

**Análise espaço-temporal do uso e da cobertura da terra e qualidade ambiental nas sub-bacias hidrográficas do Rio Tocantins no município de Imperatriz-MA**

Spatio-temporal analysis of land use and coverage and environmental quality in the Tocantins River water sub-basins in the municipality of Imperatriz-MA

Análisis espaciotemporal del uso y cobertura del suelo y calidad ambiental en las subcuencas del Río Tocantins en el municipio de Imperatriz-MA

**Aichely Rodrigues da Silva**

Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Professora do Curso de Licenciatura em Geografia e Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.  
[aichely.rodrigues@uemasul.edu.br](mailto:aichely.rodrigues@uemasul.edu.br) / <http://orcid.org/0000-0001-9447-2380>

**Alana Franco Zanini**

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.  
[alanazanini.20200009255@uemasul.edu.br](mailto:alanazanini.20200009255@uemasul.edu.br) / <http://orcid.org/0009-0008-8920-1381>

**Maria Eduarda Pinheiro Bertolino**

Graduada em Geografia pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL e Mestranda em Geografia pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.  
[mariabertolino.20200000545@uemasul.edu.br](mailto:mariabertolino.20200000545@uemasul.edu.br) / <http://orcid.org/0000-0002-8287-0602>

**Ana Carolina de Araújo Mourão**

Graduada em Geografia e Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.  
[anamourao.20200000625@uemasul.edu.br](mailto:anamourao.20200000625@uemasul.edu.br) / <http://orcid.org/0009-0001-3856-8609>

**Marcelo Francisco da Silva**

Doutor em Biologia de Agentes Infecciosos e Parasitários da Universidade Federal do Pará – UFPA. Professor Permanente do PPG da Rede BIONORTE e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.  
[silvamf@uemasul.edu.br](mailto:silvamf@uemasul.edu.br) / <http://orcid.org/0000-0002-9148-6725>

**Recebido: 19/02/2024; Aceito: 08/07/2024; Publicado: 28/06/2026.**

**Resumo**

A ecologia da paisagem consiste no planejamento dos princípios ecológicos, na avaliação das potencialidades da natureza e dos usos antrópicos, sobretudo nas bacias hidrográficas. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade da água e o uso e a cobertura da terra nas sub-

bacias hidrográficas do rio Tocantins, no município de Imperatriz-MA, entre os anos de 1990 e 2020. Foram analisadas amostras de água dos riachos Bacuri, Cacau e Capivara. Os parâmetros analisados para caracterizar a qualidade da água foram: pH, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, nitrogênio total e fósforo total, indicando alteração na qualidade da água pelas atividades antrópicas. Em seguida, houve aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) *in loco*, em que foi possível avaliar e identificar possíveis fragilidades nos pontos dos riachos analisados, ressaltando aspectos naturais e antrópicos devido ao uso e à ocupação do solo. Utilizando pesquisas anteriores, foi possível fazer um comparativo analisando o resultado dos dados dessas pesquisas e da pesquisa atual e, por fim, foi utilizada análise estatística para discutir os efeitos das mudanças no uso e na cobertura da terra nas sub-bacias, bem como os efeitos na qualidade da água.

**Palavras-chave:** Qualidade da Água; Qualidade Ambiental; Eutrofização.

#### Abstract

Ecology and landscape consist of planning ecological principles in evaluating the potential of nature and the landscape to accommodate human uses, mainly in river basins. This research aimed to evaluate water quality and the environmental quality of land use and coverage in the sub-watersheds of the Tocantins River, in the municipality of Imperatriz-MA, between the years 1990 and 2020. Water samples were found from the Bacuri, Cacau and Capivara streams. The parameters analyzed to characterize water quality were: pH, temperature, turbidity, dissolved oxygen, total nitrogen and total phosphorus, interrupting water quality due to human actions. Then, the Rapid Assessment Protocol (PAR) was applied, in which it was possible to evaluate and identify possible weaknesses in the analyzed stream points, highlighting natural and anthropic aspects due to land use and occupation. Using previous research, it was possible to make a comparison by analyzing the results of the data from this research and the current research and finally, statistical analysis was used to discuss the effects of changes in land use and cover in the sub-basins, as well as the effects on water quality.

**Keywords:** Water Quality; Environmental Quality; Eutrophication.

#### Resumen

La ecología del paisaje consiste en planificar principios ecológicos, evaluando el potencial de la naturaleza y los usos humanos, especialmente en las cuencas fluviales. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua y el uso y cobertura del suelo en las subcuencas del río Tocantins, en el municipio de Imperatriz-MA, entre los años 1990 y 2020. Se analizaron muestras de agua de los arroyos Bacuri, Cacao y Carpincho. Los parámetros analizados para caracterizar la calidad del agua fueron: pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, nitrógeno y fósforo totales, indicando cambios en la calidad del agua debido a las actividades humanas. Luego, se aplicó *in situ* el Protocolo de Evaluación Rápida (PAR), en el que se logró evaluar e identificar posibles debilidades en los puntos de quebrada analizados, resaltando aspectos naturales y antrópicos por el uso y ocupación del suelo. Utilizando investigaciones anteriores, fue posible hacer una comparación analizando los resultados de los datos de estas investigaciones y la investigación actual y, finalmente, se utilizó el análisis estadístico para discutir los efectos de los cambios en el uso y cobertura del suelo en las subcuencas, así como, los efectos sobre la calidad del agua.

**Palabras clave:** Calidad del Agua; Calidad del Medio Ambiente; Eutrofización.

---

## Introdução

As mudanças nos padrões de uso e cobertura da terra dependem do desenvolvimento natural e socioeconômico que acontecem no espaço e no tempo. Este cenário foi retratado no estudo do *Global Land Outlook* (UNCCD, 2022), o qual

demonstrou que 70% da área terrestre do planeta Terra foram modificadas por atividades antrópicas e que 40% foram degradadas, isto é, não são tão férteis quanto eram originalmente. A expansão urbana ocorre com a incorporação de novas áreas ao espaço urbano, tornando-se parte área urbanizada ou “mancha urbana” (Nascimento, 2016). Sob outro ponto de vista, McGrane (2016) defende que não existe concordância, na literatura, com a terminologia “mancha urbana”, pois os usos múltiplos das áreas urbanas são analisados em relação à densidade populacional, população total e presença de estruturas específicas, como moradia, superfícies impermeáveis, percentual de atividades econômicas e não agrícolas.

Vale ressaltar que as áreas urbanizadas intensificam a demanda por água, alimentação, irrigação, transporte, higiene e saneamento básico adequado. Além disso, o uso e a cobertura da terra e os recursos hídricos estão interligados, e essas alterações podem impactar, de forma direta e indireta, no escoamento superficial e subterrâneo e causar modificações nos componentes biosfera-atmosfera e no fluxo de água e energia (Garofolo; Rodriguez, 2022).

Esse processo de urbanização traz diversos distúrbios aos cursos d'água causados pela falta de destinação apropriada dos efluentes e dos resíduos sólidos. Dessa forma, um estudo integrado é fundamental, dado que a bacia hidrográfica é um ambiente de múltiplas integrações naturais e socioeconômicas. Essas complexidades não podem ser “reduzidas a comportamentos lineares, muito menos o será quando encarada sob uma perspectiva ambiental (...). Não há como entender tal realidade por partes, separá-las, dividi-las e depois juntá-las para que funcionem novamente” (Vicente; Perez Filho, 2003, p. 342).

Outro dado importante, de um recente estudo realizado pelo MapBiomias (2022), constatou que, no Estado do Maranhão, a área de uso e ocupação antrópica passou de 111.310 hectares em 2010 para 123.077 hectares em 2020. O município de Imperatriz, por exemplo, o segundo maior do Maranhão, presencia um modelo de expansão contínua e urbanização dispersa que contribui para a atual tendência das cidades médias brasileiras (Santos; Nunes, 2020). Este município pertencente à Amazônia Legal, as ações do Estado e os investimentos privados conduziram o processo de integração, provocando impactos socioambientais para atender ao capital.

