

IMPACTOS DO USO, OCUPAÇÃO E DEGRADAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

Uma análise na última década de publicações em periódicos no Brasil

Ronald Costa Silva¹, Gabriel Lira Maciel², José Renato de Oliveira Lima³

¹Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Maranhão, Brasil (costa.ronald@discente.ufma.br)

²Programa de pós-graduação em ciência e tecnologia ambiental, (UFMA) (gabriel.lira@discente.ufma.br)

³ Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Maranhão, Brasil. (renato.jose@ufma.br)

Resumo: Esta pesquisa analisou, por meio de abordagem bibliométrica, a produção científica sobre qualidade da água e degradação do solo na bacia hidrográfica do Rio Itapecuru, entre 2016 e 2026, nas bases Google Scholar, SciELO e Portal de Periódicos CAPES. Foram selecionados 35 artigos, com predominância de estudos sobre qualidade da água. Os trabalhos analisados associam as mudanças no uso do solo, a expansão agropecuária e a urbanização aos processos de erosão, assoreamento e poluição hídrica.

Palavras-chave: Rio Itapecuru; qualidade da água; degradação do solo; bibliometria; recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

O rio Itapecuru é um dos corpos hídricos mais importantes do estado do Maranhão, sendo responsável pelo abastecimento de grande parte da população, inclusive da capital, São Luís. Contudo, a integridade de sua bacia hidrográfica vem sofrendo severas ameaças nas últimas décadas, decorrentes de ações antrópicas, como o desmatamento das matas ciliares, a expansão da fronteira agrícola e o descarte inadequado de efluentes urbanos e industriais.

A análise da qualidade da água e da degradação das propriedades físicas e químicas do solo das margens é fundamental para compreender o nível de assoreamento e contaminação a que o rio está exposto. Embora existam estudos isolados sobre esses impactos, observa-se uma carência de mapeamentos sistemáticos que quantifiquem e qualifiquem a produção científica gerada sobre o tema no Brasil.

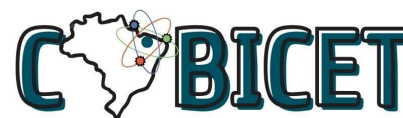
Diante desse panorama, define-se o seguinte problema de pesquisa: como evoluíram as publicações científicas brasileiras sobre a qualidade da água e do solo na bacia hidrográfica do rio Itapecuru no período de 2016 a 2026?

A água é um recurso natural indispensável à manutenção da vida, ao funcionamento dos ecossistemas e ao desenvolvimento das atividades humanas, assumindo papel estratégico para a segurança alimentar, o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental (Tundisi e Tundisi, 2008;

Tucci, 2012). A disponibilidade hídrica, tanto em termos quantitativos quanto em sua integridade físico-química, depende intrinsecamente da dinâmica biofísica das bacias hidrográficas. Estas funcionam como unidades sistêmicas complexas, em que processos naturais de infiltração, percolação e autodepuração interagem com as pressões exercidas pelas ações antrópicas, determinando a capacidade de resiliência e a vulnerabilidade dos corpos d'água diante de cargas poluidoras (Teodoro *et al.*, 2007; Von Sperling, 2014).

Nesse contexto, as bacias hidrográficas constituem unidades fundamentais para o planejamento e a gestão integrada dos recursos hídricos, pois permitem avaliar, de forma holística, as interações entre o uso do solo, a dinâmica hidrológica e a qualidade da água (Merten e Minella, 2012; Tucci, 2012). A compreensão dessa unidade como um sistema aberto implica reconhecer que qualquer alteração na cobertura vegetal ou na morfologia do terreno se reflete diretamente no regime de vazão e no transporte de solutos e sedimentos (Alcântara, 2004).

No Brasil, essa perspectiva foi formalmente consolidada com a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Lei nº 9.433/1997, que estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial básica para a gestão descentralizada e participativa (Brasil, 1997; Alcântara, 2004). Entretanto, o avanço desordenado das fronteiras urbanas e agrícolas, associado a deficiências estruturais históricas em saneamento básico, tem



intensificado os impactos deletérios sobre os mananciais superficiais e subterrâneos.

A substituição da cobertura vegetal nativa por superfícies impermeabilizadas nas cidades ou por monoculturas de ciclo curto e pastagens no campo altera a partição da chuva no solo. Ao reduzir a taxa de infiltração, esse processo eleva o coeficiente de escoamento superficial e diminui o tempo de concentração da bacia, favorecendo o transporte de patógenos, nutrientes, como fósforo e nitrogênio, e sedimentos em suspensão para o leito dos rios (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico [ANA], 2020; Libânio, 2016). Dessa forma, o monitoramento da qualidade da água configura-se como um indicador ambiental sensível e indispensável, capaz de traduzir os efeitos cumulativos e crônicos das pressões antrópicas sobre a estabilidade dos ecossistemas aquáticos (Von Sperling, 2014; Santos *et al.*, 2019).

