. O modelo incorpora variáveis econômicas, ecológicas e sociais, e é útil na tomada de decisões sobre alocação de recursos. O estudo ressalta que a abordagem integrada é essencial para mitigar conflitos entre os usuários da bacia. Soluções matemáticas, quando bem calibradas, podem ser ferramentas poderosas para auxiliar na governança hídrica.

Para além do aspecto quantitativo, a qualidade da água também é uma preocupação central na gestão das bacias. Chen, Liu e Leu (2006) desenvolveram um sistema de planejamento estratégico com base em indicadores de qualidade da água, voltado à gestão sustentável de bacias fluviais. A pesquisa destaca a importância de políticas regulatórias e monitoramento contínuo para garantir a integridade ecológica dos corpos hídricos. A adoção de modelos preditivos permite

simular diferentes cenários e planejar intervenções com maior precisão. A governança eficiente depende da capacidade de integrar ciência e política pública.

A Diretiva-Quadro da Água da União Europeia tem influenciado positivamente a forma como as bacias são geridas no continente. Teodosiu e Barjoveanu (2003) analisaram sua aplicação e destacaram avanços em monitoramento, controle de poluição e participação social. A abordagem por bacia hidrográfica foi central para integrar ações que antes eram setoriais e desconectadas. Os autores afirmam que o sucesso da gestão depende da descentralização, da transparência e da colaboração entre entes locais, regionais e nacionais. Este modelo tem servido de inspiração para reformas institucionais em países fora da Europa.

Em bacias de grande porte, os desafios de governança se intensificam pela diversidade de atores e contextos ambientais. Li *et al.* (2022) realizaram uma introdução aos princípios e práticas de gestão sustentável de bacias de grandes rios, apontando a necessidade de ferramentas integradas. O artigo aborda desde a escassez hídrica até os impactos das mudanças climáticas, reforçando que soluções locais precisam dialogar com políticas macroeconômicas e ambientais. A interligação entre setores agrícola, industrial e doméstico exige coordenação entre diferentes níveis de governo. A sustentabilidade hídrica passa por uma visão holística e multidisciplinar.

Oxley e Mays (2016) voltaram a aplicar seu modelo de otimização em diferentes bacias e confirmaram sua eficácia para equilibrar oferta e demanda hídrica. A principal vantagem do modelo é sua flexibilidade para lidar com múltiplos objetivos, como conservação ambiental, fornecimento humano e irrigação agrícola. A pesquisa destaca que, em contextos de escassez hídrica, decisões bem fundamentadas são importantes para evitar colapsos no abastecimento. A alocação racional de recursos hídricos, com base em critérios científicos, pode mitigar os impactos de eventos extremos como secas. O uso de modelos auxilia o planejamento de longo prazo.

Loucks (2000) já apontava há décadas que a sustentabilidade dos recursos hídricos exige integração entre as dimensões técnica, econômica e ambiental. Em sua análise, ele propõe diretrizes para assegurar a equidade no acesso à água e a preservação dos ecossistemas aquáticos. A abordagem proposta inclui o envolvimento das comunidades locais e a transparência na gestão. A sustentabilidade, segundo o autor, não se limita à preservação dos recursos, mas

também ao fortalecimento institucional. Suas ideias permanecem atuais, sendo frequentemente citadas em políticas e estudos contemporâneos sobre bacias.

No caso do rio Haihe, Weng, Huang e Li (2010) aplicaram um sistema de apoio à decisão baseado em múltiplos critérios e cenários. A ferramenta permitiu simular diferentes estratégias de gestão e seus impactos sociais e ambientais. O estudo evidenciou a utilidade de modelos multicritério para lidar com a complexidade dos sistemas hídricos, considerando aspectos como variabilidade climática, demanda agrícola e urbanização. Os autores recomendam o uso de sistemas inteligentes como aliados da formulação de políticas públicas mais adaptativas. A abordagem combina geotecnologias, modelos estatísticos e participação social.

No Irã, Safavi, Golmohammadi e Sandoval-Solis (2015) propuseram um modelo baseado no conhecimento de especialistas para gerir a bacia do rio Zayandehrud. A escassez hídrica crônica e os conflitos entre usuários exigiram soluções participativas e integradas. O modelo combinou informações técnicas com saberes locais para planejar ações de curto e longo prazo. A pesquisa reforça que a sustentabilidade depende tanto da tecnologia quanto da governança colaborativa. O envolvimento dos usuários da bacia foi decisivo para a aceitação e implementação das medidas propostas.

A aplicação de geotecnologias tem revolucionado o planejamento hídrico em bacias hidrográficas. Chowdary, Ramakrishnan e Srivastava (2009) utilizaram sensoriamento remoto e SIG para elaborar um plano de desenvolvimento sustentável da bacia Mayurakshi, na Índia. O uso dessas ferramentas permitiu mapear áreas críticas de erosão, identificar zonas de recarga hídrica e propor intervenções direcionadas. A gestão baseada em dados geoespaciais melhora a eficácia das ações e reduz os custos operacionais. Os autores destacam a necessidade de capacitação técnica para ampliar o uso dessas tecnologias em países em desenvolvimento.

Khan, Yang e Xie (2017) propuseram um framework acoplado de modelagem para gestão sustentável de bacias hidrográficas transfronteiriças. O modelo permite integrar dados hidrológicos, sociais e econômicos para subsidiar a tomada de decisões compartilhadas entre países. Em bacias internacionais, onde os conflitos pelo uso da água são frequentes, essa abordagem favorece a cooperação. A transparência nos dados e a inclusão de múltiplos interesses são elementos-chave para a governança bem-sucedida. O estudo aponta que a gestão sustentável de

bacias transfronteiriças deve ser guiada por princípios de equidade, solidariedade e sustentabilidade.

A suscetibilidade ambiental é uma característica marcante das bacias hidrográficas do semiárido nordestino, onde fatores como relevo, solo e regime de chuvas irregulares contribuem para processos erosivos e degradação ambiental. Santos (2024) analisou a bacia do Riacho Talhada, em Alagoas, demonstrando que áreas com baixa cobertura vegetal e ocupação antrópica intensiva apresentam níveis elevados de suscetibilidade. O estudo ressalta a importância de instrumentos de planejamento e zoneamento ambiental para mitigar riscos ambientais e preservar os recursos hídricos locais.

A modelagem hidrológica tem se destacado como uma ferramenta eficiente na gestão de bacias hidrográficas, permitindo prever cenários de escassez e planejamento de uso da água. Sales e Netto (2022) aplicaram modelos hidrológicos em bacias do semiárido nordestino e evidenciaram que o manejo inadequado do solo agrava a variabilidade hídrica, comprometendo o abastecimento em períodos de seca. Os autores defendem que, além de dados climáticos, é necessário incorporar variáveis sociais e econômicas para garantir gestão integrada e sustentável.

Marques, Gunkel e Sobral (2019) discutem as estratégias de gestão em reservatórios do Nordeste sob estresse hídrico, indicando que medidas tradicionais de contenção são insuficientes sem ações preventivas de conservação do solo. O trabalho defende a implantação de práticas sustentáveis de uso da terra, aliadas à gestão participativa das águas. Essas ações são fundamentais para garantir a resiliência das bacias em face das mudanças climáticas e da crescente demanda por água.

A análise de risco ambiental associada aos recursos hídricos também tem ganhado destaque. Freitas (s. d.) propõe modelos que associam suscetibilidade hídrica à capacidade de resposta das comunidades locais. A pesquisa identifica que bacias inseridas em contextos de pobreza e ausência de políticas públicas efetivas apresentam maior propensão a crises hídricas. A adoção de políticas adaptativas e o fortalecimento da governança hídrica são caminhos apontados para a redução da exposição a riscos ambientais.

Cirilo, Montenegro e Campos (2016) abordam a complexidade da questão hídrica no semiárido brasileiro, destacando a escassez crônica e os desafios de

gestão em bacias intermitentes. Os autores sugerem a integração entre ciência e saber local como estratégia para promover a sustentabilidade hídrica. A valorização do conhecimento tradicional e a educação ambiental são apontadas como essenciais para o uso racional da água nas bacias da região.

A dimensão geológica e geomorfológica das bacias do Nordeste é abordada por Corrêa (2019), que destaca como essas características físicas influenciam diretamente a suscetibilidade ambiental da região. O solo raso e a topografia acidentada favorecem a erosão, especialmente quando associados ao desmatamento e uso inadequado da terra. A autora enfatiza a necessidade de planos de manejo que considerem as especificidades físicas das bacias para mitigar impactos e promover a conservação ambiental.

O vínculo entre população e ambiente também é evidenciado por Carvalho e Joseph (2002), que mostram como o crescimento urbano desordenado e a carência de infraestrutura aumentam a pressão sobre os recursos hídricos. O estudo mostra que políticas públicas que desconsideram a fragilidade ambiental das bacias tendem a fracassar. Assim, o planejamento urbano e rural deve ser articulado à gestão das bacias, com ações coordenadas entre diferentes níveis de governo.

O rio São Francisco, uma das principais fontes hídricas do Nordeste, tem sofrido com alterações sazonais no fluxo de água, como apontam Santos, Lopes e Silva (2020). A pesquisa associa essas mudanças à ocupação irregular das margens e à gestão deficiente dos recursos. A conservação das áreas de recarga e a recuperação da mata ciliar são medidas urgentes para restaurar a funcionalidade da bacia e mitigar eventos extremos como secas e enchentes.

Avaliando tendências hidroclimáticas extremas, Coutinho e Cataldi (2023) identificaram alterações significativas em bacias das regiões Nordeste e Sul do Brasil. No caso do Nordeste, a intensificação de eventos extremos como secas prolongadas e chuvas intensas exige uma abordagem preventiva na gestão das bacias. O estudo destaca a importância de dados contínuos e precisos para subsidiar decisões estratégicas sobre uso do solo e distribuição de recursos hídricos.

Por fim, Ponce (1995) destaca que o manejo das secas e enchentes no Nordeste deve ir além de ações emergenciais, exigindo planejamento de longo prazo com foco na conservação ambiental. A pesquisa reforça que a gestão das bacias hidrográficas deve ser integrada e participativa, com envolvimento de comunidades locais e articulação entre esferas de governo. Tais ações são

imprescindíveis para fortalecer a resiliência socioambiental frente às adversidades climáticas.

Diante dos desafios impostos pelas mudanças no uso e cobertura da terra, pela intensificação de eventos climáticos extremos e pelas fragilidades na gestão de recursos hídricos, torna-se evidente a necessidade de abordagens integradas, sustentáveis e participativas para o manejo das bacias hidrográficas. A literatura analisada demonstra que os impactos socioambientais não são distribuídos de forma homogênea, sendo agravados por desigualdades sociais, deficiências institucionais e ausência de planejamento territorial adequado. Assim, pensar a sustentabilidade em bacias hidrográficas requer não apenas soluções técnicas, mas também articulações entre saberes locais, políticas públicas eficazes e mecanismos de governança que considerem a complexidade socioambiental dos territórios.

Diante dos estudos analisados, observa-se que o Nordeste brasileiro, especialmente o estado de Alagoas, encontra-se em uma posição de elevada suscetibilidade frente às transformações ambientais e às dinâmicas climáticas extremas. As mudanças no uso e cobertura da terra, os eventos climáticos intensificados e a fragilidade na gestão das bacias hidrográficas impõem desafios significativos à sustentabilidade socioambiental da região. A literatura revela não apenas os impactos físicos dessas transformações, mas também os desdobramentos sociais, econômicos e institucionais, exigindo respostas articuladas entre ciência, políticas públicas e participação comunitária.

Portanto, torna-se evidente a necessidade de estratégias integradas de planejamento ambiental, com foco na mitigação dos riscos, na adaptação às mudanças climáticas e na gestão participativa dos recursos naturais. A construção de políticas eficazes requer uma base sólida de conhecimento técnico-científico, como o aqui apresentado, capaz de embasar decisões e promover ações sustentáveis. Este referencial teórico, ao reunir contribuições atualizadas e específicas sobre o contexto nordestino e alagoano, fornece subsídios relevantes para a compreensão dos problemas ambientais contemporâneos e para a elaboração de propostas comprometidas com a resiliência e justiça socioambiental.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem mista (quantitativa e qualitativa), com delineamento exploratório e descritivo. Segundo Gil (2019), a pesquisa aplicada busca gerar conhecimentos voltados à solução de problemas concretos, enquanto a abordagem mista, conforme Creswell e Clark (2018), permite a integração de diferentes perspectivas analíticas para uma compreensão mais abrangente dos fenômenos investigados.

A vertente quantitativa se expressa na análise de dados geoespaciais, índices pluviométricos e séries históricas, o que possibilita identificar padrões espaciais e temporais relacionados a eventos climáticos extremos e às mudanças no uso e cobertura da terra (CUT). Essa abordagem está em consonância com autores como Hair Jr. et al. (2021), que destacam o papel das análises estatísticas na interpretação objetiva de dados ambientais e geográficos.

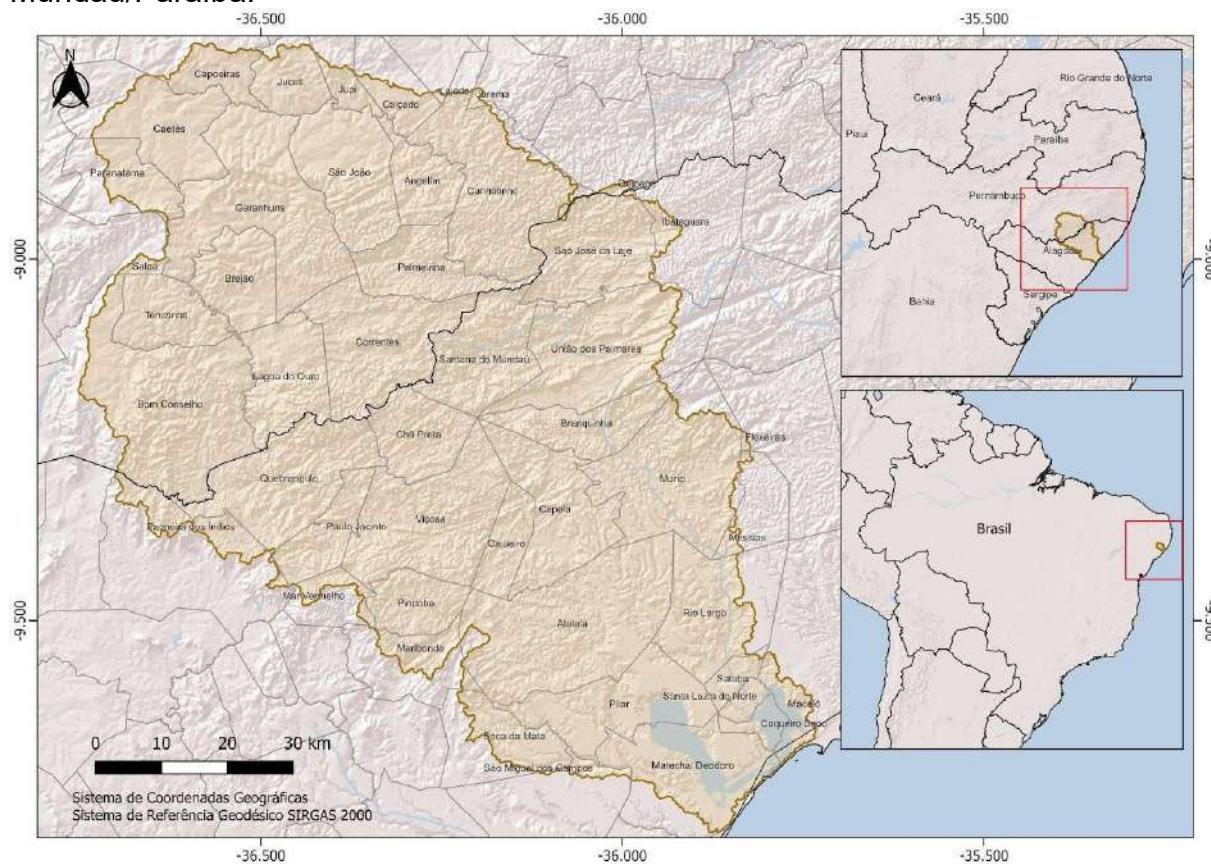
Por outro lado, a abordagem qualitativa possibilita a interpretação crítica dos resultados à luz dos contextos socioambientais e institucionais envolvidos na gestão dos recursos hídricos da bacia em estudo, conforme defendem Minayo (2017) e Flick (2018), ao enfatizarem a importância de compreender os significados e as relações sociais que permeiam os dados empíricos.

A fundamentação teórica da pesquisa baseia-se nos estudos sobre suscetibilidade socioambiental, conforme discutido por autores como Adger (2006) e Cutter et al. (2003), bem como nos relatórios mais recentes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), que apontam para a intensificação de eventos extremos em regiões vulneráveis. Também são referências os trabalhos de Turner et al. (2007), no campo da análise de uso e cobertura da terra, e Tucci (2009), na gestão integrada de bacias hidrográficas. No plano metodológico, adota-se uma perspectiva sistêmica com base nos fundamentos da Geografia Física e da Ecologia da Paisagem, considerando a paisagem como síntese da interação entre os elementos naturais e as intervenções antrópicas. Essa abordagem segue os referenciais de Monteiro (1976) e Ross (2006), que orientam a leitura integrada do território a partir de suas estruturas naturais e sociais.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa adotou como área de estudo a Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba (Figura 1), conforme estabelecido pelo sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. Essa delimitação permitiu análise das dinâmicas territoriais e ambientais da região, uma vez que contempla os limites oficiais de gestão.

Figura 1 – Localização da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundau/Paraíba.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE, 2025.

A Unidade de Gestão de Recursos Hídricos (UGRH) Mundaú/Paraíba é composta pelas bacias hidrográficas dos rios Mundaú e Paraíba do Meio, localizadas nos estados de Alagoas e Pernambuco. Essa unidade representa importante região hidrográfica no contexto nordestino, sendo alvo de políticas públicas voltadas à gestão integrada e participativa dos recursos hídricos. Os dados da bacia encontram-se no quadro abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 – Caracterização físico-territorial da UGRH Mundaú/Paraíba

Item	Informações principais
------	------------------------

Estados abrangidos	Alagoas e Pernambuco
Área total	4.457,87 km ²
Perímetro da bacia	382,68 km
Municípios abrangidos	36 no total (19 em AL, 17 em PE)
Divisão da área	54,90% da área no PE (2.447,50 km ²); 45,10% no AL (2.010,37 km ²)
População estimada (2022)	Bacia do Mundaú: 1.838.000 habitantes (Maceió é o mais populoso) Bacia do Paraíba do Meio: 598.000 habitantes (Garanhuns é o maior município)
Principais rios e afluentes	Mundaú: Canhoto, Inhumas, Satuba Paraíba do Meio: Salgadinho, Jacutinga, Piauí
Uso predominante do solo	Mundaú: pecuária, agricultura familiar, banana e laranja Paraíba do Meio: milho, feijão e cana-de-açúcar
Clima predominante	Tropical com duas estações (chuvas e seca) – MTA e MEA influenciam Parte do noroeste: clima semiárido BSh (quente e seco)
Principais problemas ambientais	Assoreamento, degradação da vegetação nativa, uso intensivo do solo, baixa cobertura vegetal, pressão urbana
Relevo e geologia	Formação geotectônica da Borborema (rochas cristalinas), presença de terrenos pré-cambrianos, atuação de processos erosivos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

5.2 MATERIAIS

A metodologia adotada nesta pesquisa fundamenta-se em uma abordagem quantitativa e qualitativa, de natureza descritiva e explicativa, com foco na análise integrada de dados ambientais e espaciais. Conforme Gil (2008), estudos descritivos buscam observar, registrar, analisar e correlacionar fatos ou fenômenos sem manipulá-los, o que se mostra adequado para a avaliação de padrões ambientais com base em dados secundários. A pesquisa adota ainda os pressupostos da abordagem sistêmica e interdisciplinar, conforme defendido por Monteiro (1976), ao integrar variáveis naturais, sociais e climáticas na análise da dinâmica das bacias hidrográficas.

Foram utilizados dados secundários provenientes de séries históricas, compreendendo o período de 1985 a 2023. As informações foram obtidas por meio de plataformas oficiais de dados cartográficos, como o MapBiomas 2023 (versão 9.0) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados referentes à precipitação foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e à Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH). A análise da distribuição espacial das precipitações foi realizada com o uso do software QGIS 3.34.8.

O estudo está estruturado em diferentes etapas metodológicas. A primeira corresponde à análise das mudanças no uso e cobertura da terra (CUT), com base

na classificação temática dos mapas anuais do MapBiomass. A segunda etapa consistiu no tratamento das séries pluviométricas diárias, que foram organizadas em planilhas eletrônicas e avaliadas quanto à completude e consistência. As séries com falhas em mais de 70% dos dados foram excluídas da análise, conforme os critérios adotados por Santos *et al.* (2018). As informações cartográficas foram referenciadas ao sistema SIRGAS 2000, com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Esses procedimentos permitiram estruturar uma base sólida para a análise integrada entre mudanças no uso do solo e a ocorrência de eventos climáticos extremos, seguindo metodologia semelhante à utilizada em estudos recentes sobre suscetibilidade hidroclimática (Silva *et al.*, 2020; Ferreira, 2022).

5.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICOS

5.3.1 Análise das mudanças de Cobertura e Uso da Terra

A análise da cobertura e uso da terra (CUT) na área de estudo, baseada nos dados do projeto MapBiomass, considerou formações naturais como florestas, savanas, áreas alagadas e manguezais e formações antrópicas, como agricultura, pastagens e áreas urbanizadas. O objetivo foi compreender as transformações no equilíbrio entre vegetação nativa e ocupações humanas, evidenciando tendências de expansão agropecuária e urbana e a consequente redução das formações vegetais naturais.

Para a análise das mudanças de Cobertura e Uso da Terra, foram utilizados os dados do projeto MapBiomass. Este projeto colaborativo envolve empresas, organizações não governamentais e instituições de pesquisa, com o objetivo de produzir anualmente o mapeamento da Cobertura e Uso da Terra (CUT) em todo o território brasileiro. Esta iniciativa de monitoramento das mudanças na CUT produz dados anuais a partir da combinação de imagens Landsat, classificadas por algoritmos de aprendizado de máquinas e processamento em nuvem no *Google Earth Engine* (GEE), interpretadas por um conjunto de especialistas da rede MapBiomass (<https://mapbiomas.org/>) (Souza-Junior *et al.*, 2020). Esses produtos, disponibilizados pela plataforma a partir do toolkit para GEE, bem como os dados para inserção em análises, foram coletados e processados para a pesquisa.

Os dados de cobertura e uso da terra (CUT) foram extraídos da plataforma MapBiomass, coleção 9, correspondente ao intervalo temporal de 1985 a 2023. A escolha desse intervalo justifica-se por dois fatores principais. Primeiro, o ano de 1985 marca o início da série histórica padronizada do MapBiomass, sendo o ponto de partida com maior consistência e comparabilidade para análises multitemporais em todo o território nacional. Segundo, o período estendido até 2023 permite avaliar tendências recentes e mudanças aceleradas no uso do solo associadas à intensificação das atividades antrópicas e ao aumento da frequência de eventos climáticos extremos. Essa série temporal contínua, portanto, possibilita uma análise robusta das transformações na paisagem ao longo de quase quatro décadas, com base em dados validados e compatíveis com os critérios internacionais de classificação da vegetação.

As classes de CUT utilizadas pelo MapBiomass derivam da classificação da vegetação brasileira pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), do Manual para Coleta Integrada de Dados de Campo, da Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2012), e da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI, 2020). Distribuídas entre quatro níveis, a coleção 7, lançada para o período de 1985 a 2021, é composta por 34 classes de cobertura e uso da Terra.

Na figura 2 estão as categorias de cobertura e uso da terra analisadas foram organizadas com base na classificação temática proposta pelo MapBiomass, que adota um sistema padronizado e hierarquizado, dividido em três níveis. No nível 1, as classes são agrupadas em grandes categorias como vegetação nativa e uso antrópico. No nível 2, há uma subdivisão em categorias intermediárias, como floresta, agricultura ou área úmida. No nível 3, as classes são refinadas em tipos específicos, como floresta ombrófila, manguezal, agricultura temporária, pastagem, mosaico de ocupações e áreas urbanizadas.

A categoria Natural inclui todas as classes associadas à vegetação nativa e áreas com mínima interferência humana, como Formação Florestal, Formação Savânica, Campina Alagada e Pantanosa, Mangue, Vegetação Arbustiva e Herbácea, Formação Campestre e Corpos d'Água.

A categoria Antrópico abrange os usos da terra resultantes de atividades humanas, incluindo Agropecuária (com subdivisões como Agricultura, Pastagem, Silvicultura), Área Urbanizada, Mosaico de Usos e Outras Áreas Não Vegetadas.

Por fim, a categoria Não Definido é utilizada em áreas onde, por limitações de imagem ou incerteza na classificação, não foi possível determinar com precisão a classe de uso da terra, embora essa categoria tenda a representar parcela mínima da área analisada."

Figura 2 – Legenda do sistema de classificação da Cobertura e Uso da Terra utilizado pela rede MapBiomas (2023)

Classes de Cobertura e uso da terra definidas no MapBiomas Coleção 7

1. Floresta	1.1 Formação Florestal 1.2 Formação Savânica 1.3 Mangue 1.4 Restinga Arborizada
2. Formação Natural Não Florestal	2.1 Campo Alagado e Área Pantanosa 2.2 Formação Campestre 2.3 Apicum 2.4 Afloramento Rochoso 2.5 Restinga Herbácea 2.6 Outras formações não florestais
3. Agricultura	3.1 Pastagem 3.2 Agricultura 3.3 Floresta Plantada 3.4 Mosaico de Agricultura e Pastagem
4. Área Não Vegetada	4.1 Praia, Duna e Areal 4.2 Área Urbana 4.3 Mineração 4.4 Outras áreas não vegetadas
5. Água	5.1 Rio, Lago e Oceano 5.2 Aquicultura

Fonte: Elaborado pelo autor adaptado de Souza-Junior *et al.*, 2020.

Para identificar, por classe de Cobertura e Uso da Terra, foram coletados primeiro os dados referentes ao primeiro nível da classificação da CUT da plataforma do MapBiomas. Essas classes são referentes à: Floresta, Formação

Natural não Florestal, Agropecuária, Área Não Vegetada e Corpo D'água. A partir dessa seleção, foi realizado o recorte da área de estudo na plataforma MapBiomas, utilizando a ferramenta de filtro por recorte territorial referente à UGRHMP.

A plataforma disponibiliza três tipos de produtos sobre a Cobertura e Uso da Terra (CUT): mapas, dados estatísticos e gráficos. Para a identificação da dinâmica das classes de Cobertura e Uso da Terra, foram coletados os dados estatísticos, a partir dos quais foram elaborados gráficos ilustrativos, como gráficos de barras, gráficos de linha e gráficos de dispersão.

Para identificar a dinâmica de conversão da vegetação Natural da área de estudo, no intervalo de 1985 a 2023, foram utilizadas as ferramentas “Cobertura” e “Transições” na Plataforma MapBiomas, utilizando a ferramenta de filtro por recorte territorial. Para a cobertura foram coletados os dados tabulares das classes no nível 2.

Para “Transição”, a plataforma disponibiliza três tipos de produtos: mapas, dados estatísticos e Diagrama Sankey. O propósito da utilização de um diagrama Sankey da plataforma é visualizar a conversão da cobertura da terra e suas transições entre as classes adotadas pelo MapBiomas para um intervalo temporal determinado. Os elementos-chave do diagrama Sankey são as linhas que indicam o fluxo de perda, ganho ou estabilidade de alguma classe. A largura das setas é proporcional à quantidade de fluxo que estão representando.

5.3.2 Análise dos dados de CUT

Para identificar, por classe de Cobertura e Uso da Terra, foi realizado o *download* dos dados tabulados, seu tratamento no *software* Excel, e a construção dos gráficos da distribuição da Cobertura e Uso da Terra (CUT) na UGRHMP entre os anos de 1985 e 2022. A partir do *toolkit* do *Google Earth Engine* (GEE), foram feitos os *downloads* das imagens da cobertura da CUT classificadas para os anos que evidenciaram transformações significativas da vegetação natural. Com essas imagens, foram elaborados mapas para a CUT da UGRHMP.

Para identificar a dinâmica de conversão da vegetação natural na área da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba do Meio (UGRHMP), foram utilizados os dados da série histórica de cobertura para as classes de nível 2, a fim de identificar os principais padrões de comportamento dessa dinâmica. As informações foram complementadas com os dados de transição da cobertura e uso

da terra (CUT), priorizando os intervalos anuais com variações superiores a 5% nas áreas ocupadas por classes de uso antrópico ou vegetação nativa, conforme observados nos anos de 1985, 2000, 2010 e 2022. Esses anos foram selecionados por apresentarem marcos de transição relevantes, seja por influência de políticas públicas, intensificação das atividades agrícolas ou ocorrência de eventos climáticos extremos, o que os torna representativos para a compreensão das mudanças na paisagem da região.

A partir desses procedimentos, foram identificados os elementos-chave desencadeadores das transformações, que foram utilizados para gerar o índice de suscetibilidade socioambiental. Esse índice será construído em conjunto com os dados dos eventos extremos, considerando a exposição e a sensibilidade das áreas analisadas.

5.3.3 Análise da variabilidade climática

Para a análise da variabilidade climática, foram calculadas as medidas de dispersão e tendência central dos valores anuais e mensais da precipitação das séries temporais. A estatística descritiva das séries climáticas foi utilizada para a determinação de regiões pluviométricas homogêneas, visto que há uma complexidade de tipos e dinâmicas climáticas na área de estudo. Os dados climáticos utilizados para esta análise foram provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cobrindo o intervalo temporal de 1985 a 2024.

