

ANÁLISE FÍSICO-AMBIENTAL E USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PINDARÉ – MARANHÃO, BRASIL

Physical-environmental analysis and land use and cover of the Pindaré river basin –
Maranhão, Brazil

Ricardo Gonçalves Santana

Universidade Estadual do Maranhão

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6611-0451>

ricardogsantana1919@gmail.com

Quésia Duarte da Silva

Universidade Estadual do Maranhão

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4496-3426>

quesiasilva@professor.euma.br

Artigo recebido em maio/2026 e aceito em agosto2026

RESUMO

As bacias hidrográficas constituem importantes unidades de estudo, pois apresentam dinâmicas naturais específicas que se inter-relacionam com os elementos antrópicos, possibilitando a compreensão da paisagem e o funcionamento do ambiente. Nesse contexto, o presente estudo objetivou analisar os aspectos físico-ambientais e o uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Pindaré (MA), bem como suas inter-relações, visando subsidiar o ordenamento territorial. Com base em uma perspectiva sistêmica, segundo a qual as transformações de um componente da bacia repercutem nos demais elementos, desenvolveu-se uma abordagem integrada da paisagem, adotando a bacia hidrográfica como unidade de análise. Os procedimentos metodológicos compreenderam levantamento bibliográfico e cartográfico, com revisão da literatura e aquisição de dados vetoriais; mapeamento temático para espacialização das características físico-ambientais, incluindo clima, geologia, relevo, solos, hipsometria e declividade; análise do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2024 por meio de dados do MapBiomias; realização de trabalhos de campo; e, por fim, integração e discussão dos resultados. A bacia do rio Pindaré é influenciada pelos climas Tropical Equatorial Úmido e Tropical Zonal Equatorial Semiúmido, que condicionam seu arranjo litoestratigráfico, marcado pela ampla ocorrência das Coberturas Lateríticas Maturas e do Grupo Itapecuru. Os padrões de relevo predominantes correspondem às Superfícies Aplainadas Retocadas ou Degradadas e aos Baixos Platôs Dissecados. Quanto aos solos, destacam-se os Latossolos Amarelos Distróficos e os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos. Em relação ao uso e cobertura da terra, verificou-se que 49% da Formação Florestal existente em 1985 foi convertida em pastagem, cuja área passou de 4.583,9 km² para 19.626,3 km² em 2024. Conclui-se que a configuração físico-ambiental exerce influência na organização espacial dos usos e cobertura da terra, os quais contribuem para alterações na dinâmica ambiental da bacia, refletindo nas propriedades da água, no aumento do escoamento superficial, na produção de sedimentos e na ocorrência de processos hidrogeomorfológicos (inundações, movimentos de massa e erosões).

Palavras-chave: Análise integrada; Bacia hidrográfica; Uso e cobertura da terra; Ordenamento Territorial.

ABSTRACT

Watersheds constitute important units of study, as they present specific natural dynamics that interrelate with anthropogenic elements, enabling the understanding of the landscape and the functioning of the environment. In this context, the present study aimed to analyze the physical-environmental aspects and land use and cover of the Pindaré River watershed (MA), as well as their interrelationships, in order to support territorial planning. Based on a systemic perspective, according to which the transformations of one component of the watershed affect the other elements, an integrated landscape approach was developed, adopting the watershed as the unit of analysis. The methodological procedures included bibliographic and cartographic research, with literature review and acquisition of vector data; thematic mapping for spatial representation of physical-environmental characteristics, including climate, geology, relief, soils, hypsometry, and slope; analysis of land use and land cover between 1985 and 2024 using MapBiomass data; fieldwork; and, finally, integration and discussion of the results. The Pindaré River basin is influenced by the Humid Equatorial Tropical and Semi-humid Zonal Equatorial Tropical climates, which condition its lithostratigraphic arrangement, marked by the widespread occurrence of Mature Lateritic Coverings and the Itapecuru Group. The predominant relief patterns correspond to Retouched or Degraded Flattened Surfaces and Dissected Low Plateaus. As for the soils, Dystrophic Yellow Latosols and Dystrophic Red-Yellow Argisols stand out. Regarding land use and land cover, it was found that 49% of the existing Forest Formation in 1985 was converted into pasture, whose area increased from 4,583.9 km² to 19,626.3 km² in 2024. It is concluded that the physical-environmental configuration influences the spatial organization of land uses and land cover, which contribute to changes in the environmental dynamics of the basin, reflecting on water properties, increased surface runoff, sediment production, and the occurrence of hydrogeomorphological processes (floods, mass movements, and erosion).

Keywords: Integrated analysis; Watershed; Land use and land cover; Territorial planning.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é amplamente utilizada como unidade de análise, uma vez que trata-se de um sistema aberto, o qual estabelece inter-relações entre os elementos físico-ambientais (clima, geologia, relevo, solos, hipsometria, declividade) e antrópicos (materializado pelo uso da terra). Christofletti (1980, p. 102) define a bacia hidrográfica “como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial”. Em decorrência do seu dinamismo, torna-se possível o estudo integrado da paisagem, devido à identificação das correlações entre os processos físicos e atividades humanas, viabilizando o entendimento da organização e funcionamento do ambiente. É sobre a perspectiva da paisagem versus ambiente que tem-se a possibilidade da compreensão das interações entre os aspectos físico-ambientais e ações dos seres humanos, visto que a primeira une feições passadas e presentes através de uma concepção transversal, e o ambiente confere ao ser humano o papel central como agente das transformações, pois envolve o sujeito e o lugar no qual este habita (Suertegaray, 2001; Serrão, 2014).

A caracterização físico-ambiental refere-se a um processo analítico e descritivo, de forma integrada, dos componentes citados de uma determinada área, objetivando identificar as inter-relações entre esses atributos e assim assimilar a estrutura, funcionamento e condições naturais e antrópicas

(Santiago, Sales & Paula, 2013; Abraão *et al.*, 2021; Rodrigues & Neves, 2023; Ribeiro, Albuquerque & Meireles, 2023). Essa abordagem sistêmica parte do princípio de que as transformações de um componente da bacia hidrográfica repercutem nos demais elementos, interferindo na qualidade/disponibilidade hídrica (subterrânea e superficial), degradação do solo assoreamento e redução da biodiversidade.

Ademais, Teixeira (2014) corrobora que, as modificações no interior da bacia hidrográfica, de procedência humana ou não, terão efeitos nas propriedades da água, aumento do escoamento superficial, vazão, produção de sedimentos, na maximização e deflagração de processos hidrogeomorfológicos como enchentes, inundações, movimentos de massa e processos erosivos (sulcos, ravinas e voçorocas). Neste sentido, a literatura especializada evidencia a importância de considerar escalas temporais na caracterização físico-ambiental, ou seja, incorporar à análise, espacialização e quantificação dos dados do uso e cobertura da terra, uma vez que viabilizam avaliação das pressões antrópicas sobre os recursos naturais da bacia, o que fornece subsídios técnicos para gestão territorial e planejamento ambiental.

De acordo com Novo (1989), os termos uso e cobertura da terra são complementares e traduzem a dimensão funcional e biofísica da superfície terrestre. Enquanto o uso da terra (*land use*) diz respeito às finalidades e atividades humanas desenvolvidas em uma determinada área, a cobertura da terra (*land cover*) trata do revestimento físico e biológico da superfície terrestre, incluindo vegetação natural ou plantada, corpos d'água, solo exposto, rochas e áreas construídas. Deste modo, a cobertura da terra relaciona-se ao que está fisicamente presente na superfície; o uso expressa a função socioeconômica atribuída a essa área. Assim, uma mesma cobertura pode estar associada a diferentes usos, evidenciando a distinção conceitual entre os dois termos. Por esta razão, nos últimos anos, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas acerca da análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas, seja para quantificação das transformações e sua influência na gestão das águas fluviais ou detecção das alterações na dinâmica natural da bacia (Santana, França & Avelar, 2023; Vasconcelos, Lima & Paranhos Filho, 2024; Delmaschio *et al.*, 2025; Assis *et al.*, 2025).

As transformações verificadas no interior das bacias hidrográficas podem ser provenientes de fatores naturais, mas nas últimas décadas, as ações dos seres humanos no ambiente têm se destacado como elemento intensificador das dinâmicas de alteração e dos processos de desequilíbrio da paisagem (Cunha, 1998). Melo, Ladwing & Silva (2025, p. 181) sinalizam que, “é importante reconhecer a complexidade das interações que ocorrem dentro da bacia hidrográfica, envolvendo trocas constantes de energia, matéria e informações que afetam a dinâmica e o funcionamento do sistema”. Com base nos pressupostos em discussão, a presente pesquisa tem como objetivo analisar

os aspectos físico-ambientais e o uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA e suas inter-relações.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Pindaré está localizada na porção Oeste da área estadual do Maranhão, no contexto hidrográfico da bacia do rio Mearim e encontra-se totalmente inserida na Amazônia Legal. Em termos areais possui 40.426 km², do qual 94% (37.847 km²) abrange o bioma Amazônico e 6% (2.567km²) engloba o bioma Cerrado. Os seus limites territoriais compreendem cerca de 37 municipalidades do estado citado e no seu interior tem-se 18 sedes municipais - áreas urbanas (Figura 1).

As principais nascentes do rio Pindaré situam-se nas proximidades do tríplice limite dos municípios de Montes Altos, Amarante do Maranhão e Sítio Novo, no bioma Cerrado. Entre as diversas alterações promovidas pelos seres humanos, destaca-se o desflorestamento, o qual afeta o ciclo hidrológico negativamente, intensificando o assoreamento dos rios, erosão dos solos, seca das nascentes e aumenta a propensão às inundações. A erosão dos solos tem-se intensificado drasticamente no interior da bacia, com destaque para as ocorrências nas cidades de Buriticupu e Bom Jesus das Selvas, nas quais existem processos erosivos por voçorocamento de grande magnitude que tornaram-se tema de destaque nacional e internacional nos últimos anos e foram estudados por Campos (2019) e Viana (2019).

