

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UnB DE PLANALTINA**

**Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de  
Recursos Hídricos**

**RODRIGO MARQUES DA ROCHA**

**QUALIDADE DA ÁGUA E CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO NO SOLO, AR  
E NA ÁGUA DA REGIÃO DA APA DA SERRA GERAL DE GOIÁS**

Brasília – DF  
Março de 2026

**RODRIGO MARQUES DA ROCHA**

**QUALIDADE DA ÁGUA E CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO NO SOLO, AR  
E NA ÁGUA DA REGIÃO DA APA DA SERRA GERAL DE GOIÁS**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de Concentração Regulação e Governança de recursos hídricos. Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e usos múltiplos da água.

**Orientador:** Dr. José Vicente Elias Bernardi

**Coorientador:** Dr. Carlos José Sousa Passos

Brasília – DF  
Março de 2026

## FICHA CATALOGRÁFICA

**RODRIGO MARQUES DA ROCHA**

**QUALIDADE DA ÁGUA E CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO NO SOLO, AR  
E NA ÁGUA DA REGIÃO DA APA DA SERRA GERAL DE GOIÁS**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. **Área de Concentração:** Regulação e Governança de recursos hídricos. **Linha de Pesquisa:** Segurança Hídrica e usos múltiplos da água.

Aprovado por:

Dr. José Vicente Elias Bernardi – Presidente – Universidade de Brasília – UnB

Dra. Daphne Heloísa De Freitas Muniz – Membro interno - Universidade de Brasília – UnB

Dr. Ronaldo de Almeida – Membro externo – Universidade Federal de Rondônia – UNIR

Brasília – DF  
Março de 2026

Aos meus pais, Maria e Sebastião; aos meus irmãos, Amanda e Ricardo; aos meus filhos, Rodrigo Filho e Ysmaell; e à minha companheira, Karla Eduarda, que sempre me incentivaram e apoiaram nesta caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP N°. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof.Água pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de vida e sabedoria, e aos Orixás, pela proteção e equilíbrio ao longo desta caminhada.

À minha família, meu alicerce: à minha companheira, Karla Eduarda, pelo amor e apoio incondicional, aos meus filhos, Rodrigo Filho e Ysmaell Marques, minha maior motivação. Cada conquista é dedicada a vocês.

Ao meu orientador, Dr. José Vicente Elias Bernardi, pelos ensinamentos, contribuições e confiança no desenvolvimento desta pesquisa. Ao meu coorientador, Carlos José Souza Passos, pelo apoio e sugestões pertinentes.

De modo muito especial, ao Dr. Lucas Cabrera Monteiro e à Dra. Iara Oliveira Fernandes, minha profunda gratidão pelo apoio, amizade.

Aos colegas de trabalho no Sindágua-DF, pelo incentivo e compreensão.

Às colegas Aline, Daphne, Samilla e Paulinha, e aos colegas Luís, Thiago e Wesley, pela parceria e suporte nas atividades de campo.

Ao PROEXT-PG/CAPES – Código: PJ003-2025, Título: “Avaliação de Contaminantes das Águas por Agroquímicos e Metais, e sua Relação com a Proteção de Unidades de Conservação de Diferentes Categorias de Manejo”, pelo apoio financeiro e custeio das análises laboratoriais.

À Faculdade UnB de Planaltina e ao Laboratório de Química Analítica da Água da Embrapa Cerrados, pela formação e suporte técnico.

Ao Estevão Carvalho e Albino Batista, do NGL ICMBio Mata Grande – Terra Ronca - Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca.

Aos moradores do povoado São João Evangelista (Terra Ronca), em especial ao Sr. Joaquim Marques (guia e mateiro local), Rodrigo Vieira, Diomar, Sr. Gustavo e Dona Domingas (Pousada Ebenezer), pela acolhida e colaboração.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	9
GENERAL ABSTRACT .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS .....	13
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	15
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. Objetivo Geral.....	19
2.2. Objetivos Específicos .....	19
3. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	20
3.1. O mercúrio no ambiente .....	20
3.2. Qualidade da água .....	27
3.3. Importância hidrológica do Cerrado brasileiro.....	29
3.4. Parque Estadual de Terra Ronca.....	31
3.5. Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca .....	33
REFERÊNCIAS .....	35
CAPÍTULO 1 .....	49
CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO NO SOLO, AR E AMBIENTE AQUÁTICO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO CERRADO GOIANO .....	49
1. INTRODUÇÃO .....	51
2. METODOLOGIA .....	53
2.1. Área de estudo .....	53
2.2. Coleta e processamento das amostras.....	56
2.3. Amostragem de solo.....	59
2.4. Amostragem de sedimento superficial .....	59
2.5. Amostragem de Perifíton .....	60
2.6. Determinação de HgT em solo, sedimento superficial e perifíton .....	61
2.7. Amostragem e determinação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos na água .....	62
2.8. Amostragem e determinação de HgT na água.....	64
2.9. Amostragem e determinação de HgT no ar .....	64
2.10. Análise estatística dos dados .....	66
3. RESULTADOS.....	67

3.1. Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR).....	68
3.1.1. Parâmetros de qualidade da água .....	68
3.1.2. Concentrações de HgT nos compartimentos bióticos e abióticos ...	70
3.2. Reserva Extrativista das Araras de Terra Ronca (RESEX).....	73
3.2.1. Parâmetros de qualidade da água .....	73
3.2.2. Concentrações de HgT nos compartimentos bióticos e abióticos ...	75
3.3. Influência dos parâmetros de qualidade da água nas concentrações de Hg .....	76
4. DISCUSSÃO.....	89
5. LIMITAÇÕES E DESAFIOS DA PESQUISA.....	92
6. CONCLUSÃO .....	93
REFERÊNCIAS .....	95
CAPÍTULO 2.....	105
QUALIDADE DA ÁGUA DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA REGIÃO DA APA DA SERRA GERAL DE GOIÁS .....	105
1. INTRODUÇÃO.....	107
2. METODOLOGIA .....	112
2.1. Área de estudo .....	112
2.2. Coleta e processamento das amostras.....	115
2.3. Amostragem e determinação de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos na água.....	116
3. RESULTADOS.....	118
3.1. Variação sazonal dos parâmetros físico-químicos .....	118
3.2. Íons e Nutrientes .....	122
3.3. Indicadores microbiológicos e condições de balneabilidade .....	123
3.4. Produto final .....	125
3.4.1. Dashboard interativo Power BI (Business Intelligence) .....	125
4. DISCUSSÃO.....	134
5. LIMITAÇÕES E DESAFIOS DA PESQUISA.....	137
6. CONCLUSÃO .....	138
REFERÊNCIAS .....	140
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	146
APÊNDICE .....	147

## RESUMO GERAL

A presente pesquisa avaliou, de forma integrada, a dinâmica do mercúrio (Hg) e a qualidade da água em duas Unidades de Conservação na região da Serra Geral de Goiás, no nordeste goiano: o Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e a Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX). O estudo foi estruturado em dois capítulos complementares. O primeiro investigou as concentrações de Hg total (HgT) em diferentes compartimentos ambientais como solo, ar (Hg atmosférico), água, material em suspensão e perifíton, e sua relação com parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água. O segundo capítulo avaliou a qualidade da água, por meio da análise de 23 parâmetros, com ênfase na variação sazonal entre os períodos seco e chuvoso e nas condições de balneabilidade conforme a Resolução CONAMA nº 274/2000. Os resultados indicaram baixas concentrações HgT na água superficial das duas Unidades, enquanto valores mais elevados foram observados nos compartimentos sólidos e biológicos, especialmente no perifíton e no material em suspensão. Na RESEX foram observadas maiores concentrações médias e maior heterogeneidade espacial em comparação ao PETeR. As concentrações de Hg atmosférico variaram de 8 a 14 ng m<sup>-3</sup> em pontos amostrados na rodovia, nascentes e cavernas, sem diferença estatística entre os ambientes. A avaliação da qualidade da água demonstrou baixa mineralização e, de modo geral, condições favoráveis de balneabilidade. Entretanto, no período seco, foram identificados no PETeR concentrações de *Escherichia coli* superiores a 800 NMP/100 mL, sugerindo possíveis aportes fecais pontuais e maior vulnerabilidade ao uso recreativo. De forma geral, o estudo fornece um diagnóstico de base para monitoramento da qualidade da água e da contaminação por mercúrio em Unidades de Conservação do Cerrado, contribuindo para a gestão dos recursos hídricos e para a formulação de estratégias de prevenção e conservação. Os resultados também se alinham aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente os ODS 2, 3, 6, 7, 12, 14 e 15, ao subsidiar ações voltadas a saúde ambiental, segurança hídrica e proteção dos ecossistemas.

**Palavras-chave:** Mercúrio total; Qualidade da água; Balneabilidade; Unidade de Conservação; Cerrado.

## GENERAL ABSTRACT

This research comprehensively evaluated the dynamics of mercury (Hg) and water quality in two Conservation Units in the Serra Geral de Goiás region, in northeastern Goiás: the Terra Ronca State Park (PETeR) and the Recanto das Araras de Terra Ronca Extractive Reserve (RESEX). The study was structured in two complementary chapters. The first investigated total Hg (HgT) concentrations in different environmental compartments, such as soil, air (atmospheric Hg), water, suspended material, and periphyton, as well as their relationship with physicochemical and microbiological water parameters. The second chapter evaluated water quality through the analysis of 23 parameters, with emphasis on seasonal variation between the dry and rainy periods and on bathing conditions according to CONAMA Resolution No. 274/2000. The results indicated low HgT concentrations in the surface water of both units, whereas higher values were observed in solid and biological compartments, especially in periphyton and suspended material. Higher mean concentrations and greater spatial heterogeneity were observed in the RESEX compared to the PETeR. Atmospheric Hg concentrations ranged from 8 to 14 ng m<sup>-3</sup> at sampling points along the highway, at springs, and in caves, with no statistical difference between environments. The water quality assessment demonstrated low mineralization and, overall, favorable bathing conditions. However, during the dry season, *Escherichia coli* concentrations exceeding 800 MPN/100 mL were identified in the PETeR, suggesting possible point-source fecal inputs and greater vulnerability to recreational use. Overall, the study provides a baseline diagnosis for monitoring water quality and mercury contamination in Cerrado Conservation Units, contributing to water resource management and the formulation of prevention and conservation strategies. The results are also aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda, especially SDGs 2, 3, 6, 7, 12, 14, and 15, by supporting actions aimed at environmental health, water security, and ecosystem protection.

**Keywords:** Total Mercury (HgT); Water quality; Suitability for bathing; Conservation Unit; Cerrado.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização do Parque Estadual de Terra Ronca e Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca, Goiás, Brasil.....	56
<b>Figura 2</b> - Mapa de localização parque, rede de drenagem, e pontos de coleta. .....	57
<b>Figura 3</b> - Equipamento coletor de sedimento superficial. ....	60
<b>Figura 4</b> - Raspagem de Perifíton agregado nas rochas. ....	61
<b>Figura 5</b> - Mapa de localização dos pontos de amostragem de Hg atmosférico. .....	65
<b>Figura 6</b> - PCA dos parâmetros físico-químicos da água e do HgT na água, sedimentos em suspensão e no perifíton nas unidades Terra Ronca. ....	78
<b>Figura 7</b> - Página inicial do painel de monitoramento ambiental do PETeR e da RESEX.....	83
<b>Figura 8</b> - Concentrações de Hg na UC do PETeR, por compartimento; e média por tipo de solo e compartimento. ....	84
<b>Figura 9</b> - Concentrações de Hg na UC do RESEX Terra Ronca, por compartimento; e média por tipo de solo e compartimento. ....	85
<b>Figura 10</b> -Concentrações de Hg na UC do PETeR, no compartimento água superficial; e média por tipo de solo. ....	86
<b>Figura 11</b> - Concentrações de Hg na UC RESEX Terra Ronca, no compartimento água superficial; e média por tipo de solo. ....	87
<b>Figura 12</b> - Concentrações de Hg nas duas UCs, no compartimento sedimento em suspensão, e média por tipo de solo. ....	88
<b>Figura 13</b> - Concentrações de Hg na UC RESEX Terra Ronca, no compartimento solo, e média por tipo de solo. ....	89
<b>Figuras 14</b> - Cachoeira das palmeiras.....	107
<b>Figura 15</b> - Prainha do São Vicente.prainha do São Vicente. ....	107
<b>Figuras 16</b> - Caverna Terra Ronca lado externo .....	108
<b>Figura 17</b> - Caverna Terra Ronca lado interno .....	108
<b>Figura 18</b> - Guias locais conduzindo turistas nas cavernas do PETeR.....	109
<b>Figura 19</b> - Romaria de Bom Jesus da Lapa de Terra Ronca.....	109

<b>Figura 20</b> - Mapa de localização do Parque Estadual de Terra Ronca e Recanto das Araras de Terra Ronca, Goiás, Brasil. ....	114
<b>Figura 21</b> - Mapa de localização parque, rede de drenagem, e pontos de coleta. ....	115
<b>Figura 22</b> - Página inicial do painel de monitoramento ambiental do PETeR e da RESEX.....	126
<b>Figura 23</b> - Qualidade da água na RESEX Terra Ronca, variável E. coli - NMP/100mL. ....	127
<b>Figura 24</b> - Qualidade da água no PETeR, variável E. coli - NMP/100mL. ....	128
<b>Figura 25</b> -Qualidade da água no PETeR, variável Coliformes Totais - NMP/100mL. ....	129
<b>Figura 26</b> - Qualidade da água na RESEX, variável Coliformes Totais - NMP/100mL. ....	130
<b>Figura 27</b> - Qualidade da água na RESEX, variável Temperatura C°.....	131
<b>Figura 28</b> - Qualidade da água no PETeR, variável Turbidez NTU.....	132
<b>Figura 29</b> - Qualidade da água no PETeR, variável pH. ....	133
<b>Figura 30</b> - Qualidade da água na RESEX, variável OD.....	134

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Localização e descrição dos pontos de coleta, coordenadas geográficas e tipo de solo em cada ponto. ....	58
<b>Tabela 2</b> - Variáveis físicas, químicas e microbiológicas de qualidade da água. ....	63
<b>Tabela 3</b> - Localização e descrição dos pontos de amostragem de Hg atmosférico. ....	66
<b>Tabela 4</b> - Características físico-químicas da água – Parque estadual Terra Ronca .....	69
<b>Tabela 5</b> - Estatística descritiva das concentrações de HgT na água, no solo, sedimento em suspensão e em perifíton .....	70
<b>Tabela 6</b> - Estatística descritiva das concentrações de HgT atmosférico .....	72
<b>Tabela 7</b> - Características físico-químicas da água – Reserva Extrativista das Araras de Terra Ronca (RESEX). ....	74
<b>Tabela 8</b> - Estatística descritiva das concentrações de HgT na água, no solo, sedimento em suspensão e em perifíton. ....	75
<b>Tabela 9</b> - Autovalores e variância acumulada na análise de componentes principais. ....	77
<b>Tabela 10</b> - Parâmetros do modelo de regressão linear múltipla das concentrações de HgT nos compartimentos abióticos (água, sedimento em suspensão, e solo), e no compartimento biótico (perifíton). ....	79
<b>Tabela 11</b> - Parâmetros do modelo de regressão linear múltipla para determinar a influência das concentrações de HgT entre os compartimentos, considerando, HgT na água, HgT no sedimento em suspensão e HgT em perifíton, alternado entre si como variável dependente e variáveis preditoras. ....	81
<b>Tabela 12</b> - Resultados do teste de Dunn para comparação das concentrações de mercúrio total (HgT) entre os compartimentos ambientais .....	82
<b>Tabela 13</b> - Descrição dos pontos de coleta, coordenadas geográficas e tipo de solo em cada ponto. ....	116
<b>Tabela 14</b> - Variáveis físicas, químicas e microbiológicas de qualidade da água. ....	117

<b>Tabela 15</b> -Resultados dos parâmetros de qualidade da água no período seco e chuvoso no Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e Reserva Extrativista do Recanto das Aráras de Terra Ronca (RESEX).....	119
<b>Tabela 16</b> -Estatística descritiva dos resultados dos parâmetros de qualidade da água por unidade de conservação, RESEX e PETeR .....	120
<b>Tabela 17</b> - Resultados microbiológicos na água das unidades de conservação, RESEX e PETeR .....	123
<b>Tabela 18</b> - Indicativo de risco a balneabilidade associado aos resultados microbiológicos na água das unidades de conservação, RESEX e PETeR. ..	124

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As Áreas de Proteção Ambiental (APA), os parques estaduais e as reservas extrativistas são categorias de unidades de conservação previstas no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei n. 9.985/2000 (BRASIL, 2000). Essas áreas desempenham papel estratégico na conservação da biodiversidade, na manutenção de serviços ecossistêmicos e na proteção de mananciais, fundamentais tanto para a integridade dos ecossistemas quanto para o bem-estar humano (BRASIL, 2000).