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru, em particular, destaca-se como uma das mais importantes do estado do Maranhão, desempenhando papel essencial no abastecimento público de diversas sedes municipais, além de sustentar atividades de irrigação e pesca (ANA, 2022). Contudo, a supressão sistemática da vegetação ripária em suas margens, protegida pelo Código Florestal, instituído pela Lei nº 12.651/2012, e a intensificação do uso do solo têm elevado o aporte de sedimentos, agravando processos de assoreamento e alterando o equilíbrio trófico das águas (SEMA, 2018; Carvalho *et al.*, 2023).

Diante dessa realidade de degradação progressiva, torna-se necessário compreender como as transformações no uso e na ocupação do solo têm sido abordadas pela literatura científica e quais impactos são relatados sobre a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. A análise desses dados é importante para identificar se os usos atuais do território são compatíveis com a manutenção dos serviços ecossistêmicos prestados pelo rio e com a preservação da saúde das populações que dependem diretamente desse recurso estratégico (Martins *et al.*, 2023; Araújo e Alves, 2022).

Além disso, a análise da qualidade da água em bacias hidrográficas assume relevância estratégica no contexto das mudanças climáticas, uma vez que a intensificação de eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, tende a ampliar os efeitos do uso inadequado do solo sobre os corpos hídricos. Nesse cenário, a compreensão integrada entre a dinâmica climática, o uso do território e a qualidade da água torna-se indispensável para o planejamento ambiental de longo prazo.

Parte-se da hipótese de que o aumento das pressões antrópicas sobre a bacia hidrográfica do rio Itapecuru tem contribuído para a degradação da qualidade da

água e do solo, estimulando o crescimento da produção científica voltada à investigação desses impactos e à proposição de estratégias de gestão ambiental. Tal cenário compromete não apenas a biodiversidade, mas também a segurança hídrica e a saúde das populações que dependem diretamente desse manancial (Silva e Andrade, 2021; Leal *et al.*, 2023).

Diante desse contexto, este estudo busca analisar a evolução das publicações científicas brasileiras relacionadas à qualidade da água e do solo na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, no período de 2016 a 2026, identificando a frequência anual das publicações, o perfil acadêmico dos autores e os principais focos temáticos abordados. Espera-se que os resultados contribuam para a identificação de tendências científicas e lacunas de conhecimento, fornecendo subsídios para futuras pesquisas e para o planejamento ambiental da região.

MATERIAL E MÉTODOS

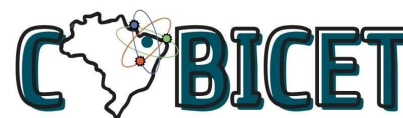
Enquadramento metodológico

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa descritiva, de natureza bibliométrica e abordagem predominantemente quantitativa, complementada por análise qualitativa do conteúdo dos trabalhos selecionados. A abordagem quantitativa foi utilizada para mensurar e caracterizar a produção científica sobre a qualidade da água e a degradação do solo na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, enquanto a análise qualitativa possibilitou interpretar os principais temas, impactos ambientais e lacunas de conhecimento identificados na literatura.

Os dados foram tratados por meio de estatística descritiva, utilizando-se frequências absolutas, correspondentes ao número de artigos identificados em cada categoria, e frequências relativas, expressas em porcentagem em relação ao total de estudos analisados. Esse procedimento permitiu avaliar a distribuição temporal das publicações, os focos temáticos predominantes, o perfil acadêmico dos autores e a participação das instituições vinculadas às pesquisas.

Procedimentos para coleta e análise de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de levantamento bibliográfico no Google Scholar, na SciELO e no Portal de Periódicos da CAPES, selecionados em razão de sua abrangência e relevância para a recuperação de publicações científicas relacionadas à temática estudada. As buscas ocorreram no primeiro semestre de 2026 e contemplaram artigos publicados entre 2016 e 2026, sendo considerados parciais os resultados referentes ao último ano.



A busca foi refinada com o uso de operadores booleanos nos campos de título e palavras-chave. Foram selecionados artigos que continham o termo principal “rio Itapecuru” associado aos descritores “água”, “solo” ou a ambos. Também foram considerados os termos de busca “qualidade da água”, “Rio Itapecuru”, “uso e ocupação do solo” e “impactos ambientais”.

Para a análise dos resultados, foram adotados indicadores destinados à identificação das tendências, das características e da evolução da produção científica sobre a qualidade da água e a degradação do solo na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Esses indicadores permitiram avaliar o desenvolvimento das pesquisas ao longo do período analisado, os principais temas abordados, o perfil acadêmico dos pesquisadores e as instituições que mais contribuíram para a produção de conhecimento sobre a área de estudo. Foram considerados os seguintes indicadores:

a) Quantidade de artigos publicados por ano no período de 2016 a 2026, permitindo identificar a evolução temporal da produção científica sobre a temática estudada;

b) Distribuição das pesquisas quanto ao foco principal (água, solo ou ambos), permitindo verificar quais áreas receberam maior atenção dos pesquisadores;

c) Titulação acadêmica dos autores, possibilitando caracterizar o perfil de formação dos pesquisadores envolvidos na produção científica;

d) Principais instituições de ensino de origem dos pesquisadores, permitindo identificar os centros acadêmicos que mais contribuem para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à Bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

O corpus documental foi constituído por publicações acadêmicas localizadas nas fontes selecionadas. A escolha dessas plataformas justificou-se pela abrangência de estudos relacionados à temática e pela relevância acadêmica das publicações recuperadas. Os termos de busca foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR.

Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos publicados entre 2016 e 2026 que apresentassem relação direta com os impactos ambientais na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Também foram priorizados estudos que apresentassem dados primários ou secundários de natureza física, química ou biológica, relacionados às transformações antrópicas observadas na bacia.

Paralelamente, foram consultados documentos técnicos de órgãos oficiais, incluindo a Agência

Nacional de Águas e Saneamento Básico, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais, com o objetivo de confrontar as evidências acadêmicas com informações oficiais sobre gestão territorial e monitoramento hídrico (ANA, 2020; IBGE, 2013).

Obras de referência, como as de Tundisi e Tundisi (2008), Esteves (2011) e Von Sperling (2014), foram mantidas para a fundamentação conceitual, independentemente do ano de publicação, em razão de sua relevância para a compreensão da limnologia aplicada e dos processos relacionados à qualidade da água e ao tratamento de efluentes.

Foram excluídos os trabalhos que não apresentassem relação geográfica direta com a bacia hidrográfica do rio Itapecuru ou que não possuísem aderência à temática investigada. Esse procedimento possibilitou a identificação de padrões recorrentes de degradação ambiental e a comparação entre diferentes estudos realizados na bacia.

Os procedimentos de análise e síntese foram organizados em três etapas complementares:

1) Exploratória: triagem inicial por meio da leitura de títulos e resumos, com o objetivo de verificar a aderência temática dos estudos à proposta da pesquisa;

2) Seletiva: leitura integral dos trabalhos previamente selecionados, visando à extração das informações relevantes para a análise bibliométrica e para a compreensão dos impactos ambientais abordados nos estudos;

3) Analítica: tabulação, comparação e interpretação dos resultados extraídos dos estudos, permitindo identificar tendências da produção científica, características dos autores e instituições envolvidas, bem como os principais resultados relacionados à qualidade da água e à degradação do solo na Bacia hidrográfica do rio Itapecuru

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evolução das publicações científicas

O levantamento bibliográfico resultou na seleção de 35 artigos que atenderam aos critérios de inclusão estabelecidos. A Tabela 1 apresenta a distribuição anual dessas publicações no período analisado.

Tabela 1. Distribuição anual das publicações científicas sobre qualidade da água e degradação do solo na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, entre 2016 e 2026.

Ano	Quantidade	Proporção (%)
2016	2	5,71%
2017	3	8,57%
2018	4	11,43%
2019	6	17,14%
2020	3	8,57%
2021	4	11,43%
2022	2	5,71%
2023	5	14,29%
2024	3	8,57%
2025	2	5,71%
2026	1	2,86%
TOTAL	35	100,00%

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Observa-se que 2019 apresentou o maior número de publicações, com 6 artigos, correspondentes a 17,14% do total, seguido por 2023, com 5 artigos, equivalentes a 14,29%. Os anos de 2022 e 2025 registraram 2 publicações cada, enquanto 2026 apresentou apenas 1 artigo. Ressalta-se, contudo, que os dados de 2026 são parciais, uma vez que as buscas foram realizadas no primeiro semestre desse ano.

Distribuição temática das pesquisas

Dos 35 artigos selecionados, a maior parte concentrou-se na análise da qualidade da água, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição das publicações científicas segundo o foco temático das pesquisas sobre a bacia hidrográfica do rio Itapecuru, entre 2016 e 2026.

Foco da Pesquisa	Quantidade	Proporção (%)
Qualidade da água	22	62,86%
Degradação e uso do solo	9	25,71%
Abordagem integrada entre água e solo	4	11,43%
TOTAL	35	100,00%

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Os estudos sobre qualidade da água corresponderam a 62,86% das publicações analisadas, enquanto 25,71% abordaram o uso ou a degradação do solo. Apenas 4 artigos, equivalentes a 11,43% do total, apresentaram uma abordagem integrada entre água e solo. A reduzida participação dessa última categoria evidencia uma lacuna na produção científica analisada, considerando que as alterações no uso do solo e os processos erosivos podem influenciar diretamente o

transporte de sedimentos e contaminantes para os corpos hídricos.

Perfil dos autores e instituições

A análise dos currículos dos 78 autores vinculados às 35 publicações indicou predominância de pesquisadores com formação em nível de pós-graduação. Do total analisado, 42% eram doutores, 35% mestres e 23% mestrands ou graduandos.