A análise dos aspectos físico-ambientais e do uso da terra da bacia hidrográfica do rio Pindaré é um aspecto de fundamental importância para a compreensão integrada da paisagem e do ambiente, sobretudo em decorrência das modificações e consequências resultantes da dinâmica territorial no interior da bacia, especialmente por situar-se em área de transição entre os biomas supramencionados. A área objeto de estudo possui diversas variáveis que materializam sua relevância socioambiental: ampla rede de drenagem (com afluentes significativos, a saber: rios Buriticupu, Zutiua e Caru); presença de Terras Indígenas (Awá, Caru, Arariboia, Rio Pindaré, Governador e Krikati); e Unidades de Conservação (Reserva Biológica do Gurupi e a Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense).

Além disso, a área em questão apresenta uma expressiva dimensão socioeconômica para municípios que possuem a sua sede municipal nas proximidades do seu curso d'água principal (rio Pindaré), como: Bom Jesus das Selvas, Alto Alegre do Pindaré, Santa Inês, Pindaré-Mirim, Monção e Cajari. A configuração espacial da bacia hidrográfica do rio Pindaré evidencia a sua complexidade

socioambiental e territorial, uma vez que as variáveis supracitadas desempenham papel estratégico na manutenção da cobertura vegetal, proteção de nascentes e conservação da biodiversidade, o que reforça a necessidade de estudos integrados que considerem os elementos naturais e as formas de uso e cobertura da terra.

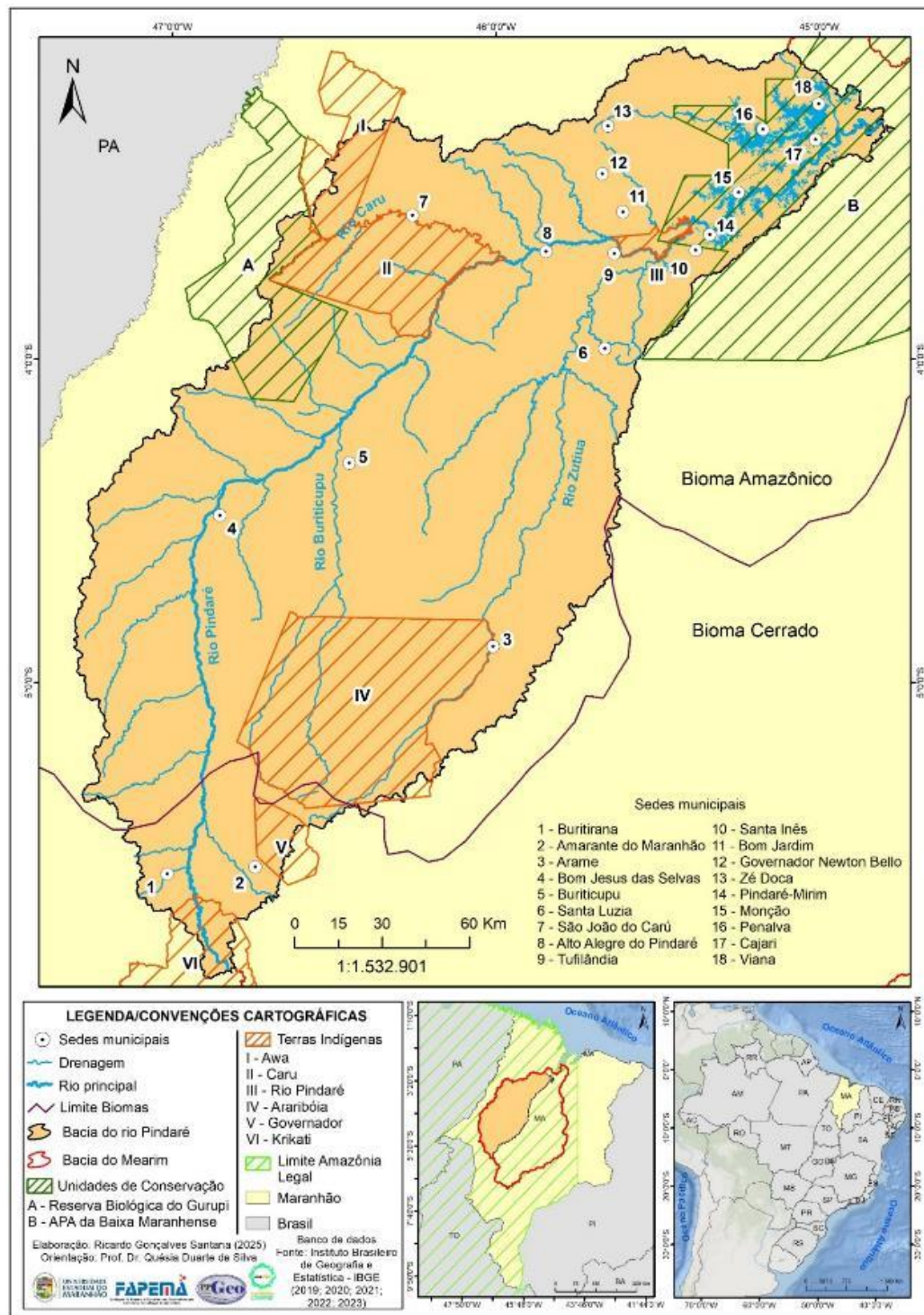


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Pindaré – Maranhão, Brasil.
Fonte: Autores (2025).

2.2. Etapas metodológicas

A perspectiva metodológica empregada fundamentou-se nas concepções de Christofolletti (1980), Cunha (1998), Novo (2008), Teixeira (2014), Melo, Ladwig e Silva (2025) e Assis *et al.* (2025), uma vez que a presente pesquisa tem a bacia hidrográfica como objeto de análise. Sendo assim, para alcance do objetivo proposto foram realizados diversos procedimentos, a saber: levantamento bibliográfico e cartográfico, mapeamento temático para espacialização das características físico-ambientais e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Pindaré, trabalhos de campo e, por fim, a estruturação e discussão dos resultados.

O levantamento bibliográfico foi realizado a partir das consultas em livros, teses, dissertações e periódicos especializados com temáticas correlatas à pesquisa. Sendo assim, o suporte teórico metodológico fundamentou-se na literatura especializada nacional e internacional a partir dos seguintes temas: bacias hidrográficas, paisagem e ambiente, caracterização físico-ambiental, alterações antrópicas em bacias de drenagem e uso e cobertura da terra. Acerca da aquisição dos dados cartográficos utilizou-se as informações vetoriais (em extensão *shapefile*) das seguintes instituições: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (território nacional, estado do Maranhão, Amazônia Legal, biomas, sedes municipais e as bacias hidrográficas níveis 4 e 5); Agência Nacional das Águas – ANA (rede de drenagem); Fundação Nacional dos Povos Indígenas – FUNAI (Terras Indígenas); Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (Reserva Biológica do Gurupi); Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA do Maranhão (Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense).

O mapeamento temático ocorreu em ambiente de Sistema de Informação Geográfica – SIG, especificamente na extensão ArcMap do *software* ArcGis® *for Desktop Advanced* versão 10.5, de licença estudantil, pertencente ao Grupo de Pesquisa em Geomorfologia e Mapeamento – GEOMAP vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGeo) da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Assim, espacializou-se os seguintes atributos físico-ambientais: tipos climáticos, unidades litoestratigráficas, padrões de relevo, solos, hipsometria e declividade. Os aspectos climáticos foram mapeados através das geoinformações climatológicas do IBGE (2002), do qual representam as diferentes zonas climáticas do território brasileiro agrupadas pela temperatura e umidade, fundamentados na proposta de Köppen (1948). O contexto litoestratigráfico da área foi mapeado a partir do banco de dados do Serviço Geológico do Brasil - CPRM (Klein *et al.*, 2012; Bandeira, 2013) e do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC (2019; 2021), para avaliação e classificação das litologias e estruturas presentes.

Os padrões de relevo foram espacializados a partir do conjunto de dados de Bandeira (2013), por meio do *shapefile* “geodiversidade”, categorizado a partir da sua simbologia no field “relevo”. Esse mapeamento fundamentou-se na proposta metodológica de Ross (1992). A interpretação e levantamento das particularidades do relevo foi estruturada a partir da biblioteca de padrões de relevo do território brasileiro, no Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, conforme Dantas, Lacerda e Maia (2023).

As informações pedológicas foram obtidas a partir da base de dados do IBGE (2023), elaborada conforme as diretrizes do Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015). A espacialização dos solos no território nacional foi realizada mediante interpretação de imagens de satélite e verificação em campo, considerando a relação solo-paisagem e a análise de perfis expostos em barrancos e cortes de estrada. Para a etapa de classificação e refinamento cartográfico dos polígonos, adotou-se o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), proposto pela EMBRAPA (2018). Para espacialização da altimetria e inclinação das vertentes usou-se o banco de dados Geomorfométricos do Brasil - TOPODATA dispostos no geoportal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (Valeriano, 2008), por meio das informações geoespaciais da *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, com resolução de 30 metros, disponibilizados pela *Science for a Changing World* – USGS. As classes hipsométricas foram definidas por meio de testes para melhor representar o relevo, e a declividade foi classificada conforme os critérios da EMBRAPA (2018).

Em relação ao uso e cobertura da terra referente aos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2024 (lapso temporal de 39 anos), empregou-se a base de dados matriciais (*raster*) do MapBiomas (Souza Júnior *et al.*, 2020), coleção 10 (abrange o período de 1985 - 2024, publicada em agosto de 2025), disposta no sítio eletrônico da plataforma Google Earth Engine. A metodologia adotada pelo Projeto MapBiomas conta com o auxílio de extensivos algoritmos que analisam satélites Landsat com resolução espacial de 30 m de forma dinâmica e processual, por meio da aprendizagem de máquina (*machine learning*).

Após a aquisição dos dados matriciais referentes aos anos supracitados, realizou-se a categorização das classes identificadas na área objeto de estudo, conforme a codificação da legenda: Área urbanizada (24), Apicum (32), Aquicultura (31), Campo Alagado e Áreas Pantanosas (11), Floresta Alagável (6), Formação Campestre (12), Formação Florestal (3), Formação Savânica (4), Mangue (5), Mineração (30), Mosaico de Usos (21), Outras Lavouras Temporárias (41), Outras Áreas não Vegetadas (25), Pastagem (15), Rios, Lagos e Oceanos (33), Silvicultura (9) e Soja (39). Sendo assim, consolidou-se o mapeamento na escala de 1:100.000, conforme o Quadro 1 (ressalta-se que as classes relacionadas à cobertura da terra, concernente aos grandes grupos de Florestas e Vegetações

Herbáceas e Arbustivas abrangem aspectos dos biomas Amazônico e Cerrado, visto que o alto curso da bacia encontra-se em área de transição).