Contudo, mesmo sob instrumentos legais de proteção, essas áreas podem estar sujeitas a pressões externas e internas, como mudanças no uso e cobertura do solo no entorno, intensificação agropecuária e turismo, o que reforça a necessidade de monitoramento ambiental contínuo e integrado (PRIMACK; RODRIGUES, 2001).

A avaliação de possíveis contaminações em áreas protegidas deve considerar a interação entre diferentes compartimentos ambientais (CORAL CARRILLO et al., 2021), uma vez que processos de transporte, deposição e transformação de substâncias podem ocorrer simultaneamente em solo e sistemas aquáticos (CAMPOS et al., 2016), com implicações para sedimentos em suspensão e biofilmes como o perífíton (BONNINEAU et al., 2020).

Nesse contexto, a caracterização por parâmetros de qualidade da água torna-se essencial para interpretar condições físico-químicas que modulam a mobilidade, a disponibilidade e o comportamento de contaminantes (FERRARO et al., 2023; QIAO et al., 2024), além de subsidiar diagnósticos sobre a aptidão dos corpos hídricos para usos recreacionais e para atividades cotidianas de comunidades locais (DENPETKUL et al., 2024; HEALTH CANADA, 2023).

Entre os contaminantes de maior preocupação global, destaca-se o mercúrio (Hg), um elemento químico tóxico naturalmente presente no ambiente, mas cujas concentrações podem ser ampliadas por atividades antrópicas, ampliando riscos ambientais e à saúde pública, sobretudo em populações que dependem diretamente dos recursos hídricos (SANUSI et al., 2025; FERNANDES et al., 2024).

Em termos de saúde humana, concentrações elevadas de mercúrio (Hg) representam risco significativo devido à sua toxicidade e à capacidade de atingir

múltiplos sistemas biológicos. Estudos recentes demonstram que o Hg interfere na função mitocondrial e no metabolismo energético celular (VAN DE STREEK et al., 2025; SANTOS et al., 2025), por meio de mecanismos como estresse oxidativo, desregulação do cálcio intracelular e alterações epigenéticas (ATSDR, 2024; SHI, 2025). Em populações expostas cronicamente, como comunidades ribeirinhas e pescadores artesanais, observa-se comprometimento da funcionalidade eritrocitária e aumento significativo do estresse oxidativo (SANTOS et al., 2025).

O mercúrio elementar ( $\text{Hg}^0$ ) é absorvido principalmente por inalação, enquanto as formas inorgânicas ( $\text{Hg}^{2+}$ ) são incorporadas pela via oral (ATSDR, 2024; COT, 2025). Por atravessarem as barreiras placentária e hematoencefálica, essas espécies causam danos neurológicos importantes, especialmente em fetos e recém-nascidos. Em adultos, a toxicidade do Hg afeta os sistemas digestivo, respiratório, imunológico e renal, com acúmulo preferencial no fígado e nos rins (ATSDR, 2024; EFSA, 2012).

Segundo Grandjean e Bellanger (2017), a ingestão semanal tolerável de metilmercúrio é de 1,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para gestantes e crianças e de 4,0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para adultos, valores em conformidade com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde e da Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 2024). Além dos efeitos diretos sobre o ser humano, o acúmulo de Hg no ambiente compromete a fauna e a flora, com reflexos em toda a cadeia alimentar (CHARKIEWICZ et al., 2025). Mesmo em pequenas doses, o mercúrio causa distúrbios nos sistemas nervoso, respiratório e cardiovascular, além de danos hepáticos, renais e cerebrais, desequilíbrios hormonais e distúrbios reprodutivos (CHARKIEWICZ et al., 2025).

No ambiente terrestre, fontes relevantes de Hg incluem mineração de ouro, queima de combustíveis fósseis, uso de insumos agrícolas e destinação inadequada de resíduos industriais (FITZGERALD; LAMBORG, 2005; PIRRONE et al., 2010; UNEP, 2023; PURE EARTH, 2021). Devido à sua volatilidade, o Hg elementar pode ser transportado pela atmosfera a longas distâncias, depositando-se posteriormente em solos e corpos d'água por meio da precipitação e de partículas atmosféricas (FITZGERALD; LAMBORG, 2005;

PIRRONE et al., 2010; ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE CANADA, 2016; OUTRIDGE et al., 2018).

Após a deposição, o Hg pode sofrer transformações químicas, como a metilação mediada por microrganismos anaeróbios — incluindo bactérias redutoras de sulfato (SRB) e arqueias metanogênicas como *Methanosarcina* — originando o metilmercúrio (MeHg), forma persistente, altamente tóxica e associada à bioacumulação e biomagnificação ao longo da cadeia alimentar (CHOW; TSUI, 2019; XIONG et al., 2025; CABRERA et al., 2025). Assim, mesmo áreas aparentemente isoladas podem apresentar níveis relevantes desse contaminante, justificando investigações que integrem origem, distribuição e fatores ambientais condicionantes em paisagens naturais, incluindo o Cerrado brasileiro, onde estudos já identificaram concentrações naturais de Hg acima dos valores de referência em determinadas classes de solo (CARVALHO et al., 2019).

Adicionalmente, o uso e a cobertura do solo influenciam diretamente a mobilidade e a bioacumulação do Hg em ecossistemas aquáticos e terrestres, reforçando a importância de avaliar a relação entre contextos de uso do solo e padrões de contaminação (OBRIST et al., 2018). No Cerrado brasileiro, estudos indicam que as concentrações naturais de Hg podem variar conforme a classe de solo e as características físico-químicas do ambiente, evidenciando a necessidade de investigações integradas que considerem as especificidades desse bioma (CARVALHO et al., 2019).

Inseridas nesse cenário, o Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e a Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX) localizam-se na Área de Proteção Ambiental Serra Geral de Goiás, no nordeste goiano, uma região marcada por relevo cárstico e elevada conectividade entre sistemas superficiais e subterrâneos (GOIÁS, 2024; ICMBIO, 2024).

O PETeR, criado pela Lei nº 10.879/1988, destaca-se pelo expressivo patrimônio espeleológico, abrigando um dos maiores complexos de cavernas da América do Sul, com mais de mil cavidades subterrâneas, e por abrigar drenagens afluentes do rio Paranã, incluindo o rio Angélica, considerado o maior rio subterrâneo da América Latina (GOIÁS, 2024). A unidade possui 57 mil

hectares e destina-se à preservação da flora, da fauna, dos mananciais e das cavidades naturais subterrâneas.

A RESEX Recanto das Araras de Terra Ronca, por sua vez, foi criada em 11 de setembro de 2006 por Decreto Presidencial, com o objetivo de compatibilizar a conservação do bioma Cerrado com o uso sustentável dos seus recursos naturais pelas populações tradicionais locais (MMA, 2006). Com área aproximada de 12 mil hectares, a unidade abriga espécies ameaçadas de extinção, como o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), a tiriba-do-paraná (*Pyrrhura pfrimeri*) e a arara-azul-grande (*Anodorhynchus hyacinthinus*), e é reconhecida como a primeira reserva extrativista do Cerrado brasileiro (ICMBIO, 2024).

Apesar do elevado valor ecológico e do grau de conservação, a proximidade com a fronteira agrícola do Oeste Baiano impõe pressões difusas associadas ao uso e ocupação do solo, com potencial de aporte de sedimentos, nutrientes e contaminantes aos sistemas aquáticos (COSTA et al., 2011; DE MACEDO, 2017). Esse conjunto de características reforça a relevância de estudos que avaliem, de forma complementar, as propriedades físico-químicas da água, fundamentais para interpretar a dinâmica dos sistemas aquáticos e sua adequação a diferentes usos (FUENTES et al., 2024), e a concentração de mercúrio (Hg) nos compartimentos ambientais, considerando sua mobilidade, transformação e potencial de bioacumulação em ambientes naturais (MONTEIRO et al., 2023; FREITAS et al., 2024).

Diante disso, este estudo foi realizado na APA da Serra Geral de Goiás, abrangendo o Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e a Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX), e está estruturado em dois capítulos complementares.

O Capítulo 1 investiga as concentrações de mercúrio (Hg) em diferentes compartimentos ambientais (solo, água, sedimentos em suspensão e perifíton) comparando os teores entre as UCs e avaliando relações com parâmetros físico-químicos da água, com o objetivo de identificar os condicionantes ambientais que influenciam a distribuição do contaminante.

O Capítulo 2 discute os parâmetros de qualidade da água, com ênfase na variação sazonal entre os períodos seco e chuvoso, incluindo a avaliação da

balneabilidade conforme os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 274/2000 (BRASIL, 2000).

Por fim, o estudo alinha-se à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2015), contribuindo especialmente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como o ODS 3 (Saúde e bem-estar), 6 (Água potável e saneamento), 12 (Consumo e produção responsáveis) e 15 (Vida terrestre), ao gerar subsídios técnico-científicos para o diagnóstico, o monitoramento e a gestão ambiental em áreas protegidas do bioma Cerrado.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar parâmetros de qualidade da água e determinar a concentração de mercúrio em amostras de água, atmosfera, solo, sedimento em suspensão e perifíton no Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX).

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as concentrações de mercúrio nos compartimentos ambientais (solo, água, ar, sedimento em suspensão e perifíton);
- Avaliar a qualidade da água dos corpos hídricos, considerando a presença de mercúrio e a análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos;
- Avaliar a qualidade da água das unidades de conservação estudadas (RESEX e PETR) considerando a sazonalidade (seco e chuvoso);
- Avaliar as condições de balneabilidade e os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 274/2000.
- Elaborar um *dashboard* interativo na plataforma Power BI (*Business Intelligence*) para a divulgação dos resultados da pesquisa, com acesso facilitado à comunidade local e aos atores envolvidos, contendo:
  - a) os resultados das análises de mercúrio (Hg) nos compartimentos ambientais (solo, água, sedimentos em suspensão e perifíton);
  - b) os dados de qualidade da água e balneabilidade;
  - c) a localização georreferenciada dos pontos de coleta;

- d) filtros para seleção por unidade de conservação, período sazonal e parâmetro analisado.

O produto será disponibilizado em formato digital de fácil acesso, preferencialmente por meio de repositório institucional e/ou portal da unidade de conservação, com o objetivo de subsidiar a gestão participativa e a tomada de decisão por parte dos órgãos gestores e da comunidade local. Adicionalmente, serão confeccionados banners contendo os resultados da pesquisa e um QR code para acesso ao painel interativo em Power BI, os quais serão distribuídos nas pousadas do Povoado de São João (Apêndice).

Essa estratégia visa não apenas oportunizar o acesso aos dados da pesquisa por parte da comunidade local e dos turistas, mas também fomentar o turismo na região e contribuir para a complementação da renda da comunidade.

### **3. CONTEXTUALIZAÇÃO**

#### **3.1. O MERCÚRIO NO AMBIENTE**

O mercúrio se destaca por suas propriedades químicas e pelo comportamento nas interações com os compartimentos bióticos e abióticos do meio ambiente (DRISCOLL et al., 2013). Em sua forma elementar (mercúrio metálico), é volátil e pode ser facilmente liberado para a atmosfera, onde se dispersa e pode ser transportado por longas distâncias antes de ser depositado em solos e corpos d'água (SELIN, 2009). Após a deposição, sua dinâmica passa a ser controlada por processos físicos, químicos e biológicos que determinam sua mobilidade e, sobretudo, sua transformação em formas mais biodisponíveis (ZHAO et al., 2024).

Uma vez incorporado ao ambiente, o mercúrio pode ser convertido em metilmercúrio (MeHg) forma orgânica de elevada relevância toxicológica, por meio de processos biológicos mediados predominantemente por microrganismos anaeróbios que promovem sua metilação, resultando em maior risco de bioacumulação em organismos aquáticos (HSU-KIM et al., 2013; LAVOIE et al., 2013). Essa mobilidade e disponibilidade do Hg variam conforme condições ambientais como pH, temperatura e teor de matéria orgânica, que podem favorecer ou limitar sua complexação, transporte e incorporação

biológica (HSU-KIM et al., 2013). Nesse contexto, a bioacumulação ocorre quando a taxa de absorção de mercúrio (Hg) pelos organismos supera sua capacidade de excreção, enquanto a biomagnificação refere-se ao aumento progressivo das concentrações de metilmercúrio (MeHg) ao longo da cadeia trófica, resultando em níveis mais elevados em predadores de topo, tais como peixes de maior porte e mamíferos aquáticos (FIORAVANTI et al., 2025).

O mercúrio é um elemento de elevada toxicidade e de reconhecida capacidade de bioacumulação e biomagnificação nas cadeias tróficas aquáticas, podendo ser convertido em metilmercúrio (MeHg) forma orgânica que apresenta maior mobilidade e potencial de acumulação nos organismos (LAVOIE et al., 2013). Sua presença em ambientes aquáticos é frequentemente associada a processos antrópicos, tais como descarte inadequado de resíduos industriais e agrícolas, uso de agroquímicos e poluição difusa de solos e corpos hídricos superficiais e subterrâneos (PANT et al., 2024). Por isso, o monitoramento contínuo do mercúrio, em conjunto com outros parâmetros de qualidade da água (FUENTES et al., 2024), é fundamental para assegurar a integridade ambiental das áreas naturais e a manutenção da balneabilidade, especialmente em unidades de conservação e em territórios onde comunidades dependem diretamente dos recursos hídricos para sua subsistência (MONTEIRO et al., 2023).

Em áreas do Cerrado, estudos em sistemas aquáticos têm indicado a presença de Hg em água, sedimentos e biota, e apontado associação entre intensidade de uso do solo/pressão antrópica e maiores concentrações de mercúrio em sedimentos (MONTEIRO et al., 2023; MORAES et al., 2023b). Nesse contexto, mudanças de uso do solo e degradação associada podem intensificar erosão e transporte de sedimentos, favorecendo o carreamento de Hg ligado a partículas para rios e lagos (MORAES et al., 2023b).

Além disso, insumos agrícolas como fertilizantes fosfatados podem conter Hg em níveis detectáveis, atuando como fonte difusa potencial de entrada desse elemento no solo (DE JESUS et al., 2013), e a aplicação continuada de agroquímicos tem sido associada ao acúmulo de metais em solos agrícolas e à transferência ao longo da cadeia alimentar (NACCARATO et al., 2020). Uma vez nos ecossistemas ripários, o Hg pode ser incorporado à teia trófica,

apresentando processos de bioacumulação e biomagnificação, como registrado na planície do rio Araguaia (MONTEIRO et al., 2024b).

A distribuição de Hg no solo do Cerrado é influenciada por fatores como o tipo de solo, o pH, a matéria orgânica e as condições climáticas. Solos com maior teor de matéria orgânica tendem a reter mais mercúrio, enquanto solos ácidos podem facilitar a mobilização do metal (CARVALHO et al., 2019; FERNANDES, 2024). Estudos indicam que as concentrações naturais de Hg em solos do Cerrado variam entre 15 e 182  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , sendo os óxidos de ferro, o pH e a capacidade de troca catiônica os principais fatores associados à sua retenção (CARVALHO et al., 2019).

A matéria orgânica desempenha um papel fundamental na retenção do Hg no solo, contribuindo para a redução de sua biodisponibilidade para as plantas e da sua mobilidade por lixiviação em direção aos corpos hídricos (RAVICHANDRAN et al. 2004). A mobilidade do Hg no solo também é afetada por processos de oxidação e redução, que podem transformar o mercúrio em formas mais tóxicas, como o metilmercúrio (BISINOTI e JARDIM, 2004). Esse composto é altamente prejudicial à saúde humana e ao ecossistema, pois se bioacumula na cadeia alimentar (CHARKIEWICZ et al., 2025).

A presença de Hg no solo em unidades de conservação do Cerrado pode indicar pressão antropogênica advinda de fontes pontuais, representando riscos significativos para a biodiversidade e para a população humanas que dependem dos recursos naturais do bioma (FERNANDES et al., 2024; RODRIGUES et al., 2022).