As regiões pluviométricas foram identificadas a partir da análise de agrupamento hierárquico, utilizando o método *average linkage* e a distância euclidiana. Para verificar a adequação do agrupamento, foi calculado o coeficiente de correlação cofenética, que mede a fidelidade entre as distâncias originais dos dados e as distâncias representadas no dendrograma. O valor obtido foi de 0,79, o que indica uma boa qualidade do agrupamento, uma vez que valores acima de 0,7 são considerados satisfatórios para representar a estrutura dos dados com consistência. Para a definição dos grupos, foram utilizadas as médias totais e anuais, o desvio padrão da precipitação anual e os quartis dos volumes anuais e sazonais. Esse agrupamento teve como objetivo identificar regiões com padrões climáticos semelhantes, o que contribui para uma interpretação mais precisa da dinâmica relacionada aos eventos extremos ao longo da bacia.

Para a definição dos grupos, foram utilizadas as médias totais e anuais, o desvio padrão da anual e os quartis dos volumes anuais e sazonais da precipitação. Este agrupamento visou identificar regiões com padrões climáticos similares, auxiliando na interpretação da dinâmica relacionada aos eventos extremos ao longo da bacia.

Foram mapeados os valores médios de chuva e as regiões pluviométricas. Para tanto, aplicou-se o método geoestatístico da interpolação *Ordinary Kriging*, com o objetivo de estimar a distribuição espacial dos valores de precipitação média na área de estudo. Esse método é amplamente utilizado em estudos ambientais por apresentar alta precisão na estimativa de variáveis contínuas e por considerar tanto a distância quanto a variação espacial entre os pontos amostrados (Yamamoto; Landim, 2013). O procedimento foi executado no software QGIS (versão 3.34), por meio do complemento *Smart-Map*.

A qualidade da interpolação foi avaliada por meio da técnica de validação cruzada, que consiste na retirada sucessiva de cada ponto amostral para posterior comparação entre os valores observados e os valores estimados pelo modelo, permitindo aferir sua precisão. Essa técnica é amplamente utilizada em geoestatística por possibilitar a verificação da acurácia do modelo interpolador, fornecendo indicadores objetivos de desempenho, como o erro quadrático médio (RMSE), o viés e o coeficiente de correlação entre valores estimados e observados (Isaaks; Srivastava, 1989).

Os eventos extremos de precipitação pluviométrica foram investigados a partir do cálculo dos índices do pacote RCLimDex. Para garantir a confiabilidade dos resultados, foi aplicada uma análise de qualidade dos dados, de modo a selecionar apenas as estações que apresentaram pelo menos 70% da série pluviométrica completa ao longo do período analisado. Esse critério segue a recomendação metodológica do Environment Canada (Zhang *et al.*, 2005), que orienta a exclusão de séries com grande número de lacunas, a fim de evitar distorções na detecção de tendências e extremos climáticos. Além desse critério, foram avaliadas a consistência temporal e a homogeneidade das séries.

Além desse critério, foram priorizadas as estações que representam os diferentes grupos climáticos existentes na área de estudo, garantindo cobertura espacial equilibrada. Ademais, foram utilizadas as séries que apresentaram dados recentes (com intervalo temporal de 1990 a 2023). Este recorte temporal visou

investigar padrões recentes que têm sido influenciados pela acentuação da mudança climática em curso. Para os valores anuais, trimestrais e semestrais de precipitação, foi calculado o índice de padronizado de precipitação SPI (Índice Padronizado de Precipitação – *Standardized Precipitation Index*), que serviu para identificar e contabilizar a intensidade e duração dos eventos secos e úmidos das estações pluviométricas selecionadas.

A análise das tendências nas séries temporais de índices pluviométricos foi conduzida com base nos resultados obtidos a partir do pacote estatístico RCLimDex, aplicando testes lineares de inclinação e significância (p-valor) para oito indicadores que mensuram extremos de precipitação. Os índices do pacote Rclimdex foram calculados a partir do software ClimPact, e são recomendados pelo projeto *Climate and Ocean: variability, Predictability and Change* (CLIVAR) do comitê científico *World Climate Research*. O Quadro 2 apresenta os índices utilizados neste estudo com suas respectivas descrições.

Quadro 2 - Índices pluviométricos que foram utilizados no teste de tendências da precipitação (PR).

SIGLA	NOME POR EXTENSO	DEFINIÇÃO	UNIDADES
CDD	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias secos consecutivos (quando a PR < 1,0 mm)	Dias
CWD	Dias úmidos consecutivos	Número máximo anual de dias úmidos consecutivos (quando PR \geq 1,0 mm)	Dias
r10mm	Número de dias de chuva forte	Número de dias em que a PR \geq 10 mm	Dias
r20mm	Número de dias de chuva muito forte	Número de dias em que a PR \geq 20 mm	Dias
r30mm	Número de dias que a precipitação \geq 30mm	Número de dias em que a precipitação \geq 30mm	Dias
rx1day	Precipitação máxima de 1 dia	Total de precipitação máxima de 1 dia	mm
rx5day	Precipitação máximo de 5 dias	Total de precipitação máxima de 5 dias	mm
rx3day	Precipitação máximo de 3 dias	Total de PR máximo de 3 dias	dias
prcptot	Precipitação total anual dos dias úmidos	Soma das diárias de precipitação \geq 1,0 mm	mm
sdii	Intensidade diária de precipitação	PR total anual dividido pelo número de dias úmidos.	mm/day
r95p	Total de precipitação anual de dias de chuva intensa	Soma diária de precipitação $>$ 95 percentil	mm

SIGLA	NOME POR EXTENSO	DEFINIÇÃO	UNIDADES
r99p	Total de precipitação anual de dias de chuva intensa	Soma diária de precipitação > 99 percentil	mm
r95ptot	Contribuição percentual do r95p para dias úmidos	Razão entre r95p e prcptot	%
r99ptot	Contribuição percentual do r99p para dias muito úmidos	Razão entre r99p e prcptot	%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os índices apresentados no Quadro 2 permitiram caracterizar diferentes aspectos dos extremos pluviométricos ao longo da série histórica, contribuindo diretamente para a análise da suscetibilidade climática da UGRH Mundaú/Paraíba. Os índices de contagem de dias consecutivos secos (CDD) e úmidos (CWD) possibilitaram a identificação de tendências de seca prolongada ou períodos chuvosos persistentes, importantes para avaliar riscos hidrológicos. Já os índices r10mm, r20mm e r30mm forneceram informações sobre a frequência de eventos intensos de chuva, enquanto os índices rx1day, rx5day e rx3day auxiliaram na identificação da magnitude de precipitações concentradas em poucos dias, com potencial para causar enchentes e alagamentos.

Os índices relacionados à distribuição estatística das chuvas (r95p, r99p, sdii) forneceram uma visão mais detalhada sobre o comportamento dos eventos extremos ao longo do tempo, permitindo detectar se as chuvas intensas estão se tornando mais frequentes, concentradas ou espaçadas. Essa avaliação integrada dos índices possibilitou entender os padrões climáticos predominantes na região e subsidiar a análise de riscos associados aos eventos extremos de precipitação.

Os resultados foram apresentados graficamente e através de mapas, elaborados no software Qgis 3.34.6. Desse modo, foram descritos os ciclos de variabilidade climática da pluviosidade, os limiares de eventos extremos, e sua recorrência para as distintas regiões pluviométricas da área de estudo.

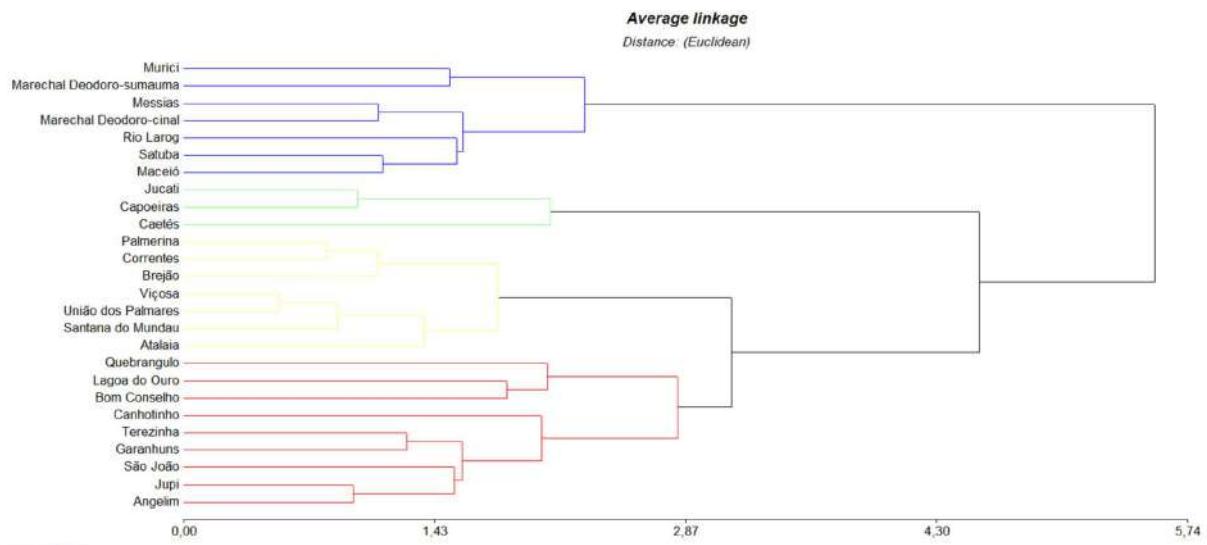
A caracterização dos extremos pluviométricos foi realizada com base na aplicação do pacote estatístico RClimDex, que permite calcular uma variedade de índices climáticos que sintetizam o comportamento das chuvas sob a ótica de eventos extremos. Esses índices são fundamentais para compreender não apenas o volume total de precipitação, mas também a frequência, intensidade e distribuição dos eventos mais intensos e persistentes, que apresentam grande relevância para a gestão de recursos hídricos e prevenção de desastres (Tabela 2).

Dentre os índices utilizados, destacam-se o CDD (número máximo de dias secos consecutivos), que aponta para a duração de períodos sem precipitação significativa, e o CWD (número máximo de dias chuvosos consecutivos), que revela a persistência de eventos de chuva contínua. O índice SDII (precipitação média em dias chuvosos) fornece uma medida da intensidade média das chuvas, enquanto os índices r10mm e r20mm avaliam a frequência de dias com precipitação superior a 10 mm e 20 mm, respectivamente.

Além disso, foram incluídos os índices de percentis extremos: r95p e r99p, que correspondem à soma das precipitações diárias que excedem os percentis de 95% e 99% do total anual, permitindo aferir o comportamento das chuvas mais intensas. O índice rx1day, por sua vez, representa o maior valor de precipitação em um único dia do ano.

As estações pluviométricas foram agrupadas para a identificação das regiões pluviométricas homogêneas. Foram formados quatro grupos a partir do método de agrupamento *Average Linkage* (Figura 3), determinados pelo método subjetivo de corte do dendrograma. O índice de correlação cofenética (0,79) indica que há consistência dos grupos apresentados.

Figura 3 - Dendrograma de agrupamento das estações pluviométricas.

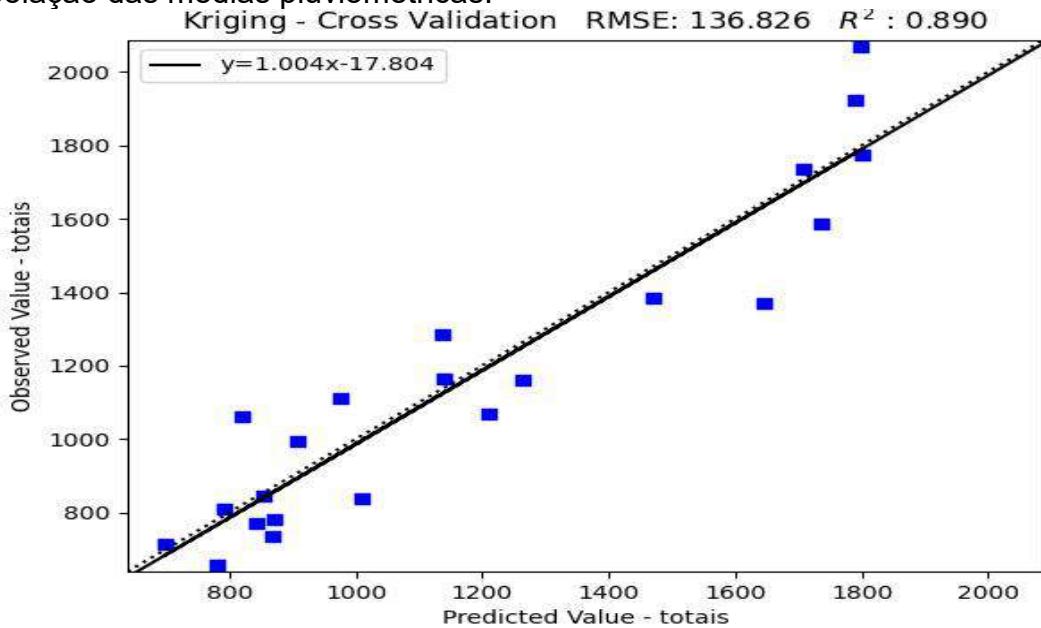


Fonte: InfoStat (2025)

Para o mapeamento da precipitação média referente aos grupos de estação e à área de estudo, foi utilizada avaliação por meio de uma validação cruzada. O modelo de regressão utilizado na validação cruzada apresentou um bom desempenho, evidenciado pelos valores obtidos para o erro médio quadrático

(RMSE = 136,826) e pelo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,89$), conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Validação cruzada contendo o erro médio e o índice regressão para a interpolação das médias pluviométricas.



sendo, portanto, amplamente utilizado em estudos de detecção de mudanças climáticas (Hirsch; Slack; Smith, 1982). A combinação dos dois métodos permite não apenas identificar tendências em séries temporais, mas também quantificar sua magnitude, fornecendo suporte estatístico à análise de alterações na precipitação e padrões regionais.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ANÁLISE DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA

Na Tabela 1 foram apresentados os valores de tendência central, de dispersão e os grupos formados, referentes às estações pluviométricas utilizadas no estudo. Os grupos evidenciaram alta variabilidade das chuvas anuais, com maior concentração nos meses de outono e inverno. O comportamento das medidas de dispersão revelou a existência de diferentes regimes pluviométricos na UGRH Mundaú/Paraíba, com máximos superiores a 3000 mm/ano no grupo 2 e mínimos inferiores a 400 mm/ano no grupo 4.

Essa variação pode ser explicada por fatores como a influência das massas de ar tropical atlântica (MTA) e equatorial atlântica (MEA), que atuam de maneira distinta sobre o território nordestino, afetando a distribuição espacial das chuvas (Reboita *et al.*, 2010). Regiões próximas ao litoral e com relevo elevado tendem a receber volumes pluviométricos mais elevados, especialmente nas áreas de barlavento, onde ocorre ascensão orográfica da umidade. Em contrapartida, áreas situadas no interior da bacia, especialmente no extremo norte e no agreste, estão mais sujeitas à subsidência atmosférica e à irregularidade das chuvas, características típicas do semiárido (Alves *et al.*, 2017). Essas condições contribuem para acentuar os contrastes na distribuição anual das chuvas, refletindo diretamente nos agrupamentos gerados pela análise estatística.

Tabela 1- Estações pluviométricas da UGRH Mundaú/Paraíba e respectivos valores de precipitação média anual, mínima, primeiro quartil, segundo quartil, terceiro quartil, valor máximo e percentual de chuvas de verão, de outono, de inverno e de primavera, e a classificação dos grupos (*clusters*) para a série histórica de 1993 a 2024

ESTAÇÃO	UF	lat	Long	PREC (mm)	MIN (mm)	Q1 (mm)	Q2 (mm)	Q3 (mm)	MAX (mm)	Ve r (%)	Ou t (%)	In v (%)	Pr i (%)	G
Bom Conselho	PE	- 9,17	- 36,69	657,1	189,6	352,9	699,3	907,9	1204, 6	17	44	29	10	1
Garanhuns	PE	- 8,88	- 36,48	782,4	266,9	592,5	810,4	1004, 6	1584, 1	20	40	32	8	1
Angelim	PE	- 8,88	- 36,28	736,5	365,4	557,9	766,1	943,4	1271, 9	21		29	8	1
Canhotinho	PE	- 8,88	- 36,19	846,2	227,8	610,6	843,2	1100, 1	1509, 5	19	44	30	7	1
Lagoa do Ouro	PE	- 9,12	- 36,49	838,6	416,1	635,5	933,4	1101, 3	1707, 5	17	43	31	9	1

Terezinha	PE	- 9,05	- 36,62	769,2	110,1	493	753,1	883,7	1077, 6	21	38	34	8	1
Jipi	PE	- 8,71	- 36,41	549,5	228,3	468,1	688,7	946,8	1223, 6	23	4	29	8	1
São João	PE	- 8,87	- 36,36	808,5	479,8	625,8	810	954,8	1202, 6	21	39	31	9	1
Quebrangulo	AL	- 9,30	- 36,47	992,2	297,8	690,5	934,7	1192, 5	1652, 6	14	45	30	11	1
Murici	AL	- 9,31	- 35,94	1384, 7	855	1047, 5	1333, 8	1631, 4	2165, 6	15	44	33	8	2
Satuba	AL	- 9,59	- 35,87	2068, 7	1302, 5	1636, 2	2089	2265, 5	3205	16	47	29	8	2
Rio Largo	AL	- 9,48	- 35,89	1924, 8	1111	1423, 5	1894	2284, 5	3381	15	49	29	7	2
Marechal Deodoro- cinal	AL	- 9,67	- 35,82	1773, 9	816,8	1409, 7	1648, 1	2171, 6	3014, 5	15	48	29	8	2
Marechal Deodoro- sumauma	AL	- 9,73	- 35,86	1586, 0	1145, 7	1215, 3	1500, 4	1899, 4	2387, 7	15	49	28	9	2
Murici	AL	-9,4	- 35,88	1733, 6	943	1346, 7	1763	2051, 6	2476	15	48	29	9	2
Messias	AL	- 9,35	- 35,83	1804, 63	1057, 5	1404, 2	1815, 5	2107, 7	2541	16	47	29	8	2
Maceió	AL	- 9,55	-35,7	1950, 2	1061, 9	1530, 5	1877, 2	2337	3147, 4	16	45	30	8	2
Brejão	PE	- 9,01	- 36,53	1061, 8	548,5	830,2	1075, 4	1301, 7	1753, 1	14	42	36	7	3
Correntes	PE	- 9,12	- 36,32	1165, 8	503,5	982,9	1205, 2	1417, 6	1818, 4	15	41	36	8	3
Palmerina	PE	- 9,00	- 36,32	1111	488,8	840,4	1057, 1	1419	1791, 8	14	43	36	8	3
Atalaia	AL	- 9,50	-36,0	1368, 9	521,9	927,3	1216, 9	1491, 2	1885, 3	15	46	32	7	3
Santana do Mundaú	AL	- 9,16	- 36,21	1284, 8	645,8	992,6	1233, 8	1443, 5	2058, 8	17	43	32	8	3
União dos Palmares	AL	- 9,15	- 36,03	1161, 2	616,5	915,5	1144, 1	1343, 8	1702, 9	16	45	31	8	3
Viçosa	AL	- 9,37	- 36,24	1069, 7	631,7	983,7	1082, 8	1337, 8	1821, 5	16	44	32	8	3
Caetés	PE	- 8,77	- 36,62	712,3	364,2	591,3	727,9	851,5	1116, 9	32	37	21	10	4
Capoeiras	PE	- 8,73	- 36,62	678,5	199,1	581,4	776,5	946,4	1320, 3	26	39	25	10	4
Jucati	PE	- 8,70	- 36,49	550,4	59,6	376,9	538,4	768,5	1180, 9	26	39	25	10	4

Legenda: PREC= precipitação média, MIN=precipitação mínima, Q1=primeiro quartil, Q2=segundo quartil, Q3=terceiro quartil, MAX=precipitação máxima, VER=verão, OUT=outono, INV=inverno, PRI=primavera e G=grupo. Organizado pelo autor. Fonte dos dados APAC e SEMARH (2025)

A Tabela 1 apresenta as características estatísticas da precipitação anual e sazonal das estações pluviométricas da UGRH Mundaú/Paraíba, com base na série histórica de 1993 a 2024. Os dados revelam uma elevada variabilidade espacial dos totais pluviométricos, com precipitações médias anuais variando de 739 mm (em Capela, AL) a 2.215 mm (em Garanhuns, PE). Esta diferença expressiva evidencia a influência de fatores geográficos como relevo, altitude e proximidade com o litoral, que modulam a distribuição das chuvas na região (Reboita *et al.*, 2010).

Observa-se também uma significativa disparidade nos valores máximos registrados, com destaque para estações como Angelim (3.207 mm) e Garanhuns

(3.011 mm), ambas pertencentes ao grupo 2, o qual concentrou as maiores médias e máximos pluviométricos. Esse grupo reúne áreas de maior altitude e maior influência de massas úmidas, o que justifica os volumes elevados. Por outro lado, o grupo 4, que inclui estações como Capela e Viçosa, apresentou os menores totais anuais, compatíveis com características semiáridas e topografias mais baixas.

Em relação à distribuição sazonal, verifica-se que a maior concentração das chuvas ocorre nos trimestres de outono e inverno, com percentuais superiores a 40% em várias estações, como Santana do Mundaú, União dos Palmares e Garanhuns. Isso confirma o padrão climático típico da região, onde as chuvas são influenciadas predominantemente pelas massas equatoriais atlânticas (MEA) e fenômenos sazonais como a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) (Alves *et al.*, 2017).

As medidas de dispersão, representadas pelos quartis e pelos extremos (mínimo e máximo), revelam a amplitude da variabilidade intra-anual e interanual, o que reforça a necessidade de considerar tais diferenças na análise de suscetibilidade hídrica. A classificação em grupos (clusters) por similaridade estatística mostrou-se eficaz para representar os distintos regimes pluviométricos da bacia, sendo útil como subsídio à gestão dos recursos hídricos e ao planejamento de ações de mitigação em áreas mais vulneráveis.

Os quatro grupos apresentados evidenciaram continuidade espacial na área de estudo, o que sugere padrões regionais de distribuição da precipitação. A configuração espacial dos grupos pluviométricos parece estar associada aos regimes climáticos úmido, subúmido e semiárido, presentes na região da UGRH Mundaú/Paraíba. Este padrão pode ser explicado pelo gradiente climático relacionado à variação altitudinal e à distância em relação ao litoral, fatores que influenciam diretamente o volume e a distribuição das chuvas (Reboita *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2021). Observa-se, conforme apontado por Santos *et al.* (2018), um gradiente decrescente de precipitação do baixo para o alto curso das bacias hidrográficas, comportamento comum em áreas com influência de barreiras orográficas e com transição entre climas úmidos e semiáridos. Tal padrão reforça a heterogeneidade pluviométrica da região e a necessidade de abordagens diferenciadas de gestão para os diferentes setores da bacia. Esses resultados indicam qualidade satisfatória da interpolação das médias pluviométricas, com

elevado grau de correlação entre os valores observados e os valores preditos, o que reforça a confiabilidade do ajuste realizado pela *krigagem*.

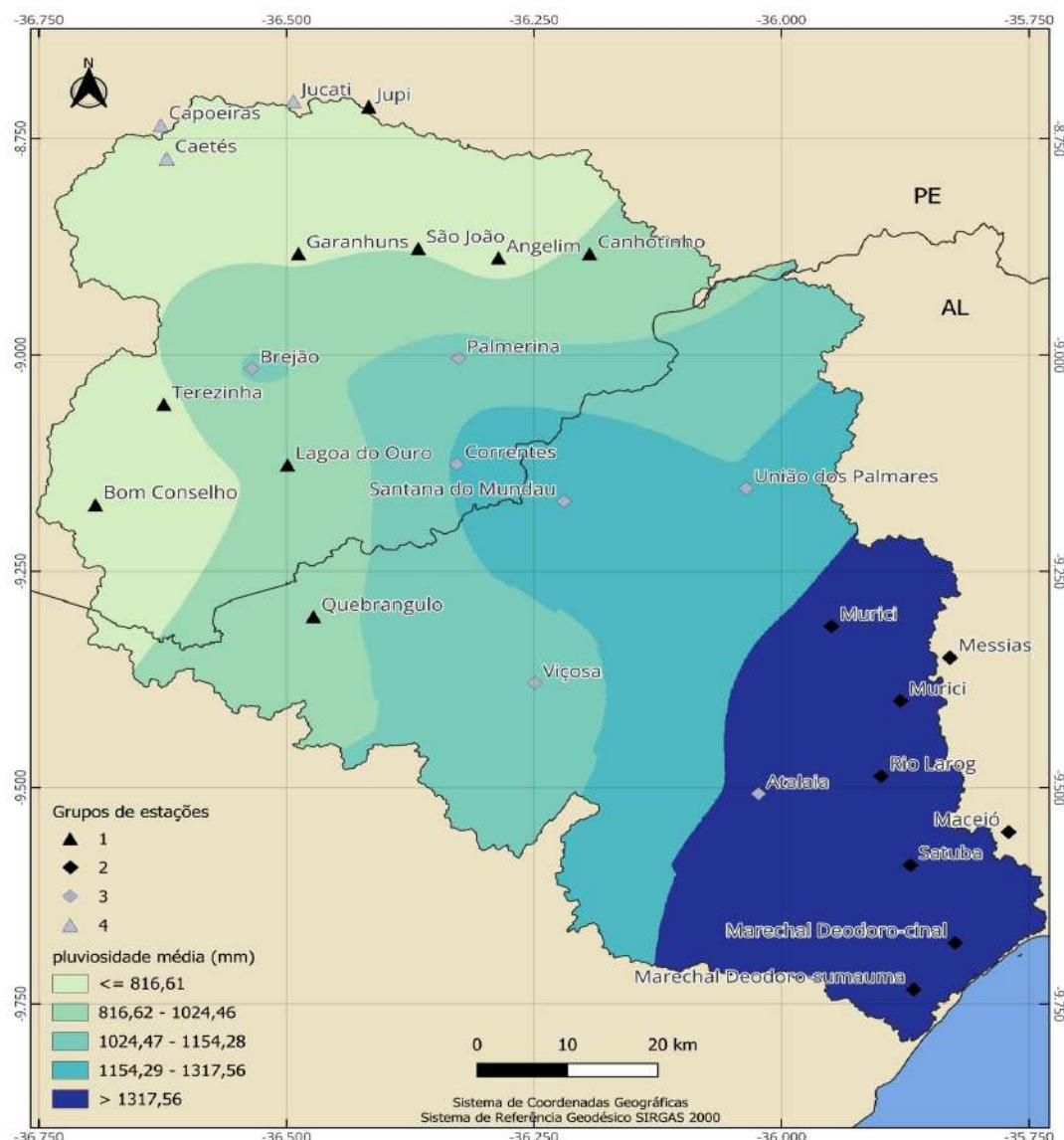
A Figura 5 apresenta a interpolação da precipitação média anual das estações pluviométricas localizadas na Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba, com base na série histórica compreendida entre os anos de 1993 e 2024. A distribuição espacial das chuvas revela padrões heterogêneos de precipitação na região, com variações significativas entre os setores oeste e leste da bacia, resultado das diferenças topográficas, da proximidade com o litoral e da atuação dos sistemas atmosféricos predominantes, como a Zona de Convergência Intertropical e os sistemas convectivos locais (Reboita et al., 2010; Silva et al., 2021). Tais variações estão de acordo com os estudos de Souza et al. (2017), que apontam maior concentração pluviométrica nas áreas de menor altitude e influência marítima. Também é possível corroborar a continuidade espacial dos grupos formados pelas estações, reforçando que as medidas de tendência central e dispersão das séries climáticas refletem as dinâmicas climáticas distintas, conforme identificado por Alvares et al. (2013), especialmente em regiões de transição entre climas úmidos e semiáridos.

Observa-se que os menores índices pluviométricos (inferiores a 816,61 mm/ano) se concentram nas áreas mais ao norte e noroeste, especialmente nos municípios de Jipi, Jucati, Caetés e Capoeiras. Por outro lado, as maiores médias anuais de precipitação (acima de 1.317,56 mm) são registradas na porção leste-sudeste, abrangendo municípios como Marechal Deodoro, Satuba e Maceió, sugerindo uma influência direta da umidade proveniente do oceano Atlântico, conforme já observado em estudos de padrões climáticos litorâneos (Reboita et al., 2010; Santos et al., 2022).

A transição gradual das classes de precipitação evidencia um gradiente climático típico de regiões tropicais, o qual influencia diretamente o balanço hídrico e, por consequência, a disponibilidade de recursos hídricos para usos múltiplos na bacia (Silva et al., 2020). Tais informações são fundamentais para o planejamento de políticas públicas de gestão hídrica, sobretudo em áreas com maior suscetibilidade hídrica e climática (Gama, 2021). Do ponto de vista dos domínios climáticos, a distribuição espacial da pluviometria reflete o processo de interiorização da seca, comum em regiões semiáridas do Brasil, onde há uma tendência de

redução da precipitação em direção ao interior do continente (Alvares *et al.*, 2013; Cunha *et al.*, 2019). Assim, climas tropicais úmidos predominam nas porções mais próximas ao litoral, enquanto os climas tropicais semiáridos ocorrem no extremo norte da unidade de gestão, em áreas de maior continentalidade e menor influência marítima.

Figura 5 - Interpolação da precipitação média anual das estações pluviométricas da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba para a série histórica de 1993 a 2024



Fonte: Elaborado pelo autor baseado nos dados da ANA, APAC e SEMAHR, 20xx.

Essa disposição dos tipos climáticos e o gradiente pluviométrico observado apresentam forte relação com a atuação da massa Tropical atlântica (mTa) ao longo da maior parte do ano, associada a atuação dos ventos alísios de leste-sudeste. Ao longo da costa, a interação desses ventos úmidos com fatores como o relevo, as brisas costeiras e os sistemas atmosféricos atuantes, favorece o desenvolvimento de tipos de tempo atmosférico bastante instáveis, especialmente durante o outono e o inverno. A estrutura vertical da mTa, e sua interação com a superfície do continente produz tipos de tempo secos e estáveis no interior, na maior parte do ano. Sistemas atmosféricos produtores de chuva, como os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), habitualmente chegam ao interior do continente em dissipação, ocasionando menores volumes de chuva do que os observados na região litorânea. À medida que o domínio da mTa se torna quente e instável, os climas tendem a ser caracterizados por elevada irregularidade e escassez das chuvas.