Nesse sentido, essa pesquisa buscou analisar a dinâmica da mudança do uso e da cobertura da terra e a qualidade ambiental nas principais sub-bacias hidrográficas no município de Imperatriz-MA. Vale destacar que essas sub-bacias drenam para o rio Tocantins, a saber: Bacuri, Cacau e Capivara, que sofrem degradação oriunda do aumento

da mancha urbana, desmatamento das matas ciliares e falta de saneamento ambiental (Nascimento *et al.*, 2015; Silva; Santos, 2015; Santos; Nunes; Santos, 2020).

Para entender essa dinâmica, foi realizada uma análise espaço-temporal do uso e da cobertura da terra de uma determinada área. Nesse contexto, é um parâmetro importante compreender as interações das atividades humanas com o meio ambiente. Esse tipo de estudo consiste no conhecimento da utilização dos recursos naturais por parte do homem ou, quando não utilizados pelo homem, na caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que revestem o solo, bem como suas respectivas localizações (Rosa, 2007).

Em relação à qualidade ambiental, Lombardo (1985) e Estêvez e Nucci (2015) enfatizaram que é no espaço urbano que os problemas ambientais alcançam maior amplitude, notando-se maior degradação do ar, da água, do solo e subsolo, em consequência do uso intenso do território pelas atividades urbanas. Para isso, a ecologia da paisagem foi trabalhada nesta pesquisa, que consiste no planejamento dos princípios ecológicos na avaliação das potencialidades da natureza e da paisagem para acolher os usos humanos (Buccheri Filho; Tonetti, 2011). A análise da paisagem foi realizada por meio do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), que é uma investigação visual de ambiente que agrega resultados à análise de uso e cobertura da terra (Silva *et al.*, 2016). Esse protocolo analisa as condições das margens, da vegetação ciliar, da qualidade da água, da intensidade de urbanização e a presença de fauna nativa.

Para tal propósito, neste projeto foram utilizadas imagens de satélite essenciais no monitoramento do desmatamento, na preservação ambiental e na identificação de impactos causados pela ação humana (Florenzano, 2002). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) colaboram para o mapeamento e zoneamento, sendo utilizados como método de fiscalização e planejamento em bacias hidrográficas e seus respectivos espaços, uma vez que as mudanças ocorrem em uma pequena escala temporal (Rodrigues *et al.*, 2014). Além disso, foi utilizado o modelo *Landscape Ecology Statistics* (LecoS). Para Christofolletti (1999), ao desenvolver um esquema representativo (modelo), o que está sendo “representado” não é a realidade em si, mas sim a visão do “modelador”, ou seja, como ele observa um determinado processo e quais variáveis do sistema são conhecidas e consideradas por ele para a estruturação do modelo. Além disso, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP), que é uma ferramenta eficaz no gerenciamento de recursos hídricos e controle de poluição, além de ser útil na identificação de possíveis fatores de influência nas bacias hidrográficas (Finkler *et al.*, 2015). Considerando tudo isso, a pesquisa buscou refletir

sobre os cursos d'água que temos e os que queremos, além dos impactos socioambientais gerados e suas consequências para o bem-estar da população imperatrizense.

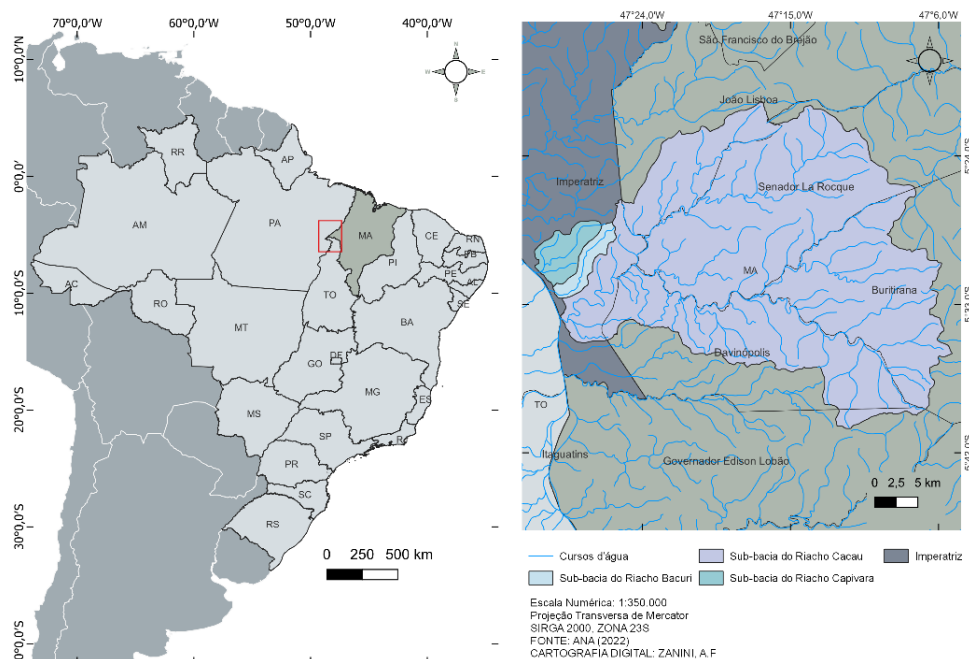
## Material e métodos

Por se tratar de uma pesquisa em três sub-bacias afluentes do rio Tocantins que drenam o município de Imperatriz-MA, foram necessárias as seguintes metodologias (Figura 1): revisão bibliográfica, coleta de dados primários e secundários, formação de banco de dados, estudo de caso e aplicação do modelo utilizando a técnica de geoprocessamento para detectar a mudança espaço-temporal nas áreas de estudo (Figura 2).

### Áreas de estudo

O Riacho Bacuri localiza-se na cidade de Imperatriz-MA, tem cerca de 14.979,61m de extensão, e sua área da sub-bacia tem 1785,7 hectares (ha). A largura média desse riacho é de 5,0m; e a profundidade, de 0,70m. Esse curso d'água inicia seu curso no limite entre os municípios de Imperatriz e João Lisboa, seguindo pelos bairros Vila Esmeralda, Vila João Castelo, Parque das Palmeiras, Amazonas, Vila Redenção I e II, Vila Lobão, Parque Sanharol, Parati, Jardim Planalto, Jardim Lopes, Vila Nova, Jardim Imperatriz, Jardim São Luís, Aeroporto, Bacuri, Caema e União.

**Figura 1** - Área de localização das sub-bacias hidrográficas dos riachos Bacuri, Cacau e Capivara, no Maranhão.



Fonte: ANA (2022).

A bacia do Riacho Cacau abrange os municípios de Imperatriz, Buritirana, Davinópolis, Governador Edson Lobão e Senador La Roque, no estado do Maranhão. Segundo Silva e Santos (2015), a sub-bacia do Rio Cacau sofre com a expansão da mancha urbana relacionada à falta de saneamento básico, além das enchentes constantes que causam à população a perda de bens materiais. Já a sub-bacia do Riacho Capivara está situada no perímetro urbano, drenando dez bairros. Essa bacia possui 29 km<sup>2</sup>, e o rio principal possui 9,8 km.

O Riacho Capivara, pertencente à bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, tem quase todo seu trajeto está situado no perímetro urbano. Sua extensão é de 9,8 quilômetros, atravessando importantes bairros da cidade, o que faz dele um dos principais riachos urbanos (Sousa, 2016). Devido à falta de saneamento básico adequado, tem sido utilizado como depósito de dejetos e esgoto a céu aberto, prejudicando as atividades de recreação e lazer público para moradores de aproximadamente 10 bairros que são cortados pelas suas águas (Sousa, 2016).

Para a pesquisa *in loco*, foi realizada a análise da qualidade ambiental adotando o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), que é uma investigação visual de ambiente que agrega resultados à análise de uso e cobertura da terra, proposto por Silva (2016). Esse protocolo analisa as condições das margens, da vegetação ciliar, da qualidade da água, da intensidade de urbanização e da presença de fauna nativa. Em seguida, para identificar a dinâmica espaço-temporal do uso/cobertura da terra nas áreas de estudo, foram utilizadas informações de uso e cobertura adquiridas no Mapbiomas e *Google Engenier Pro*, coleção 6. A identificação das categorias de paisagem e a mudança temporal serão feitas com auxílio do *plugin* LecoS, no *software* QGis 3.14 Pi π. O LecoS é capaz de calcular, de forma automatizada, as métricas básicas e avançadas de paisagem com dados de sensoriamento remoto (Jung, 2016).