Quanto à vinculação institucional, observou-se concentração de autores em instituições maranhenses. A Universidade Federal do Maranhão (UFMA) reuniu 40% dos autores mapeados, seguida pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), com 32%. Os 28% restantes estavam vinculados a instituições de outros estados, entre as quais a Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Os resultados obtidos por meio da revisão bibliográfica evidenciam padrões recorrentes, sistêmicos e multiescalares de degradação da qualidade hídrica, os quais estão intrinsecamente associados às variadas tipologias de uso e ocupação do solo ao longo dos 1.076 km de extensão do Rio Itapecuru. Essa diversidade espacial e socioambiental ao longo do curso do rio reforça a complexidade dos processos de degradação identificados, uma vez que diferentes formas de uso e ocupação do solo interagem de maneira cumulativa, produzindo impactos diferenciados sobre os parâmetros de qualidade da água.

A análise fundamentou-se na comparação dos dados apresentados nos estudos revisados com os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Na ausência de indicação, no conjunto documental analisado, de enquadramento específico para os trechos avaliados, foram considerados os padrões aplicáveis às águas doces de Classe 2. Essa classe contempla usos como o abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, a proteção das comunidades aquáticas e a recreação de contato primário, observadas as condições estabelecidas na legislação pertinente.

A literatura demonstra que a integridade dos recursos hídricos é severamente comprometida em zonas de forte pressão antrópica, onde a conversão da paisagem natural, originalmente composta por transições de Cerrado, Caatinga e Mata de Cocais, altera o balanço de massa e a capacidade de suporte do ecossistema aquático (Silva *et al.*, 2022; Martins *et al.*, 2023).

Observa-se que a bacia, que abrange cerca de 16% do território maranhense, funciona como um receptor de

cargas poluidoras que variam em natureza e intensidade conforme o zoneamento socioeconômico de cada trecho (Alto, Médio e Baixo curso). Estudos realizados no Alto e Médio curso do Rio Itapecuru indicam que as mudanças no uso da terra entre 1990 e 2020 revelam uma redução drástica da vegetação nativa em prol da expansão de áreas de pastagem e agricultura mecanizada, o que impacta diretamente os parâmetros hidrológicos, como o tempo de concentração da bacia e a vazão de base.

Essa transformação territorial não apenas remove a proteção física dos solos, mas altera a química da água por meio do aporte de nutrientes e sedimentos. A convergência dos estudos revisados permite identificar que a degradação não é um evento isolado, mas um processo cumulativo. Enquanto o Alto Itapecuru sofre com os impactos da agricultura e do desmatamento das nascentes, o Médio e o Baixo curso enfrentam a sinergia entre o lançamento de efluentes domésticos e a poluição industrial/portuária (Martins *et al.*, 2023).

A análise conjunta desses estudos indica que a vulnerabilidade ambiental da bacia é intensificada pela fragmentação da gestão territorial, especialmente diante da necessidade de integrar o monitoramento da qualidade da água às políticas de uso e ocupação do solo e ao licenciamento de atividades potencialmente poluidoras.

Uso do solo urbano e saneamento

A urbanização desordenada ao longo da calha do rio Itapecuru configura-se como um dos principais vetores de pressão ambiental, atuando como fonte pontual de poluição orgânica crônica. Nos centros urbanos da bacia, o crescimento demográfico não foi acompanhado pela expansão proporcional da infraestrutura de saneamento básico, resultando em um cenário onde o rio é utilizado como receptor final de efluentes domésticos e resíduos sólidos sem tratamento prévio. Essa realidade compromete a integridade ecológica do sistema hídrico e coloca em risco a saúde das populações que dependem diretamente do manancial (Martins *et al.*, 2023).

No Médio Itapecuru, especificamente no município de Caxias, as investigações realizadas no Balneário Veneza evidenciam a gravidade dessa situação. O monitoramento microbiológico e físico-químico revelou concentrações de fósforo total e fosfatos significativamente superior aos padrões de qualidade aplicáveis. Esse aporte excessivo de nutrientes inorgânicos, derivado de detergentes e dejetos orgânicos, desencadeia o processo de eutrofização artificial, que se manifesta pela multiplicação indesejável de macrófitas e algas. Fisicamente, esse fenômeno resulta na redução dos níveis de oxigênio dissolvido (OD), comprometendo a sobrevivência da

fauna íctica e alterando o metabolismo dos ecossistemas lênticos e lóticos adjacentes.

A problemática do saneamento assume contornos sociais críticos no município de Codó. De acordo com Araújo e Alves (2022), a ocupação irregular das margens e várzeas do Rio Itapecuru, motivada pela vulnerabilidade socioeconômica, resultou em habitações construídas sem qualquer monitoramento do poder público. Nessas áreas, o esgoto doméstico é despejado *in natura* diretamente no leito do rio, criando focos de proliferação de vetores e doenças. A percepção da população ribeirinha em Codó corrobora os dados técnicos: moradores relatam dificuldades crescentes no uso da água para higiene e consumo, associadas ao mau cheiro e à ocorrência de inundações recorrentes, como a enchente histórica de 2009, que transportou resíduos sólidos e patógenos diretamente para o interior das residências (Araújo e Alves, 2022).