A contaminação do solo pode resultar na absorção e no acúmulo de Hg por plantas, com intensidade variável conforme a espécie vegetal e propriedades do solo (pH, matéria orgânica etc.), afetando a vegetação local e estabelecendo uma via de entrada do contaminante em teias alimentares terrestres, com potencial exposição de herbívoros e de seus predadores (BAUŠTEIN et al., 2024; PERAZA et al., 2023; YU et al., 2018). Além disso, a mobilização do Hg por processos de erosão e lixiviação pode transferi-lo do solo para sedimentos e águas superficiais, onde condições redutoras podem favorecer sua transformação (incluindo metilação) e aumentar o risco de bioacumulação e biomagnificação em organismos aquáticos (DABRÉ et al., 2025; GRAY, 2003;

WHO, 2024). Para a população humana, a exposição ao Hg ocorrer por meio do consumo de água e alimentos contaminados, levando a problemas de saúde como danos neurológicos, renais e imunológicos (GRANDJEAN e LANDRIGAN, 2014).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2020), o mercúrio é um dos dez produtos químicos que representam maior preocupação para a saúde pública. No Brasil a contaminação por mercúrio é bastante estudada na região Amazônica, contudo no bioma Cerrado ainda existem poucos estudos nesse sentido.

Diante dessa complexidade, a pesquisa sobre a concentração de mercúrio no solo e na água do bioma Cerrado constitui um tema em desenvolvimento, e novos estudos têm contribuído para um melhor entendimento dessa problemática, especialmente ao integrar diferentes compartimentos ambientais e escalas de análise, permitindo interpretar de forma mais robusta as fontes, os processos de transformação e os potenciais riscos ecológicos e à saúde humana.

Em ecossistemas ripários da planície de inundação do rio Araguaia, foi descrita a distribuição do Hg e sua transferência na teia trófica, com evidências de bioacumulação e biomagnificação (MONTEIRO et al., 2024a), enquanto análises em organismos, serapilheira e solos reforçaram a importância de compartimentos terrestres e de interface como reservatórios e vias de exposição (FERNANDES et al., 2024).

No ambiente aquático, estudos com macrófitas enraizadas evidenciaram a capacidade de bioconcentração e padrões de translocação do Hg, indicando o potencial desses organismos como sentinelas ambientais (MONTEIRO et al., 2024b). Além disso, investigações em sedimentos de fundo em lagos de planície avaliaram o risco ecológico do Hg e sua correlação espacial com o uso do solo, destacando controles associados a fatores de paisagem (MONTEIRO et al., 2023).

Em níveis tróficos superiores, foi discutida a contaminação por Hg em peixes e sua relação com a posição trófica, contribuindo para interpretar padrões de exposição e risco ao longo da cadeia alimentar (MORAES et al., 2023a). Complementarmente, trabalhos abordando Hg sedimentar em associação com

geomorfologia e uso do solo ampliam a compreensão dos processos que condicionam acúmulo e redistribuição do contaminante em ambientes do Cerrado (MORAES et al., 2023b). Em conjunto, essas evidências mostram que a dinâmica do Hg no Cerrado depende da interação entre características locais dos sistemas (incluindo condições físico-químicas) e fatores regionais (uso e cobertura do solo), reforçando a necessidade de abordagens integradas no diagnóstico ambiental.

Estudos que avaliam a contaminação por mercúrio em áreas de mineração evidenciam que os níveis de Hg no solo e em corpos d'água adjacentes a essas atividades frequentemente excedem os limites de segurança estabelecidos. Como resultado, as concentrações de mercúrio em rios e solos próximos a essas áreas podem atingir patamares significativamente elevados, representando riscos à saúde humana e à biodiversidade local (DANTAS et al., 2025; LACERDA; MARINS; CAVALCANTE, 2017).

Estudos relacionados à bioacumulação de mercúrio em organismos aquáticos demonstram que peixes e outros integrantes da biota aquática frequentemente acumulam níveis consideráveis do metal em seus tecidos, com concentrações diretamente associadas à posição trófica das espécies (MORAES et al., 2023a). A exposição humana a esses alimentos tem implicações diretas com agravos à saúde, incluindo doenças neurológicas decorrentes da neurotoxicidade do metilmercúrio (YANG et al., 2020).

Pesquisas que correlacionam a contaminação por mercúrio com agravos à saúde em populações locais têm demonstrado aumento significativo de distúrbios neurológicos, gastrointestinais e reprodutivos associados à exposição crônica ao metal (STECKLING et al., 2014). Estudo conduzido por Dórea (2021) revelou associação consistente entre exposição ao mercúrio e prevalência de doenças crônicas, bem como alterações no neurodesenvolvimento infantil, evidenciando a necessidade de ações integradas de saúde pública voltadas a populações vulneráveis.

Estudos pioneiros na Amazônia Central demonstraram que solos tropicais constituem importantes reservatórios naturais de mercúrio, cuja mobilização é intensificada pela erosão seletiva de partículas finas desencadeada pelo desmatamento e pela colonização humana (ROULET et al., 1998a, 1998b,

1999). Nesse contexto, a mineração, o uso de fertilizantes e o desmatamento são reconhecidos como principais fontes antrópicas de Hg para solos e sistemas aquáticos (SYMON, 2013). Mais recentemente, estudo global estimou que a erosão do solo mobiliza aproximadamente 400 Mg/ano de mercúrio para os rios, ampliando a contaminação para novas áreas (PENG et al., 2025).

Com relação aos efeitos da contaminação por Hg na biodiversidade, pesquisas realizadas por Chan et al. (2003) demonstraram que a contaminação por mercúrio não afeta apenas os organismos aquáticos, mas também impacta a fauna terrestre que depende desses recursos hídricos, incluindo aves e mamíferos piscívoros. Observações de alterações no comportamento e na reprodução de várias espécies indicam um desequilíbrio ecológico causado pela contaminação ao longo da cadeia alimentar.

Nesse contexto, emerge a necessidade de políticas públicas eficazes para combater a contaminação por mercúrio. Estudo conduzido por Aldous, Tear e Fernandez (2024) evidencia as deficiências na aplicação das legislações existentes e propõe intervenções baseadas no engajamento com a Convenção de Minamata, no fortalecimento de marcos legais e na participação de comunidades locais.

Tais estudos revelam a gravidade da contaminação por mercúrio no solo e na água, destacando os riscos à saúde humana e à biodiversidade. A necessidade de uma abordagem multidisciplinar que integre ciência, saúde pública e políticas ambientais é fundamental para enfrentar essa problemática de forma eficaz, garantindo um futuro sustentável. A pesquisa contínua e atualizada é crucial para mitigar os efeitos adversos e proteger tanto o meio ambiente quanto as comunidades vulneráveis.

O conjunto de leis sobre os limites de concentração de mercúrio em solo e água varia entre países e organismos internacionais. A Convenção de Minamata sobre Mercúrio constitui um dos principais marcos regulatórios globais sobre o tema. Adotada em 10 de outubro de 2013 e em vigor desde 16 de agosto de 2017, trata-se de um tratado internacional que visa proteger a saúde humana e o meio ambiente dos efeitos adversos do mercúrio, estabelecendo diretrizes para a redução do uso e das liberações do metal (UNEP, 2013). A Convenção, no entanto, não define limites numéricos específicos para solo e água, delegando

aos países signatários a definição de seus próprios padrões, conforme suas realidades nacionais.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece, em suas diretrizes para a qualidade da água potável, o valor de  $0,006 \text{ mg L}^{-1}$  ( $6 \text{ }\mu\text{g/L}$ ) para mercúrio inorgânico (WHO, 2017). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) define limite de  $0,002 \text{ mg L}^{-1}$  ( $2 \text{ }\mu\text{g/L}$ ) para mercúrio em água potável e, para solos, utiliza critérios de avaliação de risco que variam conforme o uso do solo (residencial, industrial etc.) (EPA, 2025).

A União Europeia (UE), por meio da Diretiva do Quadro da Água (2000/60/CE), estabelece padrões de qualidade ambiental para poluentes prioritários. Para o mercúrio, o limite estabelecido para águas superficiais é de  $0,07 \text{ }\mu\text{g/L}$ , correspondente à concentração máxima aceitável (MAC-QS) (SCHEER, 2022).

No Brasil, os padrões para concentração de mercúrio em águas e efluentes são estabelecidos por instrumentos legais específicos. A Resolução CONAMA nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento, fixando os limites para lançamento de efluentes. Para o mercúrio total, o valor máximo permitido é de  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$  ( $10 \text{ }\mu\text{g/L}$ ) em efluentes lançados em corpos d'água (BRASIL, 2005).

Para a água destinada ao consumo humano, a Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde estabelece o padrão de potabilidade, definindo o limite de  $0,001 \text{ mg L}^{-1}$  ( $1 \text{ }\mu\text{g/L}$ ) para mercúrio total (BRASIL, 2021). Este valor é mais restritivo do que os parâmetros adotados por organismos internacionais como a Organização Mundial da Saúde ( $0,006 \text{ mg L}^{-1}$ ) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos ( $0,002 \text{ mg L}^{-1}$ ), refletindo o rigor das normas brasileiras para a proteção da saúde pública.

Esses dispositivos legais constituem as principais referências normativas para o controle da contaminação por mercúrio em recursos hídricos no Brasil, sendo fundamentais para a gestão ambiental e para a garantia da qualidade da água destinada aos diferentes usos.

### 3.2. QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é um dos principais indicadores de integridade ambiental e de sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. Avaliar parâmetros físico-químicos e biológicos da água é essencial para determinar as condições de uso, incluindo a potabilidade, a preservação de habitats e a balneabilidade (SOUSA et al., 2025). Entre os parâmetros mais comuns empregados na análise da qualidade ambiental das águas estão: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, presença de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e de metais pesados como o mercúrio (Hg) (SARAVANAN et al., 2024).

A balneabilidade, em especial, é avaliada de acordo com a presença de microrganismos indicadores de contaminação fecal, como *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes, associados à segurança para o contato humano direto (Resolução CONAMA nº 274 de 2000) (BRASIL, 2000). A manutenção de padrões adequados tem relevância não apenas ambiental, mas também social e econômica, pois está diretamente vinculada à saúde pública, à conservação da biodiversidade aquática e ao turismo ecológico sustentável (ROSE, ÖRMECI, AW, 2025).

Nesse contexto, a qualidade da água se relaciona de forma direta com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Agenda 2030 das Nações Unidas (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015).

O ODS 6 – Água Potável e Saneamento enfatiza o acesso universal à água segura e ao saneamento básico, bem como a melhoria da qualidade das águas por meio da redução da poluição e do manejo eficiente dos recursos hídricos. O ODS 3 – Saúde e Bem-Estar complementam essa abordagem ao tratar da redução de doenças decorrentes da poluição da água e da exposição a produtos químicos perigosos.

O ODS 14 – Vida na Água aborda a prevenção da poluição dos ecossistemas aquáticos, a proteção da biodiversidade e o uso sustentável dos recursos marinhos e de água doce. O ODS 15 – Vida Terrestre complementa essa perspectiva ao tratar da conservação dos ecossistemas terrestres, da proteção da biodiversidade e do uso sustentável das áreas naturais, com

destaque para as Unidades de Conservação, onde a integridade dos recursos hídricos é fundamental para a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Além disso, a gestão da água se conecta a outros ODS essenciais. O ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável depende da disponibilidade hídrica para a produção de alimentos e para a manutenção da pesca artesanal. O ODS 7 – Energia Limpa e Acessível relaciona-se à importância das águas na geração hidrelétrica e na produção de energia renovável. O ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis está voltado à redução de impactos ambientais por meio da utilização sustentável dos recursos naturais, especialmente no contexto de Reservas Extrativistas, onde o manejo responsável dos recursos hídricos e florestais é essencial para a manutenção dos modos de vida tradicionais e da integridade ecológica

O controle da qualidade da água e a definição dos limites para suas diferentes classes de uso são regulamentados por legislações brasileiras específicas. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece a classificação e os padrões de qualidade para corpos d'água superficiais no Brasil. Para águas doces de Classe 1, destinadas ao abastecimento humano após tratamento convencional, o limite máximo permitido para mercúrio (Hg) é de  $0,0001 \text{ mg L}^{-1}$  ( $0,1 \text{ } \mu\text{g/L}$ ) (BRASIL, 2005).

Já a Resolução CONAMA nº 396/2008 versa sobre a classificação de águas subterrâneas, definindo o valor máximo permitido de  $1 \text{ } \mu\text{g/L}$  ( $0,001 \text{ mg L}^{-1}$ ) de mercúrio (BRASIL, 2008). O elemento é também normatizado na Resolução CONAMA nº 420/2009, que apresenta valores de referência de qualidade (VRQ) para solos:  $0,5 \text{ mg/kg}$  para solos residenciais e  $7,0 \text{ mg/kg}$  para solos industriais (BRASIL, 2009).

No âmbito da saúde pública, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece padrões de potabilidade da água no Brasil, estabelecendo o limite máximo de  $1,0 \text{ } \mu\text{g/L}$  ( $0,001 \text{ mg L}^{-1}$ ) de mercúrio total em água destinada ao consumo humano (BRASIL, 2021).

Assim, as diretrizes normativas nacionais e as metas dos ODS convergem no sentido de assegurar águas de qualidade para todos os usos, reforçando a importância da gestão integrada e participativa dos recursos hídricos como

elemento central para o desenvolvimento sustentável e para a proteção da saúde humana e dos ecossistemas.

### 3.3. IMPORTÂNCIA HIDROLÓGICA DO CERRADO BRASILEIRO

O Cerrado é conhecido por sua vasta biodiversidade e importância ecológica, sendo reconhecido como a savana mais biodiversa do planeta e um *hotspot* global de conservação (MMA, 2025). O bioma abriga as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul e ocupa cerca de 24% do território brasileiro, com mais de 13,5 mil espécies de plantas, 850 de aves e 200 de mamíferos (MMA, 2025). Contudo, o bioma tem enfrentado pressões crescentes associadas à conversão de vegetação nativa para agricultura e pastagens, com destaque para frentes recentes de expansão como o MATOPIBA — região que abrange áreas do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (PILON et al., 2025; VIEIRA et al., 2021). Além da perda e fragmentação de habitats, a intensificação do uso do solo pode ampliar a exposição a elementos potencialmente tóxicos em solos agrícolas, incluindo o mercúrio (FAO, 2021).

O bioma Cerrado desempenha um papel fundamental na manutenção dos recursos hídricos no Brasil, sendo reconhecido como o "berço das águas" (*cradle of waters*) e uma "torre de água" (*water tower*) que abastece as principais bacias hidrográficas do país, incluindo os rios São Francisco, Tocantins-Araguaia, Xingu, Tapajós, Paraná e Paraguai (GLOBAL WITNESS, 2024). Sua vegetação de raízes profundas, que forma uma verdadeira "floresta invertida", garante a infiltração da água e mantém o fluxo dos rios mesmo na estação seca (GLOBAL WITNESS, 2024). Estudos recentes demonstram que a evapotranspiração no Cerrado é um componente essencial do ciclo hidrológico regional, influenciando significativamente a distribuição das chuvas (SILVA et al., 2025).

A diversidade fitofisionômica do bioma, caracterizada por diferentes formações vegetacionais, reforça sua complexidade e relevância ecológica (WALTER, 2006). Análises da dinâmica do uso da terra no Cerrado entre 2002 e 2013 revelaram que, embora as áreas de pastagem tenham diminuído (de 53,5 para 48,5 milhões de hectares), a agricultura expandiu-se significativamente (de 12,6 para 17,9 milhões de hectares), com destaque para a região do MATOPIBA,

onde se concentraram as maiores taxas de conversão de vegetação nativa (SANO et al., 2019).

A interação entre a vegetação nativa e o ciclo hidrológico é evidenciada pela capacidade do Cerrado de absorver e armazenar água, essencial para a recarga dos lençóis freáticos e a manutenção da qualidade do recurso hídrico (DE SOUZA et al., 2019). Compreender a importância dessa biota é vital não apenas para a conservação da biodiversidade, mas também para garantir a disponibilidade de água para as gerações futuras, destacando a necessidade de estratégias de conservação e manejo sustentável (RIBEIRO et al., 2008).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas, representa um marco fundamental na gestão das águas no Brasil, ao estabelecer instrumentos para a gestão dos recursos hídricos e criar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Reconhecida por seu caráter descentralizador e participativo, a PNRH inovou ao instituir os comitês de bacias hidrográficas, que reúnem poderes públicos, usuários e sociedade civil na gestão compartilhada dos recursos hídricos.

A lei define as bacias hidrográficas como unidades territoriais fundamentais para a implementação das políticas de gestão, uma vez que englobam todo o ciclo hidrológico e permitem uma abordagem integrada das interações entre água, solo e vegetação, refletindo a realidade socioeconômica e ambiental de cada região. O fortalecimento da gestão por bacias hidrográficas possibilita a articulação entre os diversos usuários e setores, promovendo a participação social na tomada de decisões sobre o uso e a proteção dos recursos hídricos (SCHIEBELBEIN et al., 2018).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), um dos instrumentos da política, orienta a implementação da gestão das águas em escala nacional, estabelecendo diretrizes, metas e programas construídos em amplo processo de mobilização social. Sua finalidade principal é fortalecer o sistema de gestão, aprimorar os instrumentos normativos e promover a articulação vertical entre os entes federativos e a integração horizontal com políticas setoriais, como as de meio ambiente, energia, agricultura e saneamento.

