

USO E COBERTURA DA TERRA E SUA IMPLICAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NA ZONA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO: UM ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

Rubenilson Amorim Martins

Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brasil
rubenilson.rm@gmail.com

Caio Brito Lourenço

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, São Luís, MA, Brasil
caio.lourenco@ifma.edu.br

Jordane de Oliveira Borges

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil
jordane.o.borges@gmail.com

Leonardo Silva Soares

Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil
leonardo.soares@ufma.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, relacionando a distribuição e a concentração das classes de uso e cobertura da terra com o padrão de qualidade da água. Os mapas de uso e cobertura da terra foram desenvolvidos a partir de imagens do satélite *OLI/Landsat 8* em 2003 e 2023, confeccionados com o *software* de domínio público *Quantum GIS* (QGIS), enquanto os dados de qualidade de água foram obtidos no Portal HidroWeb do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), com a série histórica de 2003 a 2023. Verificou-se, nesse período, uma redução de 17,14% na área das classes de uso e cobertura da terra que representam a vegetação nativa, especialmente formações florestais e savânicas. Em contrapartida, houve aumento das classes associadas ao uso alternativo do solo (antropização), principalmente da pastagem, com avanço de 10,18%, e da agricultura, com avanço de 6,30%. Observou-se, ainda, que o rio Itapecuru apresenta melhor qualidade da água nos trechos com maior proporção de vegetação nativa, no alto curso, e pior qualidade nos trechos com maior predominância de usos alternativos do solo, nos médio e baixo cursos.

Palavras-chave: Dinâmica da paisagem. Monitoramento Ambiental. Rede de drenagem.

CHANGE IN LAND USE AND COVER AND THE IMPLICATIONS ON WATER QUALITY IN A TROPICAL HYDROGRAPHIC BASIN THAT TRANSITIONS BETWEEN THE CERRADO AND THE AMAZON BIOMES

ABSTRACT

This study aimed to analyze land use and land cover (LULC) in the Itapecuru River watershed, Brazil, and to relate the spatial distribution and concentration of LULC classes to water quality patterns. LULC maps were generated from OLI/Landsat 8 satellite imagery for the years 2003 and 2023 using the open-source software Quantum GIS (QGIS). Water quality data were obtained from the HidroWeb Portal of the National Water Resources Information System (SNIRH), covering a historical time series from 2003 to 2023. During this period, there was a 17.14% reduction in the area of LULC classes representing native vegetation, especially forest and savanna formations. In contrast, there was an increase in classes associated with alternative land use (anthropization), particularly pastureland, which expanded by 10.18%, and agriculture, which increased by 6.30%. In addition, the Itapecuru River shows better water quality in sections with a higher proportion of native vegetation, in the upper course, and poorer water quality in sections with a greater predominance of alternative land uses, in the middle and lower courses.

Keywords: Landscape dynamics. Environmental monitoring. Drainage network.

INTRODUÇÃO

O levantamento do uso e cobertura da terra indica a distribuição geográfica das tipologias de uso, identificadas por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013). É considerado a expressão das atividades humanas na superfície terrestre, estando diretamente relacionado ao uso da terra e seu manejo (Seabra; Cruz, 2013), além de desempenhar papel fundamental no delineamento do ambiente em escalas global, regional e local (Krusche *et al.*, 2005).

De acordo com Witjes, Herold e de Bruin (2024), o levantamento do uso e cobertura da terra fornece estimativas da cobertura do solo com previsões corretas de classe em nível de pixel e estimativas de área por classe em nível regional, sendo importante para diversos propósitos de monitoramento. Nessa perspectiva, Winkler *et al.* (2021) salientam que quantificar a dinâmica da mudança do uso da terra é fundamental para enfrentar os desafios socioambientais globais, como segurança alimentar, mudanças climáticas e perda de biodiversidade. Essa visão é compartilhada por Agbenorhevi *et al.* (2024), que consideram a investigação da mudança do uso da terra essencial para enfrentar os desafios sociais e conservar os ecossistemas.

Nesse contexto de monitoramento do uso e cobertura da terra, um dos principais indicadores é a cobertura vegetal, uma vez que o tipo de vegetação presente implica diferentes comportamentos nos atributos do solo e da água. A remoção das florestas, por exemplo, tem causado um aumento significativo dos processos que levam à degradação de extensas áreas, com prejuízos à hidrologia e à biodiversidade (Bueno; Galbiatti; Borges, 2005).

A degradação do planeta em função das alterações na cobertura da terra e das mudanças climáticas continua sendo um dos desafios mais complexos enfrentados pela geração atual — e que também deverá ser encarado pelas gerações futuras (Nguyen *et al.*, 2023). Eventos extremos associados às mudanças climáticas produzem impactos que influenciam a dinâmica da vegetação, com reflexos na cobertura da terra, no funcionamento dos ecossistemas terrestres e aquáticos, e no bem-estar humano (Afuye; Kalumba; Orimoloye, 2021).

A mudança na cobertura da terra representa um dos mais graves problemas ambientais, sendo amplificada por sua relação direta com a ocorrência de eventos climáticos extremos e intensificada em bacias hidrográficas, devido à degradação da qualidade da água dos corpos hídricos. Para Külling *et al.* (2024), a utilização do solo com substituição da vegetação nativa por usos alternativos representa riscos significativos de perda de biodiversidade em escala global, afetando a estabilidade ecológica, bem como a quantidade e a qualidade da água.

Essa descaracterização da paisagem natural, especialmente com a substituição de áreas vegetadas, impacta de forma direta e negativa os recursos hídricos. Nesse sentido, Tambosi *et al.* (2015) ressaltam que a biodiversidade tem singular importância para a preservação e a perenidade do fornecimento de água potável, por meio da cobertura florestal ou da vegetação nativa distribuída em diferentes posições de relevo.

Tucci e Mendes (2006) corroboram esse entendimento ao relatarem que as alterações no uso e manejo do solo em bacias hidrográficas onde ocorre desmatamento tendem a alterar a vazão média, em função da diminuição da evapotranspiração, com aumento das vazões máximas e redução das mínimas.

Na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, observam-se diversas alterações na dinâmica da paisagem decorrentes da ocupação desordenada, que levam à fragmentação e destruição da vegetação nativa. Essas mudanças são impulsionadas pelo aumento de áreas de pastagens, de cultivos agrícolas (principalmente monoculturas) e da expansão urbana ao longo de seus cursos (alto, médio e baixo), com impactos sobre os recursos hídricos e a biodiversidade (Masullo; Soares, 2019).

Essa alteração na cobertura natural da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, que compromete a manutenção dos recursos hídricos, é desencadeada pela intensificação do desmatamento nos biomas Cerrado e Amazônia, predominantes nessa região. Conforme Marques *et al.* (2024), com base no Relatório Anual do Desmatamento no Brasil (RAD2023), do MapBiomas, em 2023 foram desmatados 10.341 ha no bioma Amazônia e 320.884 ha no bioma Cerrado no estado do Maranhão. Esse cenário colocou o estado como o maior desmatador do Cerrado entre as unidades da federação, respondendo por 28% da área total desmatada nesse bioma no referido ano.

Nessa perspectiva, este estudo teve como objetivo analisar o uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, relacionando a distribuição e a concentração das classes de uso e

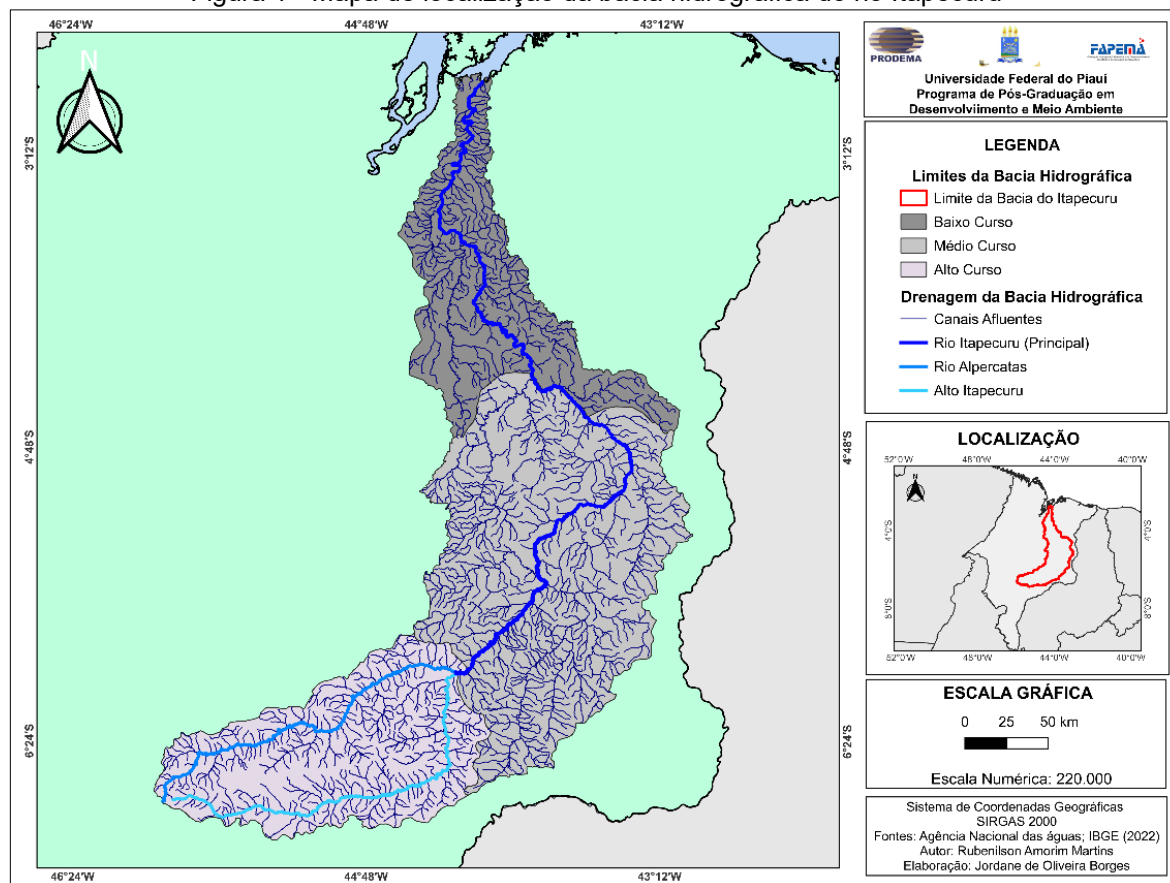
cobertura da terra com o padrão de qualidade da água, de modo a ressaltar a importância da cobertura vegetal para a permanência dos recursos hídricos em quantidade e qualidade adequadas aos usos múltiplos e ao desenvolvimento das suas funções ecológicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru está localizada na parte centro-leste do estado do Maranhão, entre as coordenadas de 2°51'33" a 6°52'22" Latitude S e 43°02'49" a 45°58'57" Longitude O. Limita-se, ao sul e leste, com a bacia hidrográfica do rio Parnaíba, por meio da Serra do Itapecuru, Chapada do Azeitão e outras pequenas elevações; a oeste e a sudoeste, com a bacia hidrográfica do rio Mearim; e, a noroeste, com a bacia hidrográfica do rio Munim (IBGE, 1998), como observado no mapa a seguir (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Fontes: Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos, 2021; Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico, 2022; IBGE, 2022. Elaboração: os autores, 2025.