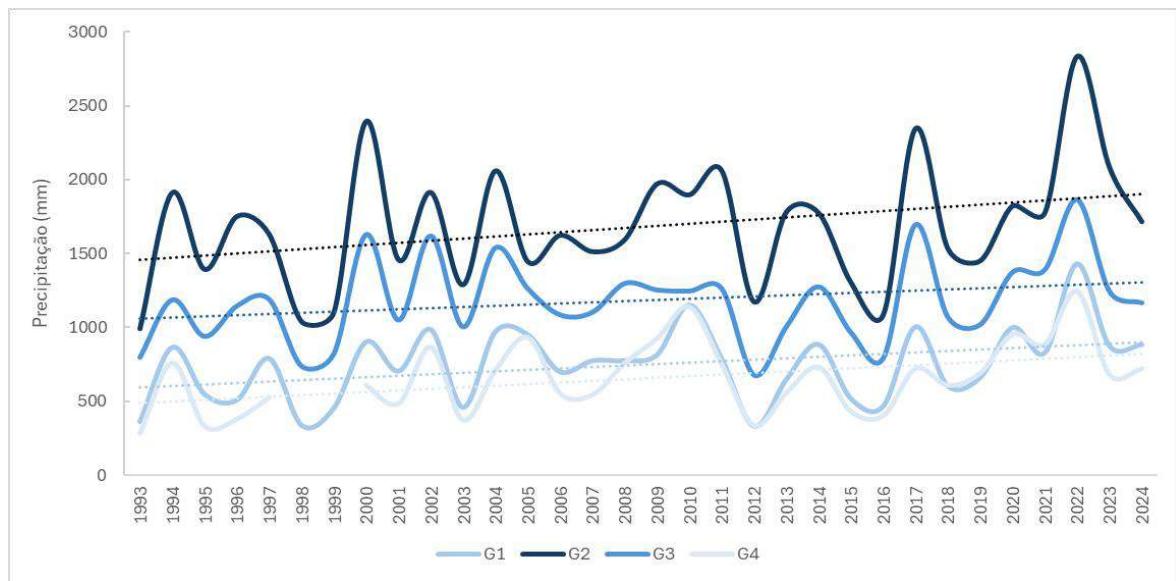
A Figura 6 apresenta a evolução da pluviosidade anual nas quatro regiões pluviométricas homogêneas (G1 a G4) identificadas na Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paraíba/Mundaú, com base na série histórica de 1993 a 2024. Os dados revelam padrões distintos de intensidade da precipitação entre os grupos, refletindo a diversidade climática presente na bacia. No que se refere à variabilidade interanual, constata-se um comportamento similar entre grupos quando comparadas as variações entre os anos mais e menos chuvosos.

O grupo G1, localizado na porção leste da unidade, destacou-se por apresentar os maiores volumes pluviométricos ao longo do período, com picos que ultrapassaram 2.500 mm em anos como 2006, 2017 e 2022. Esse comportamento pode ser atribuído à maior influência da umidade atlântica e à proximidade com a zona costeira, fator já apontado como determinante no regime de chuvas das regiões litorâneas do Nordeste brasileiro (Reboita *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2022). Por outro lado, os grupos G3 e G4, situados mais ao interior, registraram os menores índices, com médias anuais inferiores a 1.000 mm, evidenciando maior suscetibilidade a eventos de seca um padrão característico das áreas sob influência do semiárido nordestino (Cunha *et al.*, 2019).

Ao longo do tempo, nota-se a presença de flutuações significativas em todos os grupos, com ciclos de aumento e redução de precipitação, o que indica a atuação de fenômenos climáticos de escala regional e global, como El Niño e La Niña. Esses eventos, classificados como teleconexões climáticas, influenciam diretamente os

padrões de precipitação no Nordeste do Brasil, podendo intensificar períodos de seca ou aumentar a ocorrência de chuvas intensas, especialmente nas regiões do Agreste e da Zona da Mata dos estados de Alagoas e Pernambuco (Nobre *et al.*, 2001; Marengo *et al.*, 2020).

Figura 6 - Pluviosidade anual das regiões pluviométricas homogêneas da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paraíba/Mundaú para a série histórica de 1993 a 2024



Fonte: Elaborado pelo autor baseado nos dados da ANA, APAC e SEMAHR, 2025.

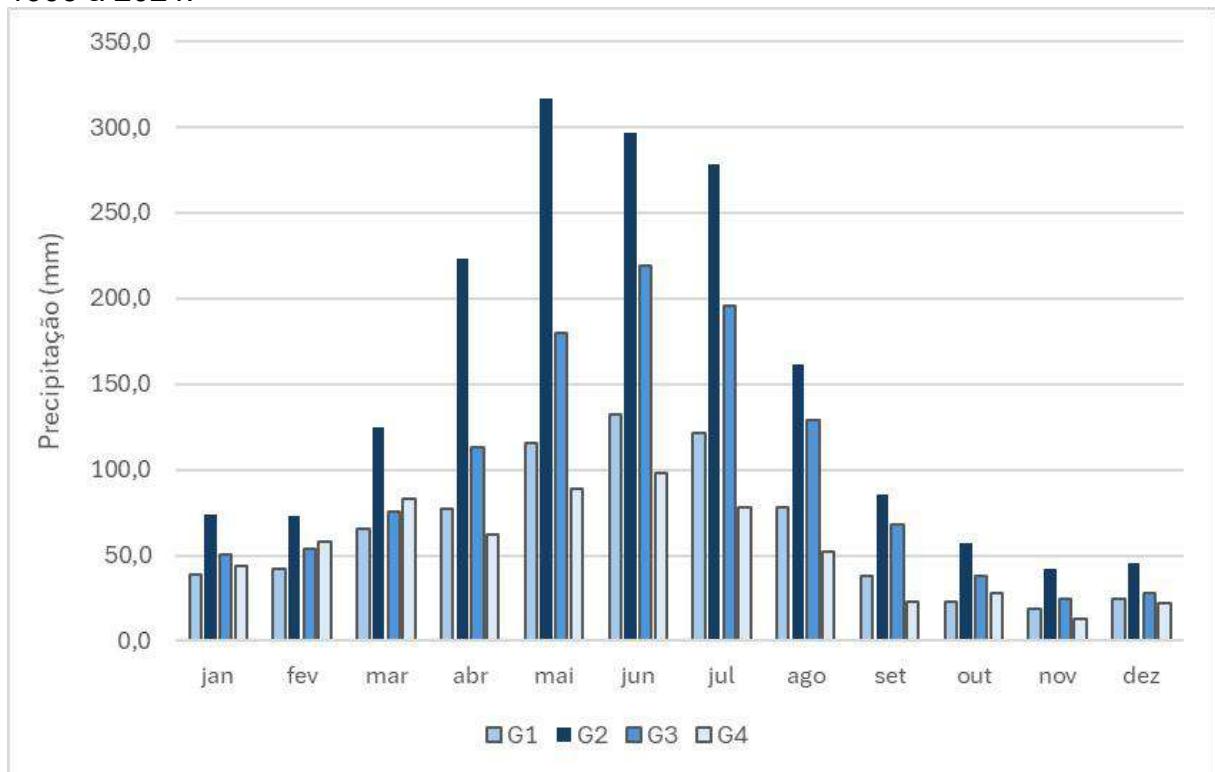
A Figura 7 apresenta a pluviosidade média mensal das quatro regiões pluviométricas homogêneas (G1 a G4) da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paraíba/Mundaú, com base na série histórica de 1993 a 2024. Os dados demonstram a marcante sazonalidade do regime de chuvas na região, com distribuição claramente concentrada entre os meses de março e agosto.

O pico de precipitação ocorre no mês de maio para o G2, que atinge médias mensais superiores a 300 mm. Nos demais grupos a máxima precipitação ocorre no mês de junho. A concentração da precipitação média mensal indica que o período de maior recarga hídrica da bacia ocorre nas estações do outono e do inverno, sendo este o intervalo de tempo importante para o abastecimento dos corpos hídricos e a manutenção da agricultura de sequeiro.

A estação seca estende-se de setembro a fevereiro, com valores médios significativamente inferiores, principalmente nos grupos G1 e G4, que registram precipitações mensais abaixo de 50 mm nesse intervalo. Essa característica impõe

desafios à gestão de recursos hídricos, exigindo planejamento adequado para garantir a disponibilidade hídrica em períodos críticos.

Figura 7 - pluviosidade média mensal das regiões pluviométricas homogêneas da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paraíba/Mundaú para a série histórica de 1993 a 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor baseado nos dados da ANA, APAC e SEMAHR, 2025.

A análise conjunta dos dados mensais e anuais permite identificar a dependência do sistema hídrico regional em relação à sazonalidade das chuvas, ressaltando a importância de estratégias de conservação de água e manejo sustentável, sobretudo nas áreas mais vulneráveis à escassez.

6.2 ANÁLISE DOS EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS

A aplicação dos índices de extremos pluviométricos permitiu análise abrangente das características climáticas ao longo das séries históricas observadas. Cada índice carrega uma interpretação climática específica: o CDD (número de dias secos consecutivos) é um indicador de prolongamento de estiagens, enquanto o CWD (dias úmidos consecutivos) aponta para períodos contínuos de precipitação, muitas vezes relacionados à recarga hídrica e à produção agrícola. Já o r10mm e

r20mm revelam a frequência de eventos intensos de chuva, e os índices r95p e r99p capturam os volumes acumulados em dias extremamente chuvosos, refletindo a severidade desses eventos. O rx1day representa o valor máximo de precipitação diária, sendo especialmente útil para análise de eventos extremos isolados, e o SDII fornece a intensidade média da chuva em dias chuvosos, relacionando quantidade e frequência.

Ao analisar o comportamento histórico desses índices, é possível identificar tendências distintas entre as estações. Por exemplo, em União dos Palmares, observou-se aumento nos valores de r95p e r99p, evidenciando maior concentração de chuva em poucos eventos extremos, com risco potencial para alagamentos e erosão. Em contraste, a estação de Viçosa apresentou aumento expressivo nos valores de CDD, indicando uma tendência ao prolongamento de períodos secos. Já em Santana do Mundaú, os índices como SDII e r10mm mostraram valores mais estáveis ao longo do tempo, sugerindo menor variação nos extremos pluviométricos.

Esses resultados ilustram a diversidade de comportamentos hidrológicos dentro da área estudada, reforçando a importância do uso de múltiplos índices para compreender a dinâmica das chuvas e seus impactos potenciais. A literatura destaca que a combinação de diferentes métricas hidrológicas permite uma análise mais robusta e integrada das alterações nos regimes de precipitação, o que é importante para subsidiar políticas públicas em regiões vulneráveis (Marengo *et al.*, 2020; Santos & Lima, 2018). A interpretação conjunta dessas métricas é essencial para subsidiar estratégias de adaptação frente à variabilidade climática, tanto no contexto agrícola quanto urbano, conforme discutido por estudos que associam a resiliência climática ao monitoramento integrado de variáveis hidrometeorológicas (IPCC, 2022; Cunha *et al.*, 2019).

6.3 INVESTIGAÇÃO DE TENDÊNCIAS NAS SÉRIES CLIMÁTICAS DE PLUVIOSIDADE

Considerando todas as estações avaliadas, observou-se comportamento diverso entre os índices e localidades, refletindo a variabilidade espacial e temporal do regime de chuvas na região.

Tabela 2 – Tendências dos Índices de Extremos Pluviométricos por Estação

Estação	Índice	Inclinação	unidade	p-
---------	--------	------------	---------	----

				valor
Angelim	CDD	-1.474	dias	0.264
	CWD	-0.004	dias	0.917
	r10mm	-0.006	mm/ano	0.979
	r20mm	0.024	mm/ano	0.893
	r95p	4.349	mm	0.428
	r99p	1.941	mm	0.483
	rx1day	1.591	mm	0.462
	SDII	0.299	mm/dia	0.096
Capoeiras	CDD	0.194	dias	0.886
	CWD	-0.022	dias	0.874
	r10mm	-0.085	mm/ano	0.882
	r20mm	0.439	mm/ano	0.342
	r95p	13.612	mm	0.215
	r99p	3.511	mm	0.327
	rx1day	-0.103	mm	0.945
	SDII	0.248	mm/dia	0.125
Correntes	CDD	1.010	dias	0.000
	CWD	-0.115	dias	0.071
	r10mm	0.574	mm/ano	0.014
	r20mm	0.330	mm/ano	0.009
	r95p	9.392	mm	0.000
	r99p	0.173	mm	0.552
	rx1day	0.158	mm	0.622
	SDII	0.095	mm/dia	0.040
Lagoa do Ouro	CDD	0.187	dias	0.894
	CWD	-0.019	dias	0.889
	r10mm	-0.091	mm/ano	0.890
	r20mm	0.434	mm/ano	0.335
	r95p	13.723	mm	0.210
	r99p	3.632	mm	0.322
	rx1day	-0.108	mm	0.941
	SDII	0.257	mm/dia	0.117
Marechal Deodoro-Cinal	CDD	-0.527	dias	0.108
	CWD	0.229	dias	0.057
	r10mm	-1.614	mm/ano	0.000
	r20mm	-0.992	mm/ano	0.000
	r95p	-36.407	mm	0.000
	r99p	-1.008	mm	0.000
	rx1day	-0.920	mm	0.048
	SDII	-0.376	mm/dia	0.000
Messias	CDD	-0.527	dias	0.108
	CWD	0.229	dias	0.057
	r10mm	-1.614	mm/ano	0.000
	r20mm	-0.992	mm/ano	0.000
	r95p	-36.407	mm	0.000
	r99p	-1.008	mm	0.000
	rx1day	-0.920	mm	0.048
	SDII	-0.376	mm/dia	0.000
Quebrangulo	CDD	0.275	dias	0.000
	CWD	-0.150	dias	0.008
	r10mm	-0.203	mm/ano	0.119
	r20mm	0.038	mm/ano	0.578
	r95p	-0.864	mm	0.503
	r99p	-0.500	mm	0.348
	rx1day	-0.251	mm	0.205
	SDII	0.036	mm/dia	0.113

Satuba	CDD	0.185	dias	0.341
	CWD	0.293	dias	0.013
	r10mm	1.821	mm/ano	0.000
	r20mm	0.757	mm/ano	0.005
	r95p	3.856	mm	0.440
	r99p	0.070	mm	0.863
	rx1day	0.140	mm	0.689
	SDII	0.135	mm/dia	0.001
Terezinha	CDD	0.192	dias	0.881
	CWD	-0.021	dias	0.872
	r10mm	-0.087	mm/ano	0.874
	r20mm	0.442	mm/ano	0.328
	r95p	13.891	mm	0.208
	r99p	3.704	mm	0.317
	rx1day	-0.112	mm	0.938
	SDII	0.263	mm/dia	0.112
Viçosa	CDD	1.010	dias	0.000
	CWD	-0.115	dias	0.071
	r10mm	0.574	mm/ano	0.014
	r20mm	0.330	mm/ano	0.009
	r95p	9.392	mm	0.000
	r99p	0.173	mm	0.552
	rx1day	0.158	mm	0.622
	SDII	0.095	mm/dia	0.040
Atalaia	CDD	0.051	dias	0.455
	CWD	-0.143	dias	0.000
	r10mm	0.270	mm/ano	0.003
	r20mm	0.114	mm/ano	0.005
	r95p	0.091	mm	0.896
	r99p	0.000	mm	0.592
	rx1day	0.161	mm	0.153
	SDII	0.091	mm/dia	0.000
Bom Conselho	CDD	-0.615	dias	0.132
	CWD	0.105	dias	0.003
	r10mm	0.321	mm/ano	0.018
	r20mm	0.130	mm/ano	0.005
	r95p	0.213	mm	0.033
	r99p	0.209	mm	0.209
	rx1day	0.103	mm	0.005
	SDII	0.117	mm/dia	0.008
Brejão	CDD	0.111	dias	0.735
	CWD	-0.214	dias	0.129
	r10mm	-3.250	mm/ano	0.001
	r20mm	-2.143	mm/ano	0.000
	r95p	19.032	mm	0.092
	r99p	0.349	mm	0.412
	rx1day	-2.150	mm	0.048
	SDII	-0.063	mm/dia	0.008
Caetés	CDD	0.414	dias	0.413
	CWD	0.100	dias	0.028
	r10mm	-0.345	mm/ano	0.454
	r20mm	0.138	mm/ano	0.008
	r95p	8.611	mm	0.000
	r99p	0.173	mm	0.552
	rx1day	0.008	mm	0.907
	SDII	0.033	mm/dia	0.010
Canhotinho	CDD	0.258	dias	0.002

	CWD	0.000	dias	0.714
	r10mm	0.500	mm/ano	0.367
	r20mm	0.333	mm/ano	0.009
	r95p	17.139	mm	0.095
	r99p	0.361	mm	0.145
	rx1day	0.106	mm	0.753
	SDII	0.014	mm/dia	0.219
Capela	CDD	0.667	dias	0.067
	CWD	-0.056	dias	0.714
	r10mm	0.193	mm/ano	0.101
	r20m	0.141	mm/ano	0.003
	r95p	22.861	mm	0.031
	r99p	0.241	mm	0.279
	rx1day	0.003	mm	0.409
	SDII	0.049	mm/dia	0.000
Garanhuns	r10mm	0.386	mm/ano	0.003
	r20mm	0.104	mm/ano	0.000
	r95p	26.667	mm	0.000
	r99p	0.497	mm	0.000
	rx1day	0.042	mm	0.279
	SDII	0.039	mm/dia	0.000
Ibateguara	CDD	-1.000	dias	0.183
	CWD	0.122	dias	0.006
	r10mm	0.154	mm/ano	0.180
	r20mm	0.103	mm/ano	0.008
	r95p	13.000	mm	0.019
	r99p	0.303	mm	0.001
	rx1day	0.075	mm	0.620
	SDII	0.028	mm/dia	0.046
Jucati	CDD	0.263	dias	0.475
	CWD	0.107	dias	0.005
	r10mm	-0.012	mm/ano	0.812
	r20mm	0.068	mm/ano	0.006
	r95p	19.417	mm	0.001
	r99p	0.460	mm	0.002
	rx1day	0.008	mm	0.748
	SDII	0.024	mm/dia	0.000
Maceió	r10mm	0.145	mm/ano	0.000
	r20mm	0.105	mm/ano	0.001
	r95p	13.889	mm	0.171
	r99p	0.233	mm	0.032
	rx1day	0.051	mm	0.019
	SDII	0.024	mm/dia	0.000
Murici	CDD	-0.274	dias	0.050
	CWD	0.000	dias	0.812
	r10mm	0.128	mm/ano	0.000
	r20mm	0.077	mm/ano	0.012
	r95p	12.417	mm	0.085
	r99p	0.166	mm	0.000
	rx1day	0.013	mm	0.037
	SDII	0.015	mm/dia	0.001
Rio Largo	CDD	0.750	dias	0.080
	CWD	-0.200	dias	0.037
	r10mm	0.109	mm/ano	0.001
	r20mm	0.105	mm/ano	0.005
	r95p	16.889	mm	0.027
	r99p	0.204	mm	0.048

	rx1day	0.014	mm	0.168
	SDII	0.014	mm/dia	0.010
Santana do Mundaú	CDD	-0.259	dias	0.215
	CWD	0.118	dias	0.027
	r10mm	-0.146	mm/ano	0.000
	r20mm	-0.059	mm/ano	0.009
	r95p	-10.944	mm	0.145
	r99p	-0.371	mm	0.097
	rx1day	-0.020	mm	0.220
	SDII	-0.007	mm/dia	0.112
União dos Palmares	CDD	-0.106	dias	0.381
	CWD	0.022	dias	0.298
	r10mm	0.113	mm/ano	0.000
	r20mm	0.073	mm/ano	0.003
	r95p	16.583	mm	0.005
	r99p	0.293	mm	0.009
	rx1day	0.019	mm	0.003
	SDII	0.012	mm/dia	0.003

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Em termos gerais, o índice CDD (número máximo de dias secos consecutivos) apresentou tendência de aumento em cerca da metade das estações analisadas, embora apenas em Viçosa ($p = 0,000$) e Canhotinho ($p = 0,002$) essa variação tenha sido estatisticamente significativa. Tal padrão pode indicar a ampliação dos períodos de estiagem nessas localidades, o que implica diretamente na recarga hídrica dos aquíferos subterrâneos, sobretudo em regiões semiáridas, onde a irregularidade pluviométrica compromete a reposição natural dos recursos hídricos. De acordo com estudos de Rodrigues *et al.* (2021), o aumento dos períodos secos está associado à diminuição da infiltração e da recarga dos aquíferos, afetando tanto os usos urbanos quanto agrícolas da água. Além disso, Silva *et al.* (2019) reforçam que a intensificação de eventos extremos secos compromete os serviços ecossistêmicos hídricos e demanda estratégias de gestão integradas para garantir a sustentabilidade do abastecimento em médio e longo prazo. Em contrapartida, algumas estações apresentaram tendência de redução no CDD, como Messias, Santana do Mundaú e Bom Conselho, embora sem significância estatística na maioria dos casos.

O índice CWD (número máximo de dias chuvosos consecutivos) revelou comportamento mais equilibrado, com tendências de aumento em Ibateguara, Jucati e Caetés, todas com significância estatística ($p < 0,05$), sugerindo maior persistência de períodos chuvosos nesses pontos. Por outro lado, estações como Atalaia e Quebrangulo apresentaram tendência significativa de redução nesse índice, o que

pode sinalizar uma maior fragmentação dos eventos de chuva.

No que se refere à frequência de eventos moderados, os índices r10mm e r20mm mostraram tendências de aumento em diversas estações, com destaque para Viçosa, Atalaia, União dos Palmares e Garanhuns, todas com resultados estatisticamente significativos. Esse comportamento está alinhado com a intensificação das chuvas moderadas observada em outras regiões do Nordeste, associada a mudanças na circulação atmosférica de grande escala (Silva *et al.*, 2020).

Por outro lado, locais como Messias e Brejão apresentaram reduções significativas nesses índices, possivelmente devido a alterações nos sistemas meteorológicos locais e à variabilidade mesoclimática (Cavalcanti *et al.*, 2015).

Os índices percentuais r95p e r99p, que capturam os volumes extremos de precipitação, indicaram crescimento em Caetés, Viçosa, Jucati e Capela, sinalizando maior severidade nos episódios extremos. Tal comportamento tem sido associado à intensificação dos eventos hidrometeorológicos extremos na América do Sul (Marengo *et al.*, 2017). Em contrapartida, reduções desses índices em Messias, Santana do Mundaú e Brejão, ainda que estatisticamente significativas, podem refletir alterações no padrão de convergência de umidade atmosférica (Reboita *et al.*, 2010).

A intensidade máxima diária ($r \times 1\text{day}$) também mostrou-se crescente em boa parte das estações, como Viçosa, Garanhuns e União dos Palmares. Esse padrão reforça a hipótese de concentração das chuvas em episódios curtos e intensos, aumentando o risco de escorramento superficial e reduzindo a recarga hídrica (Tavares *et al.*, 2023).

O índice SDII, que expressa a intensidade média das chuvas, também apresentou tendência de aumento em diversas estações, como Viçosa e União dos Palmares. Esse comportamento acompanha achados globais que apontam intensificação da média diária de precipitação associada ao aquecimento global (Zhang *et al.*, 2019).

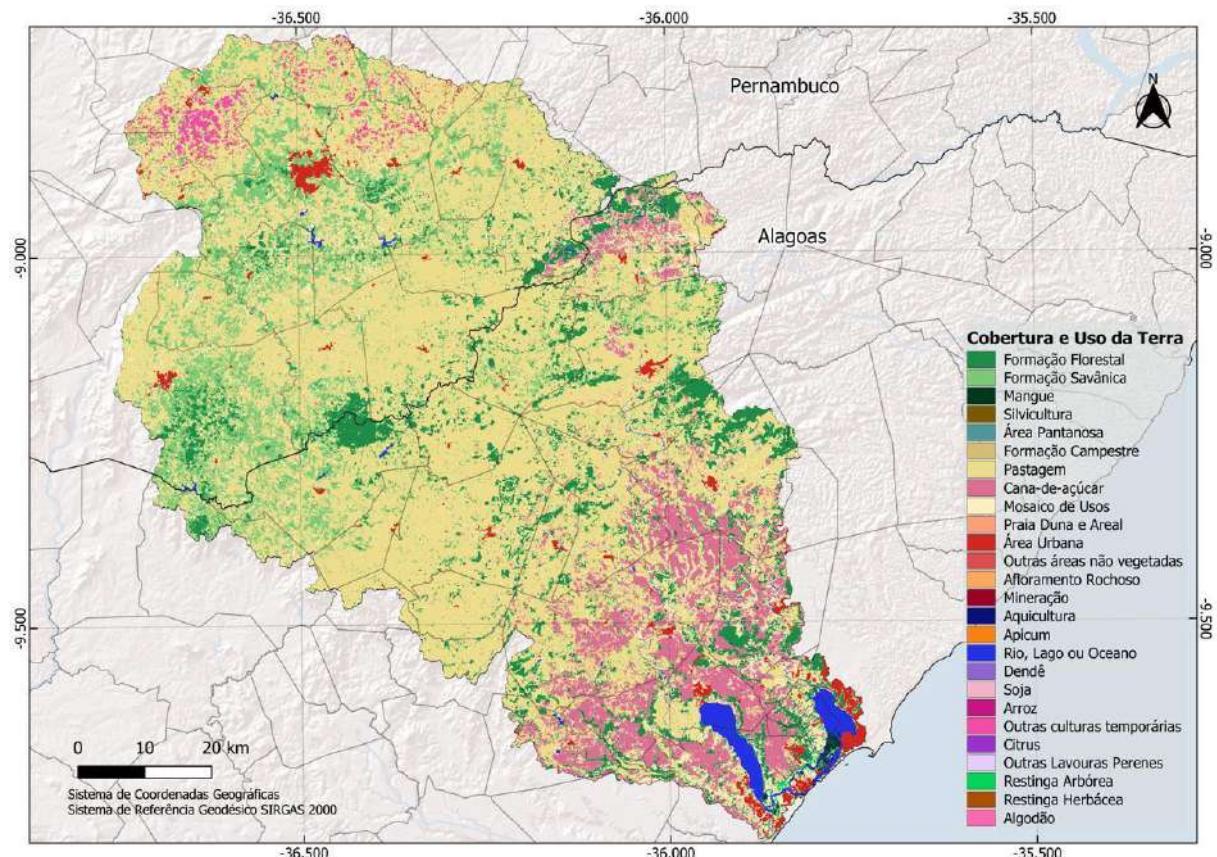
De modo geral, os resultados obtidos demonstram elevada variabilidade nos padrões de tendência entre as estações, revelando a complexidade climática da região estudada. A presença de tendências estatisticamente significativas para índices críticos em algumas localidades reforça a necessidade de monitoramento contínuo e localizado, a fim de orientar adequadamente políticas de gestão dos

recursos hídricos, especialmente em regiões dependentes de poços artesianos para abastecimento humano e agrícola.

6.4 VARIAÇÃO DA COBERTURA E USO DA TERRA NA UNIDADE DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS MUNDAÚ/PARAÍBA

Os dados revelam que a agropecuária é a principal forma de uso da terra na Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba (UGRHMP), ocupando 587.321,9 hectares, o que representa 74,45% da área total. Em seguida, destacam-se as formações florestais, com 178.503,2 hectares (22,63%), seguidas pelas áreas não vegetadas (13.891,6 ha; 1,77%) e corpos d'água (10.420,3 ha; 1,32%). As áreas de vegetação arbustiva e herbácea somam apenas 587,1 hectares, representando 0,08% da área (Figura 8).

Figura 8: Mapa de Cobertura e Uso da Terra em 2023 com base nos dados do MapBiomas.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da Plataforma MapBiomas Brasil, 2025.

Esses números evidenciam forte pressão antrópica sobre a cobertura vegetal natural, resultado da expansão das atividades agrícolas e pecuárias, especialmente com predomínio de pastagens. Essa substituição da vegetação nativa por uso antrópico tem sido intensificada nas últimas décadas, especialmente nas regiões semiáridas, como reflexo da busca por produtividade e expansão da fronteira agropecuária (Silva *et al.*, 2018; INPE, 2023).

Tal dinâmica impacta diretamente a sustentabilidade dos ecossistemas da região, promovendo a redução da biodiversidade, aumento da suscetibilidade hídrica, e intensificação de processos erosivos e assoreamento dos corpos d'água. Estudos apontam que a conversão do uso do solo está associada ao comprometimento dos serviços ecossistêmicos, agravando os efeitos da variabilidade climática e a degradação ambiental (Medeiros *et al.*, 2021; Braga *et al.*, 2020).