A regulamentação e o planejamento das ações de uso e conservação da água são, portanto, essenciais para garantir a qualidade e a quantidade desse recurso, assegurando sua disponibilidade para as gerações atuais e futuras, em consonância com os princípios do desenvolvimento sustentável e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6 (Água Potável e Saneamento).

As bacias hidrográficas desempenham um papel fundamental na gestão dos recursos hídricos, sendo essenciais para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental de um país. No Brasil, as bacias hidrográficas não apenas alimentam os principais rios que sustentam a biodiversidade e os ecossistemas locais, mas também são vitais para a agricultura, geração de energia elétrica, a indústria e o fornecimento de água potável às populações (ANA, 2020). Com sua vasta extensão em diferentes regiões do país, as bacias, como a do Amazonas, a do São Francisco e a do Paraná, exemplificam a diversidade hidrográfica brasileira e sua relevância para o abastecimento de água em escala regional e nacional (IBGE; ANA, 2021).

Além disso, as bacias hidrográficas são fundamentais para a regulação do clima e a manutenção da qualidade da água, contribuindo para a saúde dos ecossistemas aquáticos e terrestres (TEIXEIRA, 2007). No cenário global, a gestão adequada dessas bacias se torna um desafio crescente, especialmente diante das mudanças climáticas e da pressão do crescimento populacional e das atividades econômicas (DE SOUSA et al., 2024). Portanto, a preservação e a gestão sustentável das bacias hidrográficas mostram-se imprescindíveis, não apenas para o Brasil, mas também para o mundo, assegurando a disponibilidade de água e a qualidade de vida das populações.

#### 3.4. PARQUE ESTADUAL DE TERRA RONCA

O Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) integra a Reserva da Biosfera do Cerrado (RBC) desde 2000, quando a UNESCO aprovou a ampliação da reserva para incluir áreas no nordeste de Goiás (MMA, 2000). O parque tem como objetivos principais a preservação da biodiversidade do bioma e o incentivo às pesquisas de monitoramento e educação ambiental (GOIÁS, 2024). Além disso, o parque abriga um importante patrimônio espeleológico,

reconhecido como um dos mais significativos conjuntos de cavernas da América do Sul (GOIÁS, 2024; LEÃO; JULIANO, 2018). Conforme analisado por Leão e Juliano (2018), o PETeR configura-se também como palco de conflitos socioambientais que envolvem comunidades tradicionais e a gestão da unidade de conservação, destacando a necessidade de revisão dos instrumentos legais para a harmonização das relações socioambientais na região.

A importância geológica do PETeR também é um ponto relevante, sendo considerado um dos maiores complexos de cavernas calcárias do Brasil, formado por processos erosivos e hidrogeológicos que resultaram em paisagens subterrâneas de grande beleza cênica (GOIÁS, 2024). As cavernas do parque são reconhecidas como um dos maiores atrativos naturais do país, constituindo um dos destinos mais procurados por espeleólogos nacionais e internacionais (ZANATTO; STEINKE; VIEIRA, 2019).

Em termos de conservação, o PETeR enfrenta desafios relacionados ao turismo desordenado e à expansão de atividades humanas nas áreas vizinhas, como a expansão agrícola no oeste baiano. Assim, o parque ainda sofre com a pressão de atividades ilegais, como o turismo predatório, que ameaçam a integridade dos ecossistemas e das cavernas (ZANATTO et al., 2019).

No que tange à gestão de recursos hídricos, os rios do parque são afluentes do Rio Paranã, situados na região do Vão do Paranã, localizada entre os estados de Goiás e Tocantins (CARVALHO, 2009). A rede de drenagem das águas do Vão do Paranã faz parte da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, a maior bacia totalmente em território brasileiro (ANA, 2009). Em 2013 foi instituído o Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) Vão do Paranã por meio do Decreto Estadual nº 7.956/2013 do Estado de Goiás (GOIÁS, 2013); entretanto, após sua instituição e nomeação de diretoria provisória, não foram encontradas informações públicas sobre suas atividades e efetiva implementação.

Em relação à gestão de recursos hídricos, a bacia hidrográfica do Rio Tocantins e seus tributários são essenciais para o equilíbrio hídrico da região, uma vez que garantem a renovação das águas subterrâneas que abastecem as cavernas do parque e a fauna local (ANA, 2009). Apesar da qualidade hídrica preservada, há vulnerabilidade à contaminação por agroquímicos das áreas

adjacentes (AMARAL et al., 2023; ANA, 2020). A dinâmica hidrogeológica do carste reforça a necessidade de monitoramento contínuo (CPRM, 2021).

### 3.5. RESERVA EXTRATIVISTA DE RECANTO DAS ARARAS DE TERRA RONCA

A Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX) foi criada por decreto em 11 de setembro de 2006, localizando-se no nordeste do estado de Goiás, em área contígua ao Parque Estadual de Terra Ronca e próxima à divisa com o estado da Bahia (BRASIL, 2006). Com extensão aproximada de 11.964 hectares, a RESEX está inserida no bioma Cerrado e representa uma das primeiras unidades de conservação de uso sustentável instituídas nesse bioma. A área apresenta elevado grau de conservação ambiental, significativa biodiversidade e expressivo valor paisagístico, abrigando cerca de 115 famílias de populações tradicionais que utilizam os recursos naturais de forma sustentável, destacando-se o extrativismo de espécies vegetais nativas (COSTA et al., 2011).

Do ponto de vista climático, a região se enquadra no tipo tropical Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa, entre outubro e março, e outra seca, de abril a setembro. A precipitação média anual varia entre aproximadamente 1.300 e 1.500 mm, concentrada no período chuvoso, enquanto as temperaturas médias anuais situam-se entre 22 °C e 26 °C, com baixa amplitude térmica. Em termos geológicos, a área está assentada sobre o substrato carbonático do Grupo Bambuí, cuja elevada permeabilidade favorece o desenvolvimento de relevo cárstico, com a presença de dolinas, cavernas e sistemas subterrâneos de drenagem (OLIVEIRA et al., 2015; SIEG, 2014). Essa característica torna o ambiente particularmente vulnerável à infiltração de contaminantes e à poluição difusa proveniente de áreas externas à unidade.

A inserção da RESEX Recanto das Araras está próxima a áreas de intensa atividade agropecuária e das zonas de transição Cerrado-Caatinga. Nas últimas décadas, a expansão da fronteira agrícola tem exercido forte pressão sobre os ecossistemas locais, com o avanço do monocultivo, desmatamento e uso intensivo de agroquímicos e agrotóxicos (GRECCHI et al., 2014). Esse tipo

de prática tem contribuído para a degradação do solo e para o aumento do fluxo de substâncias tóxicas, incluindo metais pesados como o mercúrio (Hg), que pode se acumular nos sedimentos e nas cadeias alimentares do Cerrado (MORAES et al., 2023a). Embora ainda não existam estudos específicos sobre a bioacumulação de metais na RESEX Recanto das Araras, pesquisas regionais apontam a vulnerabilidade dos sistemas cársticos do Grupo Bambuí à contaminação por compostos químicos e efluentes agrícolas (OLIVEIRA et al., 2015; SIEG, 2014).

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas do Carste Brasileiro**. Brasília: ANA, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2020. Brasília: ANA, 2020. 118 p. Disponível em: [https://biblioteca.ana.gov.br/sophia\\_web/Acervo/Detalhe/87742](https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/87742). Acesso em: 21 mar. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia**: relatório síntese. 2009. Disponível em: [file:///C:/Users/lara%20Fernandes/Downloads/20101108150950\\_Plano\\_Tocantins\\_Araguaia.pdf](file:///C:/Users/lara%20Fernandes/Downloads/20101108150950_Plano_Tocantins_Araguaia.pdf). Acesso em: 19 de fev. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Tocantins – Araguaia**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/planos-de-recursos-hidricos/planos-de-recursos-hidricos-de-bacias-hidrograficas/planos-de-bacias-hidrograficas-interfederativas/tocantins-araguaia#:~:text=A%20Regi%C3%A3o%20Hidrogr%C3%A1fica%20do%20Tocantins,totalmente%20contida%20em%20territ%C3%B3rio%20brasileiro.> 2009. Acesso em: 02 fev. 2026.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for mercury**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2024. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2026.

ALDOUS, Allison R.; TEAR, Tim; FERNANDEZ, Luis E. The global challenge of reducing mercury contamination from artisanal and small-scale gold mining (ASGM): evaluating solutions using generic theories of change. **Ecotoxicology**, London, v. 33, n. 4-5, p. 506-517, 2024. DOI: 10.1007/s10646-024-02747-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10646-024-02747-x>. Acesso em: 21 mar. 2026.

ALMEIDA, R. M.; HUIJBREGTS, M. A. J. Land use changes in the Brazilian Cerrado: consequences for mercury contamination in water and plants. **Environmental Pollution**, v. 252, p. 139–147, 2019. DOI: <http://10.1016/j.envpol.2019.05.103>.

AMARAL, A. K. N.; SILVA, G. B.; ROSA, L. E.; CHEREM, L. F. S.; MOMOLI, R. S.; DE CAMPOS ZANCOPE, M. H. Contamination vulnerability assessment of the Bambuí karst aquifer, in the Terra Ronca region-Goiás, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 130, p. 104552, 2023.

BATISTA, Pedro V. G. et al. First evidence of widespread, severe soil erosion underneath centre-pivot irrigation systems. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 888, p. 164119, 25 ago. 2023. DOI:

10.1016/j.scitotenv.2023.164119. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164119>. Acesso em: 21 mar. 2026.

BAUŠTEIN, M.; SZÁKOVÁ, J., STEFANOVIĆ, L., NAJMANOVÁ, J., SYSALOVÁ, J.; TLUSTOŠ, P. Assessment of Mercury Uptake by Plants in Former Cinnabar Mining Areas. **Minerals**, v. 14, n. 12, p. 1211, 2024.

BISINOTI, Márcia C.; JARDIM, Wilson F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 593-600, 2004. ISSN 0100-4042. Disponível em:  
[http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=3931](http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3931). Acesso em: 21 mar. 2026.

BONNINEAU, Chloé et al. Role of Biofilms in Contaminant Bioaccumulation and Trophic Transfer in Aquatic Ecosystems: Current State of Knowledge and Future Challenges. In: de VOOGT, Pim (ed.). **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**. Cham: Springer International Publishing, 2020. v. 253, p. 115-153. DOI: 10.1007/398\_2019\_39. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/398\\_2019\\_39](https://doi.org/10.1007/398_2019_39). Acesso em: 21 mar. 2026.

BRASIL. Decreto de 11 de setembro de 2006. Dispõe sobre criação da Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca, nos municípios de Guarani de Goiás e São Domingos, Estado de Goiás, e da outra providencias. **Diário oficial da União**, Brasília, 12 set. 2006.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm). Acesso em: 21 mar. 2026.

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 138, n. 139, p. 1-7, 19 jul. 2000. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm). Acesso em: 21 mar. 2026.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 21 mar. 2026.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**,

Brasília, DF, 25 jan. 2001. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2000/res\\_conama\\_274\\_2000\\_balneabilidade.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2000/res_conama_274_2000_balneabilidade.pdf). Acesso em: 21 mar. 2026.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 21 mar. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)**. Brasília: ANA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/planos-de-recursos-hidricos/plano-nacional-de-recursos-hidricos-pnrh>. Acesso em: 21 mar. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 66, p. 64-68, 7 abr. 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 dez. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão ambiental de bacias hidrográficas**. Brasília: MMA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/gestao-ambiental-de-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 21 mar. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Unesco declara Pantanal Reserva da Biosfera**. Brasília: MMA, 8 nov. 2000. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/1019-unesco-declara-pantanal-reserva-da-biosfera.html>. Acesso em: 21 mar. 2026.

CABRERA, A. et al. Mercury biomagnification and microbial adaptation in a mining-impacted Amazonian River. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 495, p. 138989, 5 set. 2025. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2025.138989. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138989>. Acesso em: 21 mar. 2026.

CAMPOS, B. G. et al. Using a tiered approach based on ecotoxicological techniques to assess the ecological risks of contamination in a subtropical estuarine protected area. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 544, p. 564-573, 15 fev. 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.124. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.124>. Acesso em: 21 mar. 2026.

CARVALHO, G. S. et al. Selenium and mercury in Brazilian Cerrado soils and their relationships with physical and chemical soil characteristics. **Chemosphere**, Oxford, v. 218, p. 412-415, mar. 2019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.099. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.099>. Acesso em: 21 mar. 2026.

CARVALHO, Thiago Morato de. Morfometria e caracterização do meio físico de ambientes lacustres no Vão do Paranã-Goiás, Brasil. Uma primeira aproximação. **Terra**, São Paulo, v. 25, n. 38, p. 111-140, 2009.

CASTRO, Raysa Moraes et al. Spatiotemporal analysis of water quality indicators in a watershed in Brazilian Cerrado. **Water Supply**, London, v. 23, n. 3, p. 1161-1176, 2023. DOI: 10.2166/ws.2023.045. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/ws.2023.045>. Acesso em: 21 mar. 2026.

CHARKIEWICZ, Angelika Edyta et al. Mercury exposure and health effects: what do we really know?. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 26, n. 5, p. 2326, 5 mar. 2025. DOI: 10.3390/ijms26052326. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms26052326>. Acesso em: 21 mar. 2026.

CHOW, Elaine; TSUI, Martin Tsz-Ki. Elucidating microbial pathways of mercury methylation during litter decomposition. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 103, n. 4, p. 617-622, out. 2019. DOI: 10.1007/s00128-019-02700-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02700-3>. Acesso em: 21 mar. 2026.

COMMITTEE ON TOXICITY OF CHEMICALS IN FOOD, CONSUMER PRODUCTS AND THE ENVIRONMENT (COT). **Statement on the effects of mercury on maternal health**. London: Food Standards Agency, 2025. (TOX/2025/22). Disponível em: <https://cot.food.gov.uk/Toxicity%20-%20Statement%20on%20the%20Effects%20of%20Mercury%20on%20Maternal%20Health>. Acesso em: 21 mar. 2026.

CORAL CARRILLO, Katty et al. Spatial distribution and level of contamination of potentially toxic elements in sediments and soils of a biological reserve wetland, northern Amazon region of Ecuador. **Journal of Environmental Management**, London, v. 289, p. 112495, 1º jul. 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112495. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112495>. Acesso em: 21 mar. 2026.

COSTA, L. D. M. F.; EID, N. J.; PUECH, C.; DA SILVA, G. F.; DOS SANTOS, R. M. Determinação de zonas de mudança na área da Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca – Goiás. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s.n.], 2011.

DABRÉ, D.; GUÉDRON, S.; MAÏGA, Y.; JELAVIC, S.; CAMPILLO, S.; FIN, J.; MASON, R. Mercury transfer and transformation from mine soil to river sediments: the potential role of amorphous iron oxides in methylation processes in southern Burkina Faso. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 27, n. 10, p. 3246-3260, 2025.

DANTAS, S. V.; FELIX, C. S.; CUNHA, F. A.; DE ANDRADE, J. B.; FERREIRA, S. L. Risk Assessment of Mercury in Soil, Water, and Sediments Collected in a Region Impacted by Gold Mining. **ACS omega**, v. 10, n. 8, p. 8152-8159, 2025.

DE JESUS, R. M. et al. Determination of mercury in phosphate fertilizers by cold vapor atomic absorption spectrometry. **Talanta**, Amsterdam, v. 106, p. 293-297, 2013. DOI: 10.1016/j.talanta.2012.10.074. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.10.074>. Acesso em: 21 mar. 2026.

DE MACEDO, B. M. **Pressão antrópica sobre o Parque Estadual de Terra Ronca-Goiás**. 2017. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <http://jbb.ibict.br/handle/1/1154>. Acesso em: 3 fev. 2026.

DE SOUSA, Luisa Helena Silva et al. Panorama da hidrologia brasileira: clima, gestão e uso sustentável. In: **Ciências ambientais: recursos hídricos, gestão e sustentabilidade**. São José dos Pinhais: Editora Científica Digital, 2024. v. 1, p. 1-24. DOI: 10.37885/240717184. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/240717184.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2026.

DE SOUZA, C. L. F. et al. O cerrado como o “berço das águas”: potencialidades para a educação geográfica. **Revista Cerrados**, Montes Claros, v. 17, n. 1, p. 86-113, 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/1372>. Acesso em: 21 mar. 2026.