Foi ainda calculado o índice de diversidade *Shannon* das espécies vegetais analisadas, que se basearam em uma fórmula, conforme Kaufmann e Pinheiro (2009):

$$H' = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i \quad \text{Equação 1}$$

Em que:  $p_i = n_i / N$ ;  $n_i$  = número de indivíduos de cada espécie e  $N$  = número total de indivíduos da amostra

O resultado foi expresso em  $\text{bit} \cdot \text{ind}^{-1}$ , considerando-se os seguintes critérios:  $\geq 3,0$   $\text{bits} \cdot \text{ind}^{-1}$  representa uma alta diversidade; e  $< 3,0$  a  $\geq 2,0$   $\text{bits} \cdot \text{ind}^{-1}$  representa uma média diversidade.

#### Tratamento e análise de dados

Para mensurar a qualidade da água foram realizadas três amostragens distribuídas nos meses de dezembro (2022) e fevereiro e junho (2023) no Riacho Bacuri em quatro pontos, a saber: BA1 (nascente), BA2 (médio), BA3 (foz) e RM (Riacho do Meio - afluente); no Riacho Cacau: CA1 (montante) e CA2 (foz); e no Riacho Capivara em três pontos: CP1 (montante), CP2 (médio) e CP3 (foz), conforme metodologia de Strickaland e Parsons (1972). Os parâmetros analisados foram: temperatura da água (°C), turbidez (NTU), clorofila-*a* com a sonda multiparâmetros Hydrolab DS5 *in loco*. Já em laboratório foram analisados: a demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) pelo método de respirometria; os nutrientes fósforo total pelo método ácido ascórbico (PT), nitrogênio total pelo método brucina (NT) e nitrogênio amoniacal (NH<sub>4</sub>) pelo método clorimétrico em espectrofotômetro Nessler. O material particulado em suspensão (MPS), conforme Strickaland e Parsons (1972). E nos coliformes termotolerantes e fecais as análises foram realizadas no Laboratório de Limnologia da UEMASUL, seguindo o método Coli Lerte.

Para a representação dos resultados foram utilizados *box-plot* (diagramas de caixa) para fornecer uma visualização rápida da distribuição dos dados, pois, para distribuições assimétricas, há um desequilíbrio na caixa com relação à mediana. A seguir é apresentada a análise descritiva dos dados realizada pelo *software RStudio*, com auxílio do pacote *ggplot2* (Wickham, 2019). Essa análise visa representar os dados por tabelas, gráficos e medidas descritivas de posição, dispersão e distribuição. O teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) foi aplicado para testar a normalidade das amostras com auxílio do pacote *nortest* ainda neste *software*.

A análise estatística multivariada foi realizada pela Análise de Componentes Principais (ACP), técnica estatística que transforma um conjunto de dados em um novo sistema de variáveis (Finkler et al., 2015). Neste novo arranjo, os componentes principais (CPs) são funções lineares do conjunto de dados que não possuem correlação. A ACP foi realizada no *software RStudio* pelos pacotes *factoextra* e *FactoMineR*.

## Resultados e discussão

A pesquisa avaliou a qualidade da água e a qualidade ambiental das sub-bacias hidrográficas do rio Tocantins, em Imperatriz-MA. A pesquisa mostrou que a sub-bacia do rio Cacau apresentou a maior área de formação florestal, enquanto, no mosaico de agricultura e pastagem, a maior redução dessas áreas ocorreu na sub-bacia do Bacuri. No entanto, na sub-bacia do Cacau é visível o avanço dos mosaicos de agricultura e pastagem. Já nas áreas

urbanizadas nas sub-bacias, foram mais expressivas ainda, em 1990, na sub-bacia do Capivara. A sub-bacia do Cacau presenciou o menor crescimento dessa unidade de paisagem.

Na aplicação do PAR, as sub-bacias Bacuri e Cacau mostram um ambiente em condições antropogênicas. A sub-bacia do Riacho Capivara apresentou área impactada e maior eutrofização, processo decorrente da acumulação de matéria orgânica em ambientes aquáticos, encontrando-se localizada na região da foz. Nas análises de qualidade da água, os valores das variáveis oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) apresentaram alterados, confirmando alteração da água das sub-bacias por ação antrópica.

### **O passado e o presente da paisagem nas sub-bacias hidrográficas**

Nesta pesquisa, o período amostral entre 1990 e 2020 retratou que as sub-bacias hidrográficas têm suas classes predominantes e que, no decorrer dos anos, o tamanho das áreas de ocupação dessas classes sofreu mudanças, sendo que algumas expandiram e outras recuaram (Tabela 1).

A sub-bacia do Riacho Cacau, na Tabela 1, em 1990, apresentava a maior área de formação florestal, respondendo por 71,6% (677,8 km<sup>2</sup>) (Figura 3). Por outro lado, em 2020 reduziu para 40,3% (380,3 km<sup>2</sup>). Isso representa uma redução de 31,3% nessa unidade de paisagem no período de 30 anos (Figura 2). O índice de diversidade de *Shannon* na sub-bacia do Cacau foi de 1,2 bits.ind<sup>-1</sup> (em 1990), indicando baixa diversidade no ambiente 0,6 bits.ind<sup>-1</sup> (em 2020), muito baixa no cenário analisado. O menor percentual de formação florestal encontrado foi na sub-bacia do Bacuri que, em 1990, foi de 7,2%, e em 2020 passou para 2,6%.

O índice *Shannon* para essa bacia representou muito baixa diversidade em 1990 e 2020, sendo 0,9 e 0,6 bits.ind<sup>-1</sup>. Essa área está localizada a montante da sub-bacia, próxima ao município de João Lisboa. Vale destacar que as sub-bacias hidrográficas que estão localizadas nos perímetros urbanos perderam a área de vegetação a natural para a construção de obras residenciais devido à expansão urbana. Esse cenário demonstra que a sub-bacia do Riacho Bacuri sofre com o processo de urbanização ao longo do tempo. Além disso, nas sub-bacias constatou-se a redução na área florestal em decorrência do avanço da fronteira agrícola na Amazônia Legal, na qual os recursos naturais são direcionados para a produção de *commodities* agrícolas para o mercado externo, o que significa pouca dinâmica regional-local (Oliveira, 2019).

**Tabela 1** - Tabela de uso e ocupação da terra para os anos de 1990 e 2020 nas sub-bacias Bacuri, Cacau e Capivara, em Imperatriz-MA

	Unidade de Paisagem	1990		2020		Diferença (1990 – 2020)
		Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)	Percentual (%)
Sub-bacia do Riacho Bacuri	Formação Florestal	1,33	7,2	0,5	2,6	- 4,6%
	Formação Savânica	0,3	1,5	0,2	0,9	- 0,6%
	<i>Índice Shannon</i>	0,9		0,6		-
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	6,0	32,6	2,2	12,0	-20,6%
	Área não vegetada (solo exposto)	0,03	0,2	0,02	1,3	1,1%
	Área Urbanizada	10,8	58,4	15,3	83,1	24,7%
Sub-bacia do Riacho Cacau	Formação Florestal	667,8	71,6	380,3	40,3	-31,3%
	Formação Savânica	22,3	2,3	25,2	2,7	0,4%
	<i>Índice Shannon</i>	1,2		0,6		-
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	223,9	23,6	498,9	52,8	29,2%
	Área não vegetada (solo exposto)	4,4	0,5	6,0	0,6	0,1%
	Área Urbanizada	17,8	1,9	32,9	3,5	1,6%
Sub-bacia do Riacho Capivara	Formação Florestal	3,7	12,9	2,0	7,0	5,9
	Formação Savânica	0,4	1,5	0,5	1,8	0,3%
	<i>Índice Shannon</i>	1,0		0,8		-
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	6,5	22,4	4,7	16,2	-6,2%
	Área não vegetada (solo exposto)	0,1	0,4	0,3	1,2	0,8%
	Área Urbanizada	18,2	62,8	21,3	73,6	10,8%