Cabe ressaltar que os dados sintetizados no Quadro 1 não decorrem de um único monitoramento contínuo ou integrado de longa duração, mas de uma compilação de diferentes estudos acadêmicos e amostragens pontuais realizados na bacia por múltiplos autores. Essa consolidação permite uma análise comparativa dos principais parâmetros em diferentes trechos e períodos da calha do rio. Tabela 3. Síntese dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

Parâmetro Analisado	Resultados / Tendência	Avaliação Segundo a Legislação (CONAMA 357/2005)	Referência
Coliformes termotolerantes	Até 1600 NMP/100mL	Inadequado em áreas urbanizadas (ultrapassa limite de Classe 2)	SILVA (2023)
Oxigênio dissolvido (OD)	5,23 – 10,47 mg/L	Adequado para águas de Classe 2 (com reduções críticas pontuais)	LEAL <i>et al.</i> (2021)
pH	6,7 – 7,6	Dentro dos limites de estabilidade preconizados	LEAL <i>et al.</i> (2021)
Condutividade elétrica	32,47 – 60,57 µS/cm	Dentro do limite aceitável estabelecido para águas doces	LEAL <i>et al.</i> (2021)
Temperatura	Média de 26,8 °C	Valores elevados condizentes com o perfil térmico regional	LEAL <i>et al.</i> (2021)
Fósforo Total e Fosfatos	Excedente a 0,02 e 0,1 mg/L	Superior aos limites regulamentares em zonas lênticas e urbanas	MARTINS <i>et al.</i> (2023)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em Leal, Silva e Santos (2021), Silva *et al.* (2023) e Martins *et al.* (2023).

Como demonstrado no Quadro 1, os índices de coliformes termotolerantes atingiram valores de até 1.600 NMP/100 mL. Segundo Silva (2023), esses valores se correlacionam diretamente com o lançamento de efluentes domésticos sem tratamento, apresentando valor superior ao parâmetro de referência adotado para águas de Classe 2.

Resultados semelhantes são reportados por Leal, Silva e Santos (2021) e Martins *et al.* (2023), que associam os elevados índices de coliformes termotolerantes à ausência de sistemas adequados de coleta e tratamento

de esgotos nos municípios inseridos na bacia. A convergência desses estudos indica que a poluição pontual de origem doméstica constitui um dos principais fatores de degradação da qualidade da água no Rio Itapecuru.

Influência do uso e ocupação do solo

Agropecuária e impactos difusos

Diferentemente da poluição pontual urbana, os impactos decorrentes das atividades agropecuárias na Bacia hidrográfica do rio Itapecuru caracterizam-se por sua natureza difusa, o que dificulta o monitoramento e a mitigação direta. De acordo com o diagnóstico da ANA (2022), a agropecuária é um dos principais motores econômicos da região, mas também é responsável por cerca de 20% da carga de degradação ambiental identificada, manifestando-se principalmente por meio do carreamento de sedimentos e nutrientes pelo escoamento superficial.

Entre 1990 e 2020, ocorreu a supressão sistemática da vegetação nativa para a implantação de pastagens e áreas de agricultura mecanizada, especialmente de soja e milho. Do ponto de vista hidrológico, essa mudança é relevante, pois a substituição da vegetação do Cerrado por áreas de cultivo reduz a proteção da superfície do solo e sua capacidade de infiltração. Como consequência, podem ocorrer alterações nos parâmetros de vazão e no tempo de concentração da bacia.

Durante os períodos de chuva intensa, a ausência de cobertura vegetal adequada potencializa a energia cinética das gotas de chuva, favorecendo a erosão por salpicamento e o transporte de partículas do solo e agroquímicos para o leito do rio. Esse aporte de material sólido constitui um dos principais fatores associados ao assoreamento, processo que reduz a capacidade da calha do rio e compromete a navegabilidade e a vida aquática.

O aumento da turbidez reduz a penetração da luz solar na água, afetando a fotossíntese dos produtores primários e alterando a cadeia trófica local. Além disso, o aporte de fertilizantes químicos ricos em nitrogênio e fósforo pode favorecer o aumento indesejado da produtividade biológica. Conforme observado por Silva e Andrade (2021), embora o pH do Rio Itapecuru apresente relativa estabilidade, oscilando entre 6,7 e 7,6, a variação sazonal da transparência da água constitui um indicador da influência da carga de sedimentos sobre a qualidade hídrica.

A literatura revisada também aponta uma lacuna metodológica no monitoramento da bacia, relacionada à ausência de quantificação sistemática de resíduos de defensivos agrícolas e metais potencialmente tóxicos. O uso intensivo de fertilizantes fosfatados pode introduzir elementos como cádmio e chumbo no

sistema hídrico, os quais apresentam potencial de bioacumulação. A ausência de monitoramento contínuo desses contaminantes dificulta a avaliação dos riscos associados ao uso da água para irrigação e dessedentação de animais (Araújo e Alves, 2022).

Principais vetores de degradação ambiental

A análise integrada dos estudos revisados permitiu identificar os principais fatores associados à degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Os percentuais apresentados na Tabela 3 representam a frequência com que cada vetor de degradação foi identificado nos estudos analisados, não correspondendo a medições diretas da magnitude dos impactos ambientais.