Com uma área de 53.216,84 km², o que equivale a 16,03% da área do estado, a bacia do rio Itapecuru representa a segunda maior bacia hidrográfica do Maranhão. O principal rio é o Itapecuru, que nasce no sul do estado, no sistema formado pelas serras da Croeira, do Itapecuru e das Alpercatas, a uma altitude aproximada de 530 m. O rio percorre cerca de 852,71 km, desaguando na baía do Arraial, a sudeste da Ilha do Maranhão (Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão – NUGEO, 2016).

A bacia compreende áreas dos biomas Cerrado e Amazônia. No bioma Cerrado, apresentam-se como formações vegetais características as formações florestal, savânica e campestre; já no bioma Amazônia, destaca-se a formação florestal (Silva *et al.*, 2022), configurando o ecótono Cerrado-

Amazônia maranhense. Essas formações vegetais apresentam uma transição que vai do Cerrado, no sul da bacia hidrográfica, para as florestas estacionais, no centro e na porção leste, e para a floresta ombrófila, no noroeste do estado, sob influência do bioma Amazônia (IBGE, 1997).

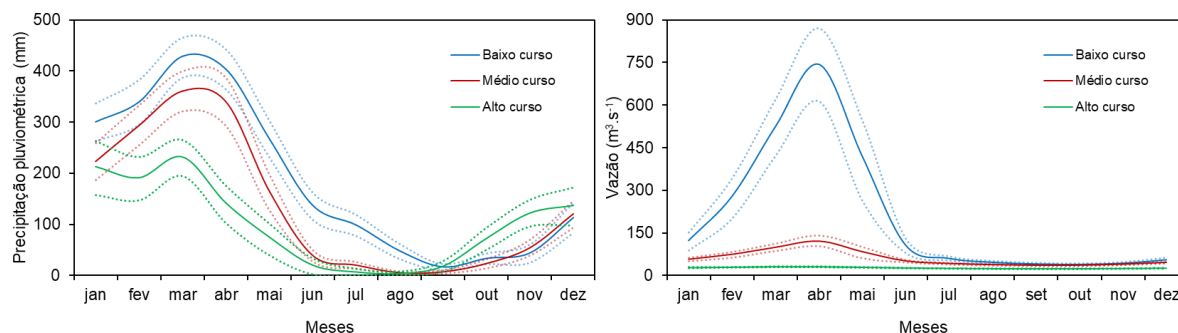
A região situa-se em uma zona de transição dos climas semiáridos do interior do Nordeste e os úmidos equatoriais da Amazônia. Com base no índice de umidade de Thornthwaite, é possível identificar clima subúmido a seco no alto curso, clima úmido a subúmido no curso médio e clima úmido no baixo curso (IBGE, 1998).

Essas condições climáticas são caracterizadas por altas temperaturas — médias anuais entre 27°C a 29°C nos cursos alto e médio, e entre 26°C e 27°C no baixo curso —, variação de umidade, com menor umidade do ar na parte sul (alto e médio cursos), com precipitações anuais entre 1.200 mm e 1.400 mm, e maior umidade do ar na parte norte da bacia (baixo curso), com precipitações anuais entre 1.400 mm e mais de 2.000 mm. Esse padrão define dois períodos sazonais bem marcados: um chuvoso e outro de estiagem (Alcântara, 2004).

Para a definição desses períodos, foram utilizados dados do portal HidroWeb, gerenciado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), provenientes das estações pluviométricas Campo Largo (644015), Coroatá (444001) e Presidente Juscelino (344010), bem como das estações fluviométricas Mirador (33420000), Fernando Falcão (33430000), Colinas (33480000), Caxias (33550000), Codó (33590000), Coroatá (33630000) e Cantanhede (33680000).

A partir desses dados, foi calculada a média climatológica da precipitação pluviométrica e da vazão com base nos últimos 30 anos (1993-2023). Os resultados indicaram períodos sazonais bem definidos: um chuvoso (de dezembro a maio) e um de estiagem (de junho a novembro), com padrões semelhantes ao longo dos cursos da bacia (Figura 2). O mesmo padrão foi observado para os dados de vazão do rio.

Figura 2 - Precipitação pluviométrica (mm) e vazão (m^3/s) dos setores fluviais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Fonte: ANA, 2025. Elaboração: Martins; Lourenço; Soares, 2025.

Quanto ao padrão sazonal da precipitação pluviométrica e da vazão (Figura 2), observa-se uma variação espacial entre os diferentes cursos do rio. No período chuvoso, os valores médios mais baixos foram registrados no alto curso, tanto para precipitação como para vazão (aproximadamente 164 mm e 28 m^3/s), enquanto os valores mais elevados ocorreram no baixo curso (cerca de 308 mm e 358 m^3/s). No período de estiagem, os menores valores médios de precipitação pluviométrica e vazão também foram observados no alto curso (por volta de 41 mm e 24 m^3/s), e os maiores no baixo curso (aproximadamente 63 mm e 56 m^3/s).

Processamento de dados para uso e cobertura da terra e qualidade da água

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru foi delimitada a partir da hipsometria do estado do Maranhão, tendo em conta a ordem de nascentes e a altitude, realizada pelo IMESC. Após a delimitação da bacia, foi realizado o recorte da rede de drenagem produzida pela ANA, destacando-se o canal principal e subdividindo-se toda a bacia hidrográfica em três setores fluviais: alto, médio e baixo cursos.

Utilizou-se o *software Quantum GIS* (QGIS), versão Firenze 3.28 (*software* de acesso livre) para o processamento dos dados, sendo gerados dados cartográficos da bacia hidrográfica como um todo e dos trechos em que ela se subdivide (alto, médio e baixo cursos), os quais serviram de base para o recorte de uso e cobertura da bacia nos anos de 2003 e 2023. O mesmo *software* foi empregado para a inserção da localização das estações fluviométricas, das quais foram extraídos dados de qualidade da água dos rios Alpercatas e Itapecuru e da delimitação da unidade de conservação Parque Estadual do Mirador.

Foram utilizados os dados do MapBiomas de uso e cobertura da terra produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens do satélite *OLI/Landsat 8* (compostas por seis cenas para cobrir a área de abrangência, cujas órbitas foram 220 e 221, nos pontos 62, 63 e 64). As bandas utilizadas para a classificação de uso e cobertura foram as bandas 4, 5, 6, com resolução espacial de 30 m, e a pancromática (banda 8) com resolução espacial de 15 m. Todo o processo foi feito com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) por meio da *plataforma Google Earth Engine* (*software* de acesso livre).

Para compreender as mudanças no uso e cobertura da terra na comparação de 2003 para 2023, foram produzidos mapas com as transições das classes entre diferentes pares de anos selecionados. Desse modo, foi possível visualizar o dinamismo da alteração da paisagem em escala temporal reduzida (ano a ano). Além disso, foi feita a inserção de dados das estações fluviométricas baseados em coordenadas fornecidas pela ANA, convertidos em *shapefiles* de pontos, além da delimitação em polígono da unidade de conservação Parque Estadual do Mirador, fornecida pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão (SEMA).

As classes atribuídas nos mapas gerais e setoriais foram: formação florestal, formação savânica, mangue, apicum, campo alagado, formação campestre, pastagem, agricultura, área urbanizada, solo exposto, mineração e corpos d'água. Suas áreas foram calculadas no QGIS em hectares e quilômetros quadrados, com o objetivo de subsidiar a análise e a discussão dos resultados.

Os dados de qualidade da água foram obtidos por meio do Portal HidroWeb, a partir da aquisição de séries históricas dos parâmetros de qualidade da água (temperatura, potencial hidrogeniônico – pH, oxigênio dissolvido – OD, condutividade elétrica e turbidez) das estações fluviométricas Mirador (33420000) e Fernando Falcão (33430000), no alto curso; Colinas (33480000) e Caxias (33550000), no médio curso; e Codó (33590000), Coroatá (33630000) e Cantanhede (33680000), no baixo curso. A estação fluviométrica Fernando Falcão está localizada no rio Alpercatas, enquanto as demais se situam no rio Itapecuru. A série histórica dos dados de qualidade da água abrange o período de 1999 a 2023, com uma periodicidade de coleta bimestral ou trimestral, contemplando ambos os períodos sazonais: estação chuvosa e estação de estiagem. Devido à ausência de dados em alguns períodos, os dados mensais foram agrupados por períodos sazonais — chuvoso e estiagem —, facilitando, assim, a identificação de padrões espaciais e temporais dos dados.