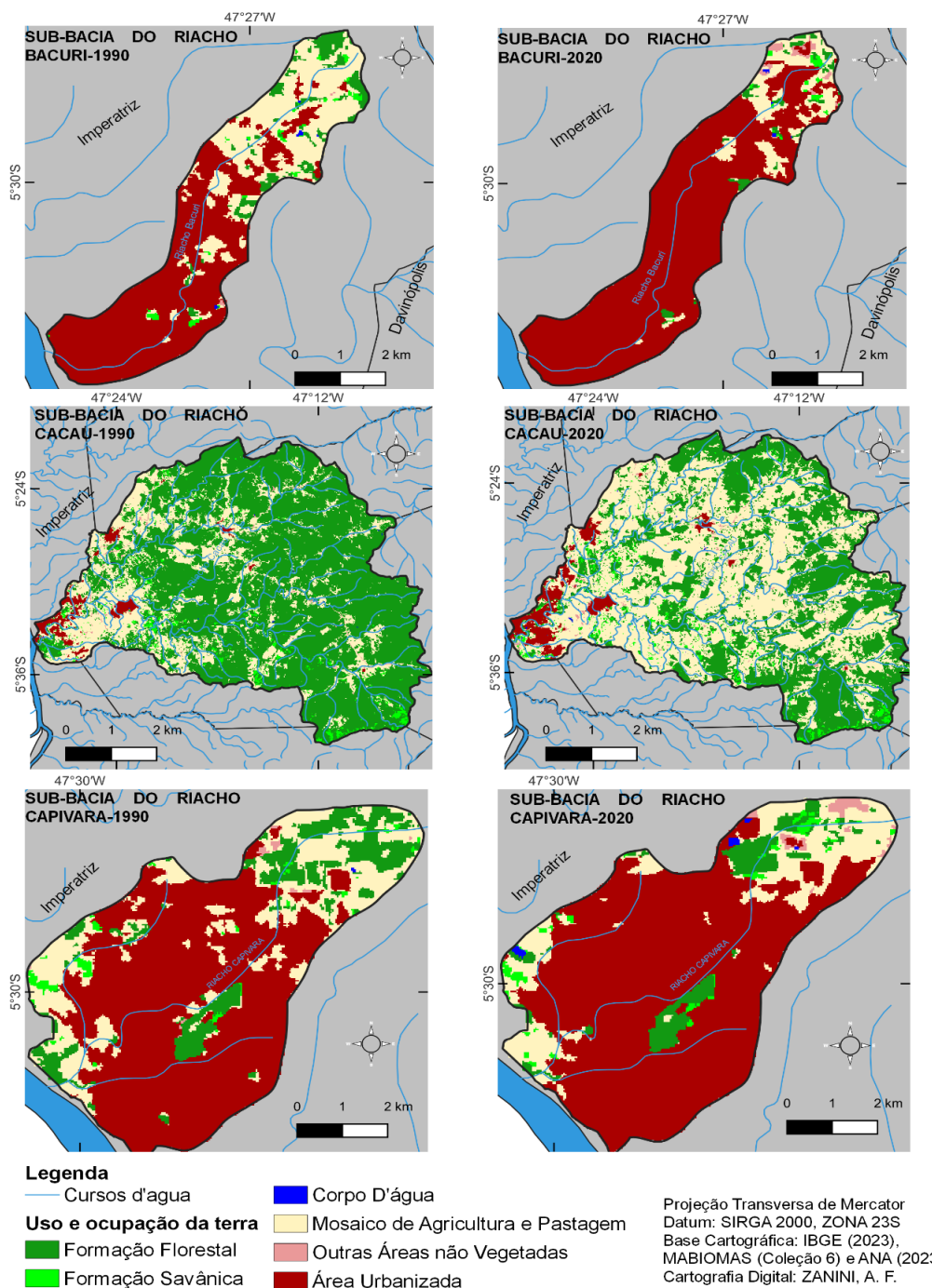
Fonte: Autores (2024).

A formação savânica foi encontrada em pequeno percentual nas sub-bacias pertencentes à área de transição com o domínio dos cerrados (Tabela 1). A área é caracterizada pelas suas duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca. No período amostral do estudo, a sub-bacia do Cacau apresentou 2,3% (22,3 km<sup>2</sup>) dessa vegetação, enquanto as bacias do Bacuri e Capivara apresentaram 1,5% em 1990. Na sub-bacia do Cacau, a vegetação de cerrado encontra-se a 300m de altitude e está localizada nas proximidades das nascentes (Silva; Santos, 2015). O cerrado é um dos principais biomas do Maranhão, sendo um ambiente de grande biodiversidade, favorável à expansão da fronteira agrícola na região. Contudo, nesses locais pode ser encontrada a vegetação secundária (vegetação que substitui a vegetação primária).

Já o mosaico de agricultura e pastagem é caracterizado por pastagem antrópica e/ou natural, somado às áreas de vegetação secundária de baixo porte e árvores esparsas.

Nas sub-bacias analisadas, a maior redução dessas áreas ocorreu na sub-bacia do Bacuri, que em 1990 apresentou 32,6% (6 km<sup>2</sup>) de sua área; e, em 2020, demonstrou cerca de 12% (2,2 km<sup>2</sup>), configurando a urbanização intensa (Figura 2). No entanto, na sub-bacia do Cacaú é visível o avanço dos mosaicos de agricultura e pastagem: em 1990, foi de 23,6% (223,9 km<sup>2</sup>), e, em 2020, representou 52,8% (498,9 km<sup>2</sup>), isto é, um aumento de 29,2% da pastagem de caráter extensivo em trinta anos (Figura 2).

**Figura 2-** Mapas de uso e cobertura da terra, nos anos de 1990 e 2020, nas sub-bacias hidrográficas dos Riachos Bacuri, Cacaú e Capivara, no Maranhão.



Fonte: IBGE, 2023; MAPBIOMAS; ANA, 2023.

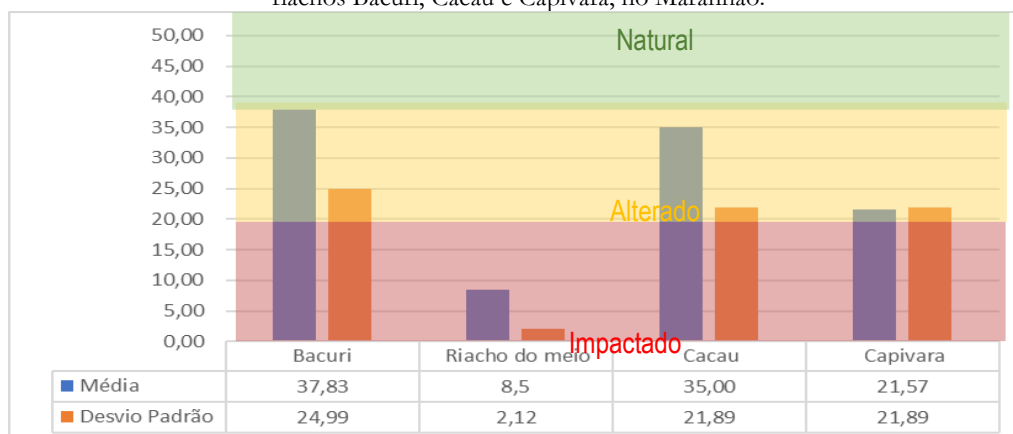
Conforme o Censo Agropecuário de 2017, o número de cabeças de gado nos municípios analisados na sub-bacia do Riacho Cacaú foi de 267.234, a saber: Buritirana (54.176 cabeças), Davinópolis (13.407 cabeças), Imperatriz (67.583 cabeças), João Lisboa (82.702 cabeças) e Senador La Rocque (49.366 cabeças).

Vale destacar que a pecuária causa o aumento do desmatamento e dos conflitos socioespaciais no município de Imperatriz e região. Nesse sentido, as áreas não vegetadas ou de solo exposto, nesta pesquisa, representaram menor percentual do uso da terra, com aumento, no período amostral, de 1,1%, 0,8% e 0,1% nas sub-bacias do Bacuri, Capivara e Cacaú, nessa ordem (Tabela 1). Essas áreas das sub-bacias foram desmatadas para as práticas da pecuária e depois apresentaram-se como potenciais áreas de loteamento e de expansão das manchas urbanas. As sub-bacias que fazem limite com o município de Imperatriz se encontram em localidades com forte processo de urbanização e intenso nível de impermeabilização.