Tabela 4. Frequência dos principais vetores de degradação ambiental identificados nos estudos sobre a bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

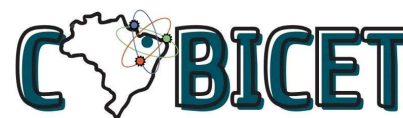
Vetor de Pressão / Degradação	Percentual de Impacto (%)	Principais Consequências Hidroambientais	Fonte dos Dados
Desmatamento das margens	30%	Erosão por salpicamento, perda de mata ciliar e assoreamento crônico	ANA (2022); LEAL et al. (2021)
Lançamento de esgoto	25%	Aporte de carga orgânica in natura, riscos ecotoxicológicos e patógenos	ANA (2022); LEAL et al. (2021)
Atividades agropecuárias	20%	Poliuição difusa, alteração na vazão de base e escoamento lateral	ANA (2022); IBGE (2021)
Resíduos sólidos	15%	Obstrução do fluxo hídrico, contaminação visual e poluição sistêmica	ANA (2022); LEAL et al. (2021)
Mineração/extração	10%	Aumento drástico da turbidez e alteração na calha geomorfológica	ANA (2022); LEAL et al. (2021)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em dados da ANA (2022), do IBGE (2021) e de Leal, Silva e Santos (2021).

A interpretação dos dados apresentados evidencia a recorrência e a cumulatividade das pressões antrópicas exercidas sobre a Bacia hidrográfica do Rio Itapecuru. Os vetores de degradação decorrem de fontes pontuais e difusas, cujas principais implicações ambientais são apresentadas a seguir.

Desmatamento das margens (30%): Configura-se como o principal fator de degradação física do sistema hídrico. A supressão da vegetação ripária expõe o horizonte superficial do solo à energia cinética das precipitações, desencadeando o processo de erosão por salpicamento (*splash*). Sem a ancoragem mecânica promovida pelos sistemas radiculares da mata ciliar, ocorre o desprendimento e o transporte de sedimentos via escoamento superficial. Esse aporte contínuo de material sólido para o interior da calha do rio resulta em um processo de assoreamento crônico, reduzindo a seção hidráulica do leito e alterando de forma substancial a hidrodinâmica original do manancial.

Lançamento de esgoto (25%): Representa o segundo maior vetor de degradação, atuando como fonte de



poluição pontual de natureza biológica e orgânica crônica. O descarregamento de efluentes sanitários *in natura* introduz altas cargas de matéria orgânica degradável e nutrientes no corpo receptor. Esse fenômeno eleva os riscos ecotoxicológicos devido à redução do oxigênio dissolvido pela demanda bioquímica e promove a proliferação de patógenos (mensurados pelos elevados índices de coliformes termotolerantes), comprometendo a segurança hídrica e os usos múltiplos da água previstos no enquadramento regulatório.

Atividades agropecuárias (20%): Caracterizam-se como o principal indutor de poluição difusa ao longo da bacia. A conversão de fitofisionomias nativas para monoculturas e pastagens promove a compactação mecânica do solo, reduzindo sua porosidade e condutividade hidráulica saturada. Esse cenário altera os parâmetros hidrológicos da bacia, diminuindo a capacidade de infiltração e o tempo de concentração, ao mesmo tempo em que eleva a vazão de pico e potencializa o escoamento lateral superficial. Esse fluxo arrasta nutrientes limitantes (nitrogênio e fósforo) e resíduos químicos agrícolas diretamente para a rede de drenagem.

Resíduos sólidos (15%): Este vetor de poluição pontual e difusa gera severa degradação estética e funcional do ecossistema aquático. A deposição inadequada de resíduos sólidos resulta no acúmulo de macro e micro poluentes na calha principal. Além do impacto visual e ecotoxicológico decorrente da lixiviação de compostos sintéticos, a presença física dos resíduos promove a obstrução mecânica do fluxo hídrico em seções de menor energia, intensificando a severidade de eventos de cheias sazonais e inundações em zonas ribeirinhas vulneráveis.

Mineração / Extração (10%): Embora apresente menor expressão percentual relativa na matriz, manifesta forte impacto localizado na morfologia do canal. As atividades extrativistas no leito ou em áreas marginais provocam o revolvimento mecânico do regolito e de aluviões, promovendo a suspensão imediata de frações coloidais (argila e silte). Esse processo induz o aumento abrupto e crônico da turbidez da água, limitando a zona eufótica e prejudicando a atividade fotossintética primária, além de gerar uma severa reconfiguração na calha geomorfológica e na dinâmica de sedimentação a jusante.

Riscos emergentes e vulnerabilidade das populações ribeirinhas

Uma lacuna crítica identificada nos estudos analisados refere-se à ausência de monitoramento sistemático de contaminantes emergentes. No Baixo Itapecuru, a proximidade com zonas portuárias e a disposição de resíduos na área da Central de Gerenciamento Ambiental Titara são apontadas como fatores de risco

potencial para a contaminação por metais pesados. Estudos sobre sedimentos indicam que processos de dragagem destinados à manutenção da navegabilidade podem promover a ressuspensão de contaminantes depositados no leito, como cádmio e chumbo, favorecendo sua mobilização e os processos de bioacumulação.