Os gráficos (*boxplots*) agruparam a série histórica de dados de qualidade da água do portal Hidroweb e foram confeccionados utilizando o programa *XLSTAT Basic* (chave de acesso 4TU5SR-NA5NMP-P9AXMX-NPBYTX-FYEQ7B-USKQFL).

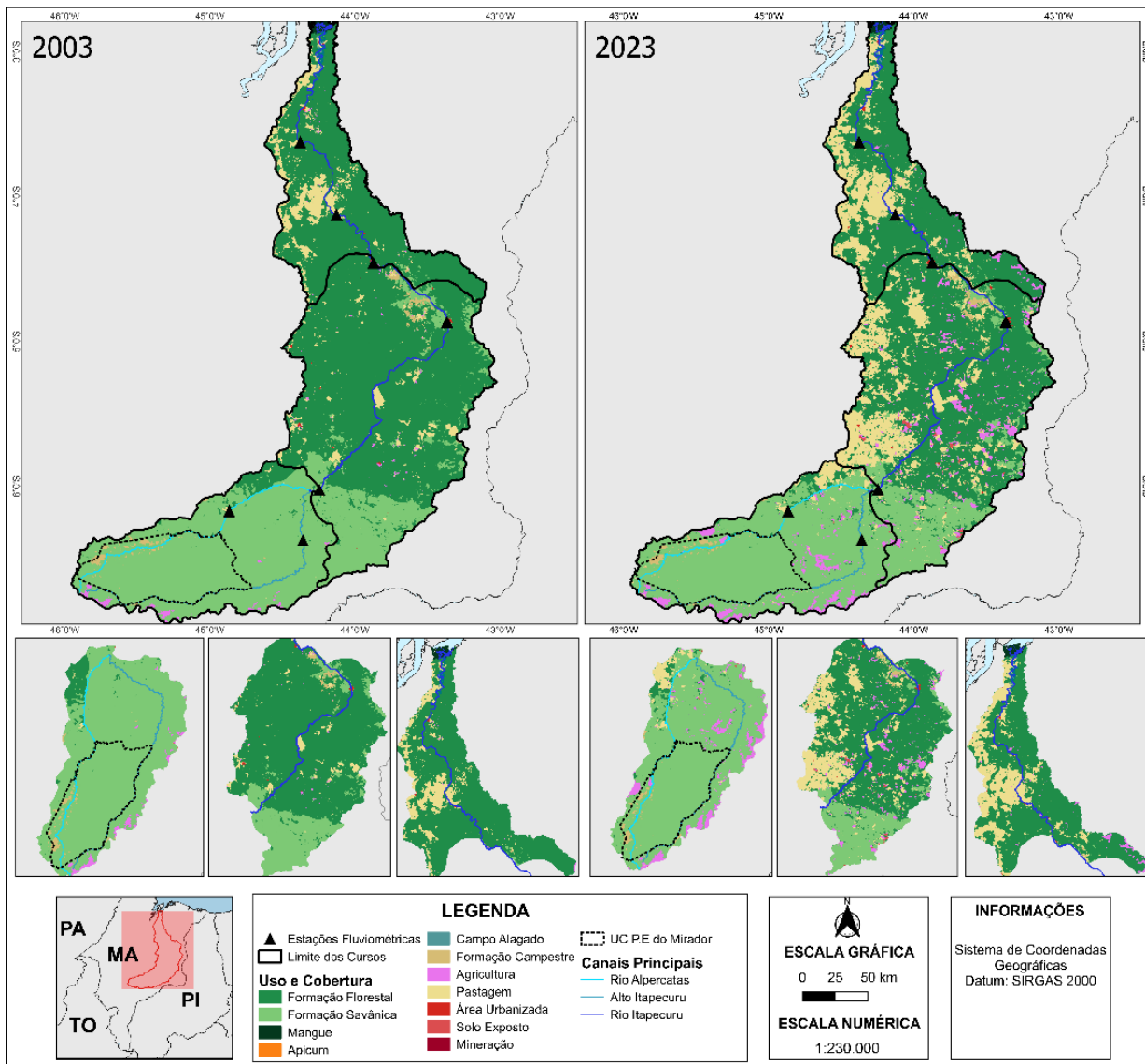
A análise estatística dos dados de qualidade da água foi realizada por meio dos testes ANOVA e Kruskal-Wallis, utilizando-se o *software PAleontological STatistics - Past versão 4.17* (*software* de acesso livre). Nessa análise, o valor $p < 0,05$ indica diferença significativa no aspecto temporal ou espacial da variável em análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

O rio Itapecuru apresenta 852,71 km de extensão ao longo do estado do Maranhão, formando uma rede de drenagem que compreende áreas dos biomas Cerrado e Amazônia, com a formação savânica restrita ao bioma Cerrado, enquanto a formação florestal está presente em áreas dos dois biomas (Figura 3). Originalmente, o bioma Cerrado situa-se no alto, médio e parte do baixo curso, sendo o bioma dominante na bacia hidrográfica. Já o bioma Amazônia é observado, especialmente, em parte do baixo curso. As classes formação campestre, campo alagado, mangue e apicum se distribuem ao longo da bacia hidrográfica em meio aos dois biomas dominantes dessa região, definidas a partir de características peculiares às regiões estuarinas e a fatores climáticos, geomorfológicos e edáficos.

Figura 3 - Mapas de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru nos anos de 2003 e 2023



Fontes: SEMA, 2017; IMESC, 2021; ANA, 2022; IBGE, 2022. Elaboração: os autores, 2025.

Após análise da distribuição das classes de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru (Figura 3), verificou-se que, entre as classes que representam a cobertura natural da terra, a formação florestal foi a predominante, concentrando-se principalmente nos cursos médio e baixo. Essa classe representou 53,21% da área total em 2003 e 40,82% em 2023 (Tabela 1).

A formação savânica também ocupou área significativa, correspondendo a 32,47% em 2003 e 27,72% em 2023, especialmente no alto curso. Quanto à formação campestre, que representou 1,76% em 2003 e 2,01% em 2023, observa-se sua distribuição sobretudo em áreas de Cerrado no alto curso dos rios Itapecuru e Alpercatas. As classes campo alagado, mangue e apicum ocuparam percentuais reduzidos e apresentaram pequena variação entre 2003 e 2023.

Os mapas da bacia hidrográfica do rio Itapecuru para os anos de 2003 e 2023 (Figura 3), demonstraram o declínio acentuado das classes de uso e cobertura da terra que representam a vegetação nativa, principalmente a formação florestal (Figura 4), e a formação savânica, que perderam, respectivamente, 12,39 e 4,75 pontos percentuais (pp), correspondentes a reduções de 23,28% e 14,62%, ou 6.587,25 km² e 2.525,21 km².

Figura 4 - Vista parcial do rio Itapecuru, com destaque para a formação florestal no bioma Cerrado, no município de Caxias (MA)



Fonte: Os autores, 2024.

Nos mapas dos setores fluviais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, observou-se que a diminuição da área com vegetação nativa ocorreu em todos os trechos da bacia, com maior redução da formação florestal nos cursos médio e baixo, e da formação savânica no alto curso. O alto curso apresentou o maior percentual da área composta por classes que representam a vegetação nativa (84,4%), com a formação savânica ocupando o maior percentual (68,65%) em 2023. Em seguida, destaca-se o médio curso, com 67,53% da sua área ocupada por vegetação nativa, com a formação florestal como classe preponderante (49,25%), visto que, naturalmente, a formação savânica apresenta um padrão de redução à medida que se distancia da parte mais ao sul da bacia hidrográfica, local de domínio do Cerrado e se aproxima da parte mais ao norte com maior influência do bioma Amazônia. Já o baixo curso apresentou o menor percentual de sua área representada pela vegetação nativa (62,89%), com a formação florestal representando 59,77% desse total (Tabela 1). Trata-se, ainda, do único trecho da bacia em que houve ocorrência das classes mangue e apicum, nas proximidades da foz do rio Itapecuru, na baía do Arraial.

A perda de vegetação nativa verificada na bacia hidrográfica do rio Itapecuru é um recorte do que ocorreu no estado do Maranhão, onde, entre 1985 e 2022, houve redução de 21% da área de vegetação nativa — passando de 82% para 61% da área total do estado (Projeto MapBiomias, 2022). Esse panorama pode comprometer a manutenção dos recursos hídricos em quantidade e qualidade adequadas aos usos múltiplos e contribuir para a instabilidade climática, uma vez que a redução da vegetação nativa implica perda da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, especialmente os prestados pela vegetação.

Serviços ecossistêmicos são benefícios relevantes gerados pelos ecossistemas para a sociedade, relacionados à manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais (Brasil, 2021). Nesse contexto, as florestas contribuem para evitar a erosão dos solos provocada pela água, pelo vento ou por outros fenômenos, bem como diminuem o escoamento superficial e o aumento da infiltração da água (Fielder *et al.*, 2008).