As áreas urbanizadas nas sub-bacias foram mais expressivas ainda em 1990 na sub-bacia do Capivara, com 62,8% (18,2 km<sup>2</sup>) da área dessa sub-bacia; e, em 2020, com 73,6% (21,3 km<sup>2</sup>) (Figura 2). Esse mesmo cenário foi encontrado na sub-bacia do Bacuri, que em 1990 comportava apenas 58,4% (10,8 km<sup>2</sup>) de área urbanizada, e em 2020 passou a comportar 83,1% (15,3 km<sup>2</sup>). Já a sub-bacia do Cacaú presenciou o menor crescimento dessa unidade de paisagem: de 1,9% (17,8 km<sup>2</sup>) em 1990 para 3,5% (32,9 km<sup>2</sup>) em 2020. Para Schueler, Fraley-Mcneal e Capiella (2009), as bacias hidrográficas com urbanização acima de 10% são consideradas impactadas. Nessa lógica, apenas a sub-bacia do Cacaú não seria considerada impactada.

A análise da condição ambiental das sub-bacias se deu com a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) ao longo das sub-bacias Bacuri, Cacaú e Capivara (Figura 3). Essa análise empírica realizada pelo PAR revelou aspectos importantes, em específico no gerenciamento dos recursos hídricos no município de Imperatriz. Com a aplicação do PAR foi possível avaliar e identificar fragilidades nesses locais, ressaltando aspectos naturais e influência antrópica por meio do uso e da ocupação do solo.

**Figura 3** - Médias e desvio-padrão do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) aplicado nas sub-bacias dos riachos Bacuri, Cacau e Capivara, no Maranhão.



Fonte: Autores (2023).

As sub-bacias Bacuri e Cacau obtiveram média de 37,8 e 35,0, respectivamente. Esse é o resultado de um ambiente alterado pelas condições antropogênicas ocorridas ao longo dessas sub-bacias hidrográficas. O ponto B1 do Riacho Bacuri mostrou maior preservação da vegetação ripária e ausência de erosão próxima à margem do riacho, assim como ausência de alterações antrópicas no local, provavelmente por estar localizado numa área pouco urbanizada, onde a mata ciliar ainda é bastante preservada (Figura 4B). Nos demais pontos desse riacho, o PAR indicou um ambiente alterado, como ausência de vegetação nativa, residências, prédios comerciais e despejo de esgoto doméstico, presença de resíduos sólidos. Além de forte odor e alta turbidez da água. Essas características são ocasionadas por alta concentração de partículas não dissolvidas na água, impedindo a penetração de luz e, conseqüentemente, prejudicando o crescimento de organismos vivos.

O PAR foi aplicado nas estações seca e chuvosa em três pontos de coleta ao longo de cada sub-bacia hidrográfica. A sub-bacia do Bacuri apresentou maior impacto, com a média de  $8,5 \pm 2,1$  PAR, categorizando sua condição como impactada. A ocupação da área próxima ao trecho analisado se dá por pequena faixa vegetação nas margens, caracterizando menos de 50% da mata ciliar nativa, seguida por construções de casas, lava-jatos e prédios residenciais ao longo do riacho. Contudo, há intenso lançamento de esgoto doméstico, resíduos de produtos químicos utilizados na lavagem de carros e disposição inadequada de resíduos sólidos, bem como outras prováveis alterações. A água apresentava odor específico de esgoto *in natura*, associado ao lançamento de dejetos, coloração opaca e erosões acentuadas durante todo o percurso, mostrando intensa ação antrópica no Riacho do Meio, afluente do Bacuri (Figura 4A). No período seco, o odor se intensificou, e a coloração se tornou mais acinzentada devido ao pouco fluxo de água corrente.

**Figura 4** – Área de estudo nas sub-bacias dos riachos Bacuri e Capivara, no município de Imperatriz-MA. A - Ponto com pior avaliação conforme o PAR, Riacho do Meio, afluente do Riacho Bacuri, Imperatriz-MA B - Ponto com melhor avaliação conforme o PAR, a montante do Riacho Bacuri, Imperatriz-MA C - Ponto, a montante do Riacho Capivara, Imperatriz-MA. Coloração da água preta.



Fonte: Autores (2023).

Já a sub-bacia do Riacho Capivara apresentou área impactada, com média de PAR 21,3. Sua área de maior eutrofização se encontra localizada na região da foz, onde recebe todos os resíduos gerado a montante, intensificando a contaminação do riacho e, isto posto, a contaminação do rio Tocantins. Para os pontos analisados, CP1 e CP2, houve baixo percentual de vegetação nativa. Além disso, essa área se encontra preservada apenas na foz, e a sinuosidade do riacho foi modificada, demonstrando canalização do corpo hídrico. Com a intensa urbanização, a água possui coloração escura e forte odor, caracterizado por acentuado despejo de efluentes domésticos sem tratamento devido à falta de saneamento básico. O despejo de dejetos e acúmulo de resíduos sólidos está diretamente relacionado à alteração de pH na água, acúmulo de poluentes, substâncias que contribuem para a eutrofização. Sabe-se que os metais são naturalmente incorporados aos sistemas aquáticos por meio de processos geoquímicos.

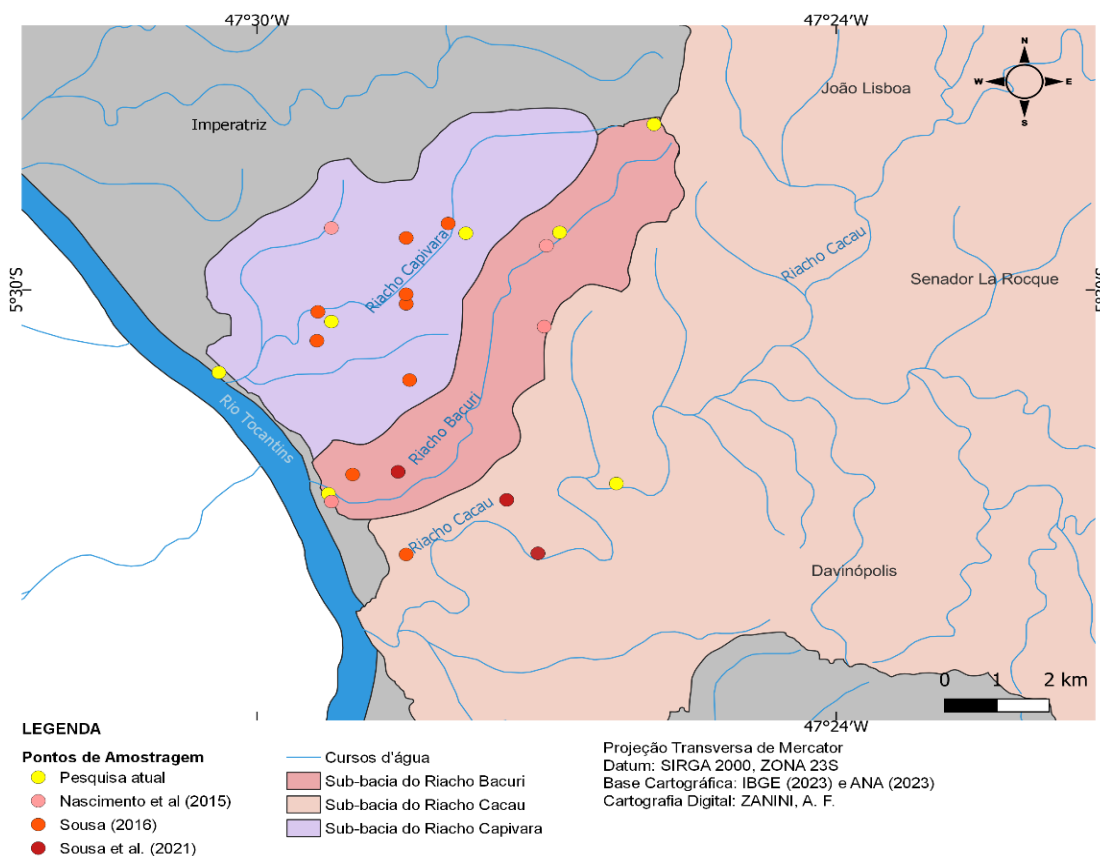
No entanto, nas últimas décadas, têm sido verificadas inúmeras alterações ambientais provenientes, sobretudo, dos processos de urbanização e industrialização (Moraes; Jordão, 2002). Diante desse cenário, Pasqualotto e Sena (2018) afirmaram que os impactos ambientais causados pela atividade antrópica, tais como desmatamento, mudança do curso natural dos rios, descarte e disposição inadequada dos resíduos sólidos, ocupação desordenada do território, lançamento de esgoto sem tratamento e extinção de ecossistemas aquáticos e terrestres são os principais causadores dos problemas existentes nas calhas dos rios que margeiam os centros urbanos. Essas intervenções antrópicas

ocasionaram um desequilíbrio bioecológico dessas áreas, visto os impactos socioambientais por elas produzidos com suas atividades (Durães; Mello, 2016).