Quadro 1: Descrição das classes de uso e cobertura da terra da bacia do rio Pindaré – MA.

Coleção 10 - MapBiomas		
Floresta	Formação Florestal	Florestas Ombrófila Densa, Estacional Sempre-Verde, Ombrófila Aberta, Estacional Semidecidual, Estacional Decidual, Savana Arborizada. Floresta de sucessão (natural e antrópica) e árvores remanescentes de vegetação primária. Espécies arbóreas que formam um dossel contínuo (Matas Ciliares, Matas de Galeria, Matas Secas e Cerradão).
	Formação Savânica	Vegetação aberta com um estrato arbustivo e/ou arbóreo mais ou menos desenvolvido, estrato herbáceo sempre presente; tipologias com estratificação diferente do estrato arbóreo, arbustivo e herbáceo, o que inclui fisionomias de Cerrado sensu stricto (Cerrado Denso, Típico, Ralo e Rupestre).
	Mangue	Vegetação florestal e/ou arbustivas, densas, sempre-verdes, frequentemente inundadas pela maré e associadas ao ecossistema costeiro de Manguezal.
	Floresta Alagável	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial estabelecida no decorrer dos cursos de água (matas-de-várzea ou matas-de-igapó).
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	Vegetação de várzea ou campestre que sofre influência fluvial e/ou lacustre. Formações herbáceas sujeita à inundações sazonais ou influência fluvial/lacustre constante (Campo Úmido, Brejos e Veredas);
	Formação Campestre	Savana, Savana Gramíneo-Lenhosa e predominância de estrato herbáceos; cobertura arbórea mínima ou inexistente (Campos Sujo, Limpo e Rupestre).
	Apicum	Campos salinos desprovidos vegetação arbórea e arbustiva, localizados em uma zona topograficamente mais alta da planície costeira, configurando área de transição entre áreas inundadas pelas marés e a terra firme.
Agropecuária	Pastagem	Áreas de pastagem plantadas (fins agropecuários) e natural (formações campestres ou campos alagados; ou áreas desmatadas recentemente para posterior uso.
	Soja	Áreas cultivadas com a monocultura da soja.
	Outras Lavouras Temporárias	Cultivos agrícolas de curta ou média duração (inferior a um ano), após a colheita necessitam de um novo plantio para produção.
	Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).
	Mosaico de Usos	Paisagens que se confundem entre pastagem e agricultura, incluem áreas em estágios iniciais de regeneração natural, zonas antropizadas dentro de áreas protegidas (excluindo APAs e Terras Indígenas) e áreas periurbanas
Área não Vegetada	Área Urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo infraestrutura e áreas livres de construções.
	Mineração	Áreas referentes a extração mineral de porte industrial ou garimpeiro, com solo exposto por atividade antrópica (localizados áreas próximas a referências espaciais indicadas por órgãos competentes).
	Outras Áreas não Vegetadas	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes, solo exposto em ambientes naturais e terras cultiváveis fora do período de cultivo.
Corpos d'água	Rio, Lago e Oceano	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
	Aquicultura	Área referente a lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas e/ou de salicultura.

Fonte: MapBiomas (2025).

Os trabalhos de campo foram essenciais para o reconhecimento da área e validação do mapeamento realizado em gabinete. Os equipamentos utilizados foram: máquina fotográfica, *Global Positioning System* - GPS, Veículo Aéreo Não Tripulado –VANT (Drone), trena e caderneta de campo. As idas à campo possibilitaram a verificação de observações primordiais para consolidação da pesquisa, logo, percorreu-se grande parte da bacia em três períodos específicos, com duração de dez dias, no segundo semestre de 2023, segundo semestre de 2024 e primeiro semestre de 2025. Por

fim, a estruturação e discussão dos resultados foram realizados a partir da sistematização dos dados correlacionados às observações de campo. Neste sentido, com a espacialização das informações levantadas, quantificação dos dados (valores absolutos e relativos/diferença quantitativos entre os anos) e análise geoespacial, realizou-se a estruturação dos esquemas, gráficos e quadros. Sendo assim, na Figura 2 tem-se o fluxograma metodológico com as etapas realizadas.

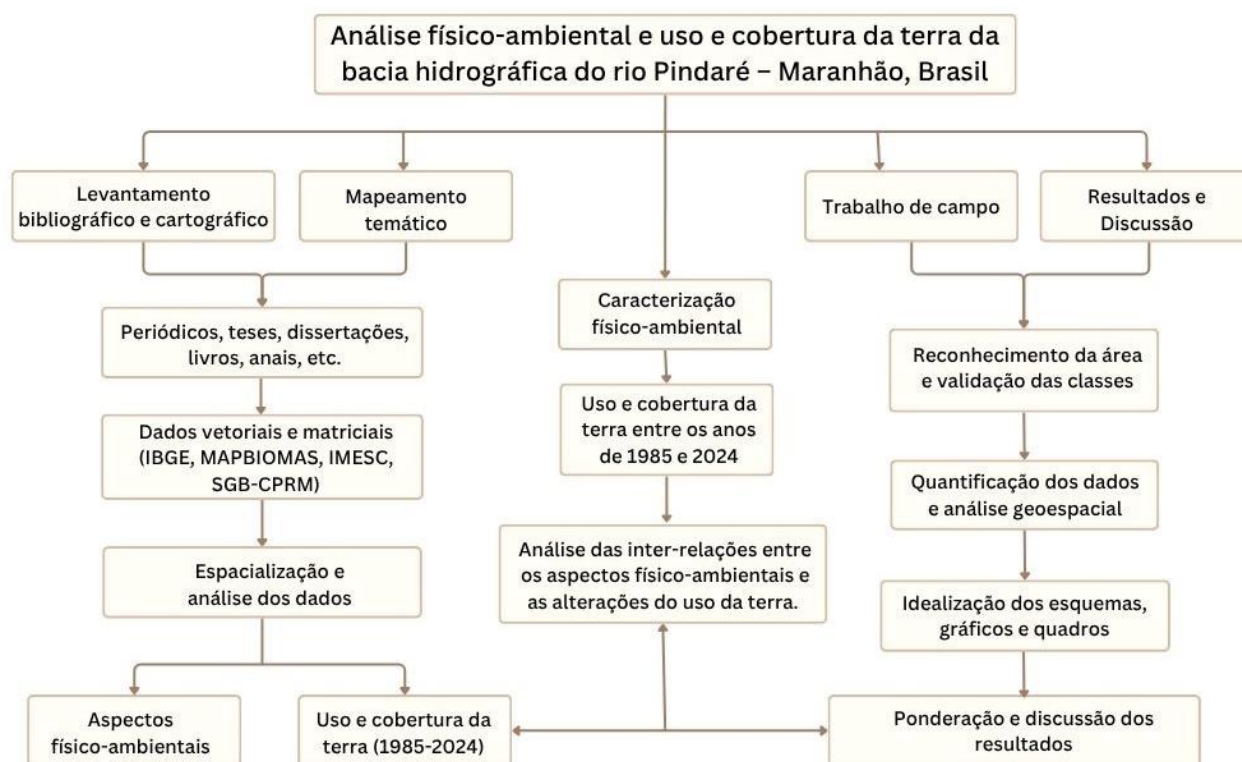


Figura 2 – Fluxograma metodológico da pesquisa.
Fonte: Autores (2025).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Aspectos físico-ambientais

Devido a sua expressiva dimensão areal (40.426 km²), a bacia hidrográfica do rio Pindaré, apresenta distintos sistemas produtores de tempo, os quais influenciam a dinâmica climática da bacia e se articulam ao contexto climatológico do Estado do Maranhão, sendo responsáveis pelos padrões de precipitação observados na região. Nessa perspectiva, destacam-se a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), predominante na porção norte do estado, e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), com influência mais significativa na porção sul (IMESC, 2019; 2021; Corrêa; Carvalho; Mendes, 2023). De acordo com o IBGE (2002), a bacia do rio Pindaré é influenciada por dois tipos climáticos: o Tropical Equatorial Úmido e o Tropical Zonal Equatorial Semiúmido. O primeiro tipo abrange a porção Oeste da bacia e caracteriza-se por temperaturas médias

superiores a 18 °C em todos os meses, elevada umidade e a ocorrência de até três meses secos. O segundo engloba a zona Leste, o qual apresenta-se como semiúmido quente, com temperaturas médias igualmente superiores a 18 °C no decorrer do ano e um período seco, que varia entre quatro e cinco meses.

Sobre os domínios tectônicos da área, afirma-se que há dois: as Coberturas Superficiais Cenozoicas - CSC (Coberturas Detríticas Cenozoica e Coberturas Lateríticas Maturas) e os pacotes sedimentares da Bacia do Parnaíba (Klein *et al.*, 2012). As características sedimentares desses domínios inter-relacionadas às condições climáticas possibilitaram a coalescência desses materiais e formaram o arranjo litoestratigráfico da bacia hidrográfica do rio Pindaré (Quadro 2).

Quadro 2: Arranjo litoestratigráfico da bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA.

Éon	Era	Período		Litoestratigrafia	Composição	Ambiente/ aspecto	Domínio Tectônico
Fanerozoico	Cenozoico	Quaternário	Holoceno	Depósitos Aluvionares	Areias, pelitos e cascalhos de depósitos fluviais recentes;	Fluvial	Coberturas Superficiais Cenozoicas
				Depósitos de Pântanos e Mangues	Siltes e argilas não adensados, maciços e bioturbados;	Associado as áreas de Manguezais e locais hipersalinas, em áreas de supra-maré.	
		Pleistoceno		Depósitos Flúvio-Lagunares	Argilas adensadas com areia fina disseminada, maciças e localmente bioturbadas;	Misto (Áreas colmatadas, extensas várzeas inundadas e/ou sujeitas a inundações sazonais, situado acima da cota de preamar).	
				Coberturas Lateríticas Maturas	Coberturas superficiais residuais e concrecionárias do tipo aluminosa, bauxítica, caulínica, fosfática, argilosa e ferruginosa;	Perfil laterítico completo com horizonte bauxítico e/ou fosfático.	
	Mesozoico	Cretáceo		Formação Ipixuna	Conglomerados oligomíticos, arenitos com estratificação cruzada acanalada, pelitos com bioturbação e pelitos caulíníticos de aspecto maciço. Ambiente flúvio-lacustre e estuarino. Contém depósitos de bauxita e caulim;	Sotoposta ao Grupo Barreiras e sobreposta ao Grupo Itapecuru, depositados em ambientes flúvio-lacustres.	Bacia do Parnaíba
				Grupo Itapecuru	Arenitos arcoseanos estratificados, grossos a conglomeráticos, com níveis pelíticos. Ambiente de shoreface, lagunar, canal fluvial e de maré;	Recobrem concordantemente a Formação Codó, com fluvial, deltaico e lagunar.	
				Formação Codó	Arenitos, lentes de calcarenitos e calcilutitos, e pelitos intercalados. Ambiente lacustre com influência marinha.	Contato superior com o Grupo Itapecuru, de ambiente lagunar.	