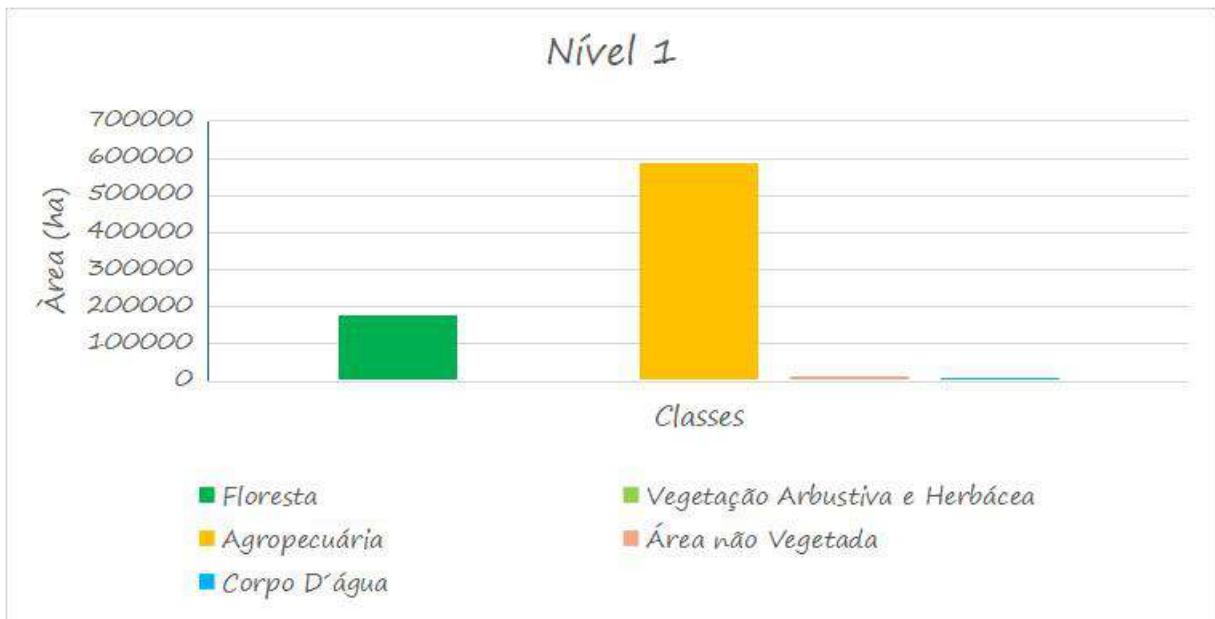
A análise dos dados revela a predominância significativa da atividade agropecuária na região, o que pode gerar impactos relevantes sobre os recursos naturais, como a degradação da terra e a redução da qualidade hídrica, caso não sejam adotadas práticas sustentáveis (Lal, 2001; FAO, 2017). A cobertura florestal, embora ainda relevante, representa aproximadamente 23% da área total da bacia, sendo composta, no nível 2 da classificação do MapBiomas, predominantemente por formações florestais ombrófilas e estacionais. Essa configuração pode ser insuficiente para garantir a estabilidade ecológica da bacia, especialmente no que diz respeito à proteção de recursos hídricos e ao controle de processos erosivos (Silva *et al.*, 2022; Dias *et al.*, 2019).

A baixa presença de vegetação arbustiva e herbácea composta por áreas esparsas de vegetação rala, savanas e campos naturais em estágio inicial de regeneração sugere fragilidade ambiental e possível degradação. As áreas não vegetadas, que incluem superfícies expostas e áreas de mineração, reforçam esse quadro, sobretudo em regiões de expansão urbana. Já os corpos d'água, que ocupam pequena fração do território, ressaltam a importância de medidas contínuas de conservação e de recuperação da vegetação ciliar para garantir a preservação dos recursos hídricos e a resiliência do ecossistema local.

A análise dos dados de transição de uso e cobertura da terra na Bacia do Mundaú, entre os anos de 1985 e 2023 (Figura 9), revela uma significativa conversão de áreas de vegetação nativa para atividades agropecuárias. Aproximadamente 45.000 hectares de vegetação florestal foram convertidos em

pastagens e áreas agrícolas, representando cerca de 5,7% da área total da bacia. Essa substituição é particularmente evidente em zonas próximas a corpos d'água e encostas, áreas críticas para a estabilidade ecológica da bacia.

Figura 9– Cobertura e Uso da Terra por Classes (Nível 1) - 2023

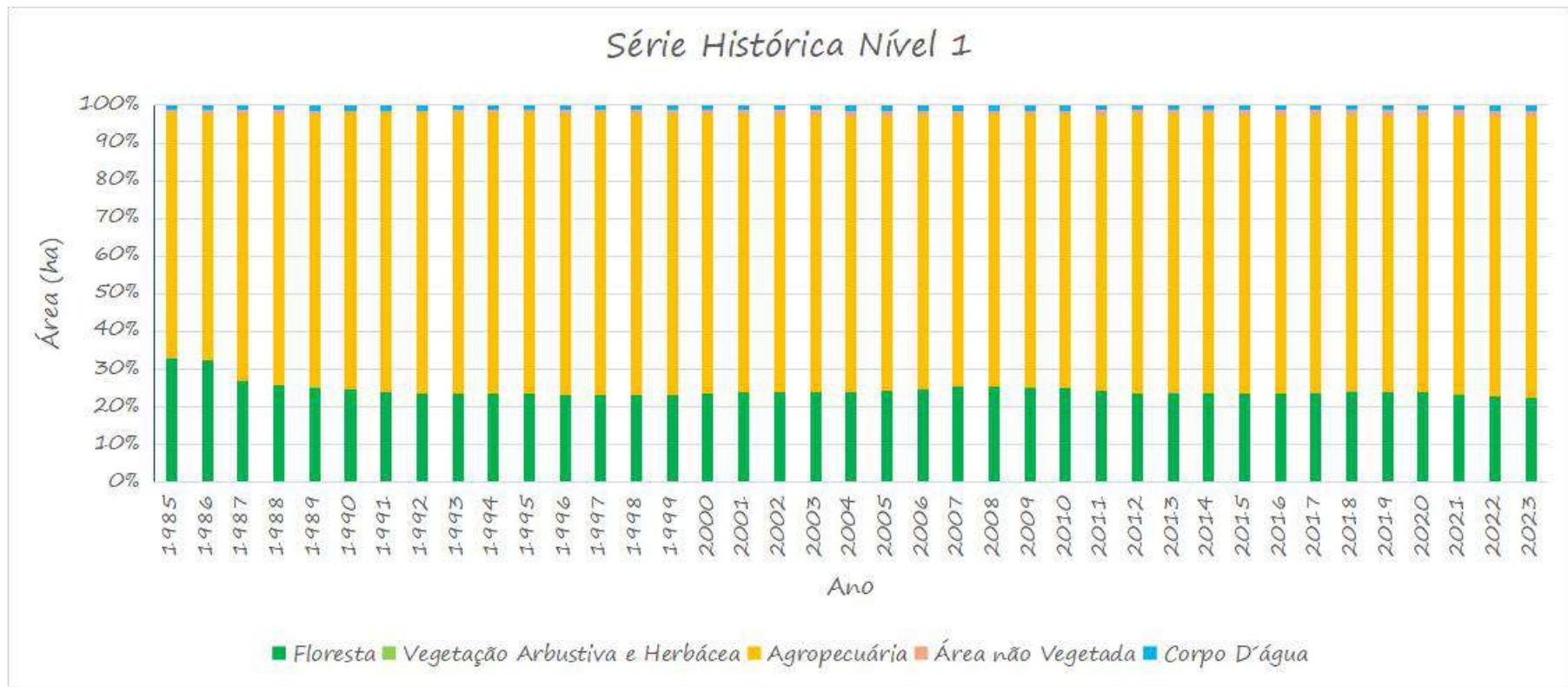


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Considerando essa dinâmica de ocupação, recomenda-se priorizar iniciativas voltadas à recuperação da cobertura florestal, com ênfase em áreas degradadas ou de transição, de modo a ampliar a proteção ambiental e os serviços ecossistêmicos associados (Chazdon, 2008; Brancalion *et al.*, 2016). Além disso, é fundamental adotar práticas agropecuárias mais sustentáveis, como sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, que visem minimizar os impactos da atividade sobre os recursos naturais (Carvalho *et al.*, 2010). O monitoramento contínuo das áreas não vegetadas também se mostra necessário, a fim de conter o avanço de processos de degradação (Santos *et al.*, 2021). Por fim, destaca-se a importância da recuperação da vegetação ciliar nas margens dos corpos d'água como uma estratégia essencial para garantir a qualidade e a disponibilidade hídrica na região (Tundisi; Tundisi, 2008).

A série histórica apresentada na Figura 10, abrangendo o período de 1985 a 2023, permite observar mudanças significativas na CUT da UGRH com tendências distintas para cada classe analisada. Essa evolução reflete transformações ambientais e antrópicas que impactam diretamente a sustentabilidade da região.

Figura 10 - Série Histórica (1985 – 2023) das Classes de Cobertura e Uso da Terra (Nível 1)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A análise da série histórica de cobertura florestal nas Bacias do Mundaú e Paraíba, baseada nos dados da Coleção 9 do MapBiomas, revela perda total de aproximadamente 82.447 hectares entre 1985 e 2023, o que corresponde a redução de 31,8% da cobertura florestal original. A década de 1985 a 1995 foi a mais crítica, com perda de 38.950 hectares (15%), seguida pelo período de 1995 a 2005, com 30.000 hectares desmatados (13,6%). A partir de 2005, observa-se desaceleração na taxa de desmatamento, com perdas de 10.000 hectares (5,3%) entre 2005 e 2015, e de 3.497 hectares (1,9%) entre 2015 e 2023. Essa tendência de redução nas taxas de desmatamento pode refletir a implementação de políticas de conservação e maior fiscalização ambiental na região, bem como a expansão da ocupação das terras agrícolas disponíveis. Tais mudanças estão alinhadas com o fortalecimento das políticas públicas ambientais no Brasil após 2004, como a criação e efetivação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e o uso de tecnologias de monitoramento por satélite (Assunção *et al.*, 2015; Almeida *et al.*, 2016), os quais influenciaram a governança ambiental também em outros biomas e bacias hidrográficas.

A classe Vegetação Arbustiva e Herbácea, por outro lado, mantém valores reduzidos ao longo de toda a série histórica, iniciando com 941 hectares em 1985 e diminuindo para 587 hectares em 2023, o que corresponde a redução de 37,6%. No entanto, esse comportamento não reflete processo recente de degradação ou recuperação, mas sim padrão característico da paisagem da área de estudo, onde essa classe de cobertura nunca foi predominante. Historicamente, as áreas com vegetação arbustiva ou herbácea são limitadas nesse recorte, o que pode estar relacionado tanto às condições ecológicas locais quanto ao histórico de uso da terra. A baixa presença dessa classe sugere que não se trata de cobertura significativa na configuração ambiental da bacia, e, portanto, a variação deve ser interpretada com cautela no contexto da análise temporal.

A Agropecuária é, de forma evidente, a classe dominante ao longo de todo o período, iniciando com 515.165 hectares em 1985 e alcançando 587.322 hectares em 2023. Esse aumento de 72.157 hectares, equivalente ao crescimento de 14%, reforça a importância dessa atividade econômica na bacia, mas também indica a pressão exercida sobre os recursos naturais. A estabilização observada nos últimos anos sugere que a expansão territorial pode estar se aproximando do limite físico,

mas o impacto já causado na redução da vegetação nativa e na saúde ambiental das bacias é significativo.

As áreas não vegetadas também registram crescimento expressivo, passando de 440 hectares em 1985 para 13.932 hectares em 2023, o que representa um aumento de 3.065%. Esse crescimento acentuado pode estar associado a processos de urbanização, solos expostos devido à degradação ambiental, mineração ou outros usos que não possuem cobertura vegetal. Essa expansão é preocupante, pois reflete a intensificação de áreas vulneráveis a processos erosivos, com impactos diretos no assoreamento dos corpos d'água e na qualidade hídrica da bacia.

Os corpos d'água, por sua vez, apresentam variações pequenas ao longo do tempo, partindo de 9.295 hectares em 1985 e chegando a 10.420 hectares em 2023, o que representa aumento discreto de 12,1%. Essa relativa estabilidade sugere que os corpos hídricos naturais da bacia foram, em geral, preservados, entretanto, a ausência de um aumento significativo pode refletir limitações no processo de restauração ecológica ou uso desordenado do solo em áreas de recarga. Estudos destacam que, mesmo com estabilidade superficial, há necessidade constante de conservação e recuperação de nascentes e zonas ripárias para manutenção da qualidade e disponibilidade hídrica, especialmente em regiões vulneráveis às mudanças no uso da terra (Tundisi; Tundisi, 2010; Nobre *et al.*, 2016).

A redução da vegetação natural, especialmente da floresta, impacta diretamente o equilíbrio ambiental, comprometendo funções essenciais como a regulação do ciclo hidrológico, a conservação da biodiversidade e a proteção contra processos erosivos. De acordo com Lima, Silva e Ferreira (2021), a supressão de vegetação nativa compromete a resiliência ecológica das bacias hidrográficas e intensifica a suscetibilidade aos eventos hidrológicos extremos. O aumento expressivo das áreas não vegetadas é outro ponto de alerta, pois pode agravar os processos de degradação ambiental e ampliar a exposição da terra a processos de compactação e escoamento superficial.

Embora os corpos d'água tenham permanecido relativamente estáveis, a pressão contínua sobre o uso da terra na bacia pode ameaçar sua qualidade e disponibilidade hídrica no futuro, sobretudo nas regiões que perderam cobertura vegetal ciliar, como destacam Pereira, Andrade e Coutinho (2020), ao reforçar a

importância da vegetação ripária na manutenção da integridade física e química dos sistemas aquáticos.

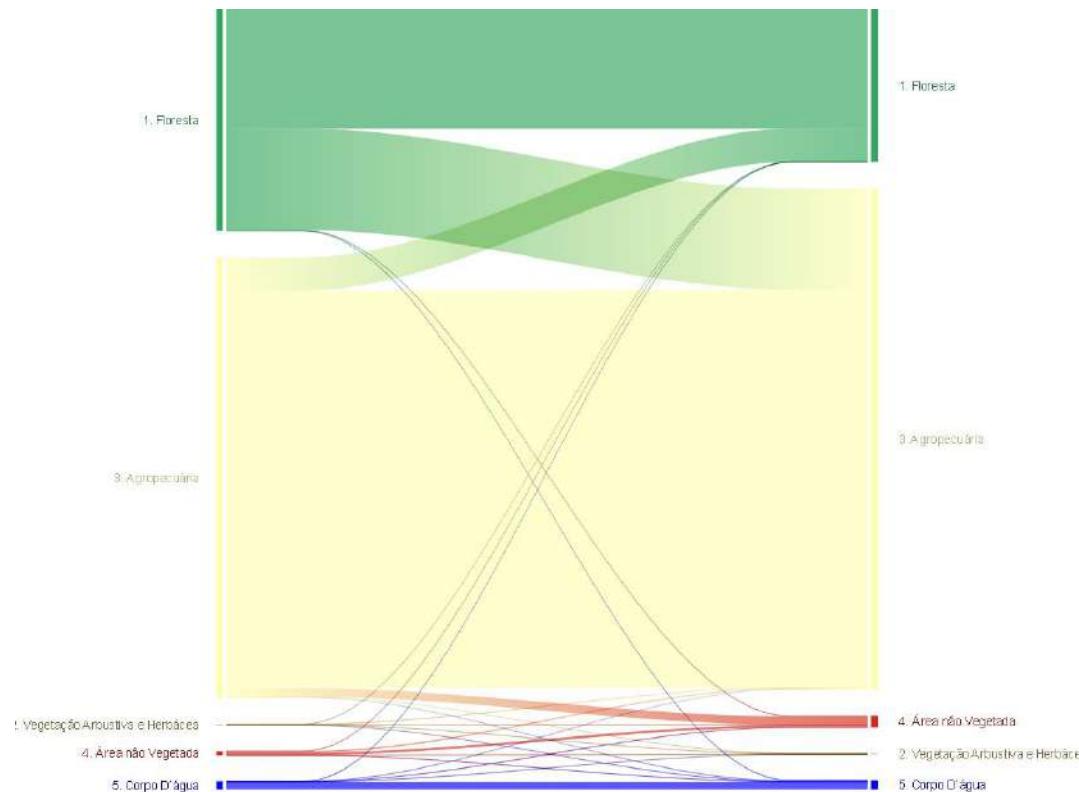
A recuperação da cobertura vegetal em áreas degradadas, especialmente nas margens dos corpos d'água, é amplamente reconhecida como estratégia fundamental para garantir a qualidade e disponibilidade hídrica. Estudos indicam que a restauração de matas ciliares contribui para a regulação do ciclo hidrológico, redução da erosão e proteção das nascentes (Bruno, 2014; Silva, 2023).

Além disso, práticas agropecuárias mais sustentáveis, como a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), promovem a regeneração ambiental, aumentam a infiltração de água no solo e reduzem a pressão sobre os remanescentes florestais (Balbino *et al.*, 2012). Tais práticas também contribuem para o controle da ocupação desordenada e para a resiliência das paisagens agrícolas frente às mudanças climáticas.

Martinkoski e Vogel (2013) destacam que os sistemas agroflorestais favorecem a conservação dos recursos naturais e a sustentabilidade de áreas produtivas. Já Turetta e Balieiro (2022) reforçam que políticas públicas de manejo sustentável devem considerar a adoção de técnicas conservacionistas, especialmente em regiões com alta suscetibilidade hídrica e ecológica. Essas evidências reforçam a necessidade de implementar estratégias integradas de manejo do uso da terra e conservação ambiental, com foco na recuperação da vegetação nativa e na proteção dos recursos hídricos.

Os dados apresentados na Figura 11 evidenciam mudanças significativas no uso e cobertura da terra na Bacia do Mundaú entre 1985 e 2023, com destaque para a conversão de áreas naturais compreendidas aqui como as formações vegetais nativas classificadas no Nível 1 do MapBiomas, como Floresta e Vegetação Arbustiva e Herbácea para usos antrópicos, especialmente agropecuária. A classe Floresta sofreu redução, passando de 173.378,8 hectares em 1985 para 139.445,1 hectares em 2023, resultando em perda de 33.933,7 hectares.

Figura 11: Gráfico de Sankey - Fluxo de transição na CUT na Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba entre 1985 e 2023



Fonte: Dados MapBiomas Brasil, 2025.

Essa perda reflete a pressão contínua sobre as formações florestais, com parte considerável dessas áreas sendo convertida para agropecuária, que apresentou um aumento expressivo, de 515.164,9 hectares para 585.783,2 hectares no mesmo período. No entanto, os dados de transição mais recentes também indicam um ganho modesto de cobertura florestal, oriundo de áreas anteriormente destinadas à agropecuária, em especial na porção alta da bacia, sugerindo iniciativas pontuais de regeneração ou reflorestamento, que ainda necessitam de continuidade e monitoramento para que resultem em recuperação efetiva.

. A classe Vegetação Arbustiva e Herbácea, que ocupava 941,8 hectares em 1985, praticamente desapareceu, com apenas 615,5 hectares remanescentes em 2023. Na verdade, como dito antes, essa classe já não tinha grande representatividade na bacia. Essa redução sugere que essa vegetação foi amplamente substituída por outras finalidades, principalmente pela expansão da agropecuária e das áreas não vegetadas. A classe Área Não Vegetada, por sua vez, cresceu significativamente, de 4.410,6 hectares em 1985 para 13.571,6 hectares em 2023.

De acordo com os dados do Nível 2 do MapBiomass, esse aumento expressivo se distribui entre subcategorias como áreas urbanizadas, terra exposta e mineração. Em 2023, por exemplo, as áreas urbanizadas representaram cerca de 6.480 hectares, enquanto áreas de terra expostas e outras superfícies não vegetadas (como rochas e infraestrutura) somaram aproximadamente 7.091 hectares. Esse crescimento de mais de três vezes ao longo do período analisado reflete processos como adensamento urbano, expansão de infraestruturas e intensificação do uso da terra, indicando perda de cobertura vegetal e aumento de áreas degradadas ou antropizadas.

Os Corpos D'água apresentaram relativa estabilidade, com aumento discreto de 9.295,7 hectares em 1985 para 10.413,8 hectares em 2023, o que representa variação de cerca de 12%. Esse crescimento pode ser atribuído a mudanças na delimitação de áreas hídricas, como a inclusão de novos reservatórios ou modificações no fluxo hídrico. No entanto, é importante considerar a possível degradação da qualidade dos corpos d'água devido ao aumento da pressão antrópica nas áreas circundantes.

A análise dos dados e do gráfico de Sankey indica que as dinâmicas de uso do terra nas bacias são marcadas pela conversão de áreas naturais para usos

produtivos. O crescimento expressivo da agropecuária em regiões com vocação produtiva, como as bacias hidrográficas estudadas, de fato reflete seu papel econômico estratégico. No entanto, essa expansão muitas vezes ocorre em detrimento de formações vegetais naturais, como florestas e vegetação arbustiva, o que compromete serviços ecossistêmicos fundamentais. Segundo Pires e Santos (2020), a conversão de áreas naturais para uso agropecuário está associada à redução da capacidade de regulação hídrica, à intensificação de processos erosivos e à perda de biodiversidade.

Estudos como os de Sparovek *et al.* (2015) apontam que o avanço das áreas não vegetadas e da agricultura intensiva está diretamente relacionado à fragmentação da paisagem e ao agravamento de processos de degradação ambiental, principalmente quando não há práticas sustentáveis de manejo do solo. Essa dinâmica afeta a paisagem natural e altera drasticamente os regimes ecológicos locais. Portanto, o crescimento das áreas agrícolas e a diminuição das formações naturais devem ser considerados como indicativos da pressão antrópica sobre os ecossistemas, demandando estratégias de planejamento territorial que conciliem a produção com a conservação ambiental. Os dados apresentados reforçam a urgência de integrar planejamento ambiental e desenvolvimento econômico para assegurar o equilíbrio entre produção e conservação na Bacia do Mundaú.

Com base nos dados fornecidos na Tabela 3, observa-se os dados de transição que compara o uso da terra na Bacia do Mundaú entre 1985 e 2023, destacando as transformações ocorridas ao longo do período. Abaixo, seguem os dados completos para ambos os anos, seguidos pela análise interpretativa.

Tabela 3 - Dados da Transição das coberturas da terra

Nível 1	Nível 2	Área	(ha)	em	Área	(ha)	em	Diferença
		1985		2023		(ha)		
Vegetação	Floresta	173.378,8		139.445,1		-33.933,7		
Nativa								
	Formação Florestal	86.488,6		50.622,5		-35.866,1		
	Formação Savânica	58.996,3		38.437,9		-20.558,4		
	Mangue	813,3		2.453,1		+1.639,8		
	Vegetação	941,8		615,5		-326,3		
	Arbustiva/Herbácea							

	Campina	831,2	1.448,6	+617,4
	Alagada/Pantanosa			
	Formação Campestre	10.307,6	17.206,7	+6.899,1
Uso Antrópico	Agropecuária	515.164,9	585.783,2	+70.618,3
	Pastagem	385.884,6	370.204,7	-15.679,9
	Agricultura	13.552,3	20.229,9	+6.677,6
	Silvicultura	9.772,3	18.875,1	+9.102,8
	Mosaico de Usos	6.302,1	29.546,0	+23.243,9
	Área Urbanizada	6.349,4	60.899,3	+54.549,9
	Outras Áreas Não Vegetadas	4.410,6	13.571,6	+9.161,0
Água	Corpos D'água	8.298,5	13.457,1	+5.158,6
	Rios, Lagos e Oceano	15.276,5	15.717,6	+441,1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A classe floresta sofreu redução, passando de 173.378,8 hectares em 1985 para 139.445,1 hectares em 2023, representando perda de 33.933,7 hectares. Grande parte dessa área foi convertida para agropecuária e pastagens, que juntas receberam a maior parcela das áreas anteriormente florestadas. As formações florestais e savânicas, que somavam 163.652,7 hectares em 1985, foram severamente impactadas, resultando em perdas combinadas de mais de 62.425 hectares. A formação campestre também apresentou redução drástica, caindo de 18.922,1 hectares para 1.950,1 hectares, sugerindo conversões aceleradas para usos agrícolas e urbanos.

Os mangues, ao contrário, apresentaram aumento, passando de 815,3 hectares em 1985 para 2.453,8 hectares em 2023. Esse aumento na cobertura de manguezais pode estar associado a uma combinação de fatores, como a melhoria nas técnicas de detecção e classificação do uso do solo em séries temporais mais recentes, além da ampliação dos esforços de proteção ambiental em áreas costeiras. De acordo com Souza Filho *et al.* (2011), políticas públicas e normativas como a criação de unidades de conservação e a implementação do Código Florestal Brasileiro contribuíram para a preservação e até a recuperação de ecossistemas de manguezal.

Além disso, estudos como o de Ferreira e Lacerda (2016) destacam que programas de recuperação ambiental e ações de fiscalização mais eficazes nas

últimas décadas foram decisivos para a contenção do avanço da urbanização e da degradação em áreas de mangue. Essas iniciativas têm promovido a regeneração natural e a recomposição da vegetação em zonas costeiras anteriormente impactadas. O mesmo ocorreu com o campo alagado e pantanoso, que aumentou de 835,9 hectares para 1.448,6 hectares.

As áreas de agropecuária registraram aumento expressivo, passando de 515.164,9 hectares para 585.783,2 hectares, consolidando-se como a principal ocupação da terra na bacia. Esse crescimento expressivo das áreas agropecuárias, especialmente da pastagem, tem sido apontado como um dos principais vetores de pressão sobre os ecossistemas naturais e a biodiversidade. A conversão de vegetações nativas para uso agrícola resulta em fragmentação de habitats, redução da cobertura florestal e intensificação de processos erosivos, comprometendo a qualidade do solo e a regulação do ciclo hidrológico. Segundo Sparovek *et al.* (2019), a expansão da agropecuária no Brasil está fortemente associada à substituição de vegetação nativa por monoculturas e pastagens, fenômeno que se intensificou nas últimas décadas.

De acordo com Alencar *et al.* (2020), essas mudanças no uso da terra refletem a pressão crescente do setor agropecuário sobre áreas anteriormente ocupadas por vegetação natural, com implicações significativas para os serviços ecossistêmicos e a sustentabilidade ambiental das bacias hidrográficas. A pastagem, que compõe grande parte da agropecuária, cresceu de 257.688,4 hectares para 293.944,1 hectares, um aumento de 36.255,7 hectares, reforçando a pressão dessa atividade sobre o ambiente natural.

A classe Área Urbanizada apresentou crescimento, passando de 2.036,8 hectares em 1985 para 56.545,7 hectares em 2023, o que representa aumento superior a 54.500 hectares. Os dados de transição de uso da terra indicam que essa expansão ocorreu predominantemente a partir da conversão de áreas classificadas como Mosaico de Usos (aproximadamente 42 mil hectares), Pastagem (cerca de 2 mil hectares) e Formação Savânica (690 hectares). Dessa forma, o crescimento urbano reflete não apenas o avanço da urbanização em regiões mistas, mas também a transformação gradual de áreas com usos agrícolas e vegetação nativa em espaços voltados à infraestrutura e à habitação.

As áreas não vegetadas, que incluem terras expostas e áreas sem cobertura vegetal, aumentaram de 4.410,6 hectares para 10.745,4 hectares, refletindo

processos de degradação e uso intensivo da terra. Por outro lado, os corpos d'água apresentaram relativa estabilidade, com leve aumento de 1.118,1 hectares, sugerindo que o impacto direto sobre as áreas hídricas foi limitado.

Essa análise evidencia o avanço significativo da ocupação antrópica e a conversão de áreas naturais para atividades produtivas e urbanas. As transformações destacam a necessidade de políticas públicas voltadas para o manejo sustentável, recuperação de áreas degradadas e preservação de remanescentes naturais. Estratégias como proteção de matas ciliares, reflorestamento e práticas agrícolas sustentáveis são fundamentais para equilibrar o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental na Bacia do Mundaú.

Em 1985, a área destinada a lavouras temporárias era de 237,8 hectares, ocupação mínima no contexto geral da bacia. Essa área reflete a utilização limitada da terra para cultivos de ciclo curto, como grãos, vegetais e outras culturas temporárias. Já em 2023, a área cresceu de forma significativa, alcançando 726,1 hectares, o que representa aumento absoluto de 488,3 hectares ao longo do período. Esse crescimento expressivo (cerca de 205%) indica que as lavouras temporárias ganharam maior importância no uso da terra da bacia.

A maior parte das áreas destinadas às lavouras temporárias em 2023 foi convertida de áreas previamente ocupadas por pastagens e agropecuária. Do total de 726,1 hectares dessa categoria em 2023, 563,0 hectares são oriundos de áreas antes destinadas a pastagens, evidenciando a substituição de sistemas extensivos por cultivos agrícolas de ciclo curto. Além disso, pequena parcela (40,3 hectares) veio diretamente de áreas que anteriormente eram usadas exclusivamente para agropecuária. Isso demonstra que a intensificação da agricultura e a diversificação das atividades agropecuárias contribuíram diretamente para o aumento das lavouras temporárias.

Por outro lado, a conversão de vegetação natural para lavouras temporárias foi limitada. Apenas 0,9 hectares vieram de áreas de formação savânica, e cerca de 0,5 hectares são provenientes de áreas classificadas como vegetação arbustiva e herbácea. Esse dado sugere que, embora as lavouras temporárias tenham se expandido, elas não estão pressionando diretamente as formações vegetais nativas de forma significativa, mas sim áreas já antropizadas.

Em 1985, a área destinada às lavouras temporárias estava concentrada em regiões que já eram utilizadas de forma limitada, principalmente por conta da

agropecuária extensiva. Em 2023, o aumento significativo da ocupação dessa categoria reflete a intensificação do uso da terra, com maior aproveitamento para cultivos temporários e a conversão de áreas menos produtivas, como pastagens, em sistemas agrícolas mais diversificados.

Essa expansão pode estar associada a fatores econômicos, como maior demanda por alimentos ou produtos agrícolas específicos, além de avanços tecnológicos que permitiram maior viabilidade para esse tipo de cultivo na bacia. Contudo, o aumento das lavouras temporárias também pode estar relacionado a pressões por uso intensivo da terra, o que pode ter implicações na sua conservação e qualidade a longo prazo.

Em síntese, os dados sobre Lavoura Temporária evidenciam aumento expressivo e importante dessa categoria no período analisado. Esse crescimento foi sustentado, principalmente, pela conversão de áreas de pastagens e agropecuária, com impactos diretos em regiões já ocupadas e pouca pressão adicional sobre áreas naturais. Embora essa expansão seja positiva do ponto de vista produtivo, é fundamental que a gestão dessas áreas adote práticas agrícolas sustentáveis para evitar a degradação da terra e promover um equilíbrio com os recursos naturais da UGRH Mundaú/Paraíba.

Em 1985, a área destinada ao cultivo de cana-de-açúcar (Cana) era de 12.099,6 hectares, segundo dados do MapBiomass. Esse valor reflete não apenas a relevância econômica da cana para a região, mas também a continuidade de um processo histórico de uso intensivo da terra que antecede o início da série temporal analisada. Desde períodos anteriores a 1985, a produção de cana já exercia forte influência sobre a paisagem da bacia, sendo frequentemente associada à conversão de áreas naturais e de pastagens para fins agrícolas, impactando diretamente a vegetação nativa e os ciclos ecológicos da terra.