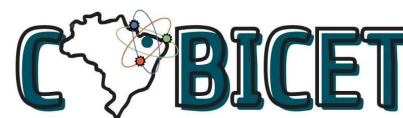
Essa vulnerabilidade ambiental também se relaciona à vulnerabilidade social das populações ribeirinhas. O estudo de Araújo e Alves (2022), realizado em Codó, demonstra que a população local percebe a degradação do rio por meio dos impactos sobre suas condições de vida. A dependência direta de um recurso hídrico comprometido para higiene e consumo, associada à deficiência da fiscalização municipal, evidencia dificuldades na integração entre a proteção das áreas previstas no Código Florestal e a realidade socioeconômica local. Além disso, a ausência de indicadores microbiológicos atualizados dificulta a adoção de medidas preventivas de saúde pública e a identificação de doenças de veiculação hídrica em comunidades isoladas (Martins *et al.*, 2023).

De modo geral, os estudos analisados demonstram que a degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Itapecuru está diretamente relacionada à expansão das atividades agropecuárias, ao desmatamento das áreas ripárias e à deficiência dos sistemas de saneamento básico. Os resultados evidenciam que os impactos relatados comprometem parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água, reforçando a necessidade de ações integradas de monitoramento ambiental e gestão dos recursos hídricos.

CONCLUSÃO

O presente estudo bibliométrico permitiu caracterizar o panorama da produção científica sobre a bacia hidrográfica do rio Itapecuru entre 2016 e 2026. Foram analisados 35 artigos, com predominância de pesquisas desenvolvidas por autores vinculados à Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e à Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Observou-se maior concentração de estudos sobre a qualidade da água e reduzida participação de pesquisas que relacionam, de forma integrada, a dinâmica do solo e dos recursos hídricos.

Os estudos analisados associam as alterações na qualidade da água às diferentes formas de uso e ocupação do solo, especialmente ao crescimento urbano desordenado, à deficiência dos sistemas de saneamento básico, à expansão das atividades agropecuárias e à supressão da vegetação ripária. Esses impactos apresentam variações espaciais e temporais nos trechos alto, médio e baixo do Rio Itapecuru, indicando a necessidade de estratégias de gestão adequadas às características de cada região da bacia.



Os dados sintetizados também demonstram que a análise isolada de parâmetros físico-químicos básicos, como o pH, não é suficiente para avaliar integralmente a qualidade do manancial. Os estudos revisados registraram alterações em indicadores microbiológicos e de turbidez, relacionadas principalmente ao lançamento de efluentes domésticos, ao transporte de sedimentos e à ocupação inadequada das margens. Também foi identificada escassez de monitoramento sistemático de contaminantes como agrotóxicos e metais pesados, evidenciando uma lacuna relevante na produção científica analisada.

A revisão também destacou a dimensão social da degradação hídrica, sobretudo para as populações ribeirinhas que dependem diretamente do rio para diferentes usos. Entretanto, os resultados apresentam limitações decorrentes da disponibilidade e da periodicidade dos dados secundários, bem como da ausência de séries históricas contínuas e de estudos integrados sobre água e solo.

Diante desse cenário, ressalta-se a necessidade de fortalecer o monitoramento ambiental, ampliar os sistemas de saneamento básico, recuperar as Áreas de Preservação Permanente e incentivar práticas agrícolas conservacionistas. A gestão integrada e participativa da bacia hidrográfica do rio Itapecuru é fundamental para a conservação dos recursos hídricos e para a manutenção dos serviços ambientais prestados pelo rio às populações atuais e futuras.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força, saúde e sabedoria concedidas durante o desenvolvimento deste trabalho. À minha família, pelo apoio, incentivo e compreensão em todos os momentos. Aos professores da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), pelos ensinamentos e orientação acadêmica. Às instituições e pesquisadores cujos estudos serviram de base para esta pesquisa. Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água**. Brasília: ANA, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Brasília: ANA, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Diagnóstico hidrográfico e balanço de cargas poluentes em**

bacias hidrográficas brasileiras. Brasília: ANA, 2022.

ALCÂNTARA, E. H. de. Caracterização da bacia hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão – Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 11, p. 97–113, fev. 2004.

ALCÂNTARA, Enner Herênio de. Análise multitemporal do uso e ocupação do solo e seus impactos na qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Itapecuru. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 312-325, 2004.

ALMEIDA, M. S.; SILVA, J. R. Avaliação dos parâmetros físico-químicos da água do Rio Itapecuru em trechos urbanos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 10, p. 112-125, 2018.

ARAÚJO, M. S.; ALVES, J. A. Percepção socioambiental e vulnerabilidade ribeirinha no município de Codó: os impactos das enchentes históricas e do esgoto in natura no Rio Itapecuru. **Revista de Gestão Ambiental e Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 112-128, 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

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

CARVALHO, R. *et al.* Erosive potential in sub-basins of the lower Itapecuru River. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, 2023.