Tabela 1 - Classes de usos correspondentes à área ocupada em km² e percentual do total e dos trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Bacia do rio Itapecuru - área (km ² e %)	alto curso - área (km ² e %)		médio curso - área (km ² e %)		baixo curso - área (km ² e %)			
	2003	2023	2003	2023	2003	2023		
Formação florestal	28.311,52 53,21%	21.724,27 40,82%	1.897,27 12,66%	1.620,65 10,81%	17.685,10 67,69%	12.867,35 49,25%	8.729,15 72,10%	7.236,27 59,77%
Formação savânica	17.279,82 32,47%	14.754,61 27,72%	11.701,10 78,07%	10.273,44 68,55%	5.353,41 20,49%	4.351,83 16,65%	225,31 1,86%	129,33 1,06%
Mangue	134,31 0,25%	135,99 0,25%	-	-	-	-	134,31 1,11%	135,99 1,12%
Apicum	0,39 0,00%	0,15 0,00%	-	-	-	-	0,39 0,00%	0,15 0,00%
Campo alagado	227,98 0,42%	229,05 0,43%	135,25 0,90%	140,60 0,94%	12,18 0,04%	13,79 0,05%	80,55 0,66%	74,66 0,61%
Formação campestre	939,23 1,76%	1.070,02 2,01%	644,56 4,30%	614,70 4,10%	255,43 0,86%	414,54 1,58%	39,24 0,32%	40,78 0,33%
Pastagem	4.364,91 8,20%	9.780,42 18,38%	187,44 1,25%	878,88 5,86%	1.846,85 7,07%	5.478,23 20,97%	2.330,62 19,25%	3.423,31 28,28%
Agricultura	1694,77 3,18%	5043,13 9,48%	388,49 2,59%	1410,19 9,40%	847,27 3,24%	2700,65 10,33%	459,01 3,79%	932,29 7,70%
Área urbanizada	133,60 0,25%	181,58 0,34%	8,56 0,05%	13,00 0,08%	77,34 0,29%	104,50 0,40%	47,70 0,39%	64,08 0,52%
Solo exposto	40,72 0,07%	207,38 0,38%	22,63 0,15%	34,31 0,22%	16,70 0,06%	166,80 0,63%	1,37 0,01%	6,27 0,05%
Mineração	7,67 0,01%	13,36 0,02%	-	-	6,08 0,02%	7,89 0,03%	1,59 0,01%	5,47 0,04%
Corpos d'água	81,92 0,15%	76,88 0,14%	0,92 0,00%	0,45 0,00%	24,20 0,09%	18,98 0,07%	56,80 0,46%	57,45 0,47%
Total	53.216,84 100%	53.216,84 100%	14.986,22 100%	14.986,22 100%	26.124,56 100%	26.124,56 100%	12.106,04 100%	12.106,04 100%

Fonte: Os autores, 2025.

Dentre as classes de uso e cobertura da terra que caracterizam o uso alternativo do solo (antropização), a pastagem e a agricultura foram as que apresentaram maior avanço, verificado especialmente sobre as áreas de formação florestal e formação savânica.

A pastagem (Figura 5) representava 8,20% da área total da bacia hidrográfica do rio Itapecuru em 2003. Vinte anos depois, alcançou 18,38%, correspondendo a um aumento de 10,18 pp, aproximadamente 125% ou 5.415,21 km². Já a agricultura apresentou percentual de avanço ainda maior: em 2003 ocupava 3,18% da área total da bacia, chegando a 9,48% em 2023, crescimento de 6,3 pp, aproximadamente 200% ou 3.348,36 km² (Tabela 1). Nesse mesmo período, a formação florestal e a formação savânica tiveram, respectivamente, redução da área ocupada de 12,39 pp (6.587,25 km²) e 4,75 pp (2.525,21 km²).

Figura 5 - Pastagem no baixo curso do rio Itapecuru, município de Pirapemas (MA)



Fonte: Os autores, 2024.

Nos trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, o alto curso foi o que apresentou o menor percentual da área ocupada por classes que representam usos alternativos do solo (15,56%), seguido do médio curso (32,4%) e do baixo curso, que teve o maior percentual (36,64%). Esse quantitativo na área do alto curso, apesar de representar o menor percentual de usos alternativos do solo em relação aos demais trechos, demonstrou um avanço acelerado da área ocupada, especialmente pela pastagem, tendo em vista que, em 2003, essa classe ocupava 1,25% da área total desse trecho e, em 2023, passou para 5,86%, correspondendo a um aumento de 368,8%. Já a agricultura, que, em 2003, representava 2,56%, alcançou 9,40% em 2023, resultando em um incremento de 267,18%. Esse resultado é um alerta, visto que uma grande área do alto curso está inserida em uma unidade de conservação de proteção integral, o Parque Estadual do Mirador, instituído pelo Decreto n° 7641, de 4 de junho de 1980. Essa unidade ocupa uma área representativa no alto curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, com 501.204 ha (Figura 3) e foi criada com o objetivo de proteger as nascentes dos rios Alpercatas e Itapecuru (Maranhão, 1980).

Esse avanço, em especial da agricultura, no bioma Cerrado — na porção mais ao sul da bacia hidrográfica do rio Itapecuru (alto curso) —, deve-se, principalmente, à expansão da monocultura de soja sobre o Cerrado da região do Matopiba (região que compreende Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Nessa região, a área de soja aumentou de 1 milhão para 3,4 milhões de hectares, com um crescimento de 253% entre 2000 e 2014. A maior parte dessa expansão ocorreu sobre a vegetação nativa: 0,78 milhão de hectares entre 2000 e 2007, e 1,3 milhão de hectares no período seguinte, entre 2007 e 2014, principalmente no Maranhão e no Piauí, indicando a atual fronteira agrícola no bioma (Filho; Costa, 2016). Nos últimos anos, no Brasil, o bioma Cerrado tem enfrentado graves problemas ambientais, devido às mudanças abruptas no uso e cobertura da terra em decorrência da agropecuária,

o que tem provocado aumento do desmatamento, perda de solo, produção de sedimentos e turbidez na água (Cunha *et al.*, 2022).

No médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, entre as classes que representam uso alternativo do solo, a pastagem e a agricultura também foram as mais representativas. A pastagem ocupava, em 2003, um total de 7,07%, avançando, em 2023, para 20,97%, o que representa um incremento de 196,60%. Já a agricultura compreendia, em 2003, 3,24% da área total desse trecho, enquanto, em 2023, passou a compreender 10,33%, aumentando sua área ocupada em 218,82%. Já no baixo curso, trecho da bacia com maior percentual de áreas antropizadas, a pastagem representava 19,25% da área total em 2003 e alcançou 28,28% em 2023, acréscimo de 46,90%. Quanto à agricultura, representava 3,79% em 2003 e avançou para 7,70% em 2023, representando um aumento de 103,16%. Esses resultados demonstram a existência de um padrão espacial na dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica: o alto curso aparece como trecho com menor proporção de alteração na paisagem natural (15,56%); no entanto, foi nesse setor fluvial que se observou, entre 2003 e 2023, o avanço mais acelerado dos dois principais tensores ambientais, no caso, a pastagem, com 368,8%, e a agricultura, com 267,18%.

Nos cursos médio e baixo, que apresentaram elevada proporção de áreas totais com alteração na paisagem natural — ambas superiores a 30% —, foi possível notar um crescimento menos acelerado desses tensores ambientais. A pastagem teve avanço de 196,60% no médio curso e 46,90% no baixo curso, enquanto a agricultura apresentou crescimento de 218,82% no médio curso e 103,16% no baixo curso. A partir desses resultados, observa-se que a antropização na bacia hidrográfica do rio Itapecuru se processa em um ritmo acelerado sobre a formação savânica no bioma Cerrado no alto curso, e vai desacelerando do médio para o baixo curso em áreas de formação florestal nos biomas Cerrado e Amazônia.

Esse padrão ratifica a pastagem e a agricultura como os grandes tensores ambientais nessa bacia hidrográfica e demonstra o impacto da antropização de áreas de vegetação nativa em atividades agropecuárias. Esse processo está associado a diversos problemas ambientais, uma vez que envolve a supressão da vegetação e a consequente perda de serviços ecossistêmicos, especialmente a captação de CO₂ e a manutenção da quantidade e qualidade da água dos corpos hídricos.

O avanço da agropecuária sobre os biomas brasileiros, sobretudo o Cerrado nordestino, tem promovido uma descaracterização ambiental resultante de processos associados à supressão da cobertura vegetal, como o aumento das taxas de erosão dos solos, assoreamento dos corpos hídricos e alteração do regime hidrológico dos rios (Pereira; Morais, 2022). Além disso, as bacias hidrográficas com predomínio de atividades agrícolas sofrem impactos negativos e significativos, como maiores concentrações de sólidos totais, turbidez, sólidos suspensos e nutrientes, o que compromete o equilíbrio ecológico e a qualidade da água (Costa *et al.*, 2024).

O aumento progressivo das áreas de pastagem e de agricultura na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, também foi identificado na pesquisa realizada na referida bacia entre 1990 e 2016 por Masullo *et al.* (2019). O estudo constatou que, por ano, cerca de 535 km² ou 53,5 mil ha em média, são convertidos em pastagem ou áreas destinadas à agricultura na bacia. Dessa forma, tal realidade detectada na bacia hidrográfica do rio Itapecuru pode ser observada em todo o Brasil, com a agropecuária sendo o principal vetor de pressão sobre a cobertura natural da terra, responsável por mais de 97% da perda de vegetação nativa nos últimos cinco anos (Marques *et al.*, 2024).

Outro vetor de pressão sobre a cobertura natural da terra é a área urbanizada, que, apesar de não ter grande representatividade em relação ao total da área da bacia hidrográfica do rio Itapecuru e dos seus trechos, apresentou significativo avanço, visto que, em 2003, ocupava 0,25% e, em 2023, subiu para 0,34% do total da bacia. Esse mesmo padrão foi observado nos setores fluviais: no alto curso, de 0,39% (2003) para 0,52% (2023); no médio curso, de 0,29% para 0,40%; e no baixo curso, de 0,05% para 0,08%. Apesar dos baixos percentuais, as áreas urbanizadas estão fortemente associadas a fatores que degradam a qualidade da água, sendo, entre os tipos de uso da terra, um dos que representam maior risco, devido ao elevado grau de antropização do espaço natural.

A intensificação da urbanização gera diversos impactos nas bacias hidrográficas, dentre os quais se destacam o aumento médio das vazões de cheia, em função da maior capacidade de escoamento por meio dos condutos e canais de impermeabilização das superfícies; o crescimento da erosão do solo e da produção de sedimentos em função da falta da cobertura vegetal; e a deterioração da qualidade da água superficial, associada à lavagem de vias, ao transporte de material sólido, ao lançamento de esgotos à redução da infiltração do solo (Tucci; Mendes, 2006).