DENPETKUL, Thammanitchpol et al. Risk-based critical concentrations of enteric pathogens for recreational water criteria and recommended minimum sample volumes for routine water monitoring. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 950, p. 175234, 10 nov. 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.175234. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175234>. Acesso em: 21 mar. 2026.

DÓREA, José G. Exposure to environmental neurotoxic substances and neurodevelopment in children from Latin America and the Caribbean. **Environmental Research**, Amsterdam, v. 192, p. 110199, jan. 2021. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110199. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110199>. Acesso em: 21 mar. 2026.

DRISCOLL, C. T.; MASON, R. P.; CHAN, H. M.; JACOB, D. J.; PIRRONE, N. Mercury as a global pollutant: sources, pathways, and effects. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 10, p. 4967-4983, 2013.

ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE CANADA. **Canadian mercury science assessment**: report. Gatineau: Environment and Climate Change Canada, 2016. 793 p. ISBN 9780660044996. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/environment-climate->

change/services/pollutants/mercury-environment/atmospheric-transport.html. Acesso em: 21 mar. 2026.

EPA, Environmental Protection Agency. **National Primary Drinking Water Regulations**. 2025. Disponível em: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>. Acesso em 11 de fev. 2026.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). Scientific opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. **EFSA Journal**, Parma, v. 10, n. 12, p. 2985, 2012. DOI: 10.2903/j.efsa.2012.2985. Disponível em: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985>. Acesso em: 21 mar. 2026.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Global assessment of soil pollution: report**. Rome: FAO, 2021. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb4894en>. Acesso em: 21 mar. 2026.

FERNANDES, Iara Oliveira et al. Mercury distribution in organisms, litter, and soils of the Middle Araguaia floodplain in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 31, n. 14, p. 20925-20940, mar. 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-32317-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32317-x>. Acesso em: 21 mar. 2026.

FERRARO, A. et al. Assessment of environmental parameters effect on potentially toxic elements mobility in foreshore sediments to support marine-coastal contamination prediction. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 194, n. Pt B, p. 115338, set. 2023. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.115338. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115338>. Acesso em: 21 mar. 2026.

FIORAVANTI, Riccardo et al. Bioaccumulation and biomagnification of mercury along the seafood chain in Europe: a systematic review. **Foods**, Basel, v. 14, n. 21, p. 3752, 31 out. 2025. DOI: 10.3390/foods14213752. PMID: 41227721. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods14213752>. Acesso em: 21 mar. 2026.

FITZGERALD, W. F.; LAMBORG, C. H. Geochemistry of mercury in the environment. In: LAMBORG, C. H.; FITZGERALD, W. F. (org.). **Treatise on Geochemistry**. Oxford: Elsevier, 2005. v. 9, p. 107–148.

FITZGERALD, William F.; LAMBORG, Chad H. Modern and historic atmospheric mercury fluxes in northern Alaska: global sources and Arctic depletion. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 39, n. 2, p. 557-568, 2005. DOI: 10.1021/es049128w. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es049128w>. Acesso em: 21 mar. 2026.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Global assessment of soil pollution**. Rome: FAO, 2021. Disponível em:

<https://openknowledge.fao.org/items/3cba5eed-e9a0-45f0-937b-35f26f2f2723>. Acesso em: 13 de fev. 2026.

FREITAS, F. et al. Native accumulator plants with a differential mercury phytoremediation potential in a region in Southern Amazon. **Environmental Science and Pollution Research International**, Heidelberg, v. 31, n. 54, p. 63120-63135, nov. 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-35407-y. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35407-y>. Acesso em: 21 mar. 2026.

FUENTES, Terly Gabriela Quiñonez et al. Impacts on the quality of surface water in a urban perimeter of the Rio Grande watershed, Brazilian Cerrado. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 196, n. 11, p. 1027, 7 out. 2024. DOI: 10.1007/s10661-024-13198-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13198-6>. Acesso em: 21 mar. 2026.

GLOBAL WITNESS. **What is the Cerrado and why is it important for our planet?**. London: Global Witness, 20 fev. 2024. Disponível em: <https://globalwitness.org/en/campaigns/forests/what-is-the-cerrado-and-why-is-it-important-for-our-planet/>. Acesso em: 21 mar. 2026.

GOIÁS. **Decreto nº 7.956, de 07 de agosto de 2013**. Institui o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Goianos do Rio Paranã, dispõe sobre sua organização e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Goiás**, Goiânia, 2013. Disponível em: [https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa\\_legislacao/66455/decreto-7956](https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa_legislacao/66455/decreto-7956). Acesso em: 19 de fev. de 2026.

GOIÁS. **Parque Estadual de Terra Ronca (PETER)**. Goiânia: Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2024. Disponível em: <https://goias.gov.br/parquesdegoias/parque-apa-e-unidade/parque-estadual-de-terra-ronca-peter/>. Acesso em: 21 mar. 2026.

GRANDJEAN, P.; BELLANGER, M. Calculation of the disease burden associated with environmental chemical exposures: Mercury exposure and neurodevelopmental impairment. **Environmental Health**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2017.

GRANDJEAN, Philippe; BELLANGER, Marie. Calculation of mercury's effects on neurodevelopment. **Environmental Health**, London, v. 16, n. 1, p. 20, 2017. DOI: 10.1186/s12940-017-0222-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0222-2>. Acesso em: 21 mar. 2026.

GRANDJEAN, P.; LANDRIGAN, P. J. Neurobehavioural effects of developmental toxicity. **The lancet neurology**, v. 13, n. 3, p. 330-338, 2014.

GRAY, J. E.; Leaching, transport, and methylation of mercury in and around abandoned mercury mines in the Humboldt River Basin and surrounding areas, Nevada. **US Geological Survey Bulletin**, v. 15, 2003.

GRECCHI, R. C.; GWYN, Q. H. J.; BÉNIÉ, G. B.; FORMAGGIO, A. R.; FAHL, F. C. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. **Applied Geography**, v. 55, p. 300-312, 2014.

HEALTH CANADA. **Guidelines for Canadian recreational water quality: microbiological pathogens and biological hazards: guideline technical document**. Ottawa: Health Canada, 2023. 70 p. ISBN 9780660680026. Disponível em: [https://publications.gc.ca/collections/collection\\_sc-hc/H144-118-2023-eng.pdf](https://publications.gc.ca/collections/collection_sc-hc/H144-118-2023-eng.pdf). Acesso em: 21 mar. 2026.

HSU-KIM, Heileen et al. Mechanisms regulating mercury bioavailability for methylating microorganisms in the aquatic environment: a critical review. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 47, n. 6, p. 2441-2456, 2013. DOI: 10.1021/es304370g. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es304370g>. Acesso em: 21 mar. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Bacias e divisões hidrográficas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil.html>. Acesso em: 21 mar. 2026.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). **Resex Recanto das Araras de Terra Ronca**. Brasília: ICMBio, 2024. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2104-resex-de-recanto-das-araras-de-terra-ronca>. Acesso em: 21 mar. 2026.

JORNAL OFICIAL DA UNIÃO EUROPEIA. Comunicação da Comissão - Orientações para apoiar a aplicação do Regulamento (UE) 2020/741 relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água (2022/C 298/01). 2022. **Jornal Oficial da União Europeia**, Bruxelas, 2022. Disponível em: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022XC0805\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022XC0805(01)). Acesso em 11 de fev. 2026.

LACERDA, L. D.; MARINS, R. V.; CAVALCANTE, M. Mercury mobilization due to global climate and regional land use changes in the Jaguaribe River Estuary, NE Brazil. In: BOTELLO, A.V. et al. (ed.). **Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático**; [S.l.]:[s.n.], 2017. p. 333-344.

LAVOIE, R. A., JARDINE, T. D., CHUMCHAL, M. M., KIDD, K. A., CAMPBELL, L. M. Biomagnification of mercury in aquatic food webs: a worldwide meta-analysis. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 23, p. 13385-13394, 2013.

LEÃO, Victória de Melo; JULIANO, Rafael de Freitas. A identidade da comunidade tradicional e seu papel em uma unidade de conservação do Brasil

Central: uma perspectiva da ecologia política. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Anápolis, v. 7, n. 2, p. 273-289, 2018. DOI: 10.21664/2238-8869.2018v7i2.p273-289. Disponível em: <https://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/2109>. Acesso em: 21 mar. 2026.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA (MMA). No Dia do Cerrado, conheça as ações do Governo Federal para ampliar a conservação do bioma. **Agência Gov**, Brasília, 11 set. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/no-dia-do-cerrado-conheca-as-acoes-do-governo-federal-para-ampliar-a-conservacao-do-bioma>. Acesso em: 21 mar. 2026.

MONTEIRO, L. C.; VIEIRA, L. C. G.; BERNARDI, J. V. E.; BASTOS, W. R.; DE SOUZA, J. P. R.; DO NASCIMENTO RECKTENVALD, M. C. N.; ... DE SOUZA, J. R. Local and landscape factors influencing mercury distribution in water, bottom sediment, and biota from lakes of the Araguaia River floodplain, Central Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 908, p. 168336, 2024a.

MONTEIRO, L. C.; VIEIRA, L. C. G.; BERNARDI, J. V. E.; DE CASTRO MORAES, L.; RODRIGUES, Y. O. S.; DE SOUZA, J. P. R.; ... DÓREA, J. G. Ecological risk of mercury in bottom sediments and spatial correlation with land use in Neotropical savanna floodplain lakes, Araguaia River, Central Brazil. **Environmental Research**, v. 238, p. 117231, 2023.

MONTEIRO, Lucas Cabrera et al. Ecological risk of mercury in bottom sediments and spatial correlation with land use in Neotropical savanna floodplain lakes, Araguaia River, Central Brazil. **Environmental Research**, Amsterdam, v. 238, n. P2, p. 117231, 2023. DOI: 10.1016/j.envres.2023.117231. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117231>. Acesso em: 21 mar. 2026.

MONTEIRO, L. C.; VIEIRA, L. C. G.; BERNARDI, J. V. E.; RODRIGUES, Y. O. S.; DE MESQUITA, L. P. B.; SOUZA, J. P. R. D.; ...BASTOS, W. R. Mercury bioconcentration and translocation in rooted macrophytes (*Paspalum repens* Berg.) from floodplain lakes in the Araguaia River Watershed, Brazilian Savanna. **Water**, v. 16, n. 9, p. 1199, 2024b.

MORAES, L. DE C.; BERNARDI, J. V. E.; DE SOUZA, J. P. R.; PORTELA, J. F.; PEREIRA, H. R.; DE OLIVEIRA BARBOSA, H.; ... DÓREA, J. G. Mercury contamination as an indicator of fish species' trophic position in the Middle Araguaia River, Brazil. **Toxics**, v. 11, n. 11, p. 886, 2023a.

MORAES, L.; BERNARDI, J. V. E.; DE SOUZA, J. P. R.; PORTELA, J. F.; VIEIRA, L. C. G.; SOUSA PASSOS, C. J., ... DOREA, J. G. Sediment Mercury, Geomorphology and Land Use in the Middle Araguaia River Floodplain (Savanna Biome, Brazil). **Soil Systems**, v. 7, n. 4, p. 97, 2023b.

NACCARATO, A. et al. Agrochemical treatments as a source of heavy metals and rare earth elements in agricultural soils and bioaccumulation in ground beetles. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 749, p. 141438, 20

dez. 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141438. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141438>. Acesso em: 21 mar. 2026.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Agenda 2030**. Brasília: ONU Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 21 mar. 2026.

OBRIST, Daniel et al. A review of global environmental mercury processes in response to human and natural perturbations: changes of emissions, climate, and land use. **Ambio**, Stockholm, v. 47, n. 2, p. 116-140, mar. 2018. DOI: 10.1007/s13280-017-1004-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1004-9>. Acesso em: 21 mar. 2026.

OLIVEIRA, A. M. et al. Potencial espeleológico da Reserva Extrativista Recanto das Araras – RESEX em São Domingos – GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33., 2015, Eldorado. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2015. [s.p.].

OUTRIDGE, P. M. et al. Updated global and oceanic mercury budgets for the United Nations Global Mercury Assessment 2018. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 52, n. 20, p. 11466-11477, 16 out. 2018. DOI: 10.1021/acs.est.8b01246. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01246>. Acesso em: 21 mar. 2026.

PANT, Rakesh et al. A review of mercury contamination in water and its impact on public health. In: KUMAR, Nitish (ed.). **Mercury toxicity mitigation: sustainable nexus approach**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 93-115. (Earth and Environmental Sciences Library). DOI: 10.1007/978-3-031-48817-7\_4. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-48817-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-48817-7_4). Acesso em: 21 mar. 2026.

PENG, Dong et al. Mercury budget in global rivers at present-day: impacts from reservoirs and dams. **EarthArXiv**, 14 mar. 2025. Preprint. Disponível em: <https://eartharxiv.org/repository/view/8744/>. Acesso em: 21 mar. 2026.

PENG, Dong et al. Human perturbations to mercury in global rivers. **Science Advances**, Washington, DC, v. 11, n. 24, p. eadw0471, 11 jun. 2025. DOI: 10.1126/sciadv.adw0471. PMID: 40498849. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adw0471>. Acesso em: 21 mar. 2026.

PERAZA, I.; CHÉTELAT, J.; RICHARDSON, M.; JUNG, T. S.; AWAN, M.; BARYLUK, S.; RYJKOV, A. Diet and landscape characteristics drive spatial patterns of mercury accumulation in a high-latitude terrestrial carnivore. **PLoS One**, v. 18, n. 5, p. e0285826, 2023.

PILON, Natashi; PEIXOTO, Fernanda; RATNAM, Jayashree; SANKARAN, Mahesh. There are more than just trees and forests to be conserved and restored. **Plants, People, Planet**, London, v. 7, n. 2, p. 1-5, 15 jan. 2025. DOI: 10.1002/ppp3.10635. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ppp3.10635>. Acesso em: 21 mar. 2026.

PIRRONE, Nicola et al. Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. **Atmospheric Chemistry and Physics**, Göttingen, v. 10, n. 13, p. 5951-5964, 2 jul. 2010. DOI: 10.5194/acp-10-5951-2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/acp-10-5951-2010>. Acesso em: 21 mar. 2026.

PRIMACK, Richard B.; RODRIGUES, Efraim. **Biologia da conservação**. Londrina: E. Rodrigues, 2001.

QIAO, Pengwei et al. Speciation, mobility, and risks of heavy metals in sediment and water of a freshwater Lake in Fujian Province, China. **Chemistry and Ecology**, Abingdon, v. 40, n. 5, p. 554-571, 27 maio 2024. DOI: 10.1080/02757540.2024.2357653. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02757540.2024.2357653>. Acesso em: 21 mar. 2026.

RAVICHANDRAN, M. Interactions between mercury and dissolved organic matter- a review. **Chemosphere**, v. 55, n. 3, p. 319-331, 2004

RODRIGUES, Y. O.; DÓREA, J. G.; LANDIM, P. M. B.; BERNARDI, J. V. E.; MONTEIRO, L. C.; DE SOUZA, J. P. R.; DE SOUZA, J. R. Mercury spatiality and mobilization in roadside soils adjacent to a savannah ecological reserve. **Environmental Research**, v. 205, p. 112513, 2022.

ROSE, Joan B.; ÖRMECI, Banu; AW, Tiong Gim. Water quality and health: an ecological perspective. **Water & Ecology**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 57-70, abr. 2025. DOI: 10.1016/j.wateco.2025.100007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wateco.2025.100007>. Acesso em: 21 mar. 2026.

ROULET, M. et al. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 112, n. 3-4, p. 297-313, 1999. DOI: 10.1023/A:1005006208430.

SANO, E. E.; ROSA, R.; SCARAMUZZA, C. A. D. M.; ADAMI, M.; BOLFE, E. L.; COUTINHO, A. C., BAYMA-SILVA, G. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. e00138, 2019.

SANTOS, Josué Carinhanha C. et al. Exposure to a contaminated environment and its relationship with human health: Mercury effect on loss of functionality and increased oxidative stress of blood cells. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 489, p. 137543, 2025. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2025.137543. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137543>. Acesso em: 21 mar. 2026.

SANUSI, Idris O.; ADEPOJU, Adeleke A.; ABDULRAHMAN, Bashir D. Heavy metal contamination, human health impact, and remediation techniques in water bodies: a review. **Discover Environment**, Cham, v. 3, n. 1, p. 268, 2025. DOI: 10.1007/s44274-025-00475-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00475-5>. Acesso em: 21 mar. 2026.