### O passado e o presente da qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas

Foi realizado levantamento de dados pretéritos de pesquisas realizadas nas sub-bacias dos riachos Bacuri, Cacaú e Capivara, no município de Imperatriz-MA. Na Figura 5, estão representados os pontos das pesquisas realizadas nos anos de 2015, 2016 e 2021, além da pesquisa atual, no ano de 2023. Dito isso, observa-se maior concentração de coleta de dados nas sub-bacias dos riachos Bacuri e Capivara, dado que o território dessas sub-bacias se encontra no perímetro urbano de Imperatriz-MA. Um dos fatores a ser analisado, visto que houve poucas pesquisas publicadas na sub-bacia do Riacho Cacaú, seria a sua grande extensão territorial, de 917 km<sup>2</sup>. Os pontos de amostragem estão concentrados no perímetro urbano da cidade de Imperatriz e próximos ao rio Tocantins. Além disso, o transporte até o local e a área das coletas são mais acessíveis quando realizadas dentro da cidade, facilitando a realização da pesquisa.

**Figura 5** - Pontos de coleta nas sub-bacias Bacuri, Cacaú e Capivara, entre os anos de 2015 e 2021, no Maranhão.



Fonte: IBGE (2023); ANA (2023).

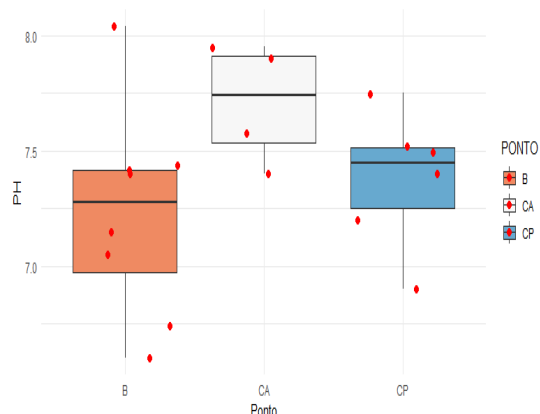
Na pesquisa de Nascimento *et al.* (2015), foi realizado um levantamento da concentração de metais (Cu, Pb, Cr e Fe) nos riachos Bacuri e Capivara. Para os autores, as variações dos parâmetros físico-químicos indicam alteração na qualidade da água, alterações que são ocasionadas por ações antrópicas, tais como: despejo de resíduos domésticos líquidos, deflúvio superficial urbano, assoreamento, disposição inadequada de resíduos sólidos e erosão do solo. Nesta pesquisa foram detectadas ainda elevadas concentrações de todos os metais estudados, indicando poluição nos riachos Bacuri e Capivara, colocando em risco a saúde da população.

A pesquisa de Sousa (2016) realizou uma análise dos impactos do processo de urbanização na deterioração da qualidade da água e do ambiente na sub-bacia do Riacho Capivara. O estudo apontou que houve, ao longo dos anos, um intenso processo de ocupação das margens do riacho, além de ações antrópicas que têm causado grande impacto. De acordo com Sousa (2016), a principal causa desse impacto advém do excessivo lançamento de efluentes que são lançados nas águas do riacho, prejudicando a capacidade de autodepuração desse curso d'água.

Já a pesquisa de 2021 foi realizada no Riacho Cacaú, onde foi avaliada a qualidade da água, trazendo variáveis físico-químicas ao longo do percurso amostrado. Segundo Sousa *et al.* (2021), a pesquisa indicou alterações na qualidade da água em decorrência de ações antrópicas, como: despejo de resíduos domésticos, assoreamento e erosão do solo, causados pelo crescimento imobiliário ao longo dos anos, provocando processo de eutrofização em vários pontos do Riacho Cacaú.

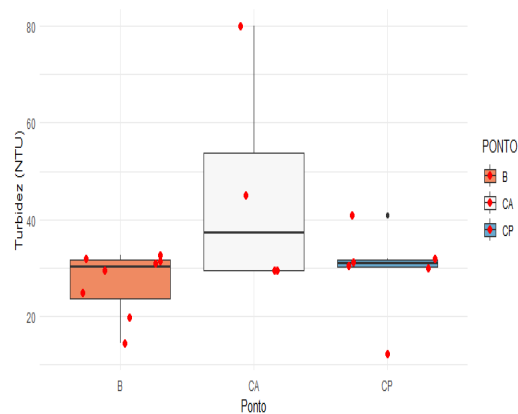
Dito isso, os valores obtidos para o pH, nesta pesquisa, tiveram variância de 6,6 a 8,0 em nove pontos das três sub-bacias, encontram-se dentro da faixa considerada para a manutenção da vida aquática de acordo com o CONAMA 357/05 (Figura 6). Essa lei estabelece valores variados entre 6 e 9, portanto, os valores dos riachos Bacuri, Cacaú e Capivara permanecem dentro dos valores estabelecidos pela resolução do CONAMA. Sobre o pH, é um parâmetro importante na avaliação de um corpo hídrico, pois está diretamente relacionado à disponibilidade de nutrientes para a vegetação aquática, influenciando várias reações, definindo mecanismos de sorção e alterando o equilíbrio químico (Jordão *et al.*, 1999).

**Figura 6** – Concentração de pH nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacau (CA) e Capivara (CP), no Maranhão.



Fonte: Autores (2023).

**Figura 7** – Concentração de turbidez (NTU) nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacau (CA) e Capivara (CP), no Maranhão.



Fonte: Autores (2023).

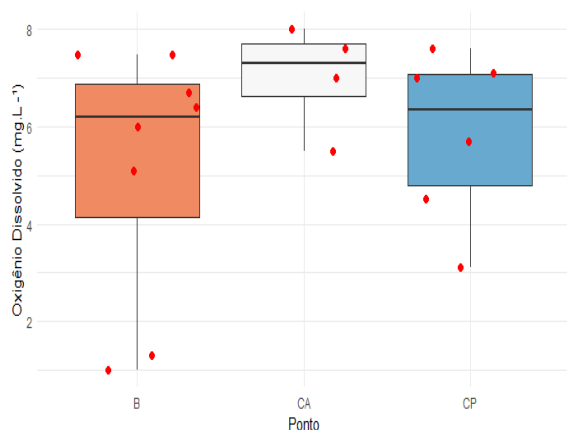
Já os valores de turbidez da água observados nos três riachos estavam dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA, abaixo do nível permitido de 100 UNT (Figura 7). Segundo Heller e Pádua (2006) *apud* Petry *et al.* (2014), a turbidez é definida como uma medida de transparência da água. Essa transparência é determinada pela quantidade de partículas em suspensão (silte, argila, sílica, coloides), que podem ser tanto matéria orgânica como inorgânica. Em relação à coloração da água, o Ministério da Saúde prevê valores inferiores a 15 UNT. Os valores superiores ao permitido significam que a água está com coloração escura e, portanto, é imprópria para consumo humano (Viana *et al.*, 2009).

Os valores para o oxigênio dissolvido (OD), em alguns pontos amostrais da pesquisa, estão bem abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA (5 mg. L<sup>-1</sup>). O ponto CP1 do Riacho Capivara, com valores de 3,1 e 4,5 mg. L<sup>-1</sup> em período seco e chuvoso (Figura 8). O oxigênio dissolvido pode ser considerado o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos, além de ser importante para os organismos anaeróbicos (que sobrevivem na ausência de oxigênio (Silva *et al.*, 2014). Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias utilizam oxigênio em seus processos respiratórios, podendo reduzir sua concentração nos esgotos tratados ou em cursos d'água. A ausência de fauna aquática, por exemplo, nos pontos citados, pode se dar pela baixa concentração de OD na água. A maioria das espécies de peixes não resiste a concentrações de oxigênio dissolvido na água inferiores a 4,0 mg.L<sup>-1</sup> (Silva *et al.*, 2014).