As classes solo exposto e mineração apresentaram baixa representatividade e variação relativamente pequena entre os anos de 2003 e 2023.

Diante de tantos fatos, entende-se que a conversão da vegetação nativa em usos alternativos do solo compromete a qualidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, alterando os ecossistemas terrestres e aquáticos, com reverberações na saúde, segurança e bem-estar da população, assim como no desenvolvimento de atividades sociais e econômicas e na biodiversidade.

A substituição da vegetação nativa por áreas antropizadas, em muitos casos, não respeita sequer as áreas protegidas, com integridade e preservação asseguradas por dispositivos legais do arcabouço ambiental brasileiro. Os empreendimentos, em especial ligados ao agronegócio, frequentemente afetam unidades de conservação, podendo ocasionar impactos ambientais de grande magnitude (Almeida *et al.*, 2023). Essa situação pode ser observada no Parque Estadual do Mirador, cujo avanço da agricultura vem ocorrendo em áreas próximas aos limites do parque (zona de amortecimento) e até mesmo no interior da unidade.

Esses processos antropogênicos que levam à perda de biodiversidade vegetal por meio do desmatamento, desencadeados em função de usos alternativos do solo, afetam a estabilidade ecológica, a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, com impacto na oferta de serviços ecossistêmicos (Külling *et al.*, 2024). Essa perda de vegetação compromete a quantidade dos recursos hídricos, a partir de interrupções no ciclo da água, uma vez que a água armazenada como umidade do solo e na vegetação — chamada de “água verde” — retorna ao ar por meio da evaporação e transpiração, sendo responsável por gerar grande parte da precipitação (Global Commission on the Economics of Water – GCEW, 2024). Além disso, afeta a qualidade da água ao intensificar processos erosivos, aumentar o escoamento superficial e subsuperficial e elevar o aporte de sedimentos e nutrientes (Silva *et al.*, 2018).

Assim, na iminência do fim da Agenda 2030, balizada no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), evidencia-se a necessidade de uma mudança de paradigma no modo de produção econômica, superando a economia linear e avançando para uma economia circular e regenerativa. Nesse contexto, o panorama do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru requer atenção e uma gestão territorial que concilie, de forma equilibrada e ambientalmente sustentável, o desenvolvimento econômico com a preservação dos recursos ambientais, em especial os recursos hídricos.

Qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru e sua relação com o uso e cobertura da terra

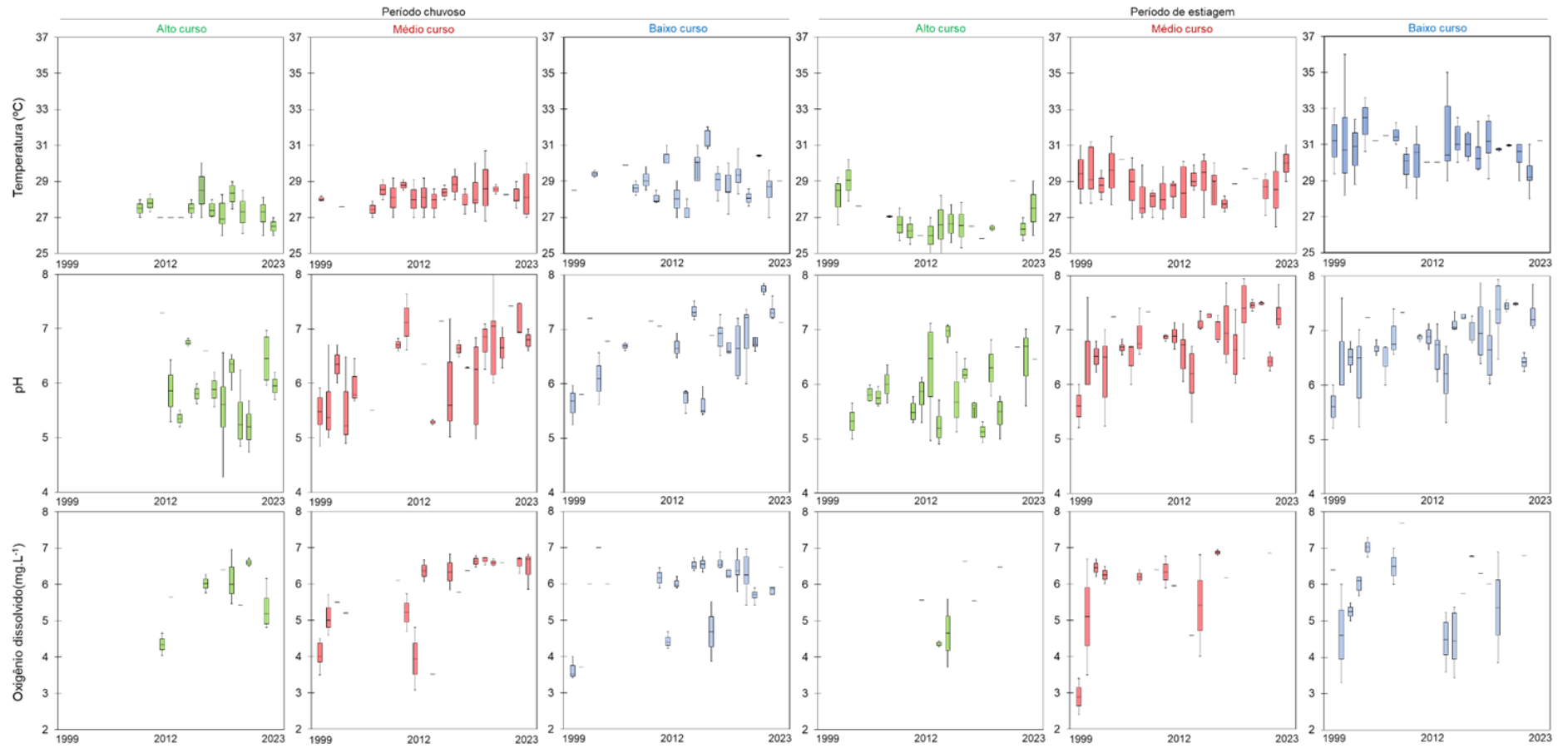
A fim de identificar tendências da influência do uso e cobertura da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, o presente estudo fez um levantamento histórico de dados de qualidade da água oriundos das estações fluviométricas alocadas nos rios Alpercatas e Itapecuru (Figuras 6 e 7), bem como a análise estatística univariada dos referidos dados (Tabelas 2 e 3).

A temperatura superficial da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru variou entre 25 °C e 36 °C. Em razão da localização geográfica da bacia, inteiramente inserida na zona intertropical e sob influência de climas tropicais e equatoriais, observam-se temperaturas características de ambientes situados nessa faixa térmica. Segundo o IBGE (1998), essa bacia encontra-se em uma zona de transição entre os climas semiáridos do interior do Nordeste e os climas úmidos equatoriais da Amazônia.

Foi identificado um padrão espacial claro em todos os períodos sazonais, com as menores temperaturas da água no alto curso (média de 28,5 °C) e as maiores no baixo curso (média de 30,5 °C) (Figura 6). Esse padrão foi confirmado pela análise estatística, na qual todos os valores de *p* foram inferiores a 0,05, indicando temperaturas significativamente mais elevadas no baixo curso e mais baixas no alto curso ao longo de todo o período analisado (Tabela 3). Esse comportamento pode ser explicado pela maior concentração de vegetação nativa e pela maior densidade de mata ciliar no alto curso, em contraste com o maior grau de antropização nos cursos médio e baixo.

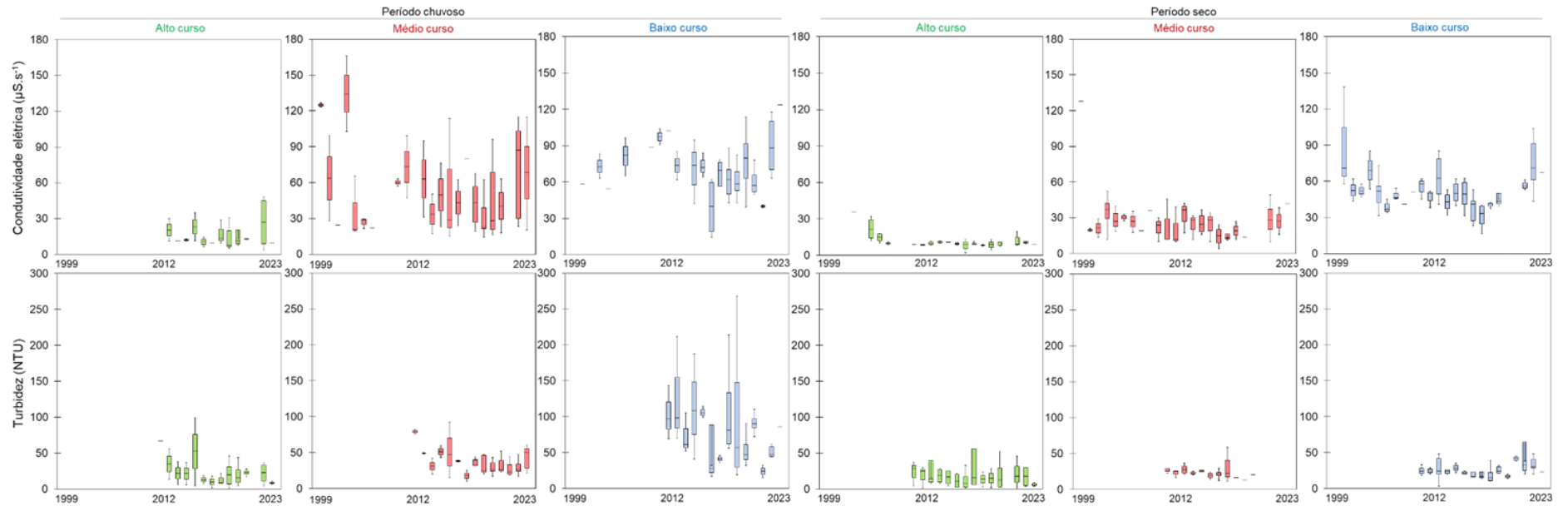
As florestas ciliares são fundamentais para a proteção da qualidade da água dos rios, pois, por meio do sombreamento, interceptam e absorvem a radiação solar, contribuindo para a estabilidade térmica e evitando aquecimentos excessivos durante o dia e resfriamentos acentuados à noite (Fritzsos *et al.*, 2005).