Fonte: Adaptado de Klein *et al.*, (2012).

O contexto geológico exerce influência direta nos aspectos geomorfológicos, que por sua vez estão sob constante atuação dos mecanismos climáticos (responsáveis pela ignição dos agentes intempéricos que atuam na esculturação do relevo e na formação dos solos) e hidrodinâmicos. Neste

sentido, a bacia do rio Pindaré possui ampla diversidade geomorfológica¹, com superfícies pouco dissecadas (baixos platôs e planaltos), reduzida amplitude altimétrica e declividades planas a suaves (0° a 5°), onde a pedogênese exerce papel relevante. Em setores com maior dissecção surgem colinas, morros e serras baixas, caracterizados por vertentes convexo-côncavas, topos arredondados ou aguçados e amplitudes que podem ultrapassar 200 metros, refletindo maior intensidade de processos erosivos e estruturais. As áreas degradacionais mais acentuadas incluem degraus estruturais, rebordos erosivos e vales encaixados, os quais possuem vertentes íngremes e forte incisão vertical. Em contrapartida, as planícies de maré e fluviais correspondem a zonas de acumulação recente (Holoceno), com superfícies planas, declividades muito baixas e sedimentos arenoargilosos a argilosos, frequentemente sujeitas a inundações. Os padrões de relevo da área objeto de estudo evidenciam a dinâmica entre processos de aplainamento, dissecção e sedimentação, condicionados pela estrutura geológica, rede de drenagem e aspectos morfoclimáticos regionais (Quadro 3).

Quadro 3: Padrões de relevo da bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA.

Padrão de Relevo	Amplitude Altimétrica	Declividade	Características Morfológicas	Processos Predominantes
Baixos Platôs	0 – 20 m	2° – 5°	Superfícies tabulares, topos planos a suavemente ondulados, incipiente dissecção	Predomínio da pedogênese
Baixos Platôs Dissecados	Até 20 m	2° – 5°	Colinas tabulares, superfícies elevadas em relação ao entorno, dissecção acentuada	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese; ocorrência pontual de laterização
Degaus Estruturais e Rebordos Erosivos	50 – 200 m	10° – 25° (até 45°)	Vertentes retilíneas a côncavas, declivosas, topos levemente arredondados	Processos degradacionais controlados pela estrutura
Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos	50 – 120 m	5° – 20°	Vertentes convexo-côncavas, topos arredondados, gradiente suave a moderado	Dissecção moderada
Domínio de Morros e Serras Baixas	80 – 200 m (até 300 m)	15° – 35°	Morros dissecados, vertentes convexo-côncavas, topos arredondados, aguçados ou tabulares	Processos erosivos intensos
Domínio de Colinas Amplas e Suaves	20 – 50 m	3° – 10°	Vertentes convexas, topos amplos, formas tabulares ou alongadas, pouca dissecção	Predomínio de modelado suave
Planaltos	20 – 50 m	2° – 5°	Superfícies elevadas, topos planos a suavemente ondulados, pouca dissecção	Predomínio da degradação
Superfícies Aplainadas Retocadas/Degradadas	10 – 30 m	0° – 5°	Superfícies suavemente onduladas, incisão de drenagem incipiente	Aplainamento seguido de retomada erosiva
Vales Encaixados	100 – 300 m	10° – 25° (podendo >45°)	Vertentes retilíneas a côncavas, fortemente sulcadas, presença de colúvios e tálus, entalhamento acentuado	Incisão vertical da drenagem
Planícies Fluviais	Sem amplitude significativa	0° – 3°	Superfícies sub-horizontais, depósitos arenoargilosos a argiloarenosos, associadas aos canais fluviais	Processos agradacionais atuais
Planície de Maré	Amplitude e declividade ≈ 0	0°	Áreas planas, mal drenadas, sujeitas a inundação, interface continental-marinha	Deposição flúvio-marinha

Fonte: Elaborado a partir das concepções de Bandeira (2013) e do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2023).

¹ Ressalta-se que a discussão acerca dos aspectos geomorfológicos da área fundamenta-se nos preceitos da Biblioteca de Padrões de Relevo do Território Brasileiro do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2023).

Em relação às características pedológicas, a área objeto de estudo possui as seguintes classes/ordens dominantes: Plintossolos, Gleissolos, Latossolos, Argissolos, Neossolos e os Luvisolos². Os plintossolos caracterizam-se pelo acúmulo de plintita e originam-se em áreas com restrição à percolação da água. Na bacia em questão tem-se as subordens Pétrico Concrecionário (o endurecimento ferruginoso pode dificultar o manejo agrícola), Argilúvico Distrófico e Háplico Distrófico (ambos marcados pela baixa fertilidade natural). Já os Gleissolos, possuem a hidromorfia como principal aspecto, visto que permanecem saturados por água, o que dá origem a cores acinzentadas devido ao processo de gleização. As subordens presentes incluem os Gleissolos Tiomórficos Órticos (presença de compostos sulfurosos) e os Gleissolos Háplicos que subdividem-se em Distróficos (baixa fertilidade) e Eutrófico (alta fertilidade natural). No que se refere aos Latossolos, são solos profundos, muito intemperizados e geralmente amarelados ou avermelhados; os Argissolos possuem acúmulo de argila em profundidade, com o horizonte b textural em evidência. Em ambos os casos, as variedades encontradas na área de estudo tendem a ser distróficas, indicando baixa fertilidade. Os Neossolos configuram-se como pouco evoluídos e jovens, em razão da baixa resistência do material originário ao intemperismo. Subdividem-se em Quartzarênico Órtico (textura arenosa) e o Flúvico Ta Eutrófico (originado de depósitos fluviais e com boa fertilidade). Tem-se ainda, os Luvisolos, essencialmente minerais e com alta fertilidade natural, não hidromórficos e ricos em argila, sendo Crômico Pálido (de cor vermelha intensa) e Háplico Órtico (Quadro 4).

Quadro 04: Solos da bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA.

Ordem / Subordem	Características Morfológicas e Diagnósticas	Condições de Drenagem	Fertilidade Natural	Observações Relevantes
Plintossolo Pétrico Concrecionário	Presença de plintita endurecida (petroplintita) com concreções ferruginosas	Imperfeita a mal drenada	Baixa	Forte endurecimento; limita uso agrícola
Plintossolo Argilúvico Distrófico	Horizonte Bt com argiluviamiento; acúmulo de plintita	Imperfeita	Baixa	Mobilização de argila e restrição hídrica
Plintossolo Háplico Distrófico	Sem horizonte B diagnóstico; presença de plintita	Imperfeita	Baixa	Pouca diferenciação de horizontes
Gleissolo Tiomórfico Órtico	Hidromórfico; cores acinzentadas; compostos sulfurosos	Muito mal drenado	Variável	Potencial de acidificação intensa
Gleissolo Háplico Tb Distrófico	Horizonte Bt incipiente; gleização	Mal drenado	Baixa	Saturação hídrica prolongada
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico	Horizonte A espesso; sem B típico	Mal drenado	Alta	Boa fertilidade em ambiente hidromórfico
Latossolo Amarelo Distrófico	Horizonte B latossólico; estrutura granular; cor amarelada	Bem a moderadamente drenado	Baixa	Profundo e muito intemperizado
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	Horizonte B latossólico; cores mistas	Bem drenado	Baixa	Transição de ambientes de drenagem
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	Horizonte Bt com argiluviamiento; cores mistas	Moderada a imperfeita	Baixa	Textura contrastante entre horizontes
Neossolo Litólico Distrófico	Solo raso; contato lítico superficial	Variável	Baixa	Restrição por pouca profundidade

² A discussão dos aspectos pedológicos da área fundamenta-se nos pressupostos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SIBCS (2025) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA.

Neossolo Quartzarênico Órtico	Textura arenosa quartzosa; baixa evolução	Bem drenado	Muito baixa	Alta suscetibilidade à erosão
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	Depósitos fluviais recentes; horizonte A espesso	Variável	Alta	Associado às planícies fluviais
Luvissoilo Crômico Pálico	Horizonte Bt espesso; alta saturação por bases; cor vermelha intensa	Bem drenado	Alta	Alta atividade da argila
Luvissoilo Háptico Órtico	Horizonte superficial pouco espesso; Bt menos desenvolvido	Bem drenado	Alta	Solo fértil com menor diferenciação

Fonte: Adaptado do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SIBCS (2025) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA.

Os dados hipsométricos da área evidenciam que cerca de 28,83% da bacia está situada em áreas planas (abaixo de 81 metros de altitude), condições que favorecem a drenagem lenta, a formação de solos hidromórficos e a predisposição às inundações. Grande parte da bacia encontra-se em zonas de transição (52,88%), entre 128 e 319 metros, caracterizadas por uma maior diversidade de solos e processos de dissecação do relevo (Figura 3).