SARAVANAN, Panchamoorthy et al. Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment. **Environmental Research**, Amsterdam, v. 258, p. 119440, 1º out. 2024. DOI: 10.1016/j.envres.2024.119440. PMID: 38906448. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119440>. Acesso em: 21 mar. 2026.

SCHEER (SCIENTIFIC COMMITTEE ON HEALTH, ENVIRONMENTAL AND EMERGING RISKS). **Final Opinion on Draft Environmental Quality Standards for Priority Substances under the Water Framework Directive - Mercury and its compounds**. Brussels: European Commission, 22 dez. 2022. Disponível em: [https://health.ec.europa.eu/publications/scheer-scientific-opinion-draft-environmental-quality-standards-priority-substances-under-water-12\\_en](https://health.ec.europa.eu/publications/scheer-scientific-opinion-draft-environmental-quality-standards-priority-substances-under-water-12_en). Acesso em: 21 mar. 2026.

SCHIEBELBEIN, Luis Miguel (org.). **Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018. DOI: 10.22533/at.ed.247190901. ISBN: 978-85-7247-024-7. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/gestao-de-recursos-hidricos-e-sustentabilidade>. Acesso em: 21 mar. 2026.

SELIN, N. E. Global biogeochemical cycling of mercury: a review. **Annual review of environment and resources**, v. 34, p. 43-63, 2009.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Mapeamento hidrogeológico do Carste do São Domingos**. Goiânia: CPRM, 2021.

SHI, Xinhong. Molecular toxicological mechanisms and health risks of mercury: environmental exposure, biological effects and control strategies. **Highlights in Science, Engineering and Technology**, [S.l.], v. 125, p. 333-337, 2025. DOI: 10.54097/hset.v125i.7921. Disponível em: <https://doi.org/10.54097/hset.v125i.7921>. Acesso em: 21 mar. 2026.

SIEG, Sistema Estadual de Geoinformação. **Base cartográfica e ambiental do estado de Goiás**. Goiânia, 2014. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso: 02 de jan. 2026.

SILVA, J. C. et al. Enhancing representativeness of eddy covariance evapotranspiration with remote sensing and in situ data: a case study in the Brazilian Cerrado. **AmeriFlux**, Berkeley, 25 mar. 2025. Disponível em: <https://ameriflux.lbl.gov/community/publication/enhancing-representativeness-of-eddy-covariance-evapotranspiration-with-remote-sensing-and-in-situ-data-a-case-study-in-the-brazilian-cerrado/>. Acesso em: 21 mar. 2026.

SOUSA, J. C. et al. Avaliação da contaminação microbiológica em curso d'água intermitente no Parque Nacional de Jericoacoara, Ceará: influência dos efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 62, 2025. e-ISSN: 2447-9187.

STECKLING, N.; BOSE-O'REILLY, S.; PINHEIRO, P.; PLASS, D.; SHOKO, D.; DRASCH, G.; HORNBERG, C. The burden of chronic mercury intoxication in artisanal small-scale gold mining in Zimbabwe: data availability and preliminary estimates. **Environmental Health**, v. 13, n. 1, p. 111, 2014.

SYMON, C. **AMAP/UNEP technical background report for the global mercury assessment 2013: final technical report; output**. 2013. Disponível em: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/items/d39cf5c4-c225-4368-aaa2-e851f4a760f9>. Acesso em: 09 de fev. 2026.

TEIXEIRA, Denilson. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, Araraquara, v. 11, n. 1, p. 136-156, 2007. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/issue/view/30>. Acesso em: 21 mar. 2026.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. A/RES/70/1. New York: United Nations, 2015. Disponível em: <https://undocs.org/A/RES/70/1>. Acesso em: 21 mar. 2026.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Mercury general information**. Nairobi: UNEP, 2023. Disponível em: <https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/mercury/mercury-general-information>. Acesso em: 21 mar. 2026.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Minamata Convention on Mercury**. 2013. Disponível em: <http://www.mercuryconvention.org>. Acesso em: 10 de fev. 2026.

VAN DE STREEK, Marcel et al. Quantification of heavy metal exposure in a British population cohort links total mercury levels in plasma with skin tissue-specific changes in mitochondrial-related gene expression. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 963, p. 178427, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.178427. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178427>. Acesso em: 21 mar. 2026.

VIEIRA, Rita Marcia da Silva Pinto et al. Land degradation mapping in the MATOPIBA region (Brazil) using remote sensing data and decision-tree analysis. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 782, p. 146900, 1º ago. 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146900. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146900>. Acesso em: 21 mar. 2026.

WALTER, Bruno Machado Teles. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. 2006. 373 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/5772>. Acesso em: 21 mar. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**. 4th ed. Geneva: WHO, 2017. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: 21 mar. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **10 chemicals of public health concern**. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/photo-story/detail/10-chemicals-of-public-health-concern>. Acesso em: 13 de fev. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Mercury (Fact sheet)**. 24 Oct. 2024. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>. Acesso em: 13 de fev. 2026.

XIONG, Bingcai et al. Role of Methanosarcina in mercuric mercury transportation and methylation in sulfate-driven anaerobic oxidation of methane with municipal wastewater sludge. **Environmental Research**, Amsterdam, v. 267, p. 120689, 15 fev. 2025. DOI: 10.1016/j.envres.2024.120689. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120689>. Acesso em: 21 mar. 2026.

YANG, L.; ZHANG, Y.; WANG, F.; LUO, Z.; GUO, S.; STRÄHLE, U. Toxicity of mercury: Molecular evidence. **Chemosphere**, v. 245, p. 125586, 2020.

YU, H.; LI, J.; LUAN, Y. Meta-analysis of soil mercury accumulation by vegetables. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2018.

ZANATTO, Vinícius G. et al. Avaliação rápida de impactos em cavernas turísticas do Parque Estadual de Terra Ronca, Goiás, Brasil. **Physis Terrae: Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente**, Braga, v. 1, n. 2, p. 83-100, 2019. ISSN 2184-626X. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/67776>. Acesso em: 21 mar. 2026.

ZANATTO, Vinícius; STEINKE, Valdir; VIEIRA, António. Impactos do geoturismo na caverna Terra Ronca, Goiás, Brasil. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Porto, n. 16, p. 391, 2019. ISSN 2182-1267. Disponível em: <https://cegot.org/got/edicoes-anteriores>. Acesso em: 21 mar. 2026.

ZHAO, Wenyu et al. Overview of methylation and demethylation mechanisms and influencing factors of mercury in water. **Toxics**, Basel, v. 12, n. 10, p. 715, 2024. DOI: 10.3390/toxics12100715. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxics12100715>. Acesso em: 21 mar. 2026.

## CAPÍTULO 1

### CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO NO SOLO, AR E AMBIENTE AQUÁTICO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO CERRADO GOIANO

#### Resumo

O mercúrio (Hg) é um contaminante de relevância ambiental cuja distribuição em ecossistemas naturais depende da interação entre compartimentos terrestres e aquáticos e das condições físico-químicas do meio. Este estudo quantificou o mercúrio total (HgT) no solo, na água, no material em suspensão e no perifíton em duas Unidades de Conservação inseridas na região da APA Serra Geral de Goiás: o Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e a Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX). Também foram mensuradas concentrações de Hg atmosférico em pontos na BR-020, nascentes e cavernas, além da caracterização físico-química e microbiológica da água para investigar fatores associados à variabilidade do Hg. As concentrações de HgT na água foram baixas (PETeR:  $0,85 \pm 0,39$  ng L<sup>-1</sup>; RESEX:  $0,76 \pm 0,40$  ng L<sup>-1</sup>), enquanto maiores teores ocorreram nos compartimentos sólidos e biológicos. No PETeR, os valores médios de HgT foram  $23,15 \pm 7,88$  ng g<sup>-1</sup> (solo),  $28,33 \pm 22,60$  ng g<sup>-1</sup> (material em suspensão) e  $50,69 \pm 35,31$  ng g<sup>-1</sup> (perifíton). Na RESEX, observaram-se maiores médias e maior heterogeneidade espacial:  $37,86 \pm 22,51$  ng g<sup>-1</sup> (solo),  $81,95 \pm 75,30$  ng g<sup>-1</sup> (material em suspensão) e  $78,15 \pm 41,22$  ng g<sup>-1</sup> (perifíton). A água apresentou baixa mineralização e pH de levemente ácido a próximo da neutralidade, com maior variabilidade na RESEX em indicadores de qualidade relacionados a material particulado e matéria orgânica. O Hg atmosférico variou de 8 a 14 ng m<sup>-3</sup> e não diferiu entre ambientes (Kruskal–Wallis:  $p = 0,092$ ), sugerindo faixa regional relativamente uniforme com oscilações locais. As análises multivariadas e os modelos de regressão indicaram controles distintos do Hg conforme o compartimento, destacando o perifíton e o material em suspensão como matrizes-chave para caracterizar a dinâmica do Hg em áreas protegidas do Cerrado.

Palavras-chave: Cerrado brasileiro; Hg atmosférico; Mercúrio Total; Perifíton.

## Abstract

Mercury (Hg) is an environmentally relevant contaminant whose distribution in natural ecosystems depends on interactions between terrestrial and aquatic compartments and on the physicochemical conditions of the environment. This study quantified total mercury (THg) in soil, water, suspended particulate matter, and periphyton in two protected areas located within the Serra Geral de Goiás Environmental Protection Area (APA): Terra Ronca State Park (PETeR) and the Recanto das Araras de Terra Ronca Extractive Reserve (RESEX). Atmospheric Hg concentrations were also measured at sites along the BR-020 highway, springs, and caves, and water physicochemical and microbiological parameters were characterized to investigate factors associated with Hg variability. THg concentrations in water were low (PETeR:  $0.85 \pm 0.39 \text{ ng L}^{-1}$ ; RESEX:  $0.76 \pm 0.40 \text{ ng L}^{-1}$ ), whereas higher levels occurred in solid and biological compartments. In PETeR, mean THg concentrations were  $23.15 \pm 7.88 \text{ ng g}^{-1}$  (soil),  $28.33 \pm 22.60 \text{ ng g}^{-1}$  (suspended particulate matter), and  $50.69 \pm 35.31 \text{ ng g}^{-1}$  (periphyton). In RESEX, higher means and greater spatial heterogeneity were observed:  $37.86 \pm 22.51 \text{ ng g}^{-1}$  (soil),  $81.95 \pm 75.30 \text{ ng g}^{-1}$  (suspended particulate matter), and  $78.15 \pm 41.22 \text{ ng g}^{-1}$  (periphyton). Water showed low mineralization and pH ranging from slightly acidic to near neutral, with greater variability in RESEX for quality indicators related to particulate material and organic matter. Atmospheric Hg ranged from 8 to  $14 \text{ ng m}^{-3}$  and did not differ among environments (Kruskal–Wallis:  $p = 0.092$ ), suggesting a relatively uniform regional range with local fluctuations. Multivariate analyses and regression models indicated compartment-specific controls on Hg, highlighting periphyton and suspended particulate matter as key matrices for characterizing Hg dynamics in protected Cerrado areas.

Keywords: Brazilian Cerrado; Atmospheric Hg; Total mercury; Periphyton.

## 1. INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) é reconhecido como um contaminante de elevada relevância ambiental em razão de sua persistência, toxicidade, capacidade de transporte a longas distâncias e potencial de acumulação nos ecossistemas, podendo resultar em efeitos adversos à biota e aos processos ecológicos (FITZGERALD; LAMBORG, 2005; SELIN, 2009; DRISCOLL et al., 2013).

Em ambientes naturais, o Hg pode ter origem tanto em fontes geogênicas, associadas ao intemperismo de rochas e solos, quanto em fontes antrópicas, como a deposição atmosférica resultante de atividades industriais, queima de combustíveis fósseis, mineração e combustão de biomassa (PIRRONE et al., 2010; UNEP, 2018). A deposição atmosférica constitui a principal via de entrada do Hg em ecossistemas naturais, sendo alimentada por emissões naturais, atuando em escalas regionais e globais e promovendo sua redistribuição mesmo em áreas distantes das fontes emissoras (OUTRIDGE et al., 2018).

Uma vez introduzido no sistema, o Hg tende a se redistribuir entre diferentes compartimentos ambientais, incluindo atmosfera, solo, água, sedimentos e biota, reforçando a necessidade de abordagens integradas para compreender sua dinâmica, os mecanismos de retenção e transformação e os potenciais riscos ecológicos associados (FITZGERALD et al., 2007; SELIN, 2009).

Em sistemas aquáticos, a presença e o comportamento do mercúrio são fortemente condicionados pelas interações entre a fração dissolvida e a fração particulada, frequentemente associada a sedimentos finos e à matéria orgânica (MERRITT; AMIRBAHMAN, 2007). Os sedimentos em suspensão constituem importante via de transporte e redistribuição do Hg, especialmente em condições de maior turbulência e aporte particulado (ROULET et al., 2000), enquanto o perifíton atua como compartimento integrador da disponibilidade e incorporação do elemento na base da cadeia trófica (ROULET et al., 2000; DESROSIERS et al., 2006; LAVOIE et al., 2013).

De forma complementar, os solos funcionam como reservatórios relevantes de Hg e como fontes potenciais para os corpos d'água, influenciando sua exportação por meio do escoamento superficial, da erosão e da lixiviação (OBRIST et al., 2011; O'CONNOR et al., 2019). Esse papel é reforçado pela deposição atmosférica mediada pela vegetação, com a transferência do Hg das

copas para o solo via serapilheira e pela precipitação, consolidando o solo como elo fundamental entre a atmosfera e os sistemas aquáticos (BASH, 2006; WANG et al., 2016; YUAN et al., 2024).

A mobilidade e a biodisponibilidade do Hg nos solos são modulados por propriedades pedológicas, como teor de matéria orgânica, pH e presença de óxidos de ferro e alumínio, características comuns em solos do bioma Cerrado (CARVALHO et al., 2019; FERNANDES et al., 2024). Em ambientes de planície de inundação e sistemas cársticos, essas relações podem apresentar elevada complexidade em função da interação entre hidrologia, geomorfologia e conectividade entre compartimentos superficiais e subterrâneos (ROULET; LUCOTTE, 1995; CPRM, 2021).

As Unidades de Conservação inseridas na região da Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra Geral de Goiás desempenham papel estratégico na manutenção de serviços ecossistêmicos, especialmente na proteção de nascentes, cursos d'água e aquíferos cársticos, contribuindo para a conservação da biodiversidade e da qualidade ambiental (BRASIL, 2000; MMA, 2018). Contudo, mesmo sob proteção legal, esses ambientes podem ser influenciados por pressões indiretas decorrentes do uso e ocupação do entorno, particularmente à expansão da fronteira agrícola e à deposição atmosférica de contaminantes (SELIN, 2009; PIRRONE et al., 2010).

No bioma Cerrado, estudos recentes têm evidenciado que a dinâmica do mercúrio depende da interação entre fatores locais — como tipo de solo, matéria orgânica e condições físico-químicas da água — e fatores regionais, como uso e cobertura do solo e conectividade hidrológica (MONTEIRO et al., 2023; MONTEIRO et al., 2024a; MONTEIRO et al., 2024b). Investigações realizadas em ecossistemas ripários e planícies de inundação do rio Araguaia demonstraram a ocorrência de bioacumulação e biomagnificação do Hg ao longo da cadeia trófica, reforçando a relevância de compartimentos como sedimentos e biofilmes na avaliação do risco ecológico (MORAES et al., 2023a; FERNANDES et al., 2024).

Nesse contexto, a avaliação integrada das concentrações de mercúrio em diferentes compartimentos ambientais, solo, água, sedimentos em suspensão, perifíton e atmosfera torna-se fundamental para o estabelecimento de linhas de base ambientais em áreas protegidas, permitindo interpretar padrões espaciais,

identificar condicionantes ambientais e subsidiar estratégias de monitoramento e gestão ambiental (UNEP, 2019; OUTRIDGE et al., 2018).

Diante disso, o presente capítulo tem como objetivo determinar as concentrações de mercúrio (HgT) no solo, no ar e no ambiente aquático (água, sedimentos em suspensão e perifíton) em duas Unidades de Conservação inseridas na região da APA Serra Geral de Goiás, o Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX); avaliar a qualidade da água dos corpos hídricos por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos; e avaliar a relação entre os teores de Hg e os parâmetros físico-químicos da água, buscando identificar condicionantes ambientais da distribuição do contaminante em ambientes naturais do Cerrado.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. ÁREA DE ESTUDO**

O Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) localiza-se nos municípios goianos de Guarani de Goiás e São Domingos (Figuras 1), é limitante a Leste com a Área de Preservação Ambiental da Serra Geral de Goiás. Possui uma área de 57.000 ha, com gestão voltada ao ecoturismo pesquisas científicas e práticas sustentáveis de comunidades tradicionais (SEMAD-GO, 2018).