Figura 6 - *Boxplots* dos parâmetros temperatura da água, pH e OD da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Fonte: ANA. Elaboração: os autores, 2025.

Figura 7 - *Boxplots* dos parâmetros condutividade elétrica e turbidez da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Fonte: ANA. Elaboração: os autores, 2025.

Também foi observada variação temporal da temperatura da água. No alto curso, registraram-se valores mais elevados no período chuvoso e menores no período de estiagem; já no médio e baixo curso, verificou-se o inverso, com temperaturas mais altas no período de estiagem e mais baixas no período chuvoso. Não foi constatada variação significativa entre as décadas de 2003-2013 e 2014-2023 em nenhum dos trechos da bacia hidrográfica (Tabela 2).

O regime térmico dos rios é fortemente influenciado por condições meteorológicas e fluviais, bem como pela localização geográfica. Assim, rios situados em regiões de clima tropical tendem a apresentar temperaturas mais elevadas, especialmente nos períodos mais quentes do ano (Silva, 2023).

Tabela 2 - Padrão temporal (sazonal e entre décadas) das variáveis de qualidade da água nos trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru entre 2003 e 2023

Curso	Var	Temporal								
		Sazonal (chuvoso e estiagem 2003-2013)			Sazonal (chuvoso e estiagem 2014-2023)			Decadal (2003 a 2023)		
		Hc	<i>p</i> -valor	Padrão	Hc	<i>p</i> -valor	Padrão	Hc	<i>p</i> -valor	Padrão
Alto	Temp	0,25	0,6146	NS	4,14	0,0419	>chuv	0,01	0,9076	NS
	pH	0,34	0,5580	NS	0,22	0,6404	NS	0,00	0,9872	NS
	OD	0,20	0,6547	NS	0,89	0,3460	NS	7,94	0,0048	>2023
	Cond	1,42	0,2335	NS	3,47	0,0623	NS	1,89	0,1696	NS
	Turb	1,32	0,2502	NS	0,82	0,3662	NS	2,21	0,1369	NS
Médio	Temp	1,79	0,1809	NS	4,43	0,0354	>esti	0,06	0,8007	NS
	pH	0,43	0,5128	NS	2,04	0,1529	NS	2,14	0,1439	NS
	OD	1,57	0,2107	NS	2,67	0,1025	NS	11,71	0,0006	>2023
	Cond	5,76	0,0164	>chuv	13,15	0,0003	>chuv	0,21	0,6503	NS
	Turb	10,63	0,0011	>chuv	11,38	0,0007	>chuv	0,72	0,3948	NS
Baixo	Temp	16,53	0,0000	>esti	30,20	0,0000	>esti	0,97	0,3254	NS
	pH	0,00	0,9916	NS	4,08	0,0435	>esti	7,40	0,0065	>2023
	OD	1,71	0,1913	NS	0,46	0,4958	NS	7,52	0,0061	>2023
	Cond	18,65	0,0000	>chuv	13,28	0,0003	>chuv	0,45	0,5004	NS
	Turb	21,76	0,0000	>chuv	30,77	0,0000	>chuv	0,01	0,9122	NS

Nota: Var-variáveis; temp-temperatura; pH- potencial hidrogeniônico; OD-oxigênio dissolvido; cond-condutividade elétrica; turb-turbidez; chuv-chovoso; esti-estiagem; NS-não significativo. Fonte: ANA. Elaboração: Os autores, 2025.

Tabela 3 - Padrão espacial das variáveis de qualidade da água nos trechos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru entre 2003 e 2023

Var	Espacial											
	2003-2013						2014-2023					
	Variação espacial no período chuvoso			Variação espacial no período de estiagem			Variação espacial no período chuvoso			Variação espacial no período de estiagem		
	Hc	<i>p</i> -valor	Padrão	Hc	<i>p</i> -valor	Padrão	Hc	<i>p</i> -valor	Padrão	Hc	<i>p</i> -valor	Padrão
Temp	13,43	0,0012	>B/<A	40,73	0,0000	>B/<A	40,97	0,0000	>B/<A	46,48	0,0000	>B/<A
pH	3,997	0,1355	NS	21,43	0,0000	>B/<A	27,85	0,0000	>B/<A	38,61	0,0000	>B/<A
OD	3,688	0,1582	NS	3,41	0,1818	NS	9,131	0,0104	>M/<A	2,601	0,2724	NS
Cond	20,16	0,0000	>B/<A	70,70	0,0000	>B/<A	47,09	0,0000	>B/<A	58,44	0,0000	>B/<A
Turb	13,43	0,0012	>B/<A	3,00	0,2232	NS	42,46	0,0000	>B/<A	10,13	0,0063	>B/<A

Nota: Var-variáveis; temp-temperatura; pH- potencial hidrogeniônico; OD-oxigênio dissolvido; cond-condutividade elétrica; turb-turbidez; A-alto; M-médio; B-baixo; NS-não significativo. Fonte: ANA. Elaboração: Os autores, 2025.

O pH apresentou padrão espacial significativo, com os maiores valores (variando de 5 a 8) nos cursos médio e baixo, e os menores (variando de 5 a 7), no alto curso (Figura 6). Essa condição foi confirmada pela análise estatística, que mostrou variação espacial do pH com valores *p* abaixo de 0,05 em praticamente todo o período amostrado, indicando valores maiores do pH no baixo curso e menores no alto curso no período chuvoso na década 2003-2013, situação que se repetiu nos períodos chuvoso e de estiagem na década 2014-2023 (Tabela 3).

Não foi verificado um padrão sazonal para o alto e médio curso. No entanto, no baixo curso, foram observados valores maiores do pH no período de estiagem na década 2014-2023, e valores mais elevados nessa década em relação ao período de 2003-2013 (Tabela 2). Esse comportamento indica uma elevação progressiva no valor do pH ao longo da série histórica, especialmente no baixo curso, o que pode estar relacionado à intensificação da mudança no uso e cobertura da terra na área da bacia hidrográfica.

O aumento dos valores do pH no baixo curso pode estar associado ao fato desse trecho apresentar grande proporção de sua área composta por classes de uso e cobertura da terra que representam usos alternativos do solo (36,64%), proporcionando um maior aporte de solo e sedimentos no corpo d'água, especialmente de íons carbonatos na água, o que pode contribuir para o crescimento da alcalinidade da água ao longo do tempo (Baird; Cann, 2011). Vale destacar que a Resolução Conama n° 357, de 17 de março de 2005, define que as águas enquadradas na classe 2 devem apresentar pH entre 6 e 9.

Em relação ao oxigênio dissolvido (OD), não foi observado um padrão espacial significativo, embora, no período chuvoso da década de 2014-2023, o médio curso tenha apresentado valores mais elevados e o alto curso valores mais baixos (Tabela 3). Do ponto de vista temporal, não foi identificado um padrão sazonal definido; contudo, na década de 2014-2023, foram constatados valores de OD mais elevados em comparação com a década de 2003-2013 em todos os trechos da bacia (Tabela 2). As concentrações dessa variável variaram entre 3,0 mg/L e 7,0 mg/L (Figura 6).

De acordo com a Resolução Conama n° 357/2005 (art. 15, VI), para águas doces de classe 2, a concentração de oxigênio dissolvido não deve ser inferior a 5,0 mg/L em qualquer amostra. A ANA (2017) destaca que uma das principais causas da redução do oxigênio dissolvido é o consumo decorrente da decomposição de matéria orgânica. Nesse sentido, a elevação dos valores de OD na última década da série histórica pode estar associada, em parte, à melhoria do saneamento básico nas cidades localizadas às margens do rio Itapecuru.

Segundo o IBGE (2010; 2022), as onze cidades situadas às margens do rio Itapecuru — sendo duas no alto curso, uma no médio curso e oito no baixo curso —, com populações variando entre 17.714 e 156.973 habitantes, totalizando 586.583 habitantes, apresentaram aumento nos percentuais de domicílios com esgotamento sanitário adequado entre 2010 e 2022. Destacam-se, nesse contexto, os municípios de Caxias (156.973 habitantes) e Codó (114.275 habitantes), os mais populosos, localizados nos cursos médio e baixo, respectivamente.

A condutividade elétrica apresentou um padrão espacial muito significativo em todos os períodos sazonais, com as menores concentrações sendo observadas no alto curso e as maiores no baixo curso (Figura 7). Esse padrão foi confirmado pela análise estatística, na qual todos os valores de p foram inferiores a 0,05, indicando concentrações mais elevadas no baixo curso e menores no alto curso (Tabela 3).

O padrão espacial pode ser explicado pelo percentual das áreas desses trechos da bacia, que apresentam classes de uso e cobertura da terra que representam vegetação nativa e usos alternativos do solo. O alto curso possui maior proporção de classes com vegetação nativa (84,4% da área total), enquanto os cursos médio e baixo possuem grande proporção da área total composta por usos alternativos do solo, principalmente pastagem e agricultura (32,4% e 36,64%, respectivamente).

Quanto ao padrão temporal, o alto curso não apresentou variação sazonal significativa. Já os cursos médio e baixo apresentaram variação sazonal relevante, com as maiores concentrações verificadas no período chuvoso. Não foi observada variação considerável nas concentrações dessa variável entre as décadas de 2002-2013 e 2014-2023 em nenhum dos trechos da bacia hidrográfica (Tabela 2). Esse padrão sazonal pode estar relacionado à elevada precipitação pluviométrica durante o período chuvoso, que intensifica o escoamento superficial e do aporte de sedimentos e poluentes nos corpos d'água, situação agravada em áreas com perda da cobertura vegetal natural.