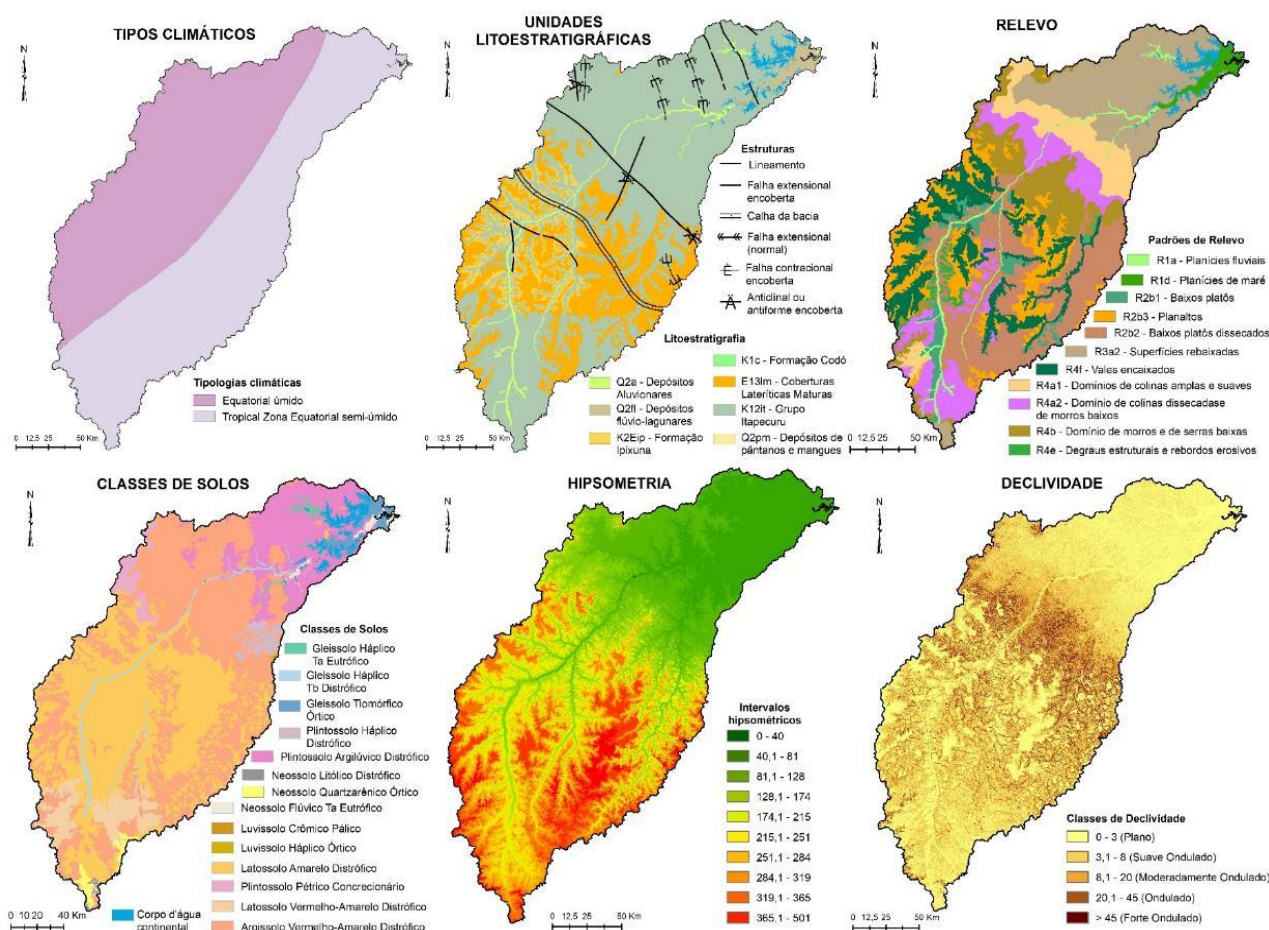


Figura 3 - Características físico-ambientais da bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA, Brasil.

Fonte: Adaptado do IBGE (2002), Klein *et al.* (2012), Bandeira (2013), IBGE (2023) e Valeriano (2008).

A declividade aponta que, o relevo da bacia é majoritariamente suave a moderadamente ondulado, ocupando cerca de 66% da extensão total, sendo propícia para a agropecuária, desde que manejada com práticas de conservação. As áreas planas (0 a 3°) representam 15% da bacia, abrangem

os vales fluviais, lago e topos planos, que desempenham um papel crucial na recarga de aquíferos; as áreas com vertentes onduladas e forte onduladas, abrangem em torno de 19% do total, apresentando maior fragilidade ambiental devido à suscetibilidade a processos erosivos acelerados, como ravinhas e voçorocas. De modo geral, a análise hipsométrica e de declividade expõem a predominância de um relevo predominantemente suave e rebaixado, com altitudes que variam de 0 a 500 metros.

3.2. Dinâmica do uso e cobertura da terra da bacia do rio Pindaré entre os anos de 1985 e 2024

A análise da evolução do uso e cobertura da terra na bacia do rio Pindaré (1985–2024) ressalta as transformações da paisagem e do ambiente nas últimas quatro décadas, marcadas predominantemente pelo avanço da fronteira agropecuária, o que influencia diretamente o quadro físico-ambiental da área, uma vez que as modificações realizadas no interior da bacia reverberam em todos os seus componentes. Em 1985, o aspecto natural da bacia permanecia “preservado”, comprovado pela existência de 13 classes (Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta Alagável, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Pastagem, Mosaico de Usos, Área Urbanizada, Outras Áreas não Vegetadas, Rio, Lago e Oceano e pequenas áreas de Mineração e Outras Lavouras Temporárias), com destaque para a predominância da formação florestal, abrangendo cerca de 33.254 km² da área territorial da bacia, isto é, 82% (Figuras 4 e 5).

Entre 1985 e 2024 Formação Florestal foi a mais afetada por transformações na paisagem no decorrer dos anos, onde sua amplitude territorial passou por uma redução de 49%, isto é, 16.326 km², convertidos para diferentes usos. Elenca-se como principal vetor de alterações a agropecuária, transformando diversas áreas florestais em pastagem. No decorrer das décadas analisadas (1985, 1995, 2005, 2015 e 2024), o período em que mais houve redução da classe em questão foi entre 1985 e 1995 (-5.184 km²). Essa diminuição está correlacionada à idealização política e econômica de caráter desenvolvimentista iniciada nos anos 1960 e 1970, que abriu espaço para investimentos privados (nacional e internacional) na Amazônia Legal Brasileira (Becker, 2005; Azevedo & Matias, 2023), uma vez que a bacia está inteiramente localizada neste território e o bioma Amazônico abrange cerca 94% da área de estudo. Esse desflorestamento em massa contribui para diversas alterações no ciclo hidrológico, perda de biodiversidade e habitats, intensificação da degradação dos solos devido a maximização dos processos erosivos e diminuição da fertilidade dos solos, em razão das transfigurações física, química e biológicas provocada pela ação humana (Fearnside, 2005; Teixeira, 2014; Delmaschio *et al.*, 2025; Assis *et al.*, 2025).

As classes Formação Savânica e Floresta Alagável apresentaram declínio significativo no período analisado, no qual o primeiro possuía cerca de 456,1 km² de abrangência territorial em 1985 e em 2024 apenas 271,6 km², ou seja, uma perda de -59%. No mesmo período, na Floresta Alagável

houve uma diminuição de aproximadamente -530,5 km², sobretudo após 2015, passando de 610,7 km² para 225,5 km² em 2024 (Quadro 5). Amaral *et al.* (2019) afirma que, no contexto amazônico a formação savânica é o grupo vegetacional mais ameaçado pela ação antrópica, devido a sua rápida deterioração por meio das queimadas, o que modifica drasticamente a paisagem. No geral, na superclasse Vegetação Herbácea e Arbustiva elevou o seu dimensionamento areal nos últimos 39 anos, com um incremento territorial de +692,7 km².

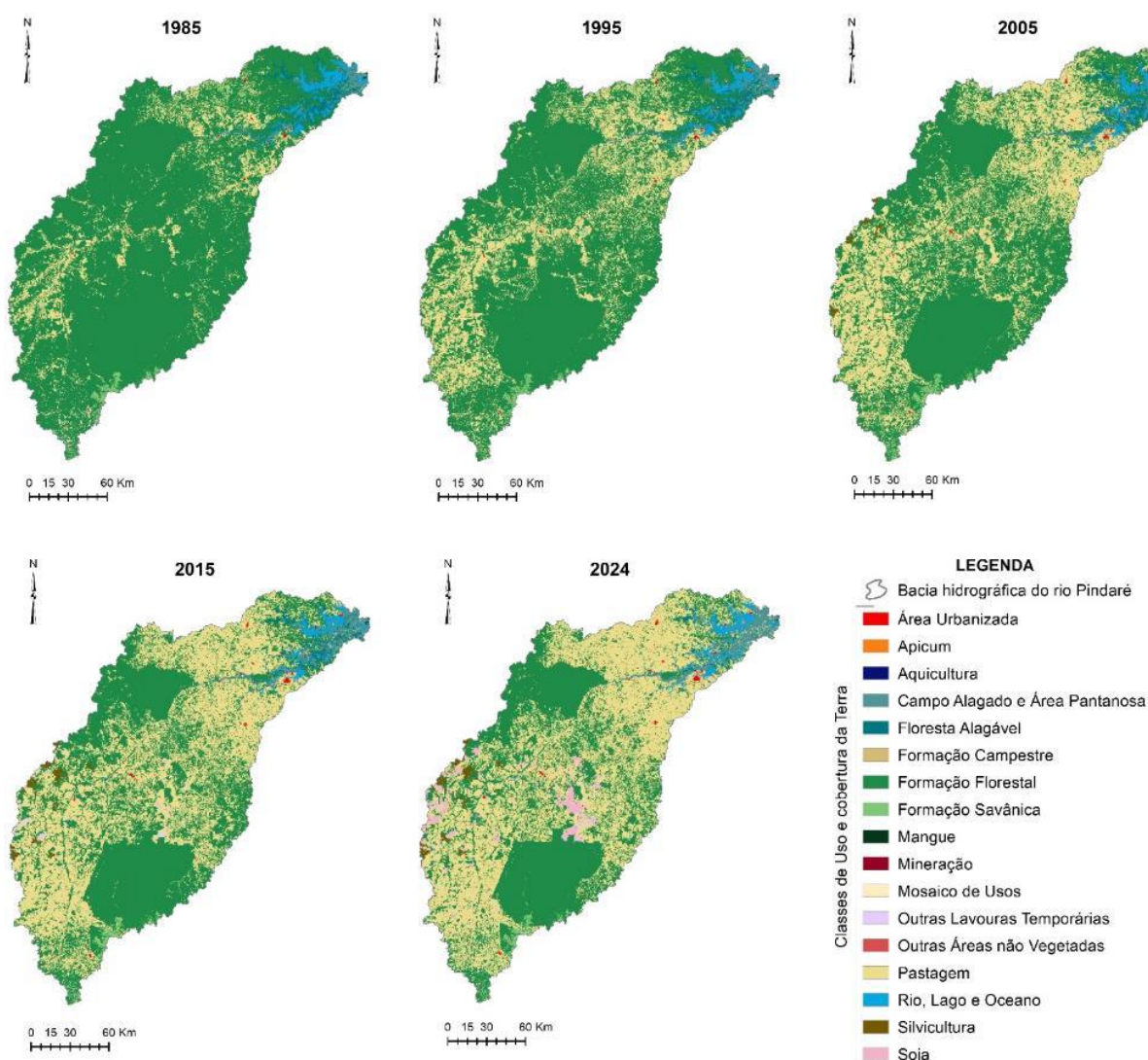


Figura 4 - Evolução temporal do Uso e cobertura da Terra da bacia hidrográfica do rio Pindaré (1985 – 2024).