A região possui clima tropical savânico (Aw, segundo Köppen), com estações chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro) bem definidas. A precipitação média anual é de 1.500 a 1.700 mm, e as temperaturas variam entre 22°C e 26°C, atingindo até 35°C no verão e 15°C no inverno (ALVARES et al., 2013).

Estudos recentes destacam a relevância hidrogeológica e paleontológica do local (VIEIRA et al., 2008). A região é geologicamente marcada pelo Grupo Bambuí (Proterozóico: 1,2–0,54 bilhões de anos), composto por rochas carbonáticas (calcários e dolomitos) que promovem a formação cárstica. Os processos de dissolução química, promovidos pela ação da água em ambientes calcários, resultam na formação de cavernas, dolinas e espeleotemas, como estalactites e estalagmites. Estudo recente sobre a geologia do Parque Estadual de Terra Ronca destaca a complexidade dessas formações espeleológicas,

sublinhando como a dinâmica hídrica, aliada à composição mineralógica das rochas, contribui para esses fenômenos (AMARAL e al., 2023; FAQUIM et al., 2017; ZANATTO et al., 2019). Além disso, estudos realizados em sistemas cársticos, como na APA Carste de Lagoa Santa (MG), demonstram que a caracterização e modelagem hidrogeoquímica dos aquíferos são ferramentas essenciais para compreender a dinâmica da água subterrânea nesses ambientes complexos e para avaliar as relações litológicas, hidrológicas e geoclimáticas que controlam a química da água em áreas cársticas de proteção ambiental (DINIZ BARBOSA et al., 2024).

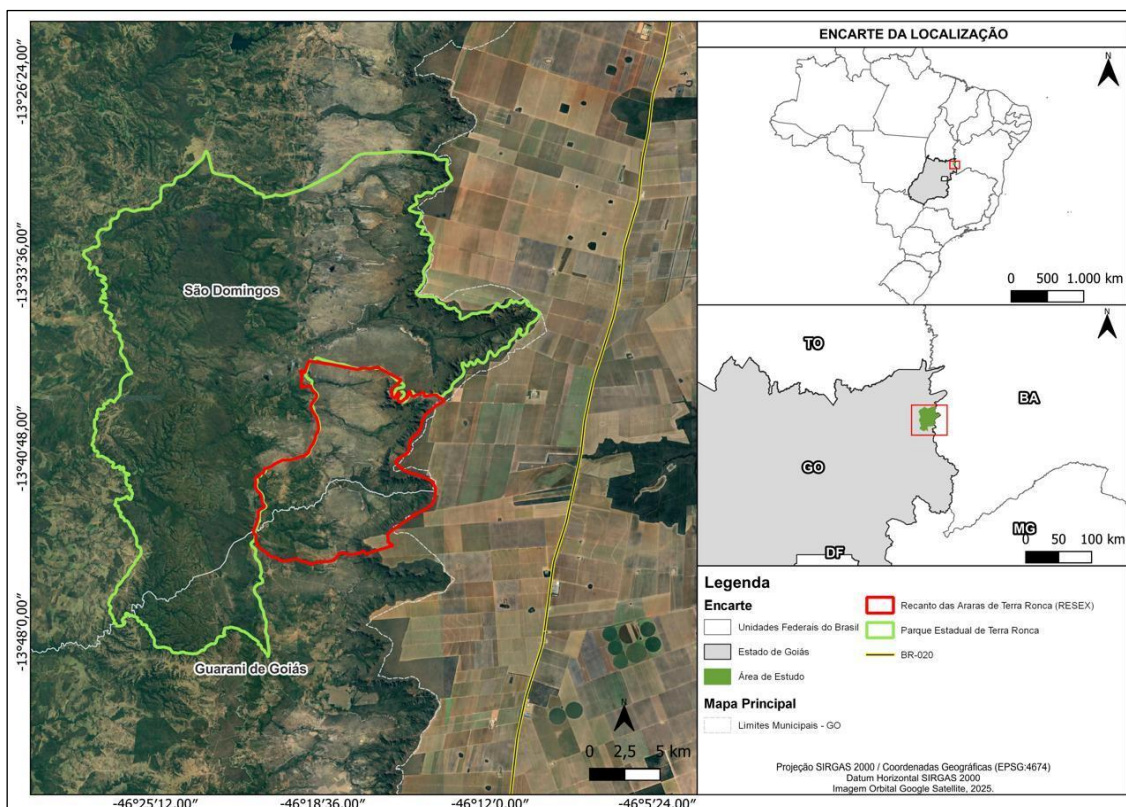
Já a Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX) foi criada por Decreto de 11 de setembro de 2006 e localiza-se no nordeste do estado de Goiás, em área contígua ao Parque Estadual de Terra Ronca e próxima à divisa com o estado da Bahia (Figura 1; Brasil, 2006). A unidade possui aproximadamente 11.964 ha, está inserida no bioma Cerrado e constitui uma das primeiras reservas extrativistas instituídas nesse bioma. Apresenta elevado grau de conservação ambiental, expressiva biodiversidade e relevante valor paisagístico, abrigando cerca de 115 famílias de populações tradicionais que utilizam os recursos naturais de forma sustentável, com destaque para o extrativismo de espécies vegetais nativas (COSTA et al., 2011).

O clima da região é tropical do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa, entre outubro e março, e outra seca, de abril a setembro. A precipitação média anual varia entre aproximadamente 1.300 e 1.500 mm, concentrada no período chuvoso, enquanto as temperaturas médias anuais situam-se entre 22 e 26 °C, com baixa amplitude térmica. Do ponto de vista físico, a área é marcada por substrato geológico predominantemente carbonático do Grupo Bambuí, que favorece o desenvolvimento de relevo cárstico, com ocorrência de cavernas, dolinas e sistemas subterrâneos de drenagem. Os solos predominantes incluem Latossolos, Cambissolos, Neossolos e Gleissolos, associados a um mosaico de fitofisionomias típicas do Cerrado, como cerrado sentido restrito, cerradão, veredas e matas de galeria, inseridas na bacia do rio Paranã, integrante da Região Hidrográfica Tocantins–Araguaia (OLIVEIRA et al., 2015; COSTA et al., 2011; SIEG, 2014).

APA da Serra Geral de Goiás está inserida em uma região de elevada relevância ambiental, com mosaico de fitofisionomias do Cerrado, áreas de recarga hídrica e ambientes sensíveis como nascentes, veredas e cursos d'água que sustentam a biodiversidade local e serviços ecossistêmicos essenciais (GOIÁS, 2024). Sua posição geográfica, contudo, a coloca em contato direto com uma das fronteiras agrícolas mais intensas do país, no Oeste Baiano, especialmente nos municípios de Luís Eduardo Magalhães (LEM) e Correntina, onde predominam sistemas altamente tecnificados, irrigação por pivôs centrais e produção em larga escala (GUIMARÃES; LANDAU, 2024; G1, 2019).

Em contrapartida, essa intensa antropização no entorno da unidade pode aumentar as pressões sobre o ecossistema da APA, sobretudo pelo risco de contaminação associada ao uso de agrotóxicos e fertilizantes. Processos como a deriva durante a aplicação, escoamento superficial e lixiviação podem transportar contaminantes para o solo e para os corpos hídricos, afetando ambientes mais sensíveis (HUNKE et al., 2015). Além disso, a expansão agrícola tende a intensificar a fragmentação de habitats, alterar a dinâmica hidrológica e elevar a carga de sedimentos e nutrientes nos sistemas aquáticos (FOUCHER et al., 2024), reforçando a importância de monitoramento ambiental e medidas de mitigação no entorno da área protegida.

**Figura 1** - Mapa de localização do Parque Estadual de Terra Ronca e Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca, Goiás, Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor

## 2.2. COLETA E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

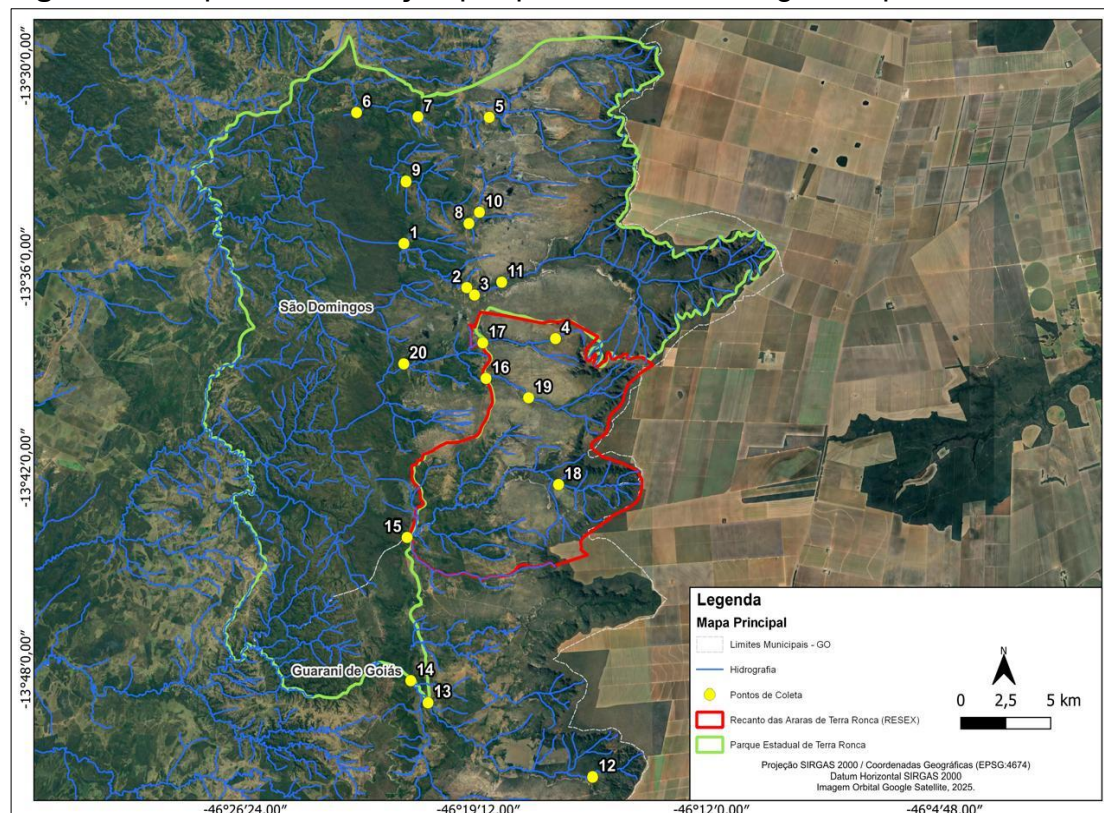
Os procedimentos de coleta, preservação e análises seguiram as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas (CETESB, 2023).

Em cada ponto de coleta foi delimitado um raio de 10 m<sup>2</sup>, onde foram amostrados: solo na profundidade de 0–20 cm (próximo às margens dos rios), sedimento superficial e perifíton. Amostras de água também foram coletadas para análise dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e da concentração de mercúrio. Os procedimentos específicos de cada coleta serão detalhados nos tópicos a seguir.

Os pontos foram distribuídos em 07 (sete) riachos que fazem parte da rede de drenagem das UCs (Tabela 1, Figura 2), sendo eles: Rios Angélica, Bezerra, Lapa, São Bernardo, São João, São Matheus e São Vicente. Para cada rio foram definidos três pontos de amostragem: um localizado nas proximidades da nascente, outro nas adjacências da ponte situada na estrada que atravessa o parque e conecta os municípios de Guarani de Goiás e São Domingos, e um

terceiro próximo à entrada das cavernas. Ressalta-se, contudo, que no Ponto 15 foi realizada apenas uma coleta, considerando que a ponte sobre o Rio da Lapa está localizada a menos de 100 metros da entrada da Caverna Terra Ronca, principal atrativo turístico do PETeR. Ao todo, foram estabelecidos 20 (vinte) pontos amostrais.

**Figura 2** - Mapa de localização parque, rede de drenagem, e pontos de coleta.



Fonte: elaborado pelo autor

Nos pontos amostrados no PETeR e na RESEX, a distribuição das classes de solos está fortemente condicionada pela dinâmica fluvial, pelo relevo cárstico e pela interação entre águas superficiais e subterrâneas (Tabela 1). Predominam os Neossolos Flúvicos, associados a margens de rios, nascentes, áreas de pontes e fundos de vale, formados a partir de sedimentos aluviais recentes e caracterizados por baixo grau de desenvolvimento pedogenético e elevada variabilidade textural, refletindo ambientes sujeitos a deposição e retrabalhamento frequentes (KER et al., 2015; EMBRAPA, 2021).

Em setores onde há maior contribuição de materiais arenosos quartzosos, especialmente em áreas de cavidades e transições flúvio-cársticas, ocorrem Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos, solos muito arenosos, bem drenados, com alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água e

nutrientes, típicos de ambientes mais frágeis e suscetíveis à erosão (KER et al., 2015; EMBRAPA, 2021). Os Argissolos Amarelos aparecem de forma pontual em posições intermediárias da paisagem (Tabela 1), associados a superfícies mais antigas e estáveis, apresentando maior grau de evolução pedogenética, evidenciado pela presença de horizonte Bt (KER et al., 2015; EMBRAPA, 2021). Já os Organossolos restringem-se a áreas hidromórficas, especialmente nascentes e zonas permanentemente ou sazonalmente encharcadas, com acúmulo expressivo de matéria orgânica e papel fundamental na regulação hídrica (KER et al., 2015; EMBRAPA, 2021). Em conjunto, esse padrão pedológico evidencia a elevada heterogeneidade ambiental do PETeR e da RESEX, bem como a alta sensibilidade desses ambientes a alterações no regime hídrico e no uso do solo.

**Tabela 1** - Localização e descrição dos pontos de coleta, coordenadas geográficas e tipo de solo em cada ponto.

Ponto	Unidade	Descrição	Coordenadas		Solo
1	PETeR	Cav. São Vicente	13°35'18.96"S	46°21'30.12"O	Neossolo flúvico
2	PETeR	Ponte São Vicente	13°36'37.20"S	46°19'33.66"O	Neossolo flúvico
3	PETeR	Prainha São Vicente	13°36'50.58"S	46°19'19.26"O	Neossolo flúvico
4	RESEX	Nasc. São João	13°38'9.18"S	46°16'49.08"O	Organossolo
5	PETeR	Nasc. Angélica	13°31'32.40"S	46°18'52.08"O	Argissolo amarelo
6	PETeR	Cav. Angélica	13°31'23.80"S	46°22'57.90"O	Neossolo quartzarênico
7	PETeR	Ponte Angélica	13°31'31.44"S	46°21'4.14"O	Argissolo amarelo
8	PETeR	Ponte Bezerra	13°34'42.84"S	46°19'29.64"O	Neossolo flúvico
9	PETeR	Cav. Bezerra	13°33'27.48"S	46°21'26.16"O	Argissolo amarelo
10	PETeR	Nasc. Bezerra	13°34'22.51"S	46°19'10.08"O	Neossolo flúvico
11	PETeR	Nasc. São Vicente	13°36'27.42"S	46°18'28.86"O	Neossolo flúvico
12	PETeR	Nasc. São Bernardo	13°51'13.20"S	46°15'40.32"O	Organossolo
13	PETeR	Ponte São Bernardo	13°48'59.90"S	46°20'45.40"O	Neossolo flúvico
14	PETeR	Cav. São Bernardo	13°48'21.30"S	46°21'17.46"O	Neossolo flúvico
15	RESEX	Cav. Terra Ronca	13°44'4.14"S	46°21'24.18"O	Neossolo flúvico
16	RESEX	Ponte São Matheus	13°39'19.74"S	46°18'57.96"O	Argissolo amarelo
17	RESEX	Ponte São João	13°38'16.86"S	46°19'3.90"O	Neossolo flúvico
18	RESEX	Nasc. Lapa	13°42'29.94"S	46°16'43.50"O	Neossolo flúvico

Ponto	Unidade	Descrição	Coordenadas		Solo
19	RESEX	Nasc. São Matheus	13°39'54.70"S	46°17'39.00"O	Organossolo
20	PETeR	São Matheus	13°38'53.62"S	46°21'30.41"O	Neossolo quartzarênico

Fonte: Elaborado pelo autor

### 2.3. AMOSTRAGEM DE SOLO

As amostras de solo foram coletadas em maio de 2024 (período de seca), próximo às margens dos rios (~2 m) a uma profundidade de 0,0 - 0,2 m utilizando um trado holandês, sendo devidamente identificadas, acondicionadas em sacos plásticos e transportadas até o Laboratório de Geoquímica da Faculdade UnB de Planaltina.