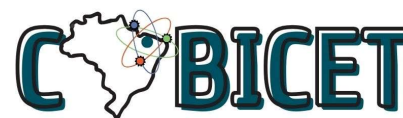
CASTRO, A. N.; MENDES, L. F. Processos erosivos e uso do solo nas margens do médio Itapecuru. **Geografia em Atos**, v. 3, n. 2, p. 45-59, 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO MARANHÃO (CAEMA). **Relatório de Qualidade da Água: Rio Itapecuru – Sistema Italuís**. São Luís, 2024.

COSTA, R. C. *et al.* Dinâmica sedimentológica e assoreamento no baixo curso do Rio Itapecuru, Maranhão. **Revista de Geociências da ANPEGE**, v. 14, n. 1, p. 89-104, 2021.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FEITOSA, A. C. **O Rio Itapecuru: Caracterização geoambiental e socioeconômica**. 2. ed. São Luís: Editora UEMA, 2017.



GONÇALVES, T. S.; GOMES, P. R. Presença de coliformes termotolerantes nas águas de abastecimento público originárias do Itapecuru. **Revista de Saúde Pública Maranhense**, v. 8, n. 3, p. 201-215, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Uso e cobertura da terra do Estado do Maranhão: análise multitemporal (1990-2020)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

LEAL, F. R.; SILVA, T. M.; SANTOS, A. L. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos e dinâmica sazonal no curso principal do Rio Itapecuru. **Boletim de Ciências Hidrológicas**, v. 27, n. 1, p. 45-59, 2021.

LEAL, M. D. V. *et al.* Impacto antrópico e qualidade das águas no baixo curso do Rio Itapecuru. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 9, n. 02, e2023.15, 2023.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

LIMA, E. A. *et al.* Análise temporal da cobertura vegetal e degradação do solo na sub-bacia do Alto Itapecuru. **Cerne**, v. 29, n. 4, p. 330-342, 2023.

MARTINS, E. F.; OLIVEIRA, R. C.; GOMES, L. S. Dinâmica espaço-temporal do uso do solo urbano e pressões ecológicas no Médio e Baixo Itapecuru. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, n. 3, p. 201-215, 2023.

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**, Curitiba, v. 16, n. 9, p. 1-22, 2023.

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. 4, p. 377-402, 2025.

MARTINS, Rubenilson Amorim. Qualidade da água do baixo curso do Rio Itapecuru e as implicações na saúde humana e usos múltiplos. 2019. 99 f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019. Available at: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/3014>. Accessed on: 17 Jul. 2026.

MARTINS, V. F. Métodos computacionais e bibliometria aplicados às ciências ambientais. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, v. 12, p. 400-412, 2022.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: impactos do uso do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1979-1986, 2012.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação da qualidade da água em função do uso do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 610-618, 2004.

PRODAV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.

RANGEL, M. E. S. *et al.* Análise temporal do uso e cobertura da terra e degradação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Itapecuru. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2016.

SANTOS, J. M.; RIBEIRO, D. M. Impactos das atividades agropecuárias na qualidade da água e compactação do solo maranhense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 45, n. 2, p. 77-88, 2024.

SANTOS, J. S.; LIMA, E. C.; SOUSA, R. F. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água em bacias hidrográficas tropicais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, e32, 2019.

SEMA – SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS. **Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Itapecuru**. São Luís: SEMA, 2018.

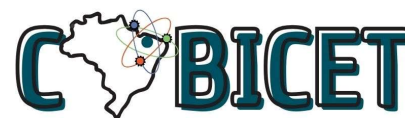
SILVA, F. L. M. **Monitoramento hidrológico e qualidade da água da Bacia do Itapecuru**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

SILVA, J. A.; ANDRADE, L. F. Estabilidade do pH e variabilidade sazonal da transparência hídrica associada ao calendário agrícola maranhense. **Journal of Environmental Analysis**, v. 8, n. 4, p. 89-102, 2021.

SILVA, Q. D. *et al.* Use and coverage of middle land coverage of the Itapecuru river basin. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, e23611829610, 2022.

SILVA, R. A.; ANDRADE, T. P. Impactos do uso agrícola do solo na qualidade da água em bacias hidrográficas do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, 2021.

SILVA, R. B. **Análise microbiológica e capacidade de autodepuração frente ao lançamento de efluentes domésticos nos municípios da calha do Itapecuru**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023.



SILVA, R. B. *et al.* Conversão da paisagem nos biomas maranhenses e reflexos na capacidade de suporte dos ecossistemas aquáticos. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 34, e12, 2022.

SOARES, P. H. M. *et al.* Avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) em pontos críticos do Rio Itapecuru. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 735-746, 2016.

SOUZA, H. R.; NUNES, K. C. O uso de geotecnologias no mapeamento de áreas degradadas ao longo do Rio Itapecuru. **Revista Brasileira de Cartografia e Sensoriamento Remoto**, v. 77, n. 1, p. 15-28, 2025.

TEODORO, V. L. I. *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.