A temperatura média das amostras ficou em 28,3° C, considerada adequada de acordo com o CONAMA (2005), que estabelece que a temperatura no ambiente aquático seja inferior a 40°C. A menor temperatura foi 25,3 °C, no ponto BA1 do Riacho Bacuri; e a maior, 30,1° C no ponto BA2 desse curso d'água (Figura 9). Além disso, “a temperatura

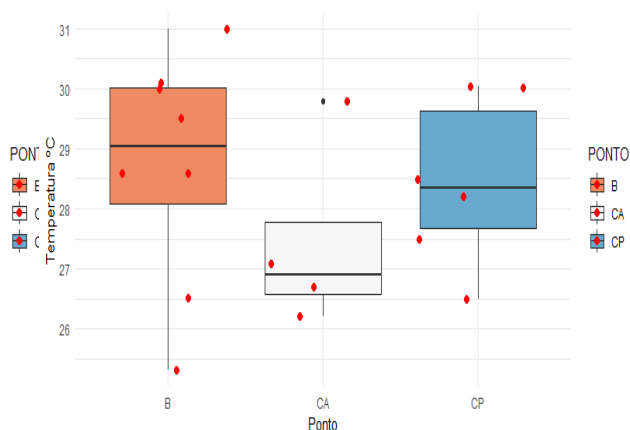
afeta algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, concentração de gases dissolvidos) e tem efeito direto sobre a taxa ou cinética das reações químicas nas estruturas proteicas e funções enzimáticas dos organismos” (Araújo; Santos; Oliveira, 2013).

**Figura 8** - Concentração de oxigênio dissolvido (OD), em  $\text{mg.L}^{-1}$ , nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacau (CA) e Capivara (CP), no Maranhão



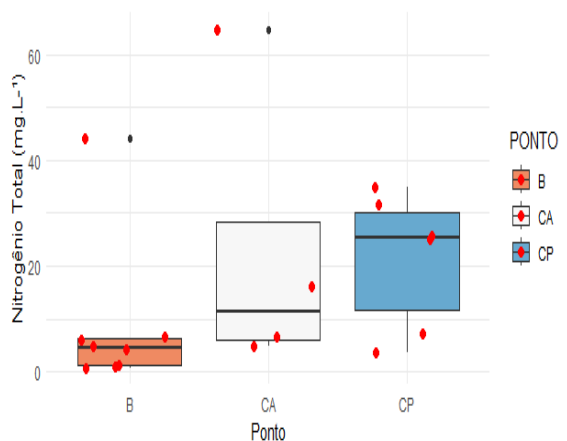
Fonte: Autores (2023).

**Figura 9** - Temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacau (CA) e Capivara (CP), no Maranhão



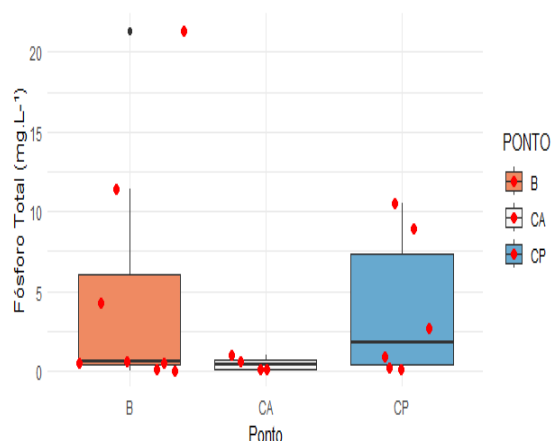
Fonte: Autores (2023).

**Figura 10** - Concentração de nitrogênio total (NT), em  $\text{mg.L}^{-1}$ , nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacau (CA) e Capivara (CP), no Maranhão



Fonte: Autores (2023).

**Figura 11** - Concentração de fósforo total (PT), em  $\text{mg.L}^{-1}$ , nas sub-bacias hidrográficas analisadas: Bacuri (B), Cacau (CA) e Capivara (CP), no Maranhão

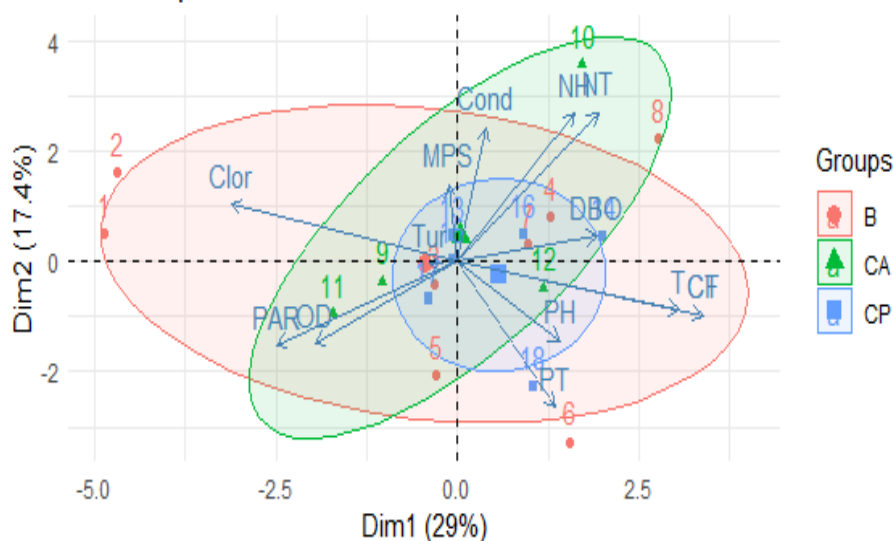


Nas análises desta pesquisa, concentrações de nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) (Figura 10 e 11) destacaram-se com valor elevado de fósforo nas fozes dos riachos Bacuri e Capivara. Enquanto isso, os valores elevados de nitrogênio foram encontrados em pontos onde havia residências nas margens dos riachos, resultando em lançamento direto do esgoto doméstico. A presença de grande quantidade de nutrientes como nitrogênio e

fósforo nos efluentes leva ao desenvolvimento em excesso de algas. Em consequência disso, tem-se a eutrofização de rios, riachos, lagos e lagoas (Braga *et al.*, 2005).

O teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) apresentou  $D=0,09$  e  $p$ -valor de 0,4 para a normalidade dos dados. A apresentação dos resultados da aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), neste estudo, expõe uma análise conjunta das três sub-bacias, com o objetivo de visualizar o arranjo dos parâmetros que influenciam a variação da qualidade da água de maneira global. A variância explicada foi de 29% para os dados de qualidade da água no eixo 1 e de 17,4% no eixo 2 (Figura 12).

**Figura 12** – Análise de Componentes Principais (ACP) com as variáveis que descrevem a qualidade da água nas sub-bacias analisadas



Fonte: Autora (2023).

De acordo com os resultados, o agrupamento das variáveis mais representativas e das sub-bacias, nas ACPs, demonstrou que a sub-bacia do Riacho Bacuri (vermelho) incluiu o maior número de variáveis, indicando a péssima condição ambiental retratada também no uso e na ocupação do solo, como indicado anteriormente. Desse modo, pode-se concluir que esses parâmetros são influenciados pelo processo de lançamento de resíduos líquidos domésticos, industriais e pluviais que arrastam resíduos sólidos para esses corpos hídricos. A associação desses parâmetros indica que as águas que cortam o perímetro urbano de Imperatriz estão contaminadas pelo despejo de efluentes domésticos *in natura* devido à falta de saneamento básico no município.

A sub-bacia do Capivara foi a que englobou um menor número de variáveis: apenas pH, DBO<sub>5</sub> e turbidez. Já as melhores condições foram retratadas na sub-bacia do Cacaú com o melhor PAR, sendo a área com menor ação antrópica, pois é onde se encontra a menor concentração de poluentes. Vale destacar que os pontos da sub-bacia estão

localizados à maior distância da área urbana e que ainda existe preservação da mata ciliar neste riacho a montante de Imperatriz. Apesar de ser localizado nessas áreas, ainda se verifica presença de nitrogênio total (NT), que pode estar associada a águas residuais domésticas ou agrícolas.