No laboratório as amostras foram secas em estufa a 65° C, e em seguida maceradas em pilão de ágata, e posteriormente peneiradas a 125 µm para a uniformização das partículas, seguindo para determinação da concentração de mercúrio.

### 2.4. AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO SUPERFICIAL

Para coleta de sedimento superficial, foram instalados coletores nos rios amostrados, os quais permaneceram em campo entre maio e de julho de 2024, quando foram devidamente recolhidos para análise.

As amostras de sedimento superficial foram coletadas por meio de um equipamento de fabricação própria, utilizando tubos de PVC e lâmina de polietileno, posicionados aproximadamente 0,20 m abaixo da lâmina d'água, (Figura 3).

As amostras foram armazenadas em sacos plásticos, e mantidas resfriadas em caixas térmicas até a chegada ao laboratório. Em seguida as amostras foram secas em estufa a 65 °C, trituradas, e seguiram para determinação da concentração de mercúrio.

**Figura 3** - Equipamento coletor de sedimento superficial.



Fonte: Elaborado pelo autor

## 2.5. AMOSTRAGEM DE PERIFÍTON

As coletas de perifíton ocorreram simultaneamente a coleta de água e solo no mês de julho de 2024. No leito dos rios, foram selecionadas rochas de pequeno porte, as quais foram lavadas em bandejas de plástico com água destilada e escovas de cerdas macias, com o intuito de remover o perifíton agregado (Figura 4). O material coletado foi transferido para frascos de polietileno e armazenado em caixa térmica com gelo, sendo mantido sob refrigeração até sua chegada ao laboratório para análise.

**Figura 4** - Raspagem de Perifíton agregado nas rochas.



Fonte: Elaborado pelo autor

## 2.6. DETERMINAÇÃO DE HGT EM SOLO, SEDIMENTO SUPERFICIAL E PERIFÍTON

A determinação da concentração de mercúrio total (HgT) nas amostras de solo, sedimento suspenso e perifíton foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica da Faculdade UnB de Planaltina. A quantificação foi feita com o uso de um equipamento portátil Lumex (RA-915+) (Lumex, São Petersburgo, Rússia), projetado para a análise de HgT por espectrofotometria de absorção atômica com correção Zeeman, acoplado a uma câmara de pirólise (Pyro-915) (Lumex, São Petersburgo, Rússia).

As amostras foram pesadas utilizando uma balança de precisão e, em seguida, inseridas na câmara de pirólise, onde os compostos de mercúrio foram dissociados termicamente, permitindo sua leitura e interpretação (SHOLUPOV et al., 2004).

A espectrometria de absorção atômica por decomposição térmica, amalgamação e atomização (TDA AAS), consolidada como Método EPA 7473 (US EPA, 1998), é uma técnica estabelecida para determinação direta de mercúrio total em matrizes sólidas e líquidas. Sua principal vantagem é a dispensa de preparo químico, eliminando etapas de digestão ácida e uso de

reagentes corrosivos (BOYLAN et al., 2001). O método permite que amostras sólidas sejam analisadas diretamente em aproximadamente 5 minutos por amostra, com resultados comparáveis aos métodos laboratoriais convencionais e limites de detecção superiores.

Todas as medições foram realizadas em duplicatas e estiveram dentro dos limites de quantificação (LQ = 0,1946 ng) e detecção (LD = 0,0590 ng), para solo e sedimentos, e (LQ = 0,1751 ng) e detecção (LD = 0,0531 ng), para perifiton, conforme estabelecido pela curva de calibração, com um desvio padrão relativo máximo inferior a 10 %. A validação das análises foi realizada por meio da quantificação de HgT em materiais de referência certificados (PACS-3, SRM-1515), obtendo-se uma taxa de recuperação de 86,39 %, 87,87% e 104,47% respectivamente.

## 2.7. AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS NA ÁGUA

Para coleta de amostras de água superficial destinadas às análises físico-químicas foram utilizados frascos de polietileno de 350 mL previamente preparados. Em julho de 2024, a coleta foi realizada manualmente mergulhando os frascos cerca de 10 a 15 cm de profundidade. Para análise de coliformes totais e *Escherichia coli*, as amostras foram coletadas em frascos estéreis apropriados. Todas as amostras foram identificadas, acondicionadas em caixa térmica, sob refrigeração adequada, ao abrigo da luz e preservadas de acordo com as variáveis a serem analisadas até o momento das análises.

As variáveis temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos foram determinadas em campo, com o auxílio de medidor multiparâmetros portátil modelo Hq40d (Hach, Loveland, CO, EUA). A turbidez foi medida no dia da coleta, com a utilização de um turbidímetro portátil modelo 2100P (Hach, Loveland, CO, EUA) e cor aparente obtida através de medidor de cor *CheckerHC* (Hanna, Woonsocket, RI, EUA). Análises de coliformes totais e *Escherichia coli* foram realizadas em laboratório utilizando o método dos substratos enzimáticos Colilert® (Idexx, Westbrook, ME, EUA).

A dureza total foi medida nas amostras através do método titulométrico EDTA-Na (APHA, 2018). A análise de fósforo total foi realizada pelo método

ácido ascórbico/colorimétrico com leitura em espectrofotômetro UV-Visível modelo UV-1800, (Shimadzu, Kyoto, Japão). Os ânions brometo, cloreto, fluoreto, fosfato, nitrato, nitrito e sulfato; e os cátions amônio, cálcio, potássio, magnésio e sódio analisados por cromatografia iônica por meio de Cromatógrafo de Íons, modelo 761 *Compact* IC (Metrohm, Herisau, Suíça).

Análises de carbono total e nitrogênio total foram realizados por combustão catalítica a alta temperatura, seguido de detecção por infravermelho não dispersivo (NDIR), utilizando um analisador de carbono total, modelo vario TOC Cube (Elementar, Hesse, Alemanha). As análises químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Química Analítica de Água da Embrapa Cerrados (LQAA), Planaltina-DF. Na Tabela 2 são apresentadas as variáveis, unidades, métodos e metodologias empregadas nas análises das amostras.

**Tabela 2** - Variáveis físicas, químicas e microbiológicas de qualidade da água.

Variável	Unidade	Método	Metodologia
Amônio	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Brometo	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Carbono total	mg L <sup>-1</sup>	Infravermelho não dispersivo	ASTM D8083 - 2016
Cloreto	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Coliformes totais	NMP/100 mL	Substrato enzimático	APHA, 2018, 9223 B
Condutividade elétrica	µS/cm	Eletrométrico	APHA, 2018, 2510 B
Cor aparente	PCU	Espectrofotométrico	APHA, 2018, 2120 C
Dureza total	mg L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico	APHA, 2018, 2340 B
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	Substrato enzimático	APHA, 2018, 9223 B
Fluoreto	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Fosfato	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Fósforo total	mg L <sup>-1</sup>	Colorimétrico	APHA, 2018, 4500P E
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Nitrato	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Nitrito	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	Infravermelho não dispersivo	ASTM D8083 - 2016

Variável	Unidade	Método	Metodologia
Oxigênio dissolvido	mg L <sup>-1</sup>	Eletrométrico	APHA, 2018, 3120 B
pH	-	Eletrométrico	APHA, 2018, 4500H <sup>+</sup> B
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Sólidos totais dissolvidos	mg L <sup>-1</sup>	Eletrométrico	APHA, 2018, 2510 A
Sulfato	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Temperatura da água	°C	Eletrométrico	APHA, 2018, 2550
Turbidez	UNT	Turbidimétrico	APHA, 2018, 2130 B

Fonte: Elaborado pelo autor

**Legenda:** NMP = número mais provável / mg L<sup>-1</sup> = miligramas por litro / PCU = unidades de cobalto de platina / UNT = unidade nefelométrica de turbidez.

## 2.8. AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DE HGT NA ÁGUA

As amostras de água foram coletadas em garrafas PET (Polietileno Tereftalato) de 500 mL, acidificadas com HNO<sub>3</sub>, há uma concentração de 0,5% v/v, e congeladas até a determinação de mercúrio.

A quantificação de HgT nas amostras de água foi realizada por espectrometria de fluorescência atômica com geração de vapor frio (CVAFS, MERX-T, Brooks Rand, Seattle, EUA), realizadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal de Rondônia (UNIR).

## 2.9. AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DE HGT NO AR

A coleta e a leitura das amostras foram realizadas por purga direta de ar nos pontos previamente definidos, com o bocal de amostragem posicionado a aproximadamente 1 m acima do solo, registrando-se as concentrações em ng m<sup>-3</sup>. O procedimento consistiu em ajustar o equipamento às condições de operação, acionar a aspiração do ar e registrar as leituras. Antes das medições, foi feita a verificação da linha de base para checagem do funcionamento do sistema; nesse passo, o chamado “sinal branco” é avaliado pela passagem de ar através do filtro de absorção (LUMEX, 2009).

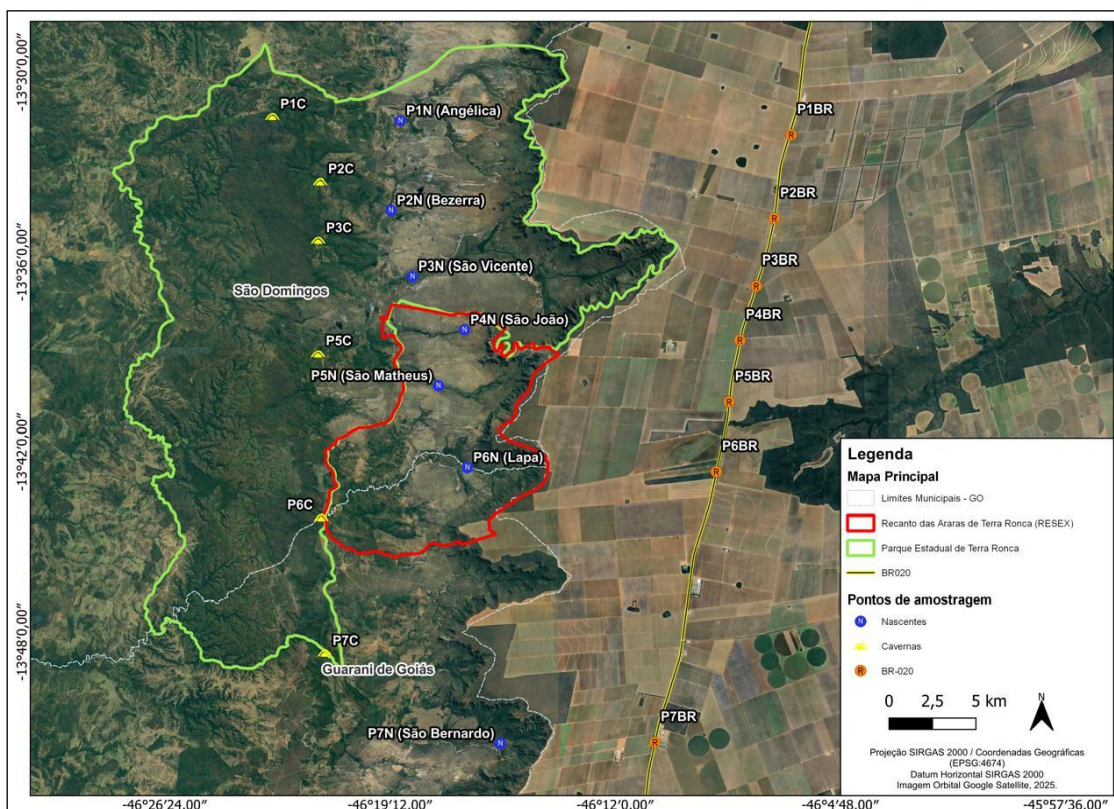
O analisador foi configurado com os seguintes parâmetros operacionais: correção da linha de base de 20 s, correspondente ao intervalo de medição do nível associado à concentração zero de vapor de Hg; tempo de enquadramento

de 60 s, utilizado para o cálculo da média do sinal analítico; tempo de integração de 150 s, período em que o sinal é integrado (somado); limite inferior de  $1 \text{ ng m}^{-3}$ , abaixo do qual o desvio de três leituras consecutivas não é considerado; e limite superior de  $100 \text{ ng m}^{-3}$ , acima do qual o equipamento emite um alerta durante a leitura (LUMEX, 2009).

O desempenho do equipamento foi verificado com o uso de uma célula de teste acoplada, contendo vapor de Hg em concentração conhecida para uma dada temperatura. De acordo com o fabricante, quando o desvio relativo entre os valores medidos e os valores de referência é inferior a 25%, o equipamento é considerado apto para uso (LUMEX, 2009). Para medições em ar, o analisador realiza recalibrações automáticas por mecanismos internos, contribuindo para a confiabilidade, precisão e acurácia dos resultados (SHOLUPOV et al., 2004).

A campanha de amostragem de HGT atmosférico foi realizada nos dias 21 e 22 de agosto de 2024. As medições foram realizadas entre 09h00 e 16h00 em pontos localizados na BR-020 (rodovia), nascentes e cavernas, conforme Figura 5 e Tabela 3.

**Figura 5** - Mapa de localização dos pontos de amostragem de Hg atmosférico.



Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 3** - Localização e descrição dos pontos de amostragem de Hg atmosférico.

PT	Riacho	Coordenadas					
		Nascentes		Cavernas*		BR 020	
1	Angélica	13°31'32.40"S	46°18'52.08"O	13°31'23.80"S	46°22'57.90"O	13°31'59.38"S	46°06'22.24"O
2	Bezerra	13°34'22.51"S	46°19'10.08"O	13°33'27.48"S	46°21'26.16"O	13°34'37.73"S	46°06'54.64"O
3	São Vicente	13°36'27.42"S	46°18'28.86"O	13°35'18.96"S	46°21'30.12"O	13°36'45.80"S	46°07'29.35"O
PT	Riacho	Coordenadas					
		Nascentes		Cavernas*		BR 020	
4	São João	13°38'9.18"S	46°16'49.08"O	-	-	13°38'29.06"S	46°08'00.78"O
5**	São Matheus	13°39'54.70"S	46°17'39.00"O	13°38'53.62"S	46°21'30.41"O	13°40'25.69"S	46°08'21.57"O
6	Lapa	13°42'29.94"S	46°16'43.50"O	13°44'4.14"S	46°21'24.18"O	13°42'37.73"S	46°08'46.07"O
7	São Bernardo	13°51'13.20"S	46°15'40.32"O	13°48'21.30"S	46°21'17.46"O	13°51'11.01"S	46°10'43.63"O

Fonte: Elaborado pelo autor

\*O Riacho São João não possui caverna

\*\* Os Rios São João e São Matheus se unem e depois seguem sendo o rio São Matheus até a Caverna.

## 2.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A estatística descritiva dos dados foi realizada a partir das concentrações de HgT na água, sedimento em suspensão, perifíton, solo e ar, assim como dos parâmetros físico-químicos da água (média, desvio padrão e amplitude). O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para avaliar a distribuição dos dados. Os dados não apresentaram distribuição paramétrica, assim, o teste de Kruskal-Wallis e o teste post hoc de *Dunn* foram utilizados para comparar as concentrações de HgT entre o sedimento em suspensão, perifíton e solo. As concentrações de HgT na água não foram comparadas devido à diferença na escala de valores ( $\text{ng.L}^{-1}$  vs  $\text{ng.g}^{-1}$ ).

A análise de Componentes Principais (PCA) foi utilizada para explorar a associação entre as concentrações de HgT e os parâmetros físico-químicos da água entre as unidades amostrais (função *rda*). Em seguida, foram construídos dois conjuntos de modelos de regressão linear múltipla. O primeiro conjunto de modelos foi utilizado para avaliar a contribuição dos parâmetros físico-químicos da água (variáveis preditoras) para a variação das concentrações de HgT na

água, sedimento em suspensão e perifíton (variável resposta). As variáveis preditoras incluídas em cada modelo foram selecionadas pelo método *forward selection*, baseado no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e no critério de informação Bayesiano (BIC) (função *regsubsets*).

O segundo modelo foi utilizado para avaliar a influência das concentrações de HgT entre os compartimentos, considerando HgT na água, sedimento em suspensão e perifíton como variáveis dependentes e, a depender da variável dependente, o HgT na água, sedimento em suspensão, perifíton e solo como variáveis preditoras.

A contribuição relativa de cada variável preditora foi calculada através da partição do  $R^2$  particionado através do cálculo da média das ordens (função *calc.relimp*). As premissas de linearidade (avaliação gráfica), normalidade (função *hapiro.test*), heterocedasticidade (função *bptest*) e autocorrelação (função *dwttest*) dos resíduos foram atendidas em