O uso e cobertura da terra tem relação direta com alterações espaciais e temporais nas concentrações de condutividade elétrica na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. A vegetação nativa desempenha papel fundamental na proteção dos recursos hídricos por contribuir para a redução do escoamento superficial e contenção de processos erosivos nas encostas, ou, ainda, por proteger os corpos d'água por meio da vegetação de áreas ripárias (Tambosi *et al.*, 2015). Segundo Esteves (2011), os íons que mais contribuem para a elevação dos valores da condutividade elétrica em águas interiores são cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato e cloreto. Esses íons estão presentes em solos e rochas, sendo carregados para os corpos d'água por meio do escoamento superficial. As alterações causadas

pelas atividades humanas potencializam processos erosivos, e o aumento da condutividade está diretamente relacionado ao aporte de partículas de solo nos corpos d'água da bacia de drenagem no baixo curso do rio Itapecuru (Soares *et al.*, 2022). Além disso, o aumento nos valores da condutividade elétrica em rios que cortam áreas urbanizadas está associado ao aporte de poluentes oriundos de esgotos não tratados (Arcos; Cunha, 2021).

A turbidez da água apresentou padrão espacial significativo, caracterizados principalmente por valores de turbidez menores no alto curso e maiores no baixo curso (Figura 7), situação validada pela análise estatística, que mostrou variação espacial da turbidez com valores *p* abaixo de 0,05, demonstrando maior turbidez no baixo e menor no alto curso no período chuvoso na década de 2003-2013 e chuvoso e de estiagem na década de 2014-2023 (Tabela 3).

Com relação ao padrão temporal, o alto curso não apresentou variação sazonal considerável. Porém, os cursos médio e baixo apresentaram variação significativa, e as maiores concentrações dessa variável foram verificadas no período chuvoso. Não foi observada variação relevante nos valores dessa variável entre as décadas de 2002-2013 e 2014-2023 em nenhum dos trechos da bacia hidrográfica (Tabela 2). Esses padrões podem estar associados ao uso e cobertura da terra verificado na bacia hidrográfica do rio Itapecuru — em que os cursos superiores apresentaram maiores concentrações de vegetação nativa e menor quantidade de cidades em relação ao curso inferior — e ao aumento do escoamento superficial, do aporte de sedimentos e de poluentes nos corpos d'água durante o período chuvoso. Os processos erosivos superficiais são controlados pela duração e intensidade da precipitação, capacidade de infiltração e natureza das partículas, topografia, tipo e densidade da cobertura vegetal e uso do solo (Stevaux; Latrubesse, 2017). Em estudo realizado no baixo curso do rio Itapecuru, Martins *et al.* (2022) verificaram que, no período chuvoso, houve aumento nos valores da turbidez, associando essa elevação à intensificação do escoamento superficial e da descarga de esgoto, com conseqüente carreamento de sedimentos, nutrientes e poluentes para o corpo hídrico.

Apesar da turbidez da água apresentar os maiores valores no período chuvoso, os números observados ao longo da série histórica no alto curso e no médio curso estiveram quase sempre abaixo de 100 UNT. Já no baixo curso, essa realidade foi bem diferente, com a maioria dos valores de turbidez acima de 100 UNT. A Resolução Conama n° 357, de 17 de março de 2005, art. 15, V, define que, para águas doces classe 2, os valores de turbidez não podem ser superiores a 100 UNT.

Os resultados da qualidade da água — demonstrados pela variação espacial e temporal, validada pela análise estatística univariada das variáveis temperatura da água, pH, condutividade elétrica e turbidez — indicaram que o alto curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresentou melhor qualidade da água, enquanto os cursos médio e baixo apresentaram maior degradação. Vale ressaltar que esses dois trechos possuem uma configuração do uso e cobertura da terra caracterizada por menor proporção de vegetação nativa e maior predominância de usos alternativos do solo, sobretudo pastagem, agricultura e área urbanizada. Essa situação leva ao entendimento de que pode haver uma relação entre a alteração da cobertura natural da terra e a degradação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, haja vista que, no trecho com menor alteração na cobertura natural da terra (alto curso), foi verificada uma melhor qualidade da água, enquanto nos trechos com maior alteração na cobertura natural da terra (médio e baixo cursos) constatou-se pior qualidade da água.

A relação entre as mudanças no uso e cobertura da terra e a degradação da qualidade da água também foi analisada em outros trabalhos realizados na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Destaca-se o estudo de Pereira e Morais (2022), conduzido no alto e médio curso do rio Itapecuru, no qual foi constatado que os altos valores de turbidez e condutividade elétrica impactaram negativamente a qualidade da água, estando associados à redução da cobertura vegetal e ao aumento do assoreamento, com concentrações menores no alto curso e maiores no médio curso. Também se destaca o trabalho de Soares *et al.* (2022), realizado no baixo curso, que identificou concentrações elevadas em variáveis como sólidos totais em suspensão, turbidez, transparência e ferro total, indicando influência de processos erosivos na qualidade da água.

O avanço das áreas urbanizadas — assim como o aumento das áreas de pastagem e de agricultura, que culminou na perda de vegetação nativa — é um outro fator que agrava a mudança no uso e cobertura da terra e a degradação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, especialmente em seu baixo curso. Isso se deve ao fato de que, das onze cidades atravessadas pelo rio Itapecuru, oito estão inseridas nesse trecho, as quais, em geral, apresentam serviços de saneamento básico e de gestão territorial deficientes (Figura 8).

Figura 8 - Ocupação das margens do Rio Itapecuru, município de Itapecuru-Mirim (MA)



Fonte: Os autores, 2023.

O impacto das áreas urbanizadas na qualidade da água do rio Itapecuru ocorre em função da falta ou ineficiência de políticas urbanas, de planejamento ambiental e da ausência ou limitação do sistema de coleta e tratamento de esgoto. A disposição de esgoto sem tratamento está relacionada à degradação da qualidade da água no baixo curso do rio Itapecuru, especialmente pelas elevadas concentrações de coliformes termotolerantes e fósforo total, que são ocasionadas pelo lançamento de esgoto doméstico *in natura* em cidades que margeiam o rio Itapecuru (Soares *et al.*, 2016; Martins *et al.*, 2022; Martins *et al.*, 2023).

Esse cenário evidencia a necessidade da implementação de uma governança e gestão da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru que seja integrada e capaz de articular instituições, políticas, normas, estratégias e ações de gestão de recursos hídricos com os demais setores responsáveis pela gestão de recursos ambientais, em especial aqueles relacionados ao uso e à ocupação do solo e ao saneamento básico. Nesse contexto, Silva *et al.* (2019) destacam que a governança e a gestão das águas devem adotar uma abordagem sistêmica complexa e interdisciplinar, uma vez que envolvem a correlação dos recursos hídricos com os demais elementos e processos que compõem as paisagens, tanto em seus aspectos naturais quanto culturais.

Diante da relação entre a degradação da qualidade da água e as classes que caracterizam a alteração da cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, especialmente pastagem, agricultura e área urbanizada, salienta-se a necessidade de uma mudança na forma de utilização dos recursos ambientais no território da bacia hidrográfica. Tal transformação deve ser orientada pelo planejamento do uso do solo, de modo a compatibilizar o avanço das atividades econômicas, sobretudo o agronegócio, com a preservação da vegetação nativa e dos recursos hídricos, visando ao desenvolvimento sustentável e ao alcance dos ODS, sobretudo ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável), ODS 6 (Água potável e saneamento), ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), ODS 14 (Vida na água) e ODS 15 (Vida terrestre).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru passa por um processo contínuo e acentuado de mudança no uso e cobertura da terra, caracterizado pela progressiva substituição da cobertura natural por usos alternativos do solo. Esse processo resultou em uma redução expressiva da área ocupada pela vegetação nativa (23,28% de formação florestal e 14,62% de formação savânica), área que foi ocupada em sua grande maioria por pastagem, agricultura e urbanização. Essas mudanças têm gerado impactos

diretos e negativos na qualidade da água dos corpos hídricos da bacia hidrográfica, com destaque ao rio Itapecuru, que apresentou perda progressiva da qualidade da água ao longo dos seus trechos.

A perda de qualidade da água do rio Itapecuru foi detectada especialmente nos cursos médio e baixo, a partir do aumento progressivo do pH e dos elevados valores de condutividade elétrica e turbidez verificados, sobretudo no período chuvoso, como consequência da alteração da cobertura da terra, caracterizada pela substituição da vegetação nativa por usos alternativos do solo, o que intensifica o aporte de sedimentos, nutrientes e poluentes no curso d'água.

Os resultados desta pesquisa podem ser utilizados como uma importante ferramenta para tomada de decisão pelas organizações ligadas à gestão dos recursos hídricos e pelo ordenamento territorial, por gestores públicos e comitês de bacia hidrográfica, de modo a nortear o planejamento da gestão e governança da água no território da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Nesse sentido, torna-se fundamental que tomadores de decisão, usuários da bacia hidrográfica e da sociedade em geral estejam em permanente diálogo, com o objetivo de se alcançar uma governança hídrica eficiente e uma gestão descentralizada da água, capazes de promover a recuperação da qualidade ambiental dessa bacia hidrográfica, especialmente da água do rio Itapecuru. Esse rio possui relevância estratégica para o desenvolvimento de atividades sociais e econômicas em uma região significativa do Maranhão, a qual inclui a capital, São Luís, maior centro populacional, industrial e comercial do estado.