Fonte: Autores (2025) com base nos dados do MapBiomias.

A subclasse com maior quantitativo foi Campos Alagados e Áreas Pantanosas (449,3 → 1.170,60 km²), isto é, um acréscimo de 721,3 km². A literatura especializada associa esse aumento à regeneração secundária em áreas anteriormente desmatadas e aos processos de alteração hidrológica decorrentes da supressão florestal e da compactação do solo (Salemi *et al.*, 2011). Na bacia hidrográfica do rio Pindaré, a classe supramencionada ocorre, principalmente, entre o médio e baixo

curso da bacia, sobretudo na porção inferior, uma vez que abrange diversas lagoas e lagos pertencente à Baixada Maranhense. A classe dominante com maior crescimento acumulado, diz respeito à categoria Agropecuária, apresentando um incremento territorial de 16.388,1 km² (Quadro 6) no período analisado (1985-2024), passando de 4.766,3 km² (considerando, pastagem, outras lavouras temporárias e mosaico de uso em 1985) para valores superiores a 21 mil km² em 2024.

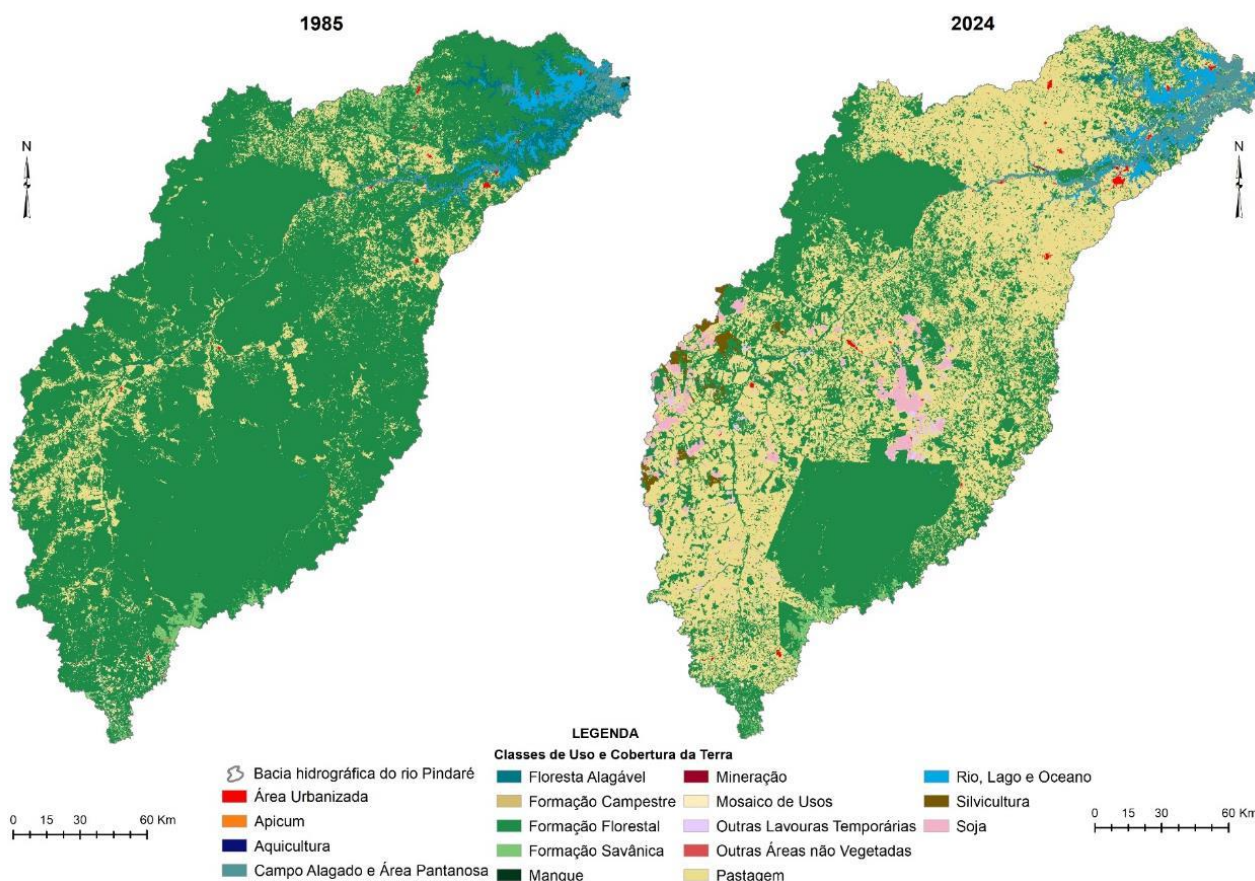


Figura 5 - Diferença do uso e cobertura da Terra da bacia hidrográfica do rio Pindaré entre 1985 e 2024.
Fonte: Autores (2025) com base nos dados do MapBiomias.

Quadro 05: Uso e cobertura da terra da bacia do rio Pindaré entre os anos de 1985 e 2024.

Classes		Área (km ²)				
		1985	1995	2005	2015	2024
Floresta	Formação Florestal	33.254	28.070,3	23.402,3	19.395	16.928,7
	Formação Savânica	456,1	388,6	307,5	255,5	271,6
	Mangue	7,3	6,9	6,5	7,4	5
	Floresta Alagável	756	713,9	641,7	610,7	225,5
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	449,3	657,8	751,3	852,8	1.170,6
	Formação Campestre	50,7	47,9	38,4	40,6	22,1
	Apicum	0	0	0,2	0	0
Agropecuária	Pastagem	4.583,9	9.849,9	14.449,9	18.123,7	19.626,3
	Soja	0	0	0,3	17,4	800,1
	Outras Lavouras Temporárias	0,4	14,1	16,1	248,3	318
	Silvicultura	0	1,1	137,6	257,9	280,8
	Mosaico de Usos	182	90,2	66,8	55,5	129,5
Área Urbanizada		39,7	57,8	75,5	94,4	111,4

Área não Vegetada	Mineração	0,9	1,1	3,1	3,9	7,9
	Outras Áreas não Vegetadas	42	36,4	44,6	29,4	28,4
Corpos d'água	Rio, Lago e Oceano	604	490	483,9	432,8	499,1
	Aquicultura	0	0	0,4	0,5	0,9

Fonte: Autores (2025) com base nos dados do MapBiomias.

Quadro 6: Variação das classes de uso e cobertura da terra da bacia do rio Pindaré entre 1985 e 2024.

Classes	Área (km²)				
	1985-1995	1995-2005	2005-2015	2015-2024	1985-2024
Floresta	-5.293,40	-4.821,70	-4.089,40	-2.837,80	-17.042,30
Vegetação herbácea e arbustiva	205,70	84,2	103,5	299,30	692,70
Agropecuária	5.188,70	4.715,40	4.032,10	2.451,90	16.388,10
Área não Vegetada	13,20	27,9	4,5	20,00	65,60
Corpos d'água	-114,00	-5,7	-51	66,70	-104,00

Fonte: Autores (2025) com base nos dados do MapBiomias.

Essa dinâmica demonstra uma expressiva reconfiguração produtiva e territorial da bacia, proveniente do impulsionamento da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM, posterior a década de 1970 (expansão da fronteira agrícola), culminando na transformação da estrutura agrária tradicional de subsistência para tecnificada (após a inserção de grandes projetos, em 1988, com a construção da Estrada de Ferro Carajás - EFC, para interligação da cidade de Carajás - PA até o porto de Ponta da Madeira, em São Luís – MA, para o escoamento do minério de ferro), conforme elenca Oliveira, Paz & Silveira (2020). Nessa perspectiva, a Pastagem se destacou como principal vetor de modificações na bacia do rio Pindaré, elevando cerca de quatro vezes sua área inicial, ou seja, em 1985 a classe em análise ocupava 4.583,9 km², e em 2024 com 19.626,3 km², totalizando um crescimento de 15.042,4 km². A relação formação florestal (floresta) versus pastagem (agropecuária) sinaliza uma inversão gradual, no decorrer dos anos, da primeira classe em relação à segunda, o que efetivou a transição de uma matriz predominantemente florestal para uma acentuadamente agropecuária, o que evidencia processos de conversão da cobertura vegetal nativa e consolidação de atividades produtivas como principal condutor de alteração da paisagem nas últimas quatro décadas (Gráfico 1).

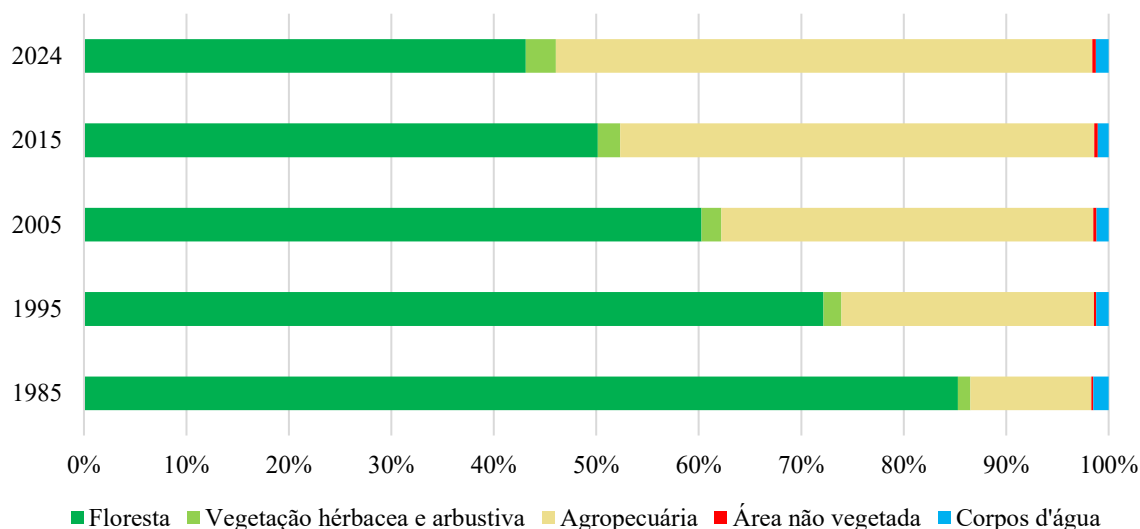


Gráfico 1 - Evolução temporal do uso e cobertura da terra da bacia do rio Pindaré (1985 – 2024).
Fonte: Autores (2025) com base nos dados do MapBiomas.

No que tange as Áreas não Vegetadas, quantificou-se um aumento de 65,6 km² no período, com destaque para a expansão da Área Urbanizada, que passou de 39,7 km² em 1985 para 111,4 km² em 2024. Embora proporcionalmente inferior à expansão agropecuária, esse crescimento indica a intensificação dos processos de urbanização e consolidação de núcleos urbanos, acompanhando tendências demográficas e econômicas regionais concretizadas pelo aumento no número de habitantes nos municípios e no espraiamento urbano das sedes municipais presentes no interior da bacia em questão. As áreas urbanas localizadas nas proximidades do canal principal (rio Pindaré), foram instaladas em áreas suscetíveis à inundações (planícies de inundação), gerando maior vulnerabilidade social e ambiental aos eventos em questão (Figura 6). Moura *et al.* (2016) afirma que o desenvolvimento urbano não direcionado/planejado gera impactos negativos ao ambiente, e ocasiona situações adversas aos residentes, sendo um produto direto da interferência humana no meio físico natural.

A classe Corpos d'Água apresentou variação negativa acumulada de 104 km² entre 1985 e 2024, embora obteve oscilações no decorrer das décadas. Sugere-se que essa redução está associada às alterações no regime hidrossedimentológico, o qual a literatura especializada relaciona ao desmatamento e à expansão de pastagens. Em bacias hidrográficas com demasiada conversão da cobertura florestal para pecuária, tem-se a redução da capacidade de infiltração, resultante do pisoteio do gado, o qual eleva o escoamento superficial e a produção de sedimentos (Fearnside, 2005; Zimmermann, Papritz e Elsenbeer, 2010). Esse processo favorece o transporte de material para os cursos d'água, contribuindo para o assoreamento (alargamento e redução da profundidade dos cursos d'água) e para alterações na morfologia fluvial (aparecimento e desaparecimento de feições deposicionais nos cursos d'água), segundo Cunha (1998), Novo (2008) e Teixeira (2014).

Em linhas gerais, a dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia do rio Pindaré entre 1985 e 2024 sinaliza um processo de transformações da paisagem, com destaque para a diminuição da classe florestal, convertida em um uso predominantemente agropecuário. Esse processo deu-se em razão da expansão territorial das pastagens na bacia, principalmente nos setores Sudoeste, área central da bacia, Centro-Leste e ao Norte da área (baixo curso). Observou-se que, as áreas com remanescentes florestais estão diretamente associadas as áreas de proteção integral, com destaque às Terras Indígenas, o que válida a importância da delimitação, conservação e manejo desses territórios. Sendo assim, a bacia do rio Pindaré passou, nas últimas quatro décadas, por um processo de reestruturação territorial, em razão da magnitude das mudanças, correlacionado à redução da formação florestal original. Logo, infere-se que, é sob a perspectiva da análise sistêmica que torna-se possível o entendimento das inter-relações entre o uso e cobertura da terra e os aspectos físico ambientais na bacia hidrográfica, devido ao reordenamento dos fluxos.

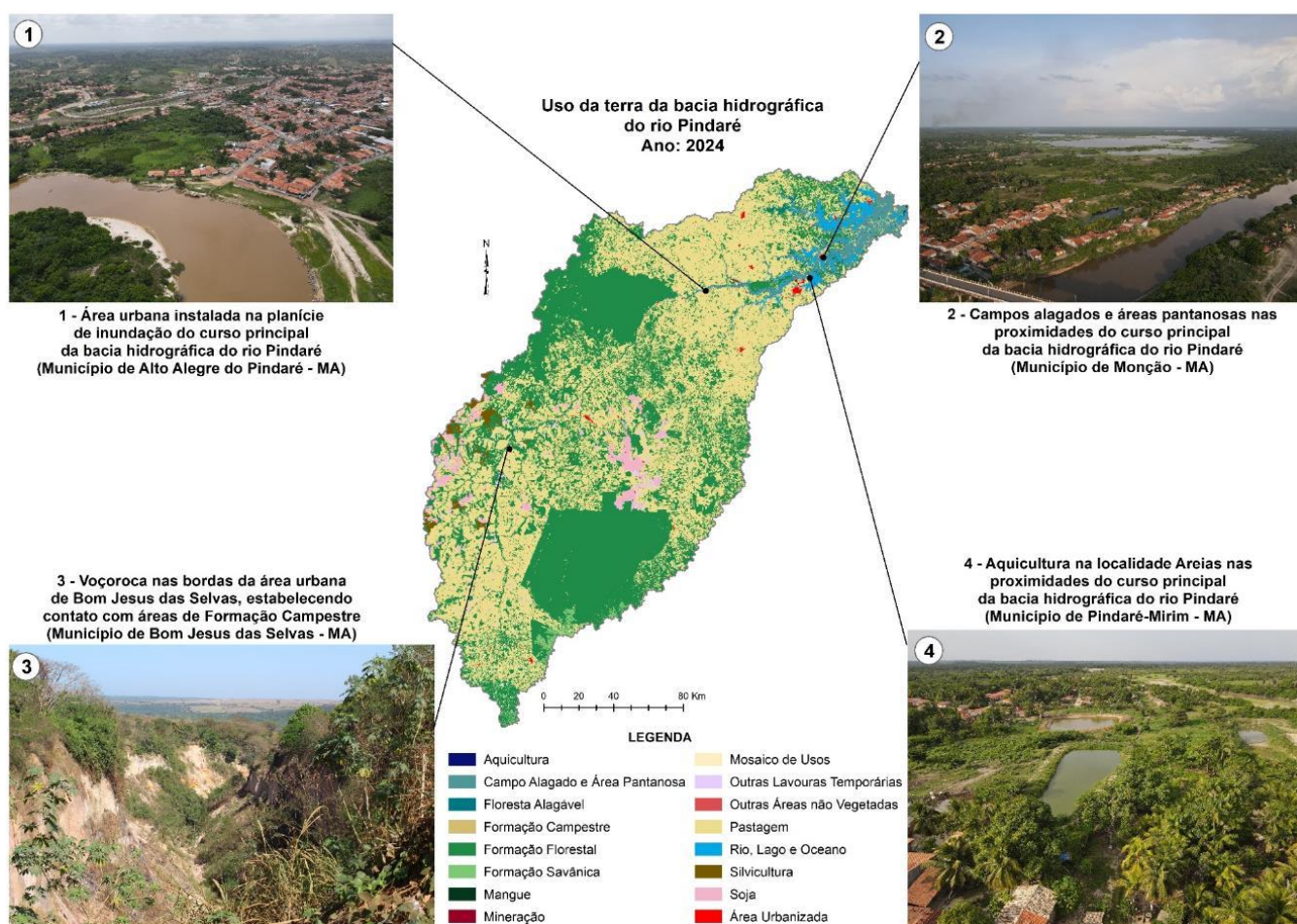


Figura 6 - Diferentes classes de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Pindaré – Maranhão, Brasil.

Fonte: Autores (2025) com base nos dados do MapBiomas.

3.3. Interações físico-ambientais com o uso e cobertura da terra na bacia do rio Pindaré

As alterações no uso e cobertura da terra estimulam à produção de respostas sistêmicas nos componentes naturais da paisagem, e sobretudo do ambiente, interagindo com os aspectos físico-ambientais de forma integrada. Sendo assim, considera-se para essa análise as classes de maior abrangência territorial na bacia hidrográfica do rio Pindaré, referente às características geológicas, geomorfológicas e pedológicas correlacionando-as ao uso e cobertura da terra.

A influência das Zonas de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no contexto climático da bacia influenciou o desenvolvimento de unidades geológicas distintas, considerando a localização no tempo e na paisagem. Os materiais argilo-arenosos cretáceos do Grupo Itapecuru, compostos por arenitos, argilitos, siltitos e conglomerados, afloram por quase toda a área, principalmente no baixo curso, nos vale fluviais (entre o médio e alto curso) e áreas com maior dissecação e/ou degradação. Os sedimentos concrecionários ferruginosos (piçarreiras), areia, cascalho e argila do paleógeno (Coberturas Lateríticas Maturas), constituem dinâmica similar, com afloramento em eixos fluviais e setores de vertentes, configurando áreas de transição entre cabeceiras e planícies. Nesses setores, conforme Ross (1992), é comum ocorrer o processo de dissecação do relevo e maior diversidade pedológica. Ambas as classes litoestratigráficas integram os seguintes padrões de relevo de maior representação areal: superfícies aplainadas retocadas ou degradadas (relevo suave ondulado com baixa declividade) e os baixos platôs dissecados (equilíbrio entre o processo de pedogênese e morfogênese).

As classes pedológicas preponderantes na área referem-se aos Latossolos-Amarelos Distróficos (textura argilosa e muito argilosa) e aos Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos (horizonte de acumulação de argila, B textural); ambos são desenvolvidos (profundos e muito profundos) e bem drenados. Sobre os aspectos físico-ambientais supramencionados encontra-se as pastagens (uso da terra hegemônico na bacia) e espalharam-se por toda a área objeto de estudo, transformando o que era cobertura vegetal (floresta) em áreas para fins agropecuários. As áreas que outrora possuíam cobertura vegetal densa foram transfiguradas e passam a ter uma cobertura herbácea de menor porte e menor capacidade de proteção do solo, o que altera as propriedades físicas do solo e eleva a suscetibilidade à erosão na bacia do Pindaré, validado por diversas feições erosivas encontradas no decorrer da bacia, especialmente nas cidades de Bom Jesus das Selvas e Buriticupu. Dessa forma, a interação entre as características físico-ambientais da bacia hidrográfica do rio Pindaré e as transformações no uso e cobertura da terra evidencia um cenário de reconfiguração da paisagem regional, no qual a expansão agropecuária e urbana atua como importante agente de modificação dos processos naturais, potencializando mudanças na dinâmica hidrogeomorfológica da bacia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou compreender as inter-relações entre os aspectos físico-ambientais e o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Pindaré (MA), utilizando a bacia como unidade de análise para interpretar as transformações ocorridas na paisagem. A análise integrada dos elementos climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hipsométricos e clinográficos, associada à avaliação das mudanças no uso e cobertura da terra, possibilitou identificar como as características naturais do território influenciam os padrões de uso e, ao mesmo tempo, como as ações humanas passam a interferir no funcionamento hidrogeomorfológico da bacia. De modo geral, os resultados indicam que a configuração físico-ambiental exerce papel importante na organização espacial das formas de uso da terra. Observou-se que a expansão das áreas de pastagem tem se consolidado como um dos principais vetores de alteração da paisagem, promovendo a substituição de áreas de cobertura vegetal natural e contribuindo para mudanças na dinâmica ambiental. Esse processo favorece a compactação dos solos, intensifica o escoamento superficial e aumenta a produção de sedimentos, aspectos que repercutem diretamente na dinâmica fluvial e nas condições dos corpos d'água da bacia. Dessa forma, verifica-se que as transformações no uso da terra não ocorrem de maneira isolada, mas estão estreitamente relacionadas às condições físicas do meio, com influência direta sob sistema fluvial.

A pesquisa reforça a relevância da abordagem integrada da paisagem em bacias hidrográficas, contribuindo para ampliar a compreensão das interações entre os componentes naturais e as formas de uso e cobertura do território. Os resultados apresentados podem servir como subsídio para iniciativas de planejamento e gestão ambiental/territorial, especialmente no que se refere ao uso racional da terra e à conservação dos recursos naturais na bacia do rio Pindaré. Cabe destacar, contudo, algumas limitações inerentes ao estudo. A disponibilidade de determinados dados cartográficos e a própria escala de análise adotada podem restringir uma avaliação mais detalhada de processos locais e de dinâmicas específicas em setores de menor dimensão areal da bacia. Ainda assim, os resultados obtidos oferecem um panorama consistente das transformações recentes e de suas implicações ambientais. Por fim, considera-se importante que investigações futuras aprofundem a análise das relações entre mudanças no uso e cobertura da terra, processos hidrossedimentológicos e impactos ambientais em bacias hidrográficas. Pesquisas que incorporem análises em escalas detalhadas, bem como o monitoramento das transformações da paisagem, poderão contribuir para a compreensão das dinâmicas em curso e para o fortalecimento das estratégias de ordenamento do território e gestão integrada dos recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pelo financiamento da pesquisa, o que possibilitou o desenvolvimento da mesma. A Universidade Estadual do Maranhão - UEMA e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGeo, pela oportunidade de estruturação e consolidação da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, C. M. R.; BEREZUK, A. G.; SOARES FILHO, A.; ASSIS JÚNIOR, G. A. Caracterização físico-ambiental da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio. **ENTRE-LUGAR**, v. 12, n. 24, p. 98-125, 2021.
- AB’SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.
- AMARAL, D. D.; ROCHA, A. E.; PEREIRA, J. L. G.; NETO, S. V. C. Identificação dos subtipos de savanas na Amazônia oriental (Pará e Amapá, Brasil) com uma chave dicotômica de individualização. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 14, n. 2, p. 183-195, 2019.
- ASSIS, P. C.; MATOS, A. P.; FARIA, K. M. S.; & BAYER, M. Implicações das transformações no uso e cobertura da terra na gestão hídrica da bacia hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Geotemas**, v. 15, p. e02504-e02504, 2025.
- AZEVEDO, T.; MATIAS, L. F. Dinâmica da alteração do uso e ocupação agrícola na Amazônia Maranhense: uma análise a partir de dados do MapBiomass. In: ANAIS DO EVENTO EM COMEMORAÇÃO AOS 20 ANOS DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAPHIA (IG-UNICAMP), 2022. **Anais...** São Paulo: Instituto de Geociências, 2022.
- BANDEIRA, I. C. N. **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Teresina: 2013.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005.
- CAMPOS, A. A. C. **Condicionantes dos processos erosivos na área urbana de Buriticupu–MA: o caso da voçoroca do bairro Santos Dumont**. 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188p.
- CORRÊA, W.; CARVALHO, M. W. L.; MENDES, T. J. Atualização da classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 517-543, 2023.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

DANTAS, M. E.; LACERDA, A.; MAIA, M. A. M. **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial**: volume 7 – versão 1 – elaboração de cartas de padrão de relevo multiescala. – Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2023.

DELMASCHIO, B. S.; COELHO, A. L. N.; CAMPOS, F. L. M.; DALLEPRANE, V.; RODRIGUES, B. P.; CAMPOS, C. K. Avaliação da influência da alteração do uso e cobertura da terra nas vazões de uma bacia hidrográfica com uso dos dados do mapbiomas. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 21., 2025. **Anais...** Salvador: 2025.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília: EMBRAPA Solos, 2018. 356p.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IMESC - INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIECONOMICOS E CARTOGRÁFICOS. **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão –ZEE**: etapa Bioma Amazônico. São Luís: IMESC, 2019.

IMESC - INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIECONOMICOS E CARTOGRÁFICOS. **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (ZEE-MA)**: meio físico-biótico – etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. 2. ed. v.1. São Luís: IMESC, 2021.

KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. (Org.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão**. Belém: CPRM, 2012. 150p.

KLEIN, E. L.; LOPES, E. C. S.; ANJOS, G. C.; TEIXEIRA, S. G.; MOURA, E. M. Unidades Litoestratigráficas. In: Serviço Geológico do Brasil (CPRM). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão**. Belém: CPRM, 2012.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Cidade do Mexico: Fondo de Cultura Econômica. 1948. 478p.

MELO, C. M.; LADWIG, N. I.; SILVA, A. R. E. Análise das mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Jacu: municípios de Porto União, Porto Vitória e União da Vitória-Brasil. **Revista Territorium Terram**, v. 8, n. esp. 1, p. 180-198, 2025.

MOURA, N. S. V.; MORAN, E. F.; DIAS, T. S.; PARIS, G.; BORGES, F. F. Expansão urbana sobre compartimentos de relevo suscetíveis à inundação: Zona Sul do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 43, n. 3, p. 299-310, 2016.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**: princípios e aplicações. São José dos Campos: Edgar Blücher, 1989. 388p.

NOVO, E. M. L. M. Ambientes fluviais. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 219-246, 2008.

OLIVEIRA, A. B.; PAZ, D. A. S.; DA SILVEIRA, K. C. Expansão da silvicultura do eucalipto e transformações no uso da terra em municípios do oeste maranhense. **Revista InterEspaço**, Grajaú, v. 6, p. 1-24, 2020.

RIBEIRO, K. V.; ALBUQUERQUE, E. L. S.; MEIRELES, A. J. A. Caracterização do meio físico e da cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Poti (Ceará e Piauí). **Revista Equador**, v. 12, n. 1, p. 173-198, 2023.

RODRIGUES, L. C.; NEVES, S. M. A. S. Caracterização físico-ambiental da paisagem na bacia hidrográfica do rio Turvo - São Paulo, Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 17, n. 2, p. 52-72, 2023.

ROSS, J. L. S. Registro Cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 17-30, 1992.

SALEMI, L. F.; GROppo, J. D.; TREVISAN, R.; DE MORAES, J. M.; MARTINELLI, L. A.; DE PAULA LIMA, W. Aspectos hidrológicos da recuperação florestal de áreas de preservação permanente ao longo dos corpos d'água. **Revista do Instituto Florestal**, v. 23, n. 1, p. 69-80, 2011.

SANTANA, R. G.; FRANÇA, D. V. B.; AVELAR, C. M. C. Dinâmica do uso e cobertura da terra entre os anos 1985 e 2021 na bacia hidrográfica do rio Preguiças-MA, Brasil. **Geofronter**, v. 9, n. 1, p. 1-26, 2023.

SANTIAGO, C. M. C.; SALES, M. C. L.; PAULA, J. E. A. Caracterização físico-ambiental da bacia do rio São Nicolau-semiárido piauiense. **Revista Equador**, v. 2, n. 1, p. 118-139, 2013.

SERRÃO, A. V. Paisagem e ambiente: uma distinção conceptual. **Enrahonar: An international journal of theoretical and practical reason**, v. 53, p. 15-28, 2014.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial**: volume 7 – versão 1 – elaboração de cartas de padrão de relevo multiescala. Orgs. DANTAS, M. E. – Brasília: Serviço Geológico do Brasil-CPRM, 2023.

SOUZA JR., C. M.; Z. SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F. AZEVEDO, T. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, p. 2735, 2020.

SUERTEGARAY, D. M. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta Nova: Revista electrónica de Geografía y ciencias sociales**, v. 5, n. 79-104, 2001.

TEIXEIRA, A. C. O. **Efeito das mudanças nos padrões de uso da terra nos processos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Subaúma – Bahia**. 2014. 243 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE: São José dos Campos, 2008. 75p.

VASCONCELOS, B. R.; LIMA, M. T. V.; PARANHOS FILHO, A. C. Detecção de mudanças no uso e ocupação do solo no estado do Amazonas baseada nas classificações do projeto MAPBIOMAS. **GEOFRONTER**, v. 10, p. e7773, 2024.

VIANA, J. D. **Estudo dos fatores controladores dos processos erosivos em área urbana**: caso da voçoroca na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA. 2019. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

ZIMMERMANN, B.; PAPRITZ, A.; ELSENBEER, H. Asymmetric response to disturbance and recovery: Changes of soil permeability under forest–pasture–forest transitions. **Geoderma**, v. 159, n. 1-2, p. 209-215, 2010.