## Considerações finais

A realização de pesquisas e coletas de água dos riachos teve como objetivo analisar os impactos que esses riachos sofrem todos os anos. Esses impactos são ocasionados pelos problemas cotidianos da cidade, como excesso de resíduos sólidos nas encostas dos riachos, falta de saneamento básico, construções de moradia à margem dos riachos, córregos e canais que despejam dejetos diariamente. Em suma, resultam na eutrofização das sub-bacias analisadas e, conseqüentemente, impactam o rio Tocantins. Neste estudo, o Riacho Bacuri demonstrou o maior impacto, tanto na parte de qualidade ambiental quanto no resultado da qualidade da água.

Em linhas gerais, para todas as três sub-bacias e um afluente pesquisados, a análise do PAR mostra que todas as quatro sub-bacias estão em condições precárias de sua qualidade ambiental. As áreas que tiveram maior impacto foram os riachos do Meio e Capivara, que obtiveram uma média de 8,5 e 21,57.

## Agradecimentos

À FAPEMA pela bolsa de Iniciação Científica e ao apoio do Laboratório de Limnologia da UEMASUL com as análises de qualidade da água.

## Referências

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L. [et al.]. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BUCCHERI FILHO, A. T.; TONETTI, E. L. Qualidade ambiental nas paisagens urbanas. **Revista Geografar**, v. 6, n. 1, p. 23-54, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v6i1.21802>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 677-685, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1413-41522016121182>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

ESTÊVEZ, L. F.; NUCCI, J. C. A questão ecológica urbana e a qualidade ambiental urbana. **Revista Geografar**, v. 10, n. 1, p. 26-49, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v10i1.37677>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Rev. Ambient. Água**, v. 10, n. 4 p. 782-792, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1468>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002, 97 p.

GAROFOLO, L.; RODRIGUEZ, D. A. Impacto observado das mudanças no uso e cobertura da terra na hidrologia de bacias com ênfase em regiões tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, p. 1 -15, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.4336/2022.pfb.42e201902069>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

JORDÃO, C. P.; SILVA, A. C. da; PEREIRA, J. L.; BRUNE, W. Contaminação por cromo de águas superficiais proveniente de curtumes em Minas Gerais. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 47-52, 1999.

JUNG, M. LecoS — A python plugin for automated landscape ecology analysis. **Ecological Informatics**, v. 31, p. 18–21, 2016.

KAUFMANN, V.; PINHEIRO, A. Relações entre diversidade íctia e fatores hidrodinâmicos de um riacho na bacia do rio Uruguai. **Biota Neotrop.**, v. 9, n. 1, p. 47 – 53, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000100006>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985. 244 p.

MAPBIOMAS. Plataforma – uso e cobertura do solo. **Collection adquiridos**. Disponível em: <[https://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas\\_collectionadquiridos](https://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collectionadquiridos)>. Acesso em: 27 ago. 2023.

MCGRANE, S. J. Impacts of urbanization on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 13, p. 2295–2311, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

MORAES, D. S. de L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Rev. Saúde Pública**, v. 36, n.3, p. 370 – 374, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-89102002000300018>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

NASCIMENTO, B. L. M.; GOMES, D. R. C. de S.; COSTA, G. P.; ARAÚJO, S. S.; SANTOS, L. C. A. dos; OLIVEIRA, J. D. de. Comportamento e avaliação de metais potencialmente tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb (II) e Fe (III)) em águas superficiais dos

Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz-MA, Brasil. **Eng Sanit Ambient.**, v.20, n.3, p. 369-378, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000113620>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

OLIVEIRA, A. B. Indústria de celulose e o avanço da silvicultura do eucalipto na fronteira agrícola da Amazônia maranhense. **Geosul**, ed. esp. Dossiê Agronegócios no Brasil, v. 34, n. 71, p. 301-327, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n71p301>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

PASQUALOTTO, N.; SENA, M. M. Impactos ambientais urbanos no Brasil e os caminhos para cidades sustentáveis. **Rev. Educação Ambiental em Ação**, v. 21, n. 61, p. 1, 2018.

RODRIGUES, M. T.; POLLO, R. A.; RODRIGUES, B. T.; *et al.* Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao uso da terra para avaliação entre classificadores a partir do índice Kappa. **Revista Científica de Eng. Florestal**, v. 23, n. 1, p. 60-70, 2014.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Ed. UFU, 2007. 248 p.

SANTOS, R. L.; NUNES, F. G. Mapeamento da expansão urbana e dos vetores de crescimento no município de Imperatriz-MA. **Espaço & Geografia**, v. 23, n. 1, p. 209 – 234, 2020.

SANTOS, R. dos S.; RODRIGUES, M. L. G.; SANTOS, L. C. A. dos. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Riacho Capivara na Cidade de Imperatriz-Maranhão. **Revista FSA**, v. 16, n. 6, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.12819/2019.16.6.9>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

SCHUELER, T. R.; FRALEY-MCNEAL, L.; CAPPIELLA, K. Is impervious cover still important? Review of recent research. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 14, n. 4, p. 309-315, 2009. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2009\)14:4\(309\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2009)14:4(309))>. Acesso em: 20 jan. 2024.

SILVA, A. R. da; FONSECA, A. L. D' O.; RODRIGUES, C. J.; BELTRAME, Â. da V. Aplicação de indicadores ecológicos em bacia costeira sob elevada pressão da atividade de veraneio. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 3, p. 537-548, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2318-0331.011615106>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

SILVA, A. R. da; SANTOS, L. C. A. dos. Análise antropogênica da bacia hidrográfica do rio Cacaú-MA. **Revista GeoUECE**, v. 4, n. 6, p. 140-150, 2015.

SILVA, V. F.; FERREIRA, A. C.; SILVA, V. F.; BARACUHY, J. G. V. Análise de corpos hídricos constituintes do Riacho das Piabas em Campina Grande/PB. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, v.13, n.4, p.3460-3466, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/2236130813541>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

SOUSA, M. J. A. de; GONÇALVES, M. F.; OLIVEIRA, J. D. de; LOPES, C. K. Índice da qualidade de água da sub-bacia do Riacho Cacaú, portal da Amazônia Imperatriz-MA. **Research, Society and Development**. v 10, n. 2 p. 1-18, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12631>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

SOUSA, R. [et al.]. **Efeitos da expansão urbana na microbacia do riacho Capivara, Imperatriz-Maranhão**. Goiânia, 2016. Disponível em:

<<https://www.semanticscholar.org/paper/EFEITOS-DA-EXPANS%C3%83O-URBANA-NA-MICROBACIA-DO-RIACHO->

Sousa/edd3d0ce9109b119235aa2075b37c07189bf12f7>. Acesso em: 04 set. 2023.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A Practical Hand Book of Seawater Analysis**. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 157, 2nd Edition, 1972, 310 p.

UNCCD. United Nation Convention to Combat Desertification. **Global Land Outlook**, 2022. Disponível em: <<https://www.unccd.int/resources/global-land-outlook/glo2-summary-decision-makers>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

VIANA, E. P. T.; GALDINO, P. O.; FERREIRA, R. C.; DANTAS, R. C.; ARAUJO, K. D. Poluição do Riacho Agon em Catolé do Rocha - PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, p. 77-77, 2009.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e geografia. **Geografia**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

WICKHAM, H. **Tidyverse**: Easily Install and Load the ‘Tidyverse’. R package version 1.2.1. 2019. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/tidyverse/index.html>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

---

#### Como citar:

##### ABNT

SILVA, A. R. [et al.]. Análise espaço-temporal do uso e da cobertura da terra e qualidade ambiental nas sub-bacias hidrográficas do Rio Tocantins no município de Imperatriz-MA. **Interespaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 12, n. 01, e23119, 2026. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e23119>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

##### APA

Silva, A. R. [et al.]. Análise espaço-temporal do uso e da cobertura da terra e qualidade ambiental nas sub-bacias hidrográficas do Rio Tocantins no município de Imperatriz-MA. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 12, n. 01, e23119, 2026. Recuperado em 28 junho, 2026, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e23119>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.  
Copyright © 2026, Universidade Federal do Maranhão.