Apesar de sua importância histórica, no ano de 1985 a área ocupada pela cana-de-açúcar não se mostrava tão extensa em comparação com as áreas dominadas por outras atividades agropecuárias e de pastagem. Ainda assim, seu papel no processo de transformação ambiental da região é significativo, especialmente quando se considera o legado de degradação acumulada desde décadas anteriores.

A cultura da cana-de-açúcar tem raízes profundas na região da Bacia do Mundaú, especialmente em Alagoas e Pernambuco. Desde o período colonial, essa

atividade agrícola desempenha um papel central na economia local. Em Alagoas, por exemplo, a produção de cana-de-açúcar é uma das principais atividades econômicas, com destaque para a produção de açúcar e etanol. Segundo dados do IBGE, em 2023, Alagoas produziu aproximadamente 18,7 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, representando um crescimento de 11,4% em relação ao ano anterior. Esse aumento reflete a importância contínua da cultura na região e seu impacto no uso da terra e nos recursos naturais.

Em Pernambuco, a cana-de-açúcar também é uma cultura de destaque, especialmente na Zona da Mata. O estado é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do Brasil, com uma produção significativa voltada tanto para o mercado interno quanto para exportação. A expansão da cultura ao longo dos anos tem influenciado diretamente a ocupação da terra e a dinâmica socioeconômica da região.

A expansão da cana-de-açúcar na região estudada tem gerado diversos impactos ambientais e socioeconômicos. A substituição de áreas de vegetação nativa por monoculturas de cana-de-açúcar contribui para a perda de biodiversidade, degradação da terra e alterações no ciclo hidrológico. Além disso, a concentração fundiária e a mecanização da colheita têm implicações sociais, como a redução de empregos no campo e a intensificação de conflitos por terra.

Compreender a trajetória histórica da cultura da cana-de-açúcar na região da Bacia do Mundaú é essencial para avaliar os desafios e oportunidades relacionados ao uso sustentável da terra e à conservação dos recursos naturais. Políticas públicas que promovam práticas agrícolas sustentáveis, diversificação de culturas e recuperação de áreas degradadas são fundamentais para equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental na região.

Já o item 3,2,1,5, que se refere a Outras Lavouras Temporárias em 1985, ocupava uma área de 317,0 hectares (Tabela 2). Essa classe compreende cultivos agrícolas de ciclo curto que não incluem a cana-de-açúcar, como grãos, vegetais e outras culturas temporárias. Em 1985, essa área era ainda mais restrita, indicando uma utilização limitada desse tipo de lavoura, provavelmente concentrada em pequenas propriedades ou para consumo local. O uso reduzido sugere que a agricultura temporária diversificada não era uma prática tão disseminada quanto o cultivo de cana ou outras atividades agropecuárias mais consolidadas.

Ambas as categorias, Cana e Outras Lavouras Temporárias, juntas, demonstram que, em 1985, os cultivos agrícolas de ciclo curto ainda tinham uma representatividade moderada no uso da terra da bacia, com a cana ocupando uma posição mais relevante. Contudo, a expansão posterior dessas categorias, observada nos anos seguintes, reflete a intensificação do uso agrícola e a conversão de áreas naturais ou de pastagem para a produção agrícola. A expansão de outras lavouras temporárias, em especial, sinaliza um movimento de diversificação agrícola, que pode ser atribuído a fatores como maior demanda de mercado, adoção de novas tecnologias ou políticas de incentivo à produção agrícola.

Essa análise indica que, embora as lavouras temporárias tivessem pouca expressão em 1985, as mudanças no uso da terra ao longo das décadas seguintes podem ter ampliado consideravelmente a área destinada a essas culturas, especialmente à cana, dada sua relevância econômica e seu impacto ambiental. Essas transformações refletem um padrão de intensificação agrícola e expansão da fronteira agrícola sobre áreas previamente utilizadas de forma menos intensiva ou mesmo naturais.

Os dados apresentados na Figura 12 trazem uma análise mais detalhada da cobertura da terra na Bacia do Mundaú, com base na classificação temática de Nível 2 do MapBiomas. Essa classificação permite a subdivisão da paisagem em classes mais específicas dentro dos grandes grupos de uso e cobertura da terra. No grupo de vegetação nativa, foram analisadas classes como Formação Florestal, Formação Savânica, Vegetação Arbustiva e Herbácea, Mangue, Campina Alagada e Pantanosa, e Formação Campestre. Já no grupo de uso antrópico, incluem-se as classes Agropecuária (com subdivisões em Agricultura, Pastagem e Silvicultura), Mosaico de Usos, Área Urbanizada e Outras Áreas Não Vegetadas. Essa estrutura classificatória permite identificar com maior precisão as dinâmicas de transformação da paisagem, possibilitando uma avaliação aprofundada das mudanças ocorridas ao longo do período histórico.

Figura 12 - Série Histórica (1985 a 2023) das classes de CUT (Nível 2)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A classe Formação Florestal, que representa as áreas de floresta densa, possuía 58.497 hectares em 1985 e sofreu uma redução gradual, atingindo 54.602 hectares em 2023, o que equivale a uma perda de 6,7%. Essa redução, embora menos intensa em comparação com o desmatamento observado na classe Floresta como um todo, indica uma pressão persistente sobre as áreas florestais mais conservadas. Segundo os dados de transição do MapBiomas, grande parte dessa perda foi convertida para áreas de pastagem e agricultura, evidenciando a expansão de atividades agropecuárias sobre os remanescentes florestais.

A Formação Savânica apresentou uma trajetória semelhante, reduzindo-se de 17.661 hectares em 1985 para 15.755 hectares em 2023, uma diminuição de 10,8%. A transição dos usos nessa classe revela que a principal conversão foi para pastagens, seguida por mosaico de usos, o que caracteriza a substituição de áreas naturais por sistemas produtivos extensivos.

O Mangue, que representa áreas de manguezais segundo a classificação do MapBiomas, manteve-se relativamente estável ao longo do período, com valores próximos a 315 hectares, o que indica baixa variação na cobertura. Esse comportamento pode ser atribuído ao seu caráter ecologicamente sensível e à existência de regulamentações ambientais específicas que limitam sua conversão para outros usos, como definido na legislação nacional e em estudos de conservação costeira (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2000). A preservação dos manguezais está associada à sua função ecológica vital na proteção das zonas costeiras, na filtragem de poluentes e na oferta de abrigo a diversas espécies.

De forma semelhante, a classe Campo Alagado e Área Pantanosa apresentou estabilidade durante o período analisado, com áreas variando em torno de 1.980 hectares. Essa estabilidade está alinhada à tipologia ecológica dessas áreas, que são caracterizadas por terras hidromórficos permanentes, presença contínua de água e baixa aptidão para usos intensivos, conforme descrito na metodologia oficial do MapBiomas (MapBiomas, 2024).

A classe Agricultura, conforme definida pela metodologia do MapBiomas, abrange áreas de uso agrícola consolidado, sem distinção explícita quanto à escala de produção. Essa é uma das classes mais expressivas em termos de área na UGRH Mundaú/Paraíba, iniciando com 518.525 hectares em 1985 e atingindo 586.694 hectares em 2023, representando um crescimento de 13,1%. Esse aumento reflete a contínua intensificação do uso da terra com fins produtivos, consolidando a

agricultura como uma das atividades predominantes na região. Uma tendência semelhante é observada nas Lavouras Temporárias, que aumentaram de 13.652 hectares em 1985 para 19.075 hectares em 2023, indicando uma expansão de cultivos de ciclo curto.

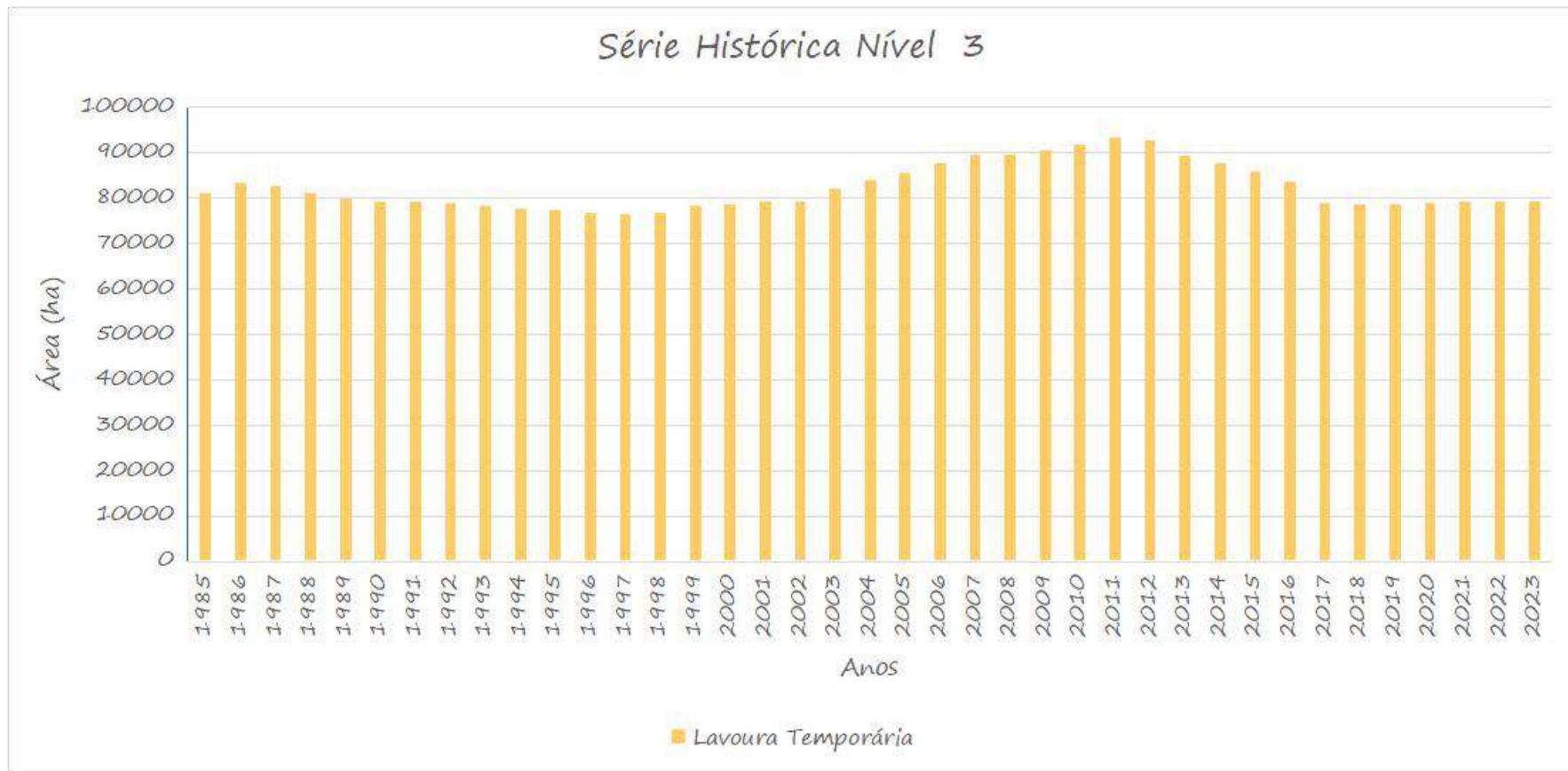
A classe Silvicultura, que corresponde a áreas destinadas ao plantio de árvores para fins comerciais, como o eucalipto, apresentou uma distribuição temporal irregular na Bacia do Mundaú ao longo da série histórica. Segundo os dados do MapBiomass, essa classe esteve presente em 1985 e 1986, desaparecendo nos anos seguintes até reaparecer pontualmente em 2007 e 2008, voltando a se manifestar de forma mais contínua apenas entre 2021 e 2023. Essa descontinuidade pode indicar tanto flutuações reais na implantação de áreas de silvicultura quanto limitações na detecção por sensoriamento remoto em determinados períodos. De todo modo, os valores permaneceram baixos, oscilando em torno de 7.800 hectares, o que sugere que a silvicultura teve papel secundário no uso da terra na bacia ao longo das últimas décadas.

Os Prados e Pastos Naturais apresentaram uma tendência de redução, de 56.252 hectares em 1985 para 51.977 hectares em 2023, com uma perda de aproximadamente 7,6%. Isso pode ser explicado pela substituição de áreas de pastagem natural por áreas de cultivo intensivo ou por degradação ambiental. Por outro lado, a classe Outras Áreas Não Vegetadas, que representa áreas urbanizadas, terras expostas ou regiões sem vegetação, registrou um aumento expressivo, passando de 20.571 hectares em 1985 para 23.574 hectares em 2023, um crescimento de 14,6%. Isso reflete processos de urbanização e degradação do terra.

Os Corpos D'Água, com valores variando entre 9.295 hectares em 1985 e 10.420 hectares em 2023, apresentaram um aumento discreto de 12,1%, sugerindo relativa estabilidade na área ocupada por rios, lagos e lagoas oceânicas, embora isso não indique necessariamente preservação, já que a qualidade da água pode ter sido impactada pelas alterações no entorno.

Os dados fornecidos na Figura 13 mostram a evolução da área ocupada por Lavouras Temporárias na Bacia do Mundaú de 1985 a 2023. Essa classe representa cultivos de curto ciclo produtivo, como grãos, vegetais e outras culturas anuais. A análise revela variações moderadas ao longo do período, mas com tendências que podem ser interpretadas para entender o comportamento desse uso da terra.

Figura 13 - Série Histórica (1985 - 2023 da classe de Lavoura Temporária (Nível 3)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Em 1985, a área ocupada por Lavouras Temporárias era de 81.252 hectares. Nos anos seguintes, houve um crescimento progressivo até 1991, quando a área alcançou 83.784 hectares, sugerindo uma intensificação desse tipo de cultivo. Após esse período, observa-se certa estabilidade, com pequenas oscilações em torno da média histórica, indicando a consolidação do uso da terra para esse fim. A partir do início dos anos 2000, há um novo aumento, atingindo um pico de 96.830 hectares em 2011. Esse crescimento pode ser associado à intensificação da produção agrícola, adoção de novas tecnologias e incentivo à agricultura comercial.

De acordo com os dados da Produção Agrícola Municipal do IBGE, as lavouras temporárias na região da UGRH Mundaú/Paraíba estão concentradas, principalmente, em municípios como União dos Palmares, Murici e Branquinha. Nesses locais, predominam cultivos como mandioca, milho e feijão, com destaque para os tubérculos especialmente a mandioca que apresentam forte presença histórica e importância socioeconômica para a agricultura familiar e o abastecimento local.

Após 2011, observa-se um declínio gradual na área ocupada, atingindo 73.292 hectares em 2023. Esse valor é menor que o registrado no início da série histórica em 1985, indicando uma retração nas Lavouras Temporárias nos últimos anos. Essa redução pode estar associada a mudanças no uso da terra, como a substituição por outras atividades econômicas (por exemplo, pastagens ou Lavouras Permanentes), ou a degradação ambiental que dificultou a continuidade do cultivo em algumas áreas.

Ao longo do período analisado, a área média ocupada por Lavouras Temporárias foi de aproximadamente 83.650 hectares, com o pico de uso representando cerca de 16% acima da média e o menor valor registrado em 2023, estando 13% abaixo dessa mesma média. Essa variação moderada indica que, embora tenha havido flutuações, as Lavouras Temporárias mantiveram papel consistente no uso da terra da bacia.

Essa tendência reforça a necessidade de considerar a sustentabilidade das práticas agrícolas na região. A intensificação das lavouras durante os anos de pico pode ter exercido pressão sobre a terra e os recursos hídricos, enquanto a redução mais recente pode ser uma oportunidade para avaliar o impacto ambiental e a possibilidade de diversificar o uso da terra. Recomenda-se adotar práticas agrícolas como o plantio direto, rotação de culturas e manejo integrado de terra para garantir a

manutenção da produtividade a longo prazo, evitando a degradação da terra e promovendo o equilíbrio ambiental.

Os dados apresentados na Figura 14 mostram a série histórica para as classes Cana-de-açúcar e Outras Lavouras Temporárias, detalhando o uso da terra na Bacia do Mundaú com foco em cultivos agrícolas específicos. Essas classes apresentam comportamentos distintos ao longo do tempo, refletindo estratégias agrícolas diferenciadas. A expansão da cana-de-açúcar ocorreu principalmente nos municípios de União dos Palmares, Murici e Branquinha, com aumento expressivo entre 2001 e 2011, alcançando áreas antes ocupadas por pastagens e mosaico de usos, segundo os dados de transição do MapBiomas.

Figura 14 - Série Histórica (1985 – 2023) da classe de cana e outras lavouras temporárias (Nível 4)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Já as Outras Lavouras Temporárias apresentaram crescimento mais distribuído, concentrando-se em áreas anteriormente classificadas como Agricultura consolidada e Mosaico de Usos, sugerindo uma diversificação produtiva em regiões de agricultura familiar. Esses padrões de transição indicam que o avanço dessas culturas agrícolas ocorreu, em sua maioria, sobre classes já utilizadas para fins produtivos, com menor impacto direto sobre áreas de vegetação nativa ou formação florestal. Isso reforça a ideia de intensificação do uso da terra em áreas já antropizadas, sem necessariamente envolver novas frentes de desmatamento.

A classe Cana, que representa o cultivo de cana-de-açúcar, iniciou em 1985 com-área de 80.848 hectares. Após esse ponto, observa-se-aumento constante até 1988, quando a área atingiu 92.737 hectares. A partir de então, houve redução gradual até o ano de 1993, quando a área caiu para 77.493 hectares. Segundo Gonçalves, Souza e Pereira (2019), oscilações como essa estão diretamente relacionadas a mudanças nas políticas de incentivo agrícola, como variações na política de preços mínimos, alterações no crédito rural e reorganizações no setor sucroalcooleiro que impactaram a competitividade da cana em relação a outros cultivos alimentares.

Após 1993, a área dedicada à cana voltou a apresentar crescimento constante, atingindo seu pico em 2008, com 86.238 hectares. No entanto, nos anos seguintes, a área começou a diminuir novamente, chegando a 71.707 hectares em 2023. Essa redução recente pode estar relacionada à diversificação do uso da terra, à substituição por outras culturas e à perda de rentabilidade da cana-de-açúcar, conforme apontado por Almeida e Araújo (2021), que destacam o declínio da cultura em regiões fora do centro-sul do país.

Já a classe Outras Lavouras Temporárias, que engloba cultivos de ciclo curto diferentes da cana, apresenta comportamento diferente. Em 1985, essa classe ocupava área de apenas 403,77 hectares, e nos anos seguintes, a área foi drasticamente reduzida, chegando a 2,82 hectares em 1987. Entre 1988 e 1998, não há registros de áreas dedicadas a essa classe. A partir de 1999, outras lavouras temporárias voltam a aparecer, inicialmente com uma área de 14.494 hectares, e começam a crescer lentamente, atingindo 3.450,7 hectares em 2007. O crescimento mais expressivo é registrado entre 2008 e 2011, quando a área passou de 4.721,4 hectares para 6.686,7 hectares. Após esse pico, a área sofre oscilações, mantendo-se em torno de 7.500 hectares até 2023, quando registra 7.587,2 hectares. Esse

aumento gradual, especialmente a partir de 1999, sugere maior interesse em diversificar os cultivos temporários na região, embora a área ainda seja relativamente pequena quando comparada à cana.

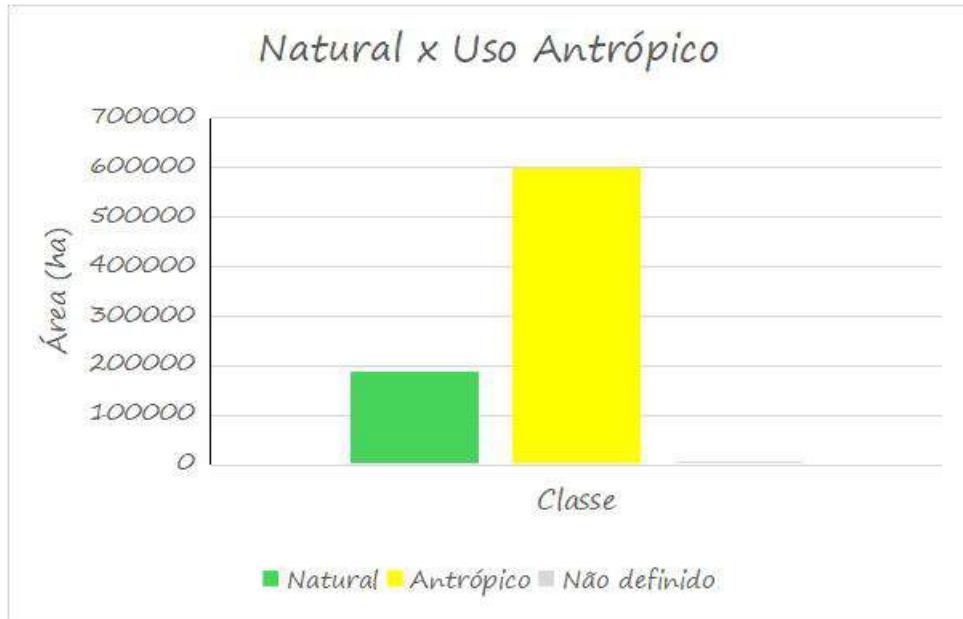
A análise conjunta das classes Cana-de-açúcar e Outras Lavouras Temporárias indica que, historicamente, a cana foi o cultivo temporário mais representativo na Bacia do Mundaú. Contudo, os dados de transição entre 1985 e 2023 revelam que uma parcela significativa das áreas anteriormente ocupadas por cana foi convertida para pastagens (cerca de 40% da área convertida), mosaico de usos (aproximadamente 22%) e, em menor escala, áreas urbanizadas e agricultura diversificada. Esse padrão de substituição sugere mudança na vocação agrícola dessas regiões, refletindo uso mais flexível da terra.

Em 2023, por outro lado, as áreas dedicadas à cana-de-açúcar se originaram majoritariamente de regiões anteriormente classificadas como pastagem (51%) e agricultura (26%), indicando dinâmica de reocupação de áreas já produtivas. Esse fluxo de conversões aponta para transição do uso da terra que pode estar relacionada à diversificação das atividades agrícolas, à revalorização do cultivo da cana em contextos comerciais ou a políticas de incentivo específicas implementadas nos anos mais recentes.

Esse padrão sugere a necessidade de avaliação das práticas agrícolas e das políticas de incentivo à produção na região. Práticas sustentáveis, como rotação de culturas e manejo adequado da terra, podem ser essenciais para preservar a qualidade da terra e garantir a sustentabilidade da produção agrícola. A diversificação das lavouras, observada no aumento da classe Outras Lavouras Temporárias, é uma estratégia positiva, mas precisa ser acompanhada de suporte técnico e infraestrutura para garantir a viabilidade econômica e ambiental desses cultivos.

Os dados apresentados na Figura 15 evidenciam a distribuição da área na Bacia do Mundaú entre classes de uso Natural, Antrópico e Não Definido, totalizando 788.764,2 hectares. A análise mostra predominância expressiva do uso antrópico em comparação às áreas naturais, indicando uma pressão significativa das atividades humanas sobre o território.

Figura 15 - Natural x Uso Antrópico na UGRH Mundaú/ Paraíba no ano de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A classe Antrópico ocupa 598.408,6 hectares, o que corresponde a aproximadamente 75,9% da área total. Essa classe inclui atividades humanas como agricultura, pastagens, urbanização e outras intervenções antrópicas, refletindo o impacto direto das atividades econômicas e sociais no uso da terra. Essa predominância sugere conversão substancial de áreas naturais em terras destinadas ao uso produtivo ou urbano ao longo do tempo.

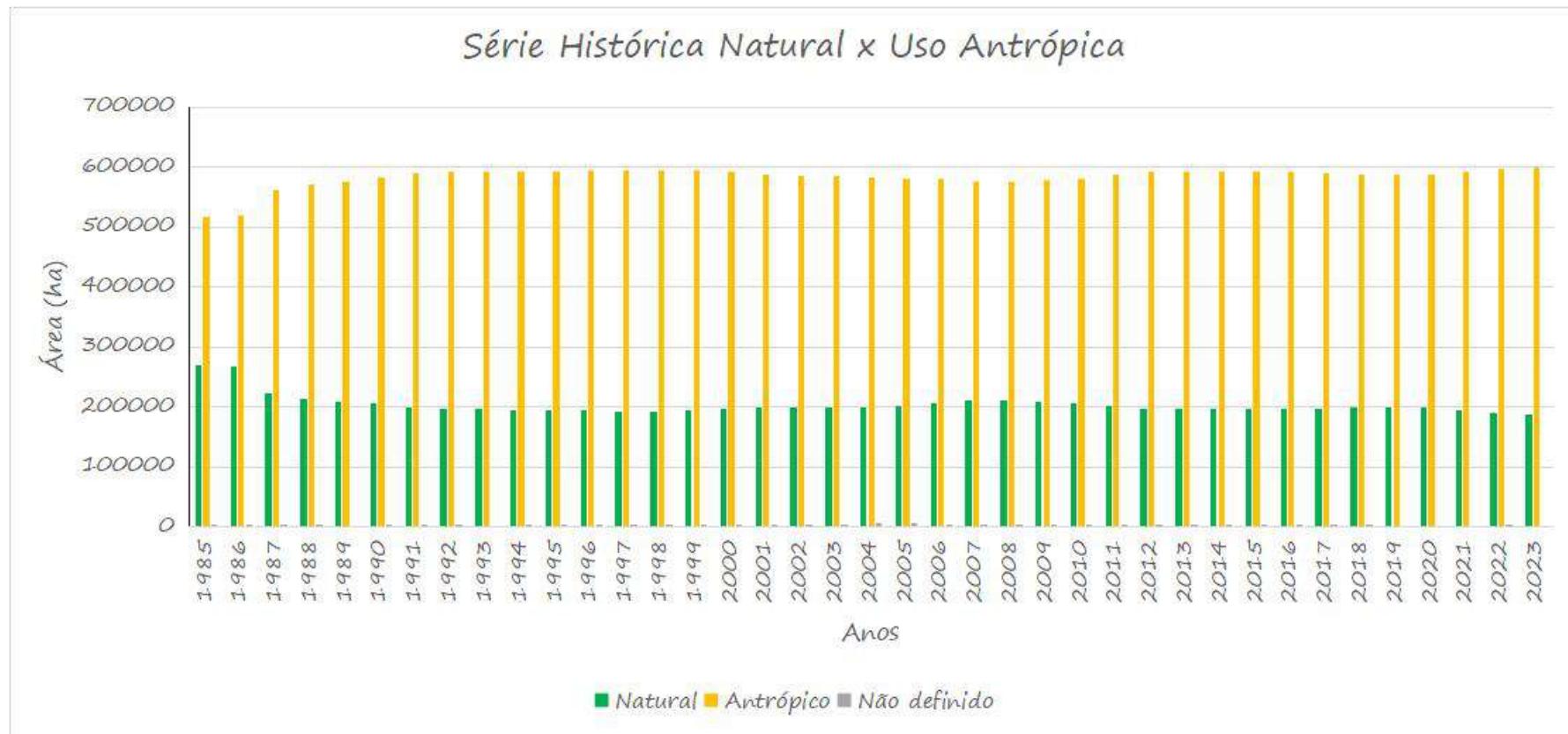
A classe Natural, que corresponde a áreas preservadas ou com cobertura vegetal nativa, ocupa 187.570,7 hectares, representando apenas 23,8% da área total. Esse valor demonstra redução significativa na cobertura natural, indicando que o equilíbrio ecológico da bacia pode estar comprometido. As áreas naturais desempenham funções importantes, como regulação hídrica, conservação da biodiversidade e proteção contra a erosão, e sua baixa proporção exige atenção para políticas de conservação e recuperação ambiental.

A classe Não Definido, que cobre 2.784,9 hectares, representa 0,35% da área total. Essa categoria pode incluir áreas cuja classificação ainda não foi estabelecida ou que não possuem uso predominante claramente identificado. Embora pequena, essa classe pode ser investigada para determinar seu potencial de uso ou conservação.

A análise mostra que a predominância do uso antrópico indica a necessidade de equilibrar as demandas por desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. Recomenda-se a adoção de práticas sustentáveis no uso da terra, como o manejo integrado da agricultura e pecuária, a restauração de áreas degradadas e a proteção de remanescentes naturais. Políticas públicas que incentivem o reflorestamento e a criação de áreas de proteção podem contribuir para aumentar a proporção de áreas naturais e, consequentemente, melhorar a qualidade ambiental da UGRH.

A série histórica apresentada no Figura 16, ilustra a evolução das áreas classificadas como Natural, Antrópico e Não Definido na Bacia do Mundaú. A análise detalhada desses dados revela tendências claras no uso e ocupação da terra, com implicações importantes para a gestão ambiental da região.

Figura 16 - Série Histórica (1985 a 2023) de cobertura Natural x Uso Antrópico x Não Definido



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As áreas classificadas como Naturais apresentaram uma tendência de redução ao longo do tempo. Em 1985, essas áreas ocupavam 269.244 hectares, o equivalente a aproximadamente 34% da área total. Em 2023, essa classe registrou uma área de 187.571 hectares, representando apenas 23,8% do território. Essa diminuição de cerca de 30% ao longo de quase quatro décadas reflete uma perda significativa de vegetação natural, principalmente causada pela conversão de florestas, savanas e outras formações naturais em áreas agrícolas, pastagens e zonas urbanizadas.

As perdas mais acentuadas ocorreram entre os anos de 1987 e 1991, período em que se intensificaram os processos de desmatamento e conversão de áreas naturais para fins produtivos. Após esse intervalo, observou-se uma tendência de desaceleração da perda, com uma leve estabilização nos últimos anos embora os níveis atuais ainda se mantenham preocupantes.

A classe Antrópico domina o uso da terra durante todo o período analisado, com uma tendência clara de expansão. Em 1985, as áreas antrópicas correspondiam a 517.022 hectares (65,5% da área total), aumentando gradualmente para 598.409 hectares em 2023 (75,9% da área total). Esse crescimento contínuo reflete a intensificação das atividades humanas na bacia, como a expansão da agropecuária, urbanização e outros usos relacionados à economia regional. O aumento é consistente ao longo do período, destacando a pressão contínua sobre os ecossistemas naturais da região.

A classe Não Definido, que inclui áreas com classificação indeterminada ou não especificada, apresentou variações significativas ao longo do tempo. Em 1985, ocupava 2.317 hectares, com aumento progressivo até atingir um pico em 2004, com 5.551 hectares. A partir de então, houve uma redução gradual, com a área chegando a 2.784 hectares em 2023. Embora essa classe represente pequena fração da área total, é importante investigar sua composição para entender se são áreas em transição, degradação ou mesmo erros na classificação dos dados.

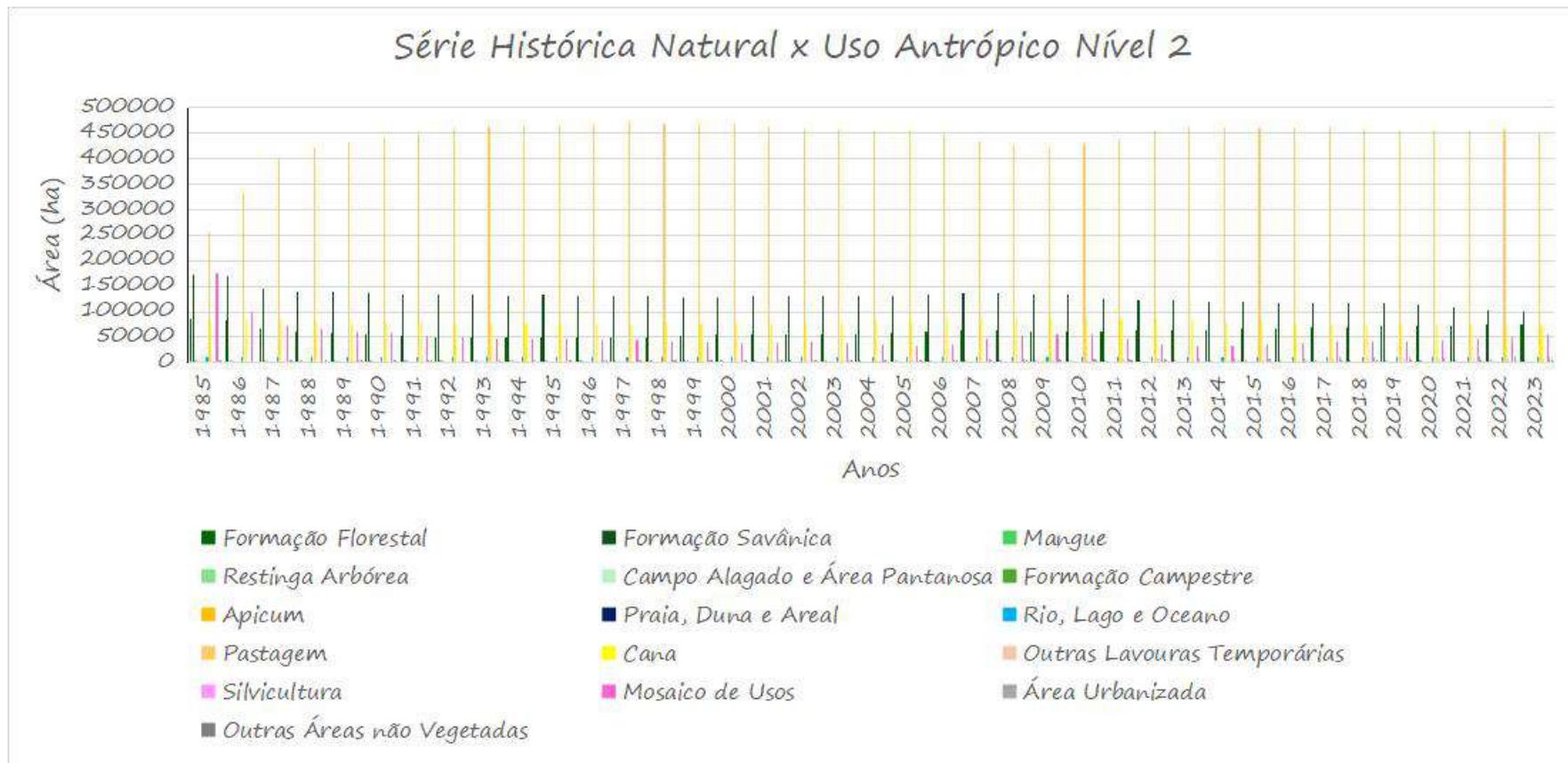
A análise conjunta dessas classes destaca uma dinâmica preocupante de perda das áreas naturais e crescimento das áreas antrópicas na Bacia do Mundaú. A conversão de áreas naturais para usos humanos intensivos compromete a capacidade da bacia de oferecer serviços ecossistêmicos essenciais, como regulação hídrica, manutenção da biodiversidade e proteção contra processos erosivos. A estabilização recente das áreas naturais pode sugerir a eficácia de

algumas políticas de conservação ou simplesmente a limitação física para mais conversões.

Para mitigar os impactos observados, é importante implementar estratégias de gestão sustentável da terra, priorizando a recuperação de áreas degradadas e a conservação dos remanescentes naturais. A criação de áreas protegidas, corredores ecológicos e incentivos para práticas agrícolas sustentáveis pode ajudar a reverter a tendência de perda de áreas naturais. Além disso, é importante investigar as áreas classificadas como Não Definido para compreender seu potencial de uso ou conservação, garantindo um planejamento mais eficaz para a região.

A análise dos dados detalhados na Figura 17 da série histórica das classes CUT na UGRH revela tendências importantes para cada categoria e suas implicações na ocupação e conservação do território.

Figura 17 - Série Histórica (1985 a 2023) das classes Natural x Uso Antrópico x Não Definido (Nível 2)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A Formação Florestal, com 854.527 hectares em 1985, sofreu uma redução constante ao longo do período, alcançando 734.066 hectares em 2023. Essa perda de aproximadamente 14% reflete um declínio contínuo nas áreas florestais, provavelmente devido à expansão de atividades agrícolas, pastagens e áreas urbanizadas. A Formação Savânica, que cobre áreas de vegetação mais aberta, também apresenta uma redução significativa, passando de 171.661 hectares em 1985 para 153.343 hectares em 2023, indicando pressões semelhantes. Esses dados demonstram a suscetibilidade das formações naturais da região frente ao avanço antrópico.

Os Mangues, com 815 hectares em 1985, mantiveram-se relativamente estáveis ao longo do período, atingindo 934 hectares em 2023, o que representa um leve aumento. Essa estabilidade pode estar associada à proteção natural dos manguezais ou a políticas ambientais específicas. A classe Restinga Arbórea, iniciando com 1.035 hectares em 1985, também se manteve estável, registrando 938 hectares em 2023. Por outro lado, as áreas de Campo Alagado e Pantanoso apresentaram pequenas oscilações ao longo do tempo, com 835 hectares em 1985 e 620 hectares em 2023, o que indica uma possível drenagem ou conversão dessas áreas para outros usos.

A Formação Campestre, que inclui áreas de vegetação rasteira ou aberta, teve uma redução expressiva de 18.922 hectares em 1985 para 7.433 hectares em 2023, o que representa uma perda de 60%. Essa redução reflete a substituição por outros usos da terra, como lavouras ou pastagens, destacando a pressão sobre essa formação natural. A classe Apicum, que corresponde a áreas de salinas ou terras expostas em ambientes costeiros, mostrou flutuações, mas permaneceu em níveis baixos, de 7.101 hectares em 1985 para 4.093 hectares em 2023, possivelmente devido à ocupação ou alteração ambiental.

As áreas de Praia, Dunas e Areal, relativamente estáveis, registraram uma leve redução, de 56.225 hectares em 1985 para 52.234 hectares em 2023. A classe Rios, Lagos e Oceano, com 9.295 hectares em 1985, manteve-se constante ao longo do período, chegando a 10.420 hectares em 2023, um leve aumento que pode estar associado a mudanças em metodologias de mapeamento ou variações climáticas.

As classes de uso antrópico mostram uma expansão significativa. A Pastagem, que começou com 257.688 hectares em 1985, aumentou para 288.533

hectares em 2023, representando um crescimento de 12%. A Cana, inicialmente com 80.848 hectares em 1985, atingiu 71.707 hectares em 2023, após oscilações que incluem um pico no início dos anos 2000. As Outras Lavouras Temporárias, que tiveram pouca expressão no início, cresceram significativamente nas últimas décadas, alcançando 7.587 hectares em 2023. Já a Área Urbanizada, que ocupava 2.036 hectares em 1985, expandiu-se rapidamente para 11.087 hectares em 2023, um aumento de mais de 5 vezes, refletindo a intensificação da urbanização na região.

Outras categorias, como Silvicultura e Mosaico de Usos, permaneceram estáveis ou com variações mínimas, enquanto as Outras Áreas Não Vegetadas cresceram de 2.317 hectares em 1985 para 5.551 hectares em 2023, representando áreas degradadas, urbanizadas ou desprovidas de vegetação.

A análise demonstra uma clara conversão de áreas naturais, como formações florestais, savânicas e campestres, em áreas destinadas a pastagens, agricultura e urbanização. Essa transformação evidencia uma pressão antrópica significativa sobre os ecossistemas da bacia, que compromete a sustentabilidade ambiental e os serviços ecossistêmicos. Recomenda-se a implementação de práticas de manejo sustentável da terra, como recuperação de áreas degradadas, proteção de remanescentes naturais e adoção de sistemas integrados de produção agrícola. A criação de áreas protegidas e a recuperação de vegetação nativa também são essenciais para reverter as tendências de degradação e garantir a funcionalidade ambiental da Bacia do Mundaú.

Em conclusão, as análises realizadas para a Bacia do Mundaú entre 1985 e 2023 destacam um cenário de transformação significativa no uso e cobertura da terra, marcado pela predominância das atividades antrópicas, especialmente a agropecuária, e pela redução contínua de áreas naturais. A conversão de formações florestais, savânicas e campestres em pastagens, áreas de cultivo e urbanização demonstra a forte pressão exercida pelas atividades humanas sobre o meio ambiente. Embora algumas classes, como mangues e áreas de restinga arbórea, tenham se mantido relativamente estáveis, a perda de vegetação natural em geral compromete os serviços ecossistêmicos da bacia, incluindo a regulação hídrica, a proteção da terra contra erosão e a conservação da biodiversidade.

A análise das lavouras temporárias evidencia uma expansão significativa de cultivos como a cana-de-açúcar e outras lavouras de ciclo curto, reforçando o papel

central da agricultura no uso da terra da UGRH Mundaú/Paraíba. No entanto, a série histórica também revela que, nos últimos anos, algumas dessas classes apresentaram sinais de estabilização ou até mesmo de declínio, como observado nas áreas urbanizadas, lavouras temporárias e agricultura consolidada. Essa reversão de tendência pode estar relacionada a processos de diversificação do uso da terra ou perda de competitividade de determinados cultivos.

Diante desse cenário, torna-se fundamental revisar as práticas atuais de uso e ocupação da terra, com foco em estratégias de manejo sustentável que conciliem a produção agrícola com a conservação dos recursos naturais. A elaboração de políticas públicas voltadas à valorização da agricultura familiar, ao incentivo à recuperação de áreas degradadas e ao ordenamento territorial pode contribuir para um equilíbrio mais duradouro entre produtividade e preservação ambiental na região.

As mudanças observadas ao longo da série histórica destacam a importância de estratégias integradas de planejamento e conservação para a UGRH porque evidenciam um processo contínuo de perda de cobertura vegetal nativa, crescimento desordenado de áreas antrópicas e substituição de usos do terra voltados à produção por práticas ambientalmente menos sustentáveis. A redução significativa das áreas naturais em especial entre 1987 e 1991 associada à expansão de classes como agropecuária e áreas urbanizadas, demonstra que, sem um planejamento territorial articulado, há risco de esgotamento dos recursos naturais, fragmentação de ecossistemas e comprometimento da resiliência ambiental da UGRH.

Dessa forma, é necessário equilibrar o desenvolvimento econômico com a proteção ambiental, priorizando a recuperação de áreas degradadas, a conservação dos remanescentes naturais e a implementação de práticas agrícolas e urbanas mais sustentáveis. Além disso, ações voltadas à educação ambiental e ao engajamento das comunidades locais podem contribuir para uma gestão mais equilibrada da bacia, garantindo sua funcionalidade e resiliência a longo prazo.

"Os dados apresentados, complementados pelo gráfico de Sankey e pela análise detalhada das diferentes classes de uso da terra na UGRH Mundaú/Paraíba, demonstram um padrão consistente de transformação e intensificação das atividades humanas entre 1985 e 2023. No entanto, é importante destacar que a conversão direta de áreas naturais como florestas, formações savânicas e vegetação arbustiva para usos antrópicos ocorreu com maior intensidade até o início da década de 1990. A partir desse ponto, as transições passaram a ocorrer

predominantemente entre classes já antrópicas, como agropecuária, agricultura e mosaico de usos, indicando uma intensificação do uso em áreas previamente convertidas.

O gráfico de Sankey evidencia a magnitude das transições entre as classes. A redução expressiva da área de floresta (de 173.378,8 hectares em 1985 para 139.445,1 hectares em 2023) representa uma perda significativa de vegetação natural, com grande parte dessa área convertida diretamente em pastagens e outras atividades agropecuárias. A agropecuária consolidou-se como a principal categoria de uso da terra, crescendo de 515.164,9 hectares em 1985 para 585.783,2 hectares em 2023. Essa expansão demonstra o papel predominante das atividades agrícolas e pecuárias na economia local, mas também levanta preocupações quanto à sustentabilidade ambiental, especialmente devido à substituição de ecossistemas nativos por monoculturas de pastagem.

Estudos apontam que a conversão de vegetação natural em pastagem reduz a biodiversidade, compacta a terra, aumenta o escoamento superficial e compromete o ciclo hidrológico local (Almeida; Rodrigues; Costa, 2020). Além disso, áreas de pastagem degradadas tornam-se menos eficientes na retenção de carbono e mais suscetíveis à erosão, agravando processos de desertificação e contribuindo para o declínio da resiliência ecológica das paisagens rurais. Portanto, a expansão contínua dessa classe demanda estratégias de manejo que considerem tanto a produtividade quanto a conservação dos serviços ecossistêmicos essenciais.

A urbanização apresentou um crescimento notável, passando de 2.036,8 hectares em 1985 para 56.545,7 hectares em 2023. Esse aumento reflete o avanço das áreas urbanas e de infraestrutura sobre regiões anteriormente ocupadas principalmente por Mosaico de Usos (aproximadamente 42 mil hectares), pastagens (cerca de 2 mil hectares) e, em menor proporção, áreas agrícolas e formações savânicas. Esse processo intensificou a fragmentação de remanescentes naturais e alterou significativamente a dinâmica da paisagem, promovendo a impermeabilização da terra e a perda de conectividade ecológica. As áreas classificadas como não vegetadas, que triplicaram ao longo do período, reforçam essa tendência de impacto humano direto, consolidando um padrão de expansão urbana dispersa e pouco integrada ao planejamento ambiental da UGRH.

. Algumas categorias apresentaram estabilidade ou até aumento, como os mangues, que cresceram de 815,3 hectares em 1985 para 2.453,8 hectares em

2023, e os corpos d'água, que mantiveram uma relativa estabilidade, com leve aumento de 9.295,7 hectares para 10.413,8 hectares. Esses resultados indicam que políticas de conservação podem ter desempenhado um papel na proteção dessas áreas, ou que suas características geográficas limitaram a conversão para outros usos. No entanto, a qualidade dessas áreas não foi avaliada, e é possível que estejam sendo impactadas indiretamente pelas atividades antrópicas.

Os cultivos agrícolas temporários, como a cana e outras lavouras temporárias, apresentaram aumento ao longo do período. A cana, que ocupava 12.099,6 hectares em 1985, expandiu-se como uma cultura importante na região. Outras lavouras temporárias, ainda que menos representativas em 1985, mostraram sinais de diversificação e intensificação no uso da terra ao longo das décadas. Essa dinâmica reflete tanto a expansão agrícola quanto a substituição de áreas de pastagens por cultivos mais intensivos.

As transformações identificadas reforçam a necessidade de estratégias de manejo integrado para a Bacia do Mundaú. A perda de áreas naturais impacta diretamente os serviços ecossistêmicos, como a regulação hídrica, a conservação da biodiversidade e o controle da erosão. Ao mesmo tempo, o aumento das áreas urbanizadas e agropecuárias exige políticas de planejamento territorial que equilibrem o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental.

Recomenda-se a implementação de ações de recuperação de áreas degradadas, com foco em reflorestamento e proteção de matas ciliares, especialmente em áreas próximas a corpos d'água. Práticas agrícolas sustentáveis, como integração lavoura-pecuária-floresta, rotação de culturas e manejo da terra, são fundamentais para minimizar os impactos das atividades produtivas. Além disso, a criação de corredores ecológicos e o fortalecimento de áreas protegidas são estratégias eficazes para mitigar a fragmentação das formações naturais e promover a conectividade entre ecossistemas.

Na Bacia do Mundaú, a análise espacial da série histórica de 1985 a 2023 revela que as manchas de vegetação florestal sofreram não apenas redução de área total, mas também uma fragmentação significativa. Essa fragmentação é mais evidente nas porções centrais da bacia e ao longo das bordas de expansão agropecuária, onde manchas contínuas de floresta deram lugar a parcelas isoladas, dificultando o fluxo gênico e a manutenção da biodiversidade. Tal padrão reforça a urgência de estratégias que estabeleçam a conectividade ecológica, como o

mapeamento e recuperação de corredores florestais estratégicos, especialmente em áreas de transição entre pastagem e vegetação nativa.

Os resultados evidenciam a complexidade das dinâmicas de uso do terra na Bacia do Mundaú e a importância de um planejamento integrado que considere tanto as necessidades econômicas quanto a preservação ambiental. Garantir a sustentabilidade da bacia exige esforços coordenados entre os setores agrícola, urbano e ambiental, para que seja possível equilibrar a produção e a conservação de forma a beneficiar tanto a população local quanto os ecossistemas. Os dados apresentados fornecem uma base sólida para a formulação de políticas públicas e estratégias de manejo que possam promover um futuro mais sustentável para a Bacia do Mundaú, preservando seus recursos naturais enquanto atende às necessidades econômicas e sociais da região.

Essa análise reforça a predominância da agricultura e a redução gradativa das áreas naturais, especialmente formações florestais e savânicas, ao longo do tempo. O aumento das áreas não vegetadas e a estabilização das áreas de corpos d'água apontam para impactos significativos na dinâmica ambiental da UGRH. A ampliação das práticas sustentáveis, como recuperação de áreas degradadas e a implementação de corredores ecológicos, é essencial para mitigar os impactos observados. A conservação de formações naturais, como florestas e savanas, deve ser priorizada para garantir a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos da região.

7 CONCLUSÕES

A análise integrada dos extremos pluviométricos e da dinâmica de uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas avaliadas permite inferir um quadro de crescente suscetibilidade ambiental, marcado pela intensificação dos eventos climáticos extremos e pela significativa antropização das paisagens naturais. Os dados processados pelo pacote RClimate demonstram que parte expressiva das estações analisadas apresenta tendências de aumento em índices relacionados à precipitação intensa ($r10mm$, $r20mm$, $r95p$, $r99p$, $rx1day$ e $SDII$), especialmente nas regiões mais densamente ocupadas por atividades antrópicas.

Em localidades como Garanhuns, União dos Palmares, Maceió e Bom Conselho, os resultados apontaram inclinações positivas significativas para os índices $r10mm$, $r20mm$ e $r95p$, evidenciando o aumento na frequência de dias com chuva forte e no volume total precipitado em eventos extremos. Tais alterações no regime pluviométrico intensificam o risco de enchentes, deslizamentos e processos erosivos, particularmente em áreas onde a cobertura vegetal natural foi drasticamente substituída por usos agrícolas, pecuários e urbanos.

A interpretação dos dados do MapBiom corrobora esse cenário, revelando padrão dominante de substituição de formações florestais por pastagens, mosaicos de agricultura e vegetação secundária, além da expansão de áreas urbanizadas. O padrão de crescimento urbano desordenado observado em municípios como Rio Largo e Maceió agrava ainda mais os impactos das chuvas intensas, especialmente em áreas de ocupação irregular e ausência de infraestrutura de drenagem. Nessas regiões, a impermeabilização do solo contribui para a rápida concentração do escoamento superficial, ampliando a suscetibilidade a alagamentos e a degradação ambiental de margens fluviais.

É importante ressaltar que, mesmo em bacias com menor grau de urbanização, como Brejão e Terezinha, a conversão de vegetação natural para uso agrícola extensivo também está associada a alterações significativas nos padrões de precipitação. De modo geral, as tendências climáticas identificadas se mostram fortemente interligadas às transformações no uso do solo. A perda de vegetação nativa, sobretudo das formações florestais ombrófilas e estacionais, reduz a capacidade de retenção hídrica das bacias, altera os fluxos atmosféricos locais e compromete os serviços ecossistêmicos relacionados à água. A persistência desse

modelo de ocupação tende a amplificar os efeitos das mudanças climáticas regionais, tornando as bacias hidrográficas menos resilientes a variações extremas do clima.

Diante disso, torna-se necessário o desenvolvimento de políticas públicas integradas que promovam o ordenamento territorial com base em critérios ecológicos, priorizando a conservação de áreas de recarga hídrica, a restauração de matas ciliares e a implementação de práticas agrícolas sustentáveis. O presente diagnóstico reforça a importância de estratégias de gestão ambiental pautadas na análise conjunta dos dados climáticos e territoriais, capazes de subsidiar ações preventivas e adaptativas frente à intensificação dos eventos extremos na região.

8 PRODUÇÃO DE PRODUTO TÉCNICO / TECNOLÓGICO

Foi elaborado um material didático voltado aos estudantes do ensino médio, com a finalidade de integrar os conhecimentos técnico-científicos obtidos no estudo às práticas pedagógicas escolares. O conteúdo adotou uma abordagem interdisciplinar e uma perspectiva geográfica crítica, utilizando linguagem gráfica e cartográfica acessível para descrever as principais características da bacia hidrográfica analisada. Temas como o uso e cobertura da terra, os regimes climáticos predominantes e a frequência de eventos extremos, como chuvas intensas e estiagens prolongadas, foram representados de forma ilustrada e compatível com o nível de compreensão do público-alvo.

A construção do material foi orientada por uma metodologia que contemplou o uso de geotecnologias durante a elaboração dos conteúdos, com base na análise de imagens de satélite e séries históricas de dados pluviométricos. A partir desses dados, foram produzidos mapas temáticos, gráficos de tendência e infográficos ambientais, elaborados com o auxílio de softwares como QGIS e RStudio. Esses recursos serviram de base para os materiais impressos, facilitando a visualização e a compreensão da distribuição espacial dos indicadores climáticos e sua relação com a ocupação do solo.

Como parte integrante do material, foi incluída uma seção lúdica, baseada em estratégias de gamificação aplicadas por meio de recursos físicos, sem o uso de plataformas digitais. Nesse contexto, foi desenvolvido o jogo educativo impresso intitulado “Guardião da Bacia”, estruturado com tabuleiro, cartas de missão, cartas de eventos climáticos, marcadores e manual de instrução. Os estudantes, organizados em grupos, assumirão o papel de agentes ambientais e cumprirão missões relacionadas à conservação das áreas de preservação permanente, à mitigação dos impactos das mudanças no uso do solo e à gestão dos recursos hídricos frente às variações climáticas.

O jogo educativo desenvolvido para esta pesquisa foi concebido como uma ferramenta de apoio à gestão ambiental participativa, com foco na bacia hidrográfica estudada. Sua estrutura é composta por fases que representam diferentes etapas do processo de gestão dos recursos hídricos, articulando conceitos de sustentabilidade, uso racional da água e mitigação dos impactos climáticos. Cada fase apresenta

desafios que simulam situações reais de tomada de decisão, incentivando o raciocínio crítico e a aplicação de conhecimentos técnicos e socioambientais.

O público-alvo do jogo é formado por estudantes e atores locais envolvidos com a temática da gestão ambiental, buscando promover o engajamento e a aprendizagem ativa por meio da gamificação. As recompensas simbólicas como insígnias impressas e progressão por níveis foram planejadas para reforçar a motivação e o sentimento de pertencimento ao contexto estudado. O jogo baseia-se na metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), favorecendo o trabalho em equipe, a reflexão crítica e a construção colaborativa de soluções contextualizadas para os desafios ambientais da bacia hidrográfica.

O conteúdo foi organizado por unidades temáticas, cada uma composta por textos explicativos, atividades práticas, exercícios de fixação e etapas do jogo, articulando os dados técnicos à realidade vivenciada nas comunidades escolares. Todo o material foi redigido com linguagem clara, objetiva e didática, sem comprometer o rigor conceitual, o que garantiu sua aplicação eficaz no ambiente escolar. Com isso, o produto técnico atuou como uma ferramenta de educação ambiental e territorial, promovendo uma aprendizagem significativa, participativa e conectada com os desafios socioambientais locais.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 268–281, 2006.
- AJIBADE, I. et al. Self-reported experiences of climate change in Nigeria: the role of personal and socio-environmental factors. **Climate**, Basel, v. 3, n. 1, p. 16–41, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2225-1154/3/1/16>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- ALAGOAS. **Lei nº 5.965 de 10 de novembro de 1997**. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento. Maceió, 1998.
- ALAGOAS: **enchentes matam mais de cem**. Diário de Pernambuco, Recife, 15 de março de 1969, p.01. Disponível em: <https://bndigital.bn.gov.br/hereroteca-digital/>. Acesso em 15 de abri de 2024.
- ALMEIDA, Bruno H.; ARAÚJO, Flávio R. **A retração da cana-de-açúcar em estados do nordeste: uma leitura a partir das dinâmicas territoriais**. Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, v. 15, n. 2, p. 99–117, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rberu/article/view/80284>
- ALMEIDA, F. F. M. de et al. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2013.
- ALMEIDA, Leonardo A.; RODRIGUES, Paulo H.; COSTA, Mariana S. **Impactos ambientais da expansão de pastagens sobre áreas naturais: uma revisão de literatura**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 56, p. 24–37, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200565>
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, J. M. B. et al. Dinâmica pluviométrica do nordeste brasileiro: aspectos climáticos e hidrológicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 211–229, 2017.
- ALVES, P. B. R.; DJORDJEVIĆ, S.; JAVADI, A. A. An integrated socio-environmental framework for mapping hazard-specific vulnerability and exposure in urban areas. **Urban Water Journal**, London, v. 18, n. 4, p. 275–289, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2021.1913505>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água**. Brasília: ANA, 2021.
- ANDRADE, R. S.; FERNANDES, L. A. O. **Distribuição espacial e sazonal da precipitação no Estado de Pernambuco**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 26, p. 147–163, 2020.

ARAÚJO, A. L. C.; LIMA, A. M. M.; OLIVEIRA, P. T. S. Mudanças no uso e cobertura da terra e seus impactos nos recursos hídricos da bacia do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 26, e42, 2021.

ARAÚJO, P. A. A.; SILVA, C. M. S.; RODRIGUES, D. T. Analysis of extreme rainfall events on a sub-daily scale in Northeast. **Proceedings**, [S. I.], v. 25, n. 1, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4931/25/1/97>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ARAÚJO, R. O.; ROSA, T. C. Socio-environmental vulnerability and disaster risk reduction: the role of Espírito Santo State (Brazil). **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 267–281, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Gh4JKpSvjCnYNPd9SMML/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

BADIRU, A.; HUMAIRE, L.; WANDERLEY, L. S. A. Impact of climate change on the tourism potential of Northeastern Brazil: trend analysis and future perspectives. **Sustainability**, Freiburg, 2017. Disponível em: <https://freidok.uni-freiburg.de/files/266627/agACqEKeKDnm4CUI/sustainability-17-05290-v2.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

BARAKAT, A. et al. Land use/land cover change and environmental impact assessment in Béni-Mellal District (Morocco) using remote sensing and GIS. **Earth Systems and Environment**, [S.I.], v. 3, n. 1, p. 105–114, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41748-019-00088-y>. Acesso em: 15 ago. 2025.

BARBOSA, V. V.; SOUZA, W. M.; GALVÍNCIO, J. D.; COSTA, V. S. O. **Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco – Brasil**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 09, n. 02, p. 353-367, 2016.

BATISTA, B. A.; CORREIA FILHO, W. L. F. Avaliação da expansão urbana na Cidade de Maceió, Alagoas – Nordeste do Brasil. **Research, Society and Development**, [S. I.], v. 10, n. 11, 2021. Disponível em: <https://rsdjurnal.org/index.php/rsd/article/view/19537>. Acesso em: 22 ago. 2025.

BAYER, D. M. **Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala. RS**. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp172, 2014

BERTONI, J.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2005. p. 51–81.

BEWKET, W.; ABEBE, S. Land-use and land-cover change and its environmental implications in a tropical highland watershed, Ethiopia. **International Journal of Environmental Studies**, [S.I.], v. 70, n. 1, p. 126–139, 2013. Disponível em: https://app.scholarai.io/paper?paper_id=DOI:10.1080/00207233.2012.755765&origin_al_url=https%3A%2F%2Fwww.tandfonline.com%2Fdoi%2Fabs%2F10.1080%2F00207233.2012.755765. Acesso em: 15 ago. 2025.

BEZERRA, A. C.; DA SILVA, J. L. B. Dynamics of land cover and land use in Pernambuco (Brazil): Spatio-temporal variability and temporal trends of biophysical parameters. **Data in Brief**, [S. I.], v. 39, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938521002135>. Acesso em: 22 ago. 2025.

BLAIKIE, Piers; CANNON, Terry; DAVIS, Ian; WISNER, Ben. **At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters**. London: Routledge, 1994.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. da. **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

BRASIL. **Decreto Federal n.º 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código de Águas. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm. Acesso em: 07 abri de 2024.

BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Censo Demográfico. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

BRASIL. **Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: DOU, 5 Jan 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil>. Acesso em: 05 abri 2024.

BRASIL. **Lei n. 8.080, de 19 de setembro de 1990**. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm. Acesso em: 14 abri. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Brasília: MMA, 2016.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LeisL9433.htm. Acesso em 15 de março de 2024.

BRASIL. **Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 29 mar. 2024.

BURROUG, P.; McDONNEL, R. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

BUTT, A. et al. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, [S.I.], v. 18, n. 2, p. 251–259, 2015.

Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982315000332>. Acesso em: 15 ago. 2025.

CARVALHO, O.; JOSEPH, E. B. **Environment, and population in the semiarid Northeast.** Rio de Janeiro: Centro Celso Furtado, 2002. Disponível em: <http://www.centrocelfurtado.org.br/arquivos/image/201705031145070.Environment%20and%20population%20in%20Semi-arid%20Northeast.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

CHEN, C. H.; LIU, W. L.; LEU, H. G. Sustainable water quality management framework and a strategy planning system for a river basin. **Environmental Management**, New York, v. 38, n. 4, p. 654–666, 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-005-0304-1>. Acesso em: 15 ago. 2025.

CHOWDARY, V. M.; RAMAKRISHNAN, D.; SRIVASTAVA, Y. K. Integrated water resource development plan for sustainable management of Mayurakshi watershed, India using remote sensing and GIS. **Water Resources Management**, New York, v. 23, n. 5, p. 775–796, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-008-9342-9>. Acesso em: 15 ago. 2025.

CHOWDHURY, M.; HASAN, M. E. Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, [S.I.], v. 23, n. 3, p. 281–288, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982318300140>. Acesso em: 15 ago. 2025.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. The issue of water in the Brazilian Semi-Arid Region. In: LINTON, J. et al. **Water resources in the Americas.** Cham: Springer, 2016. p. 65–88. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/107304847/978-3-319-41372-3.pdf#page=70>. Acesso em: 22 ago. 2025.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

COMIN, A. N.; JUSTINO, F.; PEZZI, L. Extreme rainfall event in the Northeast coast of Brazil: a numerical sensitivity study. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. I.], 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-020-00747-0>. Acesso em: 22 ago. 2025.

CORRÊA, A. C. de B. The semi-arid domain of the Northeast of Brazil. In: SCHOBERT, A. et al. **Geology and geomorphology of Brazil.** Cham: Springer, 2019. p. 125–140. Disponível em: <https://dlib.scu.ac.ir/bitstream/Hannan/256198/1/9783030043322.pdf#page=126>. Acesso em: 22 ago. 2025.

CORREIA FILHO, W. L. F.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. The influence of urban expansion in the socio-economic, demographic, and environmental indicators in the City of Arapiraca-Alagoas, Brazil. **Data in Brief**, [S. I.], v. 37, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938521001981>. Acesso em: 22 ago. 2025.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SANTIAGO, D. B. Analysis of environmental degradation in Maceió-Alagoas, Brazil via orbital sensors: a proposal for landscape intervention based on urban afforestation. **Data in Brief**, [S. I.], v. 37, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938521001579>. Acesso em: 22 ago. 2025.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SANTIAGO, D. B. Impact of urban decadal advance on land use and land cover and surface temperature in the city of Maceió, Brazil. **Land Use Policy**, [S. I.], v. 86, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837719300328>. Acesso em: 22 ago. 2025.

COUTINHO, P. E.; CATALDI, M. Evaluation of extreme hydroclimatic trends in river basins located in the Northeast and South regions of Brazil. **Atmosphere**, Basel, v. 14, n. 9, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/14/9/1388>. Acesso em: 22 ago. 2025.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Mundaú**. 2014. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/17403/4/artigo_rio_mundau.pdf. Acesso em: 05 abr. 2025.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio**. Recife: CPRM, 2014.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. **Plano. Designing and conducting mixed methods research**. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2018.

CUNHA, A. P. M. A. et al. Avaliação de secas no Brasil: índice padronizado de precipitação (SPI) e seu uso na gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 3, p. 403–412, 2014.

CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; KUBOTA, P. Y. Impacts of land use and land cover changes on the climate over Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters**, [S. I.], 2015. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/asl2.543>. Acesso em: 22 ago. 2025.

CUTTER, S. L. et al. Social vulnerability to environmental hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242–261, 2003.

DE SHERBININ, Alex; SCHILLER, Amy; PULSIPHER, Alex. The vulnerability of global cities to climate hazards. **Annual Review of Environment and Resources**, v.

32, p. 339–365, 2007.

ESPINOZA, N. S. *et al.* Landslides triggered by the May 2017 extreme rainfall event in the east coast northeast of Brazil. **Atmosphere**, Basel, v. 12, n. 10, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/10/1261>. Acesso em: 22 ago. 2025.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Manual for integrated field data collection**. FAO: Rome, Italy, 2012, 175p.

FERNANDES, É. dos S. Desastres naturais no estado de Alagoas, região Nordeste do Brasil – advindos dos eventos climáticos de La Niña. **International Journal of Semi-Arid Regions**, [S. I.], 2021. Disponível em: <https://journalsemiarid.com/index.php/ijsa/article/download/80/128>. Acesso em: 22 ago. 2025.

FERREIRA, J. P. A. **Análise morfométrica, morfográfica e modelagem de paleosuperfícies das bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio**. 2022. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/12220>. Acesso em: 27 maio 2025.

FERREIRA, J. P. **Análise integrada da morfometria e uso do solo em bacias hidrográficas no semiárido nordestino**. 2022. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

FERREIRA, R. P. *et al.* Indicadores ambientais para avaliação da sustentabilidade do uso da terra em bacias hidrográficas. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 15, n. 4, p. 1–15, 2020.

FIRMINO, M. V. S. L. **Climatologia dos eventos extremos de precipitação em Maceió, Alagoas**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2024. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/14399>. Acesso em: 22 ago. 2025.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica**. Oficina de Textos, 2008.

FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2018.

FRAGOSO JR., C. R.; PEDROSA, V. D. A.; SOUZA, V. C. B. D. Reflexões sobre a cheia de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e Paraíba. In: Simpósio Regional Brasileiro de Recursos Hídricos, 10, Fortaleza. 2010. **Anais...** Fortaleza: ABRH, 2010. 1 CD-ROM.

FREITAS, M. A. de S. Water resources models and risk management for reducing vulnerability in semi-arid regions: the case of Northeast Brazil. [S. I.]: ResearchGate, [s. d.]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275952765>. Acesso em: 22 ago. 2025.

GAMA, L. C. Gestão integrada de recursos hídricos e suscetibilidade climática: um estudo de caso na bacia do rio Paraíba do Meio. **Revista Brasileira de Recursos**

Hídricos, v. 25, n. 1, p. 1–14, 2021.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. São Paulo: Edgar Blücher, 1988.

GARRIDO, F. H. et al. **Indicadores de seca para o semiárido brasileiro**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 24, p. 233–252, 2019.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019

GILBERT, R. O. **Statistical methods for environmental pollution monitoring**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.

GOMES, D. D. M.; DE LIMA, D. R. M.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOLDFARB, M. C. **Geoprocessamento aplicado à análise e zoneamento dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do rio Mundaú – PE/AL**. 2015. 231f. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

GOMES, D. D. M.; DE LIMA, D. R. M.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOLDFARB, M. C. Análise e Compartimentação Moformétrica da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú – Pernambuco e Alagoas. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v.27, n2, p.167-182, 2014.

GONÇALVES, Fernando; SOUZA, Letícia; PEREIRA, André. Reestruturação da produção de cana-de-açúcar no Brasil: fatores econômicos e políticas públicas entre 1980 e 2015. **Revista NERA**, v. 22, n. 48, p. 223–240, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.47946/rnera.v22i48.6047>

GUPTA, A. K. et al. Assessing the vulnerability of socio-environmental systems to climate change along an altitude gradient in the Indian Himalayas. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 106, p. 105512, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X19304972>. Acesso em: 15 ago. 2025.

GUPTA, A. K. et al. Mapping socio-environmental vulnerability to climate change in different altitude zones in the Indian Himalayas. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 113, p. 106244, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X19307812>. Acesso em: 15 ago. 2025.

HAIR JR., JOSEPH F. et al. **Fundamentals of data analysis in social and behavioral research**. 2. ed. Boston: Cengage Learning, 2021.

HAMUD, A. M.; PRINCE, H. M.; SHAFRI, H. Z. Landuse/Landcover mapping and monitoring using Remote sensing and GIS with environmental integration. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.I.], v. 357, n. 1, p. 012038, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/357/1/012038/meta>. Acesso em: 15 ago. 2025.

HIRSCH, R. M.; SLACK, J. R.; SMITH, R. A. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. **Water Resources Research**, v. 18, n. 1, p. 107–121, 1982.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico** 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/censos/censo-demografico.html>. Acesso em: 05 abr. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 jul. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas do Brasil e mapa de vegetação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**, 2nd ed., IBGE: Rio de Janeiro, Brasil, 2012. Pp.157-160.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 3 ed. 2013.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **MapBiomas Brasil**: coleção 9 (1985–2023). Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 15 jul. 2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SILVA, M. V.; SANTOS, A. Using remote sensing to quantify the joint effects of climate and land use/land cover changes on the caatinga biome of northeast Brazilian. **Remote Sensing**, Basel, v. 14, n. 8, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/8/1911>. Acesso em: 22 ago. 2025.

KHAN, H. F.; YANG, Y. C.; XIE, H. A coupled modeling framework for sustainable watershed management in transboundary river basins. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 21, p. 6275–6288, 2017. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/21/6275/2017/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

KLIMANOVA, O.; NAUMOV, A.; GREENFIELDT, Y. Regional trends of land use and land cover transformation in Brazil in 2001–2012. **Geography, Environment, Sustainability**, Moscou, v. 10, n. 4, p. 98–116, 2018. Disponível em: <https://ges.rgo.ru/jour/article/view/353>. Acesso em: 22 ago. 2025.

KRELLENBERG, K.; WELZ, J.; LINK, F. Urban vulnerability and the contribution of socio-environmental fragmentation: Theoretical and methodological pathways. **Progress in Human Geography**, London, v. 43, n. 4, p. 587–605, 2019. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0309132516645959>. Acesso em: 15 ago. 2025.

LI, P. et al. Sustainable water resources development and management in large river basins: an introduction. **Environmental Earth Sciences**, New York, v. 81, n. 2, p. 1–6, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-022-10298-9>. Acesso em: 15 ago. 2025.

LIMA, K. C. et al. Impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos no Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, n. 2, p. e21, 2019.

LIMA, Maria Carolina; SILVA, João Ricardo; FERREIRA, Ana Beatriz. Impactos da supressão de vegetação nativa sobre os serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas brasileiras. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1024–1038, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/245876>

LONG, J. W.; STEEL, E. A. Shifting perspectives in assessing socio-environmental vulnerability. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 7, p. 2625, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/7/2625>. Acesso em: 15 ago. 2025.

LOUCKS, Daniel P. Sustainable water resources management. **Water International**, Abingdon, v. 25, n. 1, p. 3–10, 2000. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02508060008686793>. Acesso em: 15 ago. 2025.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. I.], 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/download/42776477/Cluster_analysis_applied_to_the_spatial_20160217-8741-18olc5.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

LYRA, M. J. A. et al. Extreme precipitation events over the east coast of northeast Brazil: Synoptic study and MPAS simulation. **Weather and Climate Extremes**, [S. I.], 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094724000720>. Acesso em: 22 ago. 2025.

LYRA, M. J. A. et al. Synoptic patterns of extreme precipitation events in Northeast Brazil. **Natural Hazards**, [S. I.], 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-024-07074-2>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178p.

MAPBIOMAS. **Coleção 9 da Série Histórica de Uso e Cobertura da Terra no Brasil (1985-2023)**. São Paulo: MapBiomas, 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org> (acesso em 10 jul. 2025).

MARENGO, J. A. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI**. Parcerias Estratégicas, v. 27, n. 54, p. 9–34, 2022.

MARQUES, É. T.; GUNKEL, G.; SOBRAL, M. C. Management of tropical river basins and reservoirs under water stress: experiences from Northeast Brazil. **Environments**, Basel, v. 6, n. 6, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3298/6/6/62>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MATEUS, N. P. A. **Associations between extreme climate events and land-use changes in the Doce River Basin, MG:** climate change projections. 2025. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/82544>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MAVRONATIDI, A.; BRICHE, E.; CLAEYS, C. Mapping and analyzing socio-environmental vulnerability to coastal hazards induced by climate change: An application to coastal Mediterranean cities in France. **Cities**, Amsterdam, v. 66, p. 93–103, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275116307272>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**, Brasília, 2020, 620p.

MEDEIROS, S. S.; GALVÍNCIO, J. D. **Análise espaço-temporal da precipitação pluviométrica no estado de Alagoas**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 22, p. 182–200, 2018.

MELO, M. M. M. S. **Eventos extremos de precipitação diária e desastres socioambientais nas capitais dos estados da costa leste do Nordeste do Brasil**. 2021. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021. Disponível em: <https://bdtd.ufcg.edu.br/jspui/handle/riufcg/29250>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MENDES, P. D. A. G.; ALMEIDA, A. C.; LITRE, G. Políticas públicas e adaptação às mudanças climáticas: três estudos de casos no semiárido brasileiro. **ResearchGate**, [S. I.], 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366811931_Politicas_publicas_e_adaptacao_as_mudancas_climaticas_tres_estudos_de_casos_no_semiarido_Brasileiro. Acesso em: 22 ago. 2025.

MENEZES, J. A.; MADUREIRA, A. P.; SANTOS, R. B. Analyzing spatial patterns of health vulnerability to drought in the Brazilian semiarid region. International **Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 18, n. 12, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/12/6262>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MESHESHA, T. W.; TRIPATHI, S. K.; KHARE, D. Analyses of land use and land cover change dynamics using GIS and remote sensing during 1984 and 2015 in the Beressa Watershed Northern Central Highland of Ethiopia. **Modeling Earth Systems and Environment**, [S.I.], v. 2, p. 1–12, 2016. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-016-0233-4>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 15. ed. São Paulo: Hucitec, 2017.

MIRANDA, E. E.; CARVALHO, C. A.; MORAES, J. F. L. Uso de sistemas de informação geográfica na análise ambiental de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 351–359, 2000.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima geográfico**. São Paulo: EDUSP, 1976.

MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, [S. I.], v. 434-435, p. 55–68, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412001497>. Acesso em: 22 ago. 2025.

NOBRE, C. A. *et al.* **Causas ambientais das secas no semiárido brasileiro**. Brasília: INPE, 2001.

NOBRE, C. A.; MOURA, A. D.; SUN, L. The drought of the century in Northeast Brazil: A climate change scenario? In: **CLIMATE VARIABILITY AND CHANGE**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p. 273–292.

OBEIDAT, M.; AWAWDEH, M.; LABABNEH, A. Assessment of land use/land cover change and its environmental impacts using remote sensing and GIS techniques, Yarmouk River Basin, north Jordan. **Arabian Journal of Geosciences**, [S.I.], v. 12, n. 7, p. 1–13, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-019-4905-z>. Acesso em: 15 ago. 2025.

OLIVEIRA, G. C. *et al.* Serviços ecossistêmicos e gestão territorial: caminhos para sustentabilidade socioambiental. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 31, n. 1, p. 31–52, 2019.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. I.], 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1865-z>. Acesso em: 22 ago. 2025.

OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; CORREIA FILHO, W. L. F. Rainfall in Brazilian Northeast via in situ data and CHELSA product: mapping, trends, and socio-environmental implications. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 193, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-021-09043-9>. Acesso em: 22 ago. 2025.

OLORUNFEMI, I. E.; FASINMIRIN, J. T.; OLUFAYO, A. A. GIS and remote sensing-based analysis of the impacts of land use/land cover change (LULCC) on the

environmental sustainability of Ekiti State, southwestern Nigeria. **Environment, Development and Sustainability**, [S.I.], v. 22, n. 4, p. 3567–3584, 2020. Disponível em: https://app.scholarai.io/paper?paper_id=DOI:10.1007/S10668-018-0214-Z&original_url=https%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2Fdownload%2F91134232%2Fs10668-018-0214-z20220916-1-1pwb8ts.pdf. Acesso em: 15 ago. 2025.

OPPENHEIMER, M.; O'NEILL, Brian C.; WINKLER, Harald; LEVY, Marc. Emergent risks and key vulnerabilities. In: FIELD, Christopher B. et al. (Eds.). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2014. p. 1039–1100.

OXLEY, R. L.; MAYS, L. W. Application of an optimization model for the sustainable water resource management of river basins. **Water Resources Management**, New York, v. 30, n. 15, p. 5715–5729, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1459-7>. Acesso em: 15 ago. 2025.

OXLEY, R. L.; MAYS, L. W.; MURRAY, A. Optimization model for the sustainable water resource management of river basins. **Water Resources Management**, New York, v. 30, n. 12, p. 4299–4312, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1345-3>. Acesso em: 15 ago. 2025.

PEREIRA, G. M. et al. Variações espaço-temporais da precipitação e sua relação com a cobertura vegetal no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 81–94, 2019.

PEREIRA, Thiago; ANDRADE, Camila; COUTINHO, Felipe. A importância da vegetação ciliar na conservação dos recursos hídricos. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, e0123, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/ZFhNMRzqwCqVdS9FmpLmWcx/>

PERNAMBUCO. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú**. Secretaria de Recursos Hídricos. Recife, 1998.

PERNAMBUCO. **Recursos Hídricos – Leis e Decretos**. Secretaria de Recursos Hídricos. Recife, 1999.

PONCE, V. M. Management of droughts and floods in the semiarid Brazilian Northeast—The case for conservation. **The Journal of Social Psychology**, [S. I.], v. 135, n. 5, p. 623–631, 1995. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00224561.1995.12456988>. Acesso em: 22 ago. 2025.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, p. 1–17, 2010.

RIBEIRO, M. S. Environmental disasters in Northeast Brazil: hydrometeorological, social, and sanitary factors. **Weather, Climate, and Society**, [S. I.], v. 13, n. 3, 2021. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/wcas/13/3/WCAS-D-20-0132.1.xml>. Acesso em: 22 ago. 2025.

RIBEIRO, M. S. M.; ANDRADE, L. M. B.; SPYRIDES, M. H. C. Sanitary, social, and meteorological aspects and natural disasters in the northeastern region of Brazil. **Mercator**, Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/ThKTLfxqCSbbypqHch6kvKm/?format=html&lang=en&stop=next>. Acesso em: 22 ago. 2025.

RODRIGUES, D. T.; GONÇALVES, W. A. Spatial distribution of the level of return of extreme precipitation events in Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, [S. I.], 2020. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.6507>. Acesso em: 22 ago. 2025.

RODRIGUES, J. L. F. et al. **Recuperação de áreas degradadas e conservação de nascentes**. Revista Árvore, v. 43, n. 4, e430408, 2019.

RODRIGUES, T. E. et al. **Dinâmica de uso e cobertura da terra no Brasil e implicações para os recursos hídricos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 28, p. e12, 2023.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2006.

SAFAVI, H. R.; GOLMOHAMMADI, M. H.; SANDOVAL-SOLIS, S. Expert knowledge based modeling for integrated water resources planning and management in the Zayandehrud River Basin. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 528, p. 773–789, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169415005090>. Acesso em: 15 ago. 2025.

SALES, J. M. de J.; NETTO, A. O. A. Hydrological modeling of hydrographic basin in the northeast semiarid region of Brazil. **Research, Society and Development**, [S. I.], v. 11, n. 3, 2022. Disponível em: <https://rsdjurnal.org/index.php/rsd/article/view/26735>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SANTOS, A.; LOPES, P. M. O.; SILVA, M. V. da. Causes and consequences of seasonal changes in the water flow of the São Francisco river in the semiarid of Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, [S. I.], v. 32, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665972720300684>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SANTOS, C. A. G.; DO NASCIMENTO, T. V. M. Analysis of forest cover changes and trends in the Brazilian semiarid region between 2000 and 2018. **Environmental Earth Sciences**, Berlin, v. 79, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-020-09158-1>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, J. de S. Effects of extreme phases of El Niño–Southern Oscillation on rainfall extremes in Alagoas, Brazil. **International Journal of Climatology**, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.8288>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SANTOS, L. G. dos *et al.* Qualidade e homogeneidade de séries pluviométricas no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 105–120, 2018.

SANTOS, V. V. **Análise da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica Riacho Talhada – semiárido alagoano**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2024. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/16363>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SCHAEFFER-NOVELLI, Yara; CINTRÓN-MOLERO, Gilberto; ADAIME, Renata R.; KANADE, Tania. **Ecologia de manguezal**. Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

SILVA, F. M. *et al.* **Impactos da agropecuária sobre os recursos hídricos e estratégias de manejo sustentável**. Cadernos de Geografia, v. 33, n. 1, p. 50–67, 2023.

SILVA, G. L. da *et al.* Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú. **Revista Semiárido de Visu**, v. 9, n. 2, 2020. Disponível em: <https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/download/v9n201/269>. Acesso em: 05 abr. 2025.

SILVA, M. A. da *et al.* Avaliação da suscetibilidade socioambiental em bacias hidrográficas sob influência de eventos extremos. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 39, p. 23–40, 2020.

SILVA, R. M.; FERREIRA, R. A. Variações climáticas e seus impactos nos recursos hídricos do Nordeste brasileiro. **Revista Climatologia**, Santa Maria, v. 17, p. 234–250, 2020.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Porto Alegre, v.22, n.3, p.579-589, 2017.

SILVA, S. A. *et al.* Variabilidade Espaço-Temporal Da Precipitação Na Bacia Hidrográfica Do Rio Mundaú (PE/AL). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 453-475. 2018.

SOARES, A. B. **Análise da problemática socioambiental de nascentes urbanas no município de Garanhuns – PE**. 2015. 164f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SOUZA, F. A. S. et al. **Efeitos das mudanças na cobertura da terra sobre a recarga de aquíferos no semiárido brasileiro.** Revista Brasileira de Recursos Naturais, v. 11, n. 2, p. 79–93, 2021.

SOUZA JR, Carlos M. et al. **Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine.** Remote Sensing, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.

SOUZA, R. C. et al. Dinâmica da cobertura da terra e sua relação com os recursos hídricos em bacia hidrográfica. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 16, n. 3, p. 1–14, 2021.

SZEWRANSKI, S.; KAZAK, J. K. Socio-environmental vulnerability assessment for sustainable management. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 19, p. 1–18, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/19/7906>. Acesso em: 15 ago. 2025.

SZEWRANSKI, S.; ŚWIĄDER, M.; KAZAK, J. K. Socio-environmental vulnerability mapping for environmental and flood resilience assessment: the case of ageing and poverty in the City of Wrocław, Poland. **Integrated Environmental Assessment and Management**, Washington, v. 14, n. 5, p. 592–602, 2018. Disponível em: <https://academic.oup.com/ieam/article-abstract/14/5/592/7732482>. Acesso em: 15 ago. 2025.

TADESE, M. et al. Mapping of land-use/land-cover changes and its dynamics in Awash River Basin using remote sensing and GIS. **Environmental Development**, [S.I.], v. 34, p. 100501, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938519304306>. Acesso em: 15 ago. 2025.

TEIXEIRA, A. M. G. et al. Cobertura e uso da terra no Brasil: uma análise espacial da conservação ambiental. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 82–100, 2022.

TENÓRIO, A. O uso da terra e seus impactos nas bacias hidrográficas do agreste nordestino. **Cadernos do Desenvolvimento**, v. 15, n. 27, p. 57–74, 2023.

TEODOSIU, Carmen; BARJOVEANU, G. Sustainable water resource management: river basin management and the EC Water Framework Directive. **Water Resources Management**, [s.l.], 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carmen-Teodosiu/publication/268395261_Sustainable_water_resource_management_River_basin_management_and_the_EC_Water_Framework_Directive/links/54b921690cf2c27adc49166a/Sustainable-water-resource-management-River-basin-management-and-the-EC-Water-Framework-Directive.pdf. Acesso em: 15 ago. 2025.

THAKKAR, A. K. et al. Impact assessment of watershed management programmes on land use/land cover dynamics using remote sensing and GIS. **Environmental Development**, [S.I.], v. 22, p. 24–39, 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938516300283>. Acesso em: 15 ago. 2025.

THOMAZ, E. L. et al. **Ação antrópica, erosão e suscetibilidade ambiental no semiárido brasileiro**. Geografia (Londrina), v. 31, n. 1, p. 110–130, 2022.

TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; COSTA, M. H. Cenários de mudanças no uso da terra e seus impactos sobre os recursos hídricos no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 3, p. 291–302, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de recursos hídricos**. Porto Alegre: ABRH, 2009.

TUCCI, E. C. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2014, 943p.

TUCCI, E. C. M. (Org.). **Modelos hidrológicos**. 2^a ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005, 678p. TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: FIBGE/SEPREN, 1977.

TURNER, B. L. et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 14, p. 8074–8079, 2003.

VIEIRA, R. M. S. P.; OLIVEIRA CARAM, R.; SAITO, S. M. Integrated evaluation of socio-environmental data and hydrological risk for adapting urban areas to extreme climate events in Salvador, Brazil. **Environmental Development**, [S. I.], 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420925002067>. Acesso em: 22 ago. 2025.

WENG, S. Q.; HUANG, G. H.; LI, Y. P. An integrated scenario-based multi-criteria decision support system for water resources management and planning – A case study in the Haihe River Basin. **Expert Systems with Applications**, Amsterdam, v. 37, n. 12, p. 8242–8254, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417410004720>. Acesso em: 15 ago. 2025.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ZHANG, X. et al. Trends in Canadian climate extremes as simulated by a regional climate model. **Journal of Climate**, v. 18, n. 1, p. 104–123, 2005.

ANEXOS

JOGO Guardião da Bacia

Aluno: Dyogo Wlisses Ribeiro Matias

Orientador: Prof. Dr. Lucas Suassuna de A.
Wanderley

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Larissa Monteiro
Rafael



Instituto Federal de Alagoas
Mestrado Profissional em Tecnologias
Ambientais

JOGO
**Guardião da
Bacia**

Aluno: Dyogo Wlisses Ribeiro Matias

Orientador: Prof. Dr. Lucas Suassuna de A. Wanderley

Coorientadora: Profª. Drª. Larissa Monteiro Rafael

Tipo de Produto Técnico ou Tecnológico:

Manual

Linha de Pesquisa:

Manejo e Monitoramento Ambiental

JOGO Guardião da Bacia

**Ministério da Educação
Instituto Federal de Alagoas**

Reitor
Carlos Guedes de Lacerda

**Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós Graduação e
Inovação**
Eunice Palmeira da Silva

**Coordenadora do Mestrado em Tecnologias
Ambientais**
Joabe Gomes de Melo

Autores:
Dyogo Wlisses Ribeiro Matias
Prof. Dr. Lucas Suassuna de A. Wanderley
Profª. Drª. Larissa Monteiro Rafael

Projeto Gráfico:
Dyogo Wlisses Ribeiro Matias

CARTA DE APRESENTAÇÃO

Caros leitores,

As bacias hidrográficas representam ecossistemas fundamentais para o equilíbrio ambiental e para a sobrevivência humana, já que concentram os recursos hídricos que abastecem cidades, sustentam atividades econômicas e garantem a preservação da biodiversidade. A crescente pressão antrópica sobre esses territórios, manifestada em práticas como desmatamento, poluição, uso inadequado do solo e ocupação desordenada, tem provocado impactos significativos na qualidade da água e no funcionamento dos ecossistemas. Diante desse cenário, torna-se indispensável a criação de estratégias educativas que sensibilizem a sociedade, em especial os jovens, quanto à relevância da conservação das bacias hidrográficas e do uso sustentável dos recursos naturais.

CARTA DE APRESENTAÇÃO

Ao analisar mapas, interpretar dados e defender propostas de gestão participativa, os estudantes vivenciam um processo de aprendizagem que articula saberes científicos, valores sociais e responsabilidade ambiental. Essa abordagem não apenas contribui para a compreensão do funcionamento de uma bacia hidrográfica, mas também reforça a importância do protagonismo juvenil na busca por soluções sustentáveis e coletivas.

O Guardião da Bacia constitui, portanto, um material que ultrapassa a dimensão de um jogo. Ele se configura como ferramenta formativa, capaz de integrar conteúdos de geografia, biologia e cidadania, ao mesmo tempo em que promove o engajamento, a criatividade e a tomada de decisão fundamentada.

CARTA DE APRESENTAÇÃO

Foi a partir dessa necessidade que se estruturou o jogo didático Guardião da Bacia, um recurso pedagógico desenvolvido para aproximar os estudantes do Ensino Médio das temáticas ambientais por meio da ludicidade, da gamificação e da aprendizagem baseada em problemas. O jogo transforma a sala de aula em um espaço de interação e reflexão, onde os alunos assumem o papel de Guardiões Ambientais da Bacia do Rio Mundaú. Nessa dinâmica, as equipes enfrentam desafios ambientais reais representados pelas cartas de missão, elaboram soluções sustentáveis com as cartas de ação e vivenciam situações imprevistas simuladas pelas cartas de evento climático, que exigem decisões rápidas e fundamentadas.

A cada fase, os grupos são convidados a discutir, negociar e propor alternativas que vão além da simples resolução de problemas, estimulando o pensamento crítico, a cooperação e a consciência cidadã.

CARTA DE APRESENTAÇÃO

A experiência proposta estimula nos alunos a capacidade de argumentação, o respeito ao trabalho em equipe e a valorização das práticas ambientais voltadas à preservação dos recursos hídricos, incentivando-os a se perceberem como agentes de transformação social.

Convido você, educador e leitor, a explorar esta proposta e a reconhecê-la como uma oportunidade de unir conhecimento, prática e sensibilização ambiental. Mais do que uma atividade lúdica, o Guardião da Bacia pretende inspirar novas gerações a compreenderem a complexidade dos problemas ambientais e a desenvolverem atitudes responsáveis diante dos desafios que se impõem ao nosso tempo. Cada carta, cada fase e cada missão foram elaboradas para proporcionar experiências de aprendizagem significativas, que unem raciocínio, debate e cooperação em prol de um futuro mais equilibrado e sustentável.

ÍNDICE

1. Introdução.....	10
2. Funcionamento do Jogo: Guardião da Bacia.....	18
3. Componentes do Jogo (Impressos).....	19
4. Tabuleiro.....	20
5. Áreas Críticas.....	21
6. Cartas de Missão.....	22
7. Cartas de Evento Climático.....	24
8. Cartas de Ação/Solução.....	26
9. Insígnias.....	29
10. Painel de Progresso.....	37
11. Fichas de Equipe.....	38
12. Manual de Instruções do Jogo.....	39
13. Caderno de Atividades Complementares.....	42
14. Considerações Finais.....	44
15. Referências.....	48

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são estruturas naturais fundamentais para a regulação ambiental, pois funcionam como unidades que integram os recursos hídricos, o solo, a vegetação e as atividades humanas. Elas representam ecossistemas complexos, responsáveis pela manutenção da biodiversidade e pelo fornecimento de serviços ambientais indispensáveis à sociedade, como o abastecimento de água, a produção de alimentos e a geração de energia. A compreensão de sua dinâmica torna-se, portanto, elemento central para a conservação ambiental e para o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2013).

O uso e a cobertura da terra têm sofrido transformações intensas nas últimas décadas, em razão do avanço das atividades econômicas, da expansão urbana desordenada e da intensificação da agricultura. Essas alterações impactam diretamente os sistemas ambientais, modificando os fluxos hidrológicos e ampliando os riscos de degradação.

INTRODUÇÃO

A supressão da vegetação nativa, por exemplo, compromete a infiltração da água no solo e aumenta o escoamento superficial, favorecendo processos erosivos e enchentes (Alexandre et al., 2016). Além disso, os eventos climáticos extremos têm se tornado mais recorrentes e severos, resultado direto da intensificação das mudanças climáticas globais. Estiagens prolongadas e chuvas torrenciais, associadas ao desmatamento e ao uso inadequado do solo, ampliam a suscetibilidade das bacias hidrográficas a desastres ambientais.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) reforça que esses fenômenos são agravados pelas emissões de gases de efeito estufa e pela expansão de atividades humanas em áreas vulneráveis.

No contexto do Nordeste brasileiro, tais problemas assumem maior relevância, uma vez que a região é marcada por forte variabilidade climática e por períodos prolongados de seca, alternados com chuvas intensas.

INTRODUÇÃO

A expansão urbana desordenada, a degradação da vegetação nativa e o uso intensivo do solo para agricultura e pecuária comprometem os ecossistemas aquáticos e reduzem a resiliência ambiental. Essas transformações fragilizam ainda mais os sistemas socioecológicos e ampliam os riscos de colapso ambiental diante de eventos extremos (Haddeland et al., 2014).

Estudos apontam que as bacias hidrográficas não devem ser entendidas apenas como unidades físicas, mas também como territórios que reúnem dimensões sociais, políticas e econômicas. Elas são, ao mesmo tempo, espaços de produção, moradia e suporte de vida, cujos serviços ambientais sustentam diretamente as populações que nelas vivem. Por isso, compreender sua dinâmica exige uma abordagem integrada e interdisciplinar, que considere tanto os elementos naturais quanto os fatores sociais e institucionais (Taye; Moges, 2020).

INTRODUÇÃO

Essa dinâmica afeta diretamente as populações locais, os sistemas produtivos e a disponibilidade de recursos hídricos. Dessa forma, a análise das mudanças no uso da terra e dos eventos climáticos extremos é essencial para compreender a vulnerabilidade socioambiental dessa região (IPCC, 2022).

A Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba (UGRHMP), localizada entre os estados de Pernambuco e Alagoas, é um exemplo concreto dessa realidade. A região apresenta histórico de enchentes devastadoras e estiagens severas, que comprometem não apenas a qualidade ambiental, mas também a economia e a qualidade de vida da população. A conjugação desses fatores acentua a necessidade de estudos que integrem ciência, tecnologia e governança socioambiental (Vale; Costa; Pimentel, 2021).

As intervenções antrópicas, quando somadas às mudanças climáticas, têm potencializado os impactos negativos sobre a bacia.

INTRODUÇÃO

A análise da cobertura e uso da terra é uma ferramenta estratégica para o monitoramento da qualidade ambiental das bacias hidrográficas. Esse estudo permite identificar tendências de degradação, reconhecer áreas críticas e avaliar as consequências da ocupação humana sobre os recursos naturais. As mudanças na paisagem, quando observadas ao longo do tempo, revelam processos que comprometem a sustentabilidade, como assoreamento de rios, perda de biodiversidade e alteração dos regimes de chuvas (Obeidat et al., 2019).

Do mesmo modo, os eventos climáticos extremos têm impacto direto sobre a vida das comunidades. A ocorrência de longos períodos de estiagem compromete a produção agrícola e reduz a disponibilidade de água para consumo humano e animal. Já as chuvas intensas, quando concentradas em curtos intervalos de tempo, provocam enchentes, alagamentos e deslizamentos, colocando em risco vidas humanas e provocando prejuízos econômicos. E caminhos para a mitigação dos impactos e para a adaptação às mudanças ambientais (Tucci, 2009).

INTRODUÇÃO

Esses fenômenos reforçam a importância de medidas de mitigação e adaptação baseadas em evidências científicas (IPCC, 2021).

A suscetibilidade ambiental é compreendida como a predisposição de uma região a sofrer impactos adversos diante de perturbações externas. Ela não está associada apenas aos aspectos físicos do território, mas também às condições sociais, econômicas e institucionais que influenciam a capacidade de adaptação e resposta da população. Nesse sentido, pensar a vulnerabilidade das bacias hidrográficas exige considerar o papel das desigualdades sociais e das fragilidades na governança ambiental (Blaikie et al., 1994; Cutter; Boruff; Shirley, 2003).

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de pesquisas que investiguem as interações entre mudanças no uso da terra, eventos climáticos extremos e suscetibilidade socioambiental. Esse tipo de análise fornece informações estratégicas para subsidiar políticas públicas e apoiar a formulação de planos de gestão sustentável dos recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

Além disso, permite reconhecer a complexidade das relações entre sociedade e natureza, ampliando a compreensão sobre os desafios ambientais contemporâneos (Oxley; Mays; Murray, 2016).

A Bacia Hidrográfica dos Rios Mundaú e Paraíba exemplifica um território em que essas interações se manifestam de maneira intensa. A região abriga milhões de habitantes e desempenha papel estratégico para a economia local, baseada na agricultura familiar, na pecuária e em atividades urbanas. Entretanto, as pressões exercidas sobre o meio físico, somadas à variabilidade climática, aumentam a exposição da população a riscos socioambientais graves (IBGE, 2022).

Por esse motivo, a investigação sobre a suscetibilidade da UGRHMP adquire relevância científica e social. Ao articular dados de geoprocessamento, informações pluviométricas e indicadores socioambientais, é possível construir um panorama mais abrangente da realidade regional.

INTRODUÇÃO

Essa análise integrada permite não apenas diagnosticar os problemas, mas também identificar caminhos para a mitigação dos impactos e para a adaptação às mudanças ambientais (Tucci, 2009).

É importante destacar que as mudanças no clima global, acompanhadas pelo aumento da temperatura média e pela alteração nos regimes de precipitação, devem intensificar os riscos já presentes na bacia. Projeções recentes do IPCC (2022) indicam que a elevação da temperatura pode ultrapassar 1,5°C até o final do século, o que ampliará a frequência de eventos extremos e aumentará a pressão sobre os sistemas ambientais frágeis. Esse cenário demanda ações urgentes e coordenadas em escala regional.

INTRODUÇÃO

Assim, a presente pesquisa propõe investigar os componentes da suscetibilidade ambiental da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Mundaú/Paraíba diante das mudanças no uso e cobertura da terra e da ocorrência de eventos climáticos extremos. Ao integrar análises físicas, sociais e institucionais, busca-se contribuir para a compreensão da dinâmica socioambiental da região e oferecer subsídios para políticas públicas e ações educativas voltadas à conservação dos recursos naturais e ao fortalecimento da resiliência climática.

FUNCIONAMENTO DO JOGO: GUARDIÃO DA BACIA

“Guardião da Bacia” é um jogo didático em formato impresso, estruturado para aproximar os estudantes do Ensino Médio das temáticas ambientais por meio de missões interativas, materiais visuais e dinâmicas em grupo. Utiliza conceitos de gamificação e aprendizagem baseada em problemas (ABP) para promover o engajamento, a leitura crítica e o protagonismo estudantil.

COMPONENTES DO JOGO (IMPRESSOS)

O jogo será montado com os seguintes materiais:

- Tabuleiro de jogo: mapa temático da bacia hidrográfica dividido em regiões (zonas urbanas, matas ciliares, áreas de agricultura, nascentes, rios).
- Cartas de Missão: desafios ambientais com problemas reais (ex.: desmatamento, ocupação irregular, seca prolongada).
- Cartas de Ação: soluções possíveis para cada missão (ex.: reflorestamento, criação de cisternas, educação ambiental).
- Cartas de Evento Climático: sorteadas para simular situações inesperadas (ex.: enchente, estiagem, onda de calor).
- Marcadores: fichas que representam conquistas e insígnias (Guardião da Água, Protetor das Nascentes, etc.).
- Painel de progresso: cartaz em papel-cartão com os níveis de avanço dos grupos.
- Manual do Jogador: instruções, glossário de termos e orientações para cada fase.

TABULEIRO

Descrição:

Tabuleiro impresso da bacia hidrográfica:

- Representação geográfica da bacia com zonas temáticas (áreas urbanas, matas ciliares, rios, áreas agrícolas etc.);
- Dividido por regiões críticas para ações estratégicas dos jogadores.



ÁREAS CRÍTICAS



São pequenos símbolos que os alunos colocam sobre o tabuleiro quando identificam um problema ambiental.

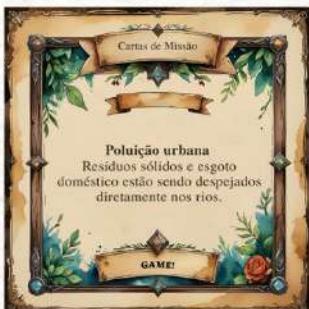
CARTAS DE MISSÃO



Descrição:

- Desafios que os grupos devem enfrentar (ex: reflorestar nascentes, reduzir erosão, evitar ocupação irregular);
- Cada carta apresenta um problema ambiental realista e contextualizado.

CARTAS DE MISSÃO



CARTAS DE EVENTO CLIMÁTICO



Descrição:

- Situações imprevisíveis sorteadas durante o jogo (ex: estiagens prolongadas, enchentes, chuvas intensas);
- Geram consequências que exigem reação estratégica dos jogadores.

CARTAS DE EVENTO CLIMÁTICO



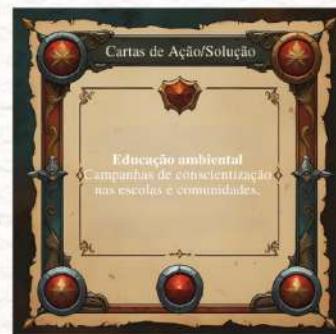
CARTAS DE AÇÃO/SOLUÇÃO



Descrição:

- Alternativas que os alunos escolhem para resolver as missões (ex: criar áreas de preservação, campanhas educativas, manejo sustentável);
- Algumas cartas exigem leitura de gráficos, mapas ou debate em grupo.

CARTAS DE AÇÃO/SOLUÇÃO



CARTAS DE AÇÃO/SOLUÇÃO



INSÍGNIAS



Descrição:

Insígnias:

- Fichas ou selos entregues às equipes a cada fase vencida (ex: "Guardião da Água", "Protetor da Nascente", "Gestor do Solo");
- Estimulam engajamento e reconhecimento das ações corretas.

INSÍGNIAS

Guardião da Água



Descrição:

Representa a equipe que se destacou na defesa da qualidade dos rios e na preservação dos recursos hídricos da bacia. Esta insígnia simboliza a responsabilidade de manter as águas livres da poluição e acessíveis às futuras gerações.

INSÍGNIAS

Protetor da Nascente



Descrição:

É concedida aos que garantem a proteção dos pontos de origem da bacia, preservando as nascentes contra ocupações, desmatamentos e contaminações. A insígnia reforça o papel vital das nascentes como fonte de continuidade da vida.

INSÍGNIAS

Defensor das Matas Ciliares



Descrição:

Simboliza a proteção das florestas que acompanham os rios, essenciais para o equilíbrio ecológico da bacia. Esta insígnia é entregue aos grupos que realizam ações de reflorestamento e de conservação da cobertura vegetal.

INSÍGNIAS

Gestor do Solo



Descrição:

Reconhece a equipe que promoveu soluções ligadas ao uso adequado da terra, prevenindo erosões e recuperando áreas degradadas. Sua insígnia traduz o compromisso com o manejo sustentável e a fertilidade do solo.

INSÍGNIAS

Guardião da Cidade Sustentável



Descrição:

Reconhece os que enfrentaram desafios urbanos da bacia, como enchentes, esgoto e lixo. A insígnia valoriza aqueles que propuseram soluções para tornar o espaço urbano mais saudável e integrado à natureza.

INSÍGNIAS

Guardião do Clima



Descrição:

É atribuída às equipes que responderam de forma eficiente a eventos extremos, como estiagens, enchentes e ondas de calor. A insígnia representa a capacidade de adaptação e resiliência diante das mudanças climáticas.

INSÍGNIAS

Guardião-Mestre da Bacia



Descrição:

Título supremo, destinado ao grupo que alcança o maior número de insígnias ou apresenta as propostas mais consistentes de gestão participativa. Essa insígnia simboliza a liderança coletiva e o compromisso pleno com a sustentabilidade da bacia.

PAINEL DE PROGRESSO

Descrição:

Painel de Progresso:

- Quadro impresso onde são registradas as conquistas das equipes (fichas de missão cumprida, insígnias etc.);
 - Usado pelo professor para acompanhar o avanço de cada grupo.

FICHAS DE EQUIPE

Descrição:

- Identificação dos grupos e registro de decisões e justificativas tomadas ao longo do jogo.

Ficha de Equipe – Guardião da Bacia

Nome da Equipe:

Integrantes:

- ◆ **Identificação da Fase**
 - **Fase:**
 - **Missão Recebida:**
 - **Evento Climático (se houver):**
- ◆ **Decisão da Equipe**
 - **Ação/Solução Escolhida:**
 - **Justificativa da Escolha:**
- ◆ **Resultados**
 - **Missão concluída? () Sim () Não**
 - **Insígnia conquistada:**
- ◆ **Reflexão do Grupo**
 - **O que aprendemos com esta missão?**

MANUAL DE INSTRUÇÕES DO JOGO

Descrição:

- Contém regras, descrição das fases, sugestões de mediação e glossário de termos técnicos;
- Auxilia o professor na aplicação pedagógica.

Manual do Professor

Objetivos Educacionais

- Estimular a leitura crítica de mapas e dados ambientais.
- Desenvolver competências de argumentação, escuta ativa e resolução de problemas.
- Aplicar conhecimentos de geografia física, sustentabilidade e cidadania.
- Incentivar o trabalho em equipe e o protagonismo juvenil na gestão ambiental.

Organização dos Alunos

- Formar equipes de 3 a 5 integrantes.
- Cada equipe representa um grupo de Guardiões Ambientais da Bacia do Rio Mundaú.
- As equipes devem escolher um nome e símbolo próprio, incentivando identidade e engajamento.
- Sugestão: O professor pode adaptar a quantidade (por exemplo, usar só parte do baralho em turmas menores).

Componentes do Jogo

- Tabuleiro da bacia hidrográfica.
- Cartas de Missão, Ação/Solução e Evento Climático.
- Insígnias e marcadores.
- Painel de Progresso.
- Fichas de Equipe.
- Caderno de Atividades Complementares.

Regras Resumidas

- O professor apresenta o tabuleiro e os componentes.
- Cada rodada começa com a leitura de uma Carta de Missão.
- A equipe discute e escolhe uma Carta de Ação/Solução.
- O professor pode sortear uma Carta de Evento Climático para alterar o andamento do jogo.
- A cada missão concluída com sucesso, a equipe recebe uma insígnia.
- O progresso das equipes é registrado no Painel de Progresso.

MANUAL DE INSTRUÇÕES DO JOGO

Descrição:

- Contém regras, descrição das fases, sugestões de mediação e glossário de termos técnicos;
- Auxilia o professor na aplicação pedagógica.

Manual do Professor

Fases do Jogo

1. Diagnóstico da Bacia – identificar áreas críticas no tabuleiro.
2. Uso e Cobertura da Terra – enfrentar desafios ligados ao desmatamento e à agricultura.
3. Eventos Extremos – reagir a situações imprevistas.
4. Recuperação e Sustentabilidade – propor soluções para os problemas acumulados.
5. Gestão Participativa – simulação de um conselho gestor para decisão coletiva.

Pontuação e Reconhecimento

- Cada missão cumprida = 1 insígnia ambiental.
- A equipe vencedora será aquela com maior número de insígnias ou que apresentar a melhor proposta no conselho final.
- O grupo campeão recebe o título de Guardião-Mestre da Bacia.

Papel do Professor (Mediação)

- Explicar as regras iniciais e garantir a compreensão de todos.
- Incentivar a argumentação e a tomada de decisões em grupo.
- Controlar o uso das cartas de evento, de modo a equilibrar desafios e oportunidades.
- Estimular reflexões após cada fase, conectando o jogo ao conteúdo curricular.
- Registrar a evolução das equipes no Painel de Progresso.

Avaliação Sugerida

- Diagnóstica: percepção inicial dos alunos sobre problemas ambientais.
- Formativa: participação nos debates, justificativas apresentadas e cooperação em equipe.
- Somativa: desempenho registrado nas fichas de equipe, nas atividades complementares e no conselho gestor final.

CADERNO DE ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Descrição:

- Exercícios escritos, leitura de mapas, interpretação de gráficos e propostas de solução coletiva;
- Relacionado às missões do jogo e usado como avaliação pedagógica.

Caderno de Atividades Complementares Guardião da Bacia

Atividade 1 – Leitura de Mapas

Observe o tabuleiro do jogo Guardião da Bacia.

1. Identifique duas áreas críticas representadas no mapa.
2. Explique por que essas áreas apresentam risco para o equilíbrio da bacia.
3. Proponha uma ação que poderia reduzir esse impacto.

Atividade 2 – Interpretação de Gráficos

O gráfico abaixo mostra a variação da precipitação média mensal na região da bacia.

1. Em quais meses há maior risco de estiagem?
2. Quais impactos essa estiagem pode gerar nos rios e nascentes?
3. Que soluções poderiam ser adotadas pela comunidade escolar para enfrentar esse problema?

Atividade 3 – Estudo de Caso

Leia a situação:

Uma comunidade próxima ao rio enfrenta problemas com enchentes frequentes. A ocupação irregular das margens e o descarte de lixo agravam a situação.

Questões:

1. Quais fatores ambientais contribuíram para as enchentes?
2. Que medidas poderiam ser adotadas para reduzir os impactos?
3. Relacione essa situação a uma carta de missão do jogo.

CADERNO DE ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Descrição:

- Exercícios escritos, leitura de mapas, interpretação de gráficos e propostas de solução coletiva;
- Relacionado às missões do jogo e usado como avaliação pedagógica.

Caderno de Atividades Complementares Guardião da Bacia

Atividade 4 – Proposta Coletiva

Em grupo, elaborem um projeto simples de preservação para a bacia hidrográfica, considerando:

- Problema identificado.
- Ação proposta.
- Recursos necessários.
- Benefícios esperados.

Atividade 5 – Reflexão Individual

Escreva um pequeno texto respondendo:

- O que aprendi jogando Guardião da Bacia?
- Como minhas escolhas no jogo refletem a realidade da gestão ambiental?
- Qual foi a missão mais desafiadora e por quê?

Atividade 6 – Análise de Imagem

Observe a imagem de uma nascente degradada (professor exibe ou imprime).

1. Quais problemas ambientais podem ser identificados?
2. Quais soluções imediatas poderiam ser aplicadas?
3. Essa imagem se conecta a qual carta do jogo?

CADERNO DE ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Descrição:

- Exercícios escritos, leitura de mapas, interpretação de gráficos e propostas de solução coletiva;
- Relacionado às missões do jogo e usado como avaliação pedagógica.

Caderno de Atividades Complementares Guardião da Bacia

Atividade 7 – Debate Regrado

Organizem um debate com a seguinte pergunta:

“O que é mais urgente para a bacia: preservar as nascentes ou recuperar as áreas urbanas degradadas?”

- Um grupo defende a primeira opção.
- Outro grupo defende a segunda.
- Ao final, a turma vota nas ideias mais consistentes.

Atividade 8 – Cidadania e Sustentabilidade

Liste três atitudes que você pode adotar em casa ou na escola para colaborar com a proteção da água.

Explique como cada atitude, mesmo sendo pequena, pode gerar impacto positivo quando praticada coletivamente.

Atividade 9 – Linha do Tempo Ambiental

Em grupo, criem uma linha do tempo representando a evolução de uma bacia hidrográfica:

- Situação inicial (preservada).
- Impactos ao longo dos anos (desmatamento, poluição, ocupação irregular).
- Ações de recuperação.

Atividade 10 – Conselho Gestor Simulado

Simulem uma reunião do Conselho Gestor da Bacia.

- Cada equipe representa um setor (moradores, agricultores, poder público, ONGs, jovens estudantes).
- Cada setor apresenta uma proposta de manejo sustentável.
- Ao final, a turma deve votar em um plano coletivo de preservação.

ATIVIDADE APLICADA: ESTUDO DE BACIA HIDROGRÁFICA E LEITURA DE MAPAS

(Usando o mapa da Bacia do Rio Mundaú)

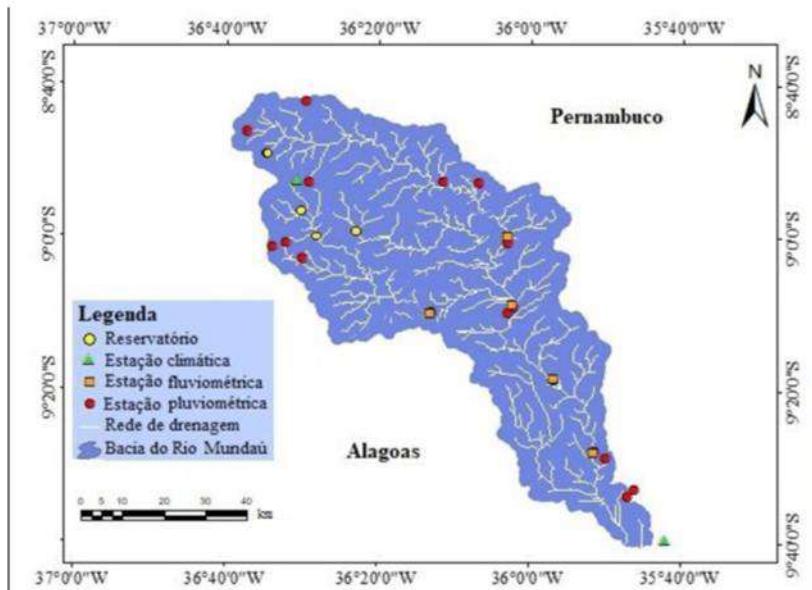
Esta atividade tem como objetivo desenvolver habilidades de observação, interpretação cartográfica e compreensão dos elementos que compõem uma bacia hidrográfica. Utilizando o mapa da Bacia do Rio Mundaú, os alunos irão identificar feições naturais e antrópicas, compreender a dinâmica da drenagem e relacionar esses elementos com os desafios ambientais apresentados no jogo.

1. Observação inicial do mapa

Peça para os alunos analisarem o mapa por 2 a 3 minutos, observando:

- o formato da bacia;
- onde estão os rios principais;
- a quantidade de afluentes;
- pontos de monitoramento (pluviométricos, fluirométricos, climáticos);
- locais dos reservatórios.

Depois, pergunte: **O que mais chamou a atenção na distribuição dos rios e pontos de monitoramento?**



2. Identificação dos elementos da bacia

Solicite que cada grupo identifique e marque (pode ser com lápis, etiqueta ou apontando com o dedo):

- **A nascente principal**
- **A foz da bacia**
- **Áreas de maior concentração de drenagem** (regiões onde há muitos cursos d'água)
- **Regiões mais elevadas e mais baixas** (pelo padrão do desenho dos rios)
- **Áreas que indicam maior risco de enchentes ou alagamentos**

Explique que a concentração de rios indica áreas de intensa drenagem, e cursos mais espaçados mostram terrenos mais altos ou secos.

3. Relacionando o mapa com problemas ambientais

Cada grupo recebe uma carta do jogo (ex.: desmatamento, erosão, poluição, ocupação irregular).

Usando o mapa, eles deverão responder:

- a) Em qual região da bacia esse problema provavelmente ocorre?
- b) Que evidências no mapa levam a essa conclusão?
- c) Como esse problema poderia afetar o rio principal?

Exemplo:

- Se a carta for “erosão”, os alunos podem apontar regiões com muitos afluentes próximos, indicando forte drenagem.
- Se for “enchentes”, podem escolher áreas próximas à foz, onde o acúmulo de água é maior.

4. Análise interpretativa (pequena síntese)

Cada grupo elabora um parágrafo curto respondendo:

Como a distribuição dos rios e das estações de monitoramento ajuda a entender o comportamento da bacia?

Agora, eles relacionam a leitura do mapa com o conteúdo estudado e as dinâmicas do jogo.

5. Conexão com o jogo “Guardião da Bacia”

Para finalizar, os alunos devem dizer:
Como o mapa pode ajudar na tomada de decisões dentro do jogo?

Algumas respostas esperadas:

- identificar regiões frágeis;
- priorizar áreas que concentram mais rios;

- compreender a importância das nascentes;
- relacionar missões do jogo com áreas reais da bacia.

RESULTADO ESPERADO DA ATIVIDADE

Ao final, o aluno terá:

- ✓ compreendido a estrutura geral da Bacia do Rio Mundaú;
- ✓ identificado elementos fundamentais de uma bacia hidrográfica;
- ✓ desenvolvido habilidades de leitura e interpretação cartográfica;
- ✓ aplicado essas informações às ações do jogo;
- ✓ construído visão crítica sobre problemas ambientais reais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do jogo didático Guardião da Bacia demonstra a potencialidade da ludicidade como estratégia pedagógica para a sensibilização ambiental e a formação cidadã. A proposta, fundamentada na gamificação e na Aprendizagem Baseada em Problemas, mostrou-se adequada para aproximar os estudantes do Ensino Médio das discussões sobre o uso sustentável da terra, a gestão participativa dos recursos hídricos e os impactos dos eventos climáticos extremos.

Ao longo das fases do jogo, os alunos são instigados a assumir papéis ativos, refletindo sobre situações que simulam os desafios ambientais enfrentados pelas comunidades que vivem em áreas de bacia hidrográfica. Esse processo de imersão contribui para que a aprendizagem deixe de ser meramente teórica e se converta em experiência significativa, marcada pela análise crítica, pelo diálogo entre pares e pela busca coletiva de soluções sustentáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de componentes como cartas de missão, cartas de ação e cartas de evento climático confere dinamismo à atividade, ao mesmo tempo em que promove a interdisciplinaridade. Cada desafio apresentado remete a problemas reais, exigindo que os estudantes mobilizem conhecimentos de geografia, biologia, cidadania e sustentabilidade. Dessa forma, o jogo integra conceitos acadêmicos com práticas sociais, fortalecendo a compreensão de que a conservação ambiental depende de escolhas coletivas conscientes e responsáveis.

Outro aspecto relevante diz respeito ao protagonismo estudantil. Ao representar grupos de Guardiões Ambientais, os jovens exercitam a cooperação, a tomada de decisão e a argumentação fundamentada. Além disso, o sistema de insígnias e pontuações, longe de estimular apenas a competição, favorece o engajamento e o reconhecimento das ações corretas, valorizando o esforço de cada equipe.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações pedagógicas que emergem da aplicação do Guardião da Bacia apontam para sua eficácia como recurso didático que ultrapassa a dimensão recreativa. O jogo pode ser incorporado a diferentes contextos escolares como instrumento complementar ao ensino formal, permitindo que os professores articulem conteúdos curriculares a práticas educativas inovadoras.

Constata-se, assim, que a proposta contribui para a formação de estudantes mais conscientes de sua responsabilidade socioambiental e mais preparados para atuar em processos de gestão participativa. Ao estimular o pensamento crítico e a busca coletiva de soluções, o Guardião da Bacia reforça a importância da educação ambiental como caminho para a construção de sociedades mais sustentáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, conclui-se que o jogo se constitui não apenas em um recurso pedagógico inovador, mas também em uma ferramenta formativa que pode inspirar novas práticas educativas voltadas ao fortalecimento da cidadania ambiental. Seu potencial reside justamente em aliar conhecimento, ludicidade e engajamento, criando condições para que os alunos reconheçam a relevância das bacias hidrográficas e compreendam seu papel como protagonistas na preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, N. C. et al. Mapeamento e análise das mudanças na cobertura e uso da terra em áreas de expansão agrícola. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 9, n. 6, p. 1735-1748, 2016.
- BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B. *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. London: Routledge, 1994.
- CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003.
- HADDELAND, I. et al. Global water resources affected by human interventions and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 111, n. 9, p. 3251-3256, 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual Técnico de Uso da Terra*. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

REFERÊNCIAS

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- OBEIDAT, M. et al. Land use/land cover change and its environmental impact in Yarmouk Basin, Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 10, p. 614-627, 2019.
- OXLEY, T.; MAYS, D.; MURRAY, C. Sustainable water resources management in river basins. *Environmental Modelling & Software*, v. 85, p. 199-210, 2016.
- TAYE, M. T.; MOGES, S. A. Integrated watershed management for sustainable water resources in Africa. *Water Resources Management*, v. 34, p. 2315-2330, 2020.
- TUCCI, C. E. M. Gestão da água no Brasil. Brasília: UNESCO, 2009.
- VALE, R. S.; COSTA, A. L.; PIMENTEL, M. A. Mudanças de uso e cobertura da terra e impactos sobre os recursos hídricos. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 16, n. 5, p. 1-19, 2021.