Por fim, é essencial a implementação de uma gestão integrada no território da bacia, envolvendo, de forma articulada, os diferentes entes federativos. Essa gestão deve contemplar o zoneamento ecológico-econômico (ZEE); a gestão urbana, por meio da implementação de planos diretores e instrumentos de ordenamento territorial; a gestão ambiental, com foco na preservação da vegetação nativa, conforme a Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal) e a Política Nacional da Biodiversidade (Decreto nº 4.339/2002); a gestão de recursos hídricos, com base na Lei nº 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos) e na Lei nº 8.149/2004 (Política Estadual de Recursos Hídricos do Maranhão); além da gestão do saneamento básico, conforme as Leis nº 11.445/2007, nº 12.305/2010 e nº 14.026/2020.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pela bolsa concedida e que viabilizou a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

AFUYE, G. A.; KALUMBA, A. M.; ORIMOLOYE, I. R. Characterisation of vegetation response to climate change: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 13, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/su13137265>

AGBENORHEVI, A. E. et al. Analyzing land use and land cover change in the Pra River Basin: A multi-tool approach for informed decision-making. **Journal Environmental Challenges**. v.15, p.100-922, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100922>

ALCÂNTARA, E. H. de. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão - Brasil. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 5, n. 11, p. 97–113, 2004. Doi: <http://dx.doi.org/10.14393/RCG51115328>.

ALMEIDA, F. S. de. et al. Impactos Ambientais Causados por Empreendimentos em Unidades de Conservação da Natureza na Região Sudeste do Brasil. **Revista biodiversidade brasileira**, v.13, n.3, 1-21p, 2023. Doi: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v13i3.2305>

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: 2017. Brasília: ANA, 2017. 177 p.

HidroWeb: **Sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 14 abril 2025.

Catálogo de matadados **snirh**. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://matadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/search?keyword=Base%20Hdrogr%C3%A1-fica%20Unifiliar>. Acesso em: 8 abril 2025.

ARCOS, A. N.; CUNHA, H. B. da. Avaliação dos impactos da poluição nas águas superficiais de um afluente do rio Solimões na Amazônia Central Brasileira. **Revista caminhos da geografia**, v.22, n.80, p.01-14, 2021. Doi: <http://doi.org/10.14393/RCG228053079>

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 4^oed, 2011. 844p.

BUENO, L. f.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde - Conchal – SP. **Revista Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.742-748, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/m3yHLVvqhtN7N4FtqCRcVRB/?format=pdf>

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021. **Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais**. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/14119.htm. Acesso em: 21 maio 2024.

COSTA, C. W. et al. Impactos das atividades antrópicas em bacia hidrográfica periurbana verificados por meio de indicador ambiental–Extremoz/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.17, n.4, p.3022-3036, 2024. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/259970/47352>

CUNHA, E.R.D. et al. Assessment of current and future land use/cover changes in soil erosion in the Rio da Prata basin (Brazil). **Journal Science of the Total Environment**, v. 818, p. 151-811, 2022. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151811>

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**, Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FIELDER, N. C.; SOARES, T. S.; SILVA, G. F. da. Produtos florestais não madeireiros: importância e manejo sustentável da floresta. **Revista ciências exatas e naturais**, v.10, n.2, p. 263-278, 2008. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/712/885>

FILHO, A. C.; COSTA, K. **A expansão da soja no cerrado Caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável**. São Paulo, Agroicone- INPUT, 2016. 30 p.

FRITZSONS, E. et al. A influência da floresta ciliar sobre a temperatura das águas do rio Capivari, região cárstica curitibana. **Revista floresta**, v.35, n.3, 2005. DOI:[10.5380/rf.v35i3.5195](https://doi.org/10.5380/rf.v35i3.5195)

GLOBAL COMMISSION ON THE ECONOMICS OF WATER – GCEW. **The economics of water: valuing the hydrological cycle as a global common good**. 223p. 2024. Disponível em: <https://economicsofwater.watercommission.org/>

GORELICK, N. et al. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**”. Remote Sensing of Environment, 2017. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Zoneamento geoambiental do estado do – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial**. Diretoria de Geociência, Divisão de Geociências da Bahia. Salvador: IBGE, 1997.44 p.

Subsídios ao zoneamento ecológico-econômico da bacia do rio Itapecuru – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial. Primeira Divisão de Geociência do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.187 p.

Manuais Técnicos em Geociências: manual técnico de uso da terra. Rio de Janeiro, 3^o edição, 2013,171 p.

Cidades e Estados do Brasil. Rio de Janeiro, 2010, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 06 jun. 2025 e 15 dez. 2025.

Malha municipal digital e áreas territoriais 2022. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 8 abril 2025.

IMESC – Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. Data IMESC. Disponível em <http://dataimesc.imesc.ma.gov.br> e <http://zee.ma.gov.br/base-de-dados/> Acesso em: 10 abril 2025

- KÜLLING, N. et al. Nature's contributions to people and biodiversity mapping in Switzerland: spatial patterns and environmental drivers. **Journal Ecological Indicators**, v. 163, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112079>
- KRUSCHE, A. V. et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Revista Acta Amazonica**, v.35, n.2, p.197-205, 2005. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672005000200009>
- LUMIVERO (2025). XLSTAT statistical and data analysis solution. New York, USA. <https://www.xlstat.com>
- MARANHÃO. **Decreto-Lei nº 7641 de 4 de junho de 1980**. Diário oficial do estado do Maranhão, Poder Executivo, São Luís, MA.
- MARQUES, C. et al. Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023 (RAD2023). São Paulo, Brasil - MapBiomas, 2024. 154 p. Doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21184.14087>
- MARTINS, R. A. et al. Assessment of surface water quality of the lower course of the Itapecuru river basin, Maranhão state, Brazil. **Journal applied ecology and environmental research**, v. 20, n.6, 5381-5396p. 2022. Doi: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2006_53815396
- MARTINS, R. A. et al. Qualidade da água do baixo curso do rio itapecuru e as implicações na saúde humana e usos múltiplos. **Revista Foco**, v.16, n.9, 01-22p. 2023. Doi: <http://dx.doi.org/10.54751/revistafoco.v16n9-111>
- MARTINS, R.A.; LOURENÇO, C.B; SOARES, L.S. Água, de usos a conflitos: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão. *Revista sapiência*, v.14, n.04, p.377-402, 2025. DOI: <https://doi.org/10.31668/d7d6hs13>
- MASULLO, Y. A. G.; SOARES, L. S. Análise espacial da dinâmica de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Itapecuru, MA. In: MASULLO, Y. A. G.; SOARES, L. S. (org.). **Mais Itapecuru: subsídios ao planejamento e a gestão de recursos hídricos**. São Luís, São Luís, IMESC, 2019. 264p.
- MASSULO, Y. A. et al. Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA. **Revista brasileira de geografia física**, v.12, n.03 p.1054-1073, 2019. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p1054-1073>
- NGUYEN, T. T. et al. Security risks from climate change and environmental degradation: Implications for sustainable land use transformation in the Global South. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 63, p. 101-322, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101322>
- NUGEO - Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão. **Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão**. Relatório Técnico. 2016. 166 p.
- PEREIRA, P. B.; MORAIS, R. C. de S. Impactos das mudanças de uso e cobertura das terras sobre parâmetros hidrológicos do alto e médio curso do rio Itapecuru, Nordeste do Brasil. **Revista Equador**, v.11, n.1, p.55-71, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26694/equador.v11i1.13354>
- PROJETO MAPBIOMAS - Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022. **Coleção 8**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download-dos-atbdsaiB> Acesso em: 20 fev. 2025.
- Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil. **Coleção 9**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/> Acesso em: 8 abril 2025.
- QGIS Development Team, Version 3.28 Firenze, 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org/project/visual-changelogs/visualchangelog328/>
- SEABRA, V. da S.; CRUZ, C. M. Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio São João, RJ. **Revista Sociedade. & Natureza**, v.25 n.2, p.411-426, 2013. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321328750015>
- SEMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais. Unidades de conservação do Maranhão. São Luís, 2017. Disponível em: <https://ucsdoma.sema.ma.gov.br/sample-apps/ucsdoma/> Acesso em: 9 abril 2025.
- SILVA, J. L. C. et al. Aspectos da degradação ambiental no nordeste do Brasil. **Revista gestão e sustentabilidade ambiental**, v. 7, n. 2, p.180-191, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018180-191>

SILVA, E. V. da. et al. Planejamento, governança e gestão de recursos hídricos. In: MASULLO, Y. A. G., SOARES, L. S. (org.). **Mais Itapecuru: subsídios ao planejamento e a gestão de recursos hídricos**. São Luís, São Luís, IMESC, 2019. 264p.

SILVA, Q. D. et al. Uso e cobertura da terra médio curso da bacia do rio Itapecuru. **Revista Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.29610>

SILVA, C. G. de M. Modelo para determinação da temperatura de água em rios. **Engineering & technology scientific jornal**, v.1, n.1, 2023. Doi: <http://dx.doi.org/10.55977/etsjournal.v01i01.e023008>

SOARES, L. S. et al. Índice de qualidade de água do baixo curso do rio Itapecuru, estado do Maranhão, Brasil. **Revista Espacios**, v.37, n.14, p.6-18, 2016. https://www.revistaespacios.com/a16v37n14/16371406.html?utm_source

SOARES, L. S. et al. Space-temporal analysis of physico-chemical and biological variables of water quality in the itapecuru river, northeastern atlantic hydrographic region, brazil. **Journal caderno prudentino de geografia**, v.2, n.44, p.35-56, 2022. <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/9181/6539>

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo, Oficina de textos, 2017. 336p.

TAMBOSI, L. R. et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Revista estudos avançados**, v.29, n.84, p.151-162, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142015000200010>

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental – Brasília: MMA, 2006, p.302.

WINKLER, K. et al. As mudanças globais no uso da terra são quatro vezes maiores do que as estimadas anteriormente. **Revista Comunicação da natureza**, v. 12, n. 1, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

WITJES, M.; HEROLD, M.; DE BRUIN, S. Iterative mapping of probabilities: A data fusion framework for generating accurate land cover maps that match area statistics. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v.131, p.102-932, 2024. <https://zenodo.org/records/10641340>

Recebido em: 15/07/2025

Aceito para publicação em: 26/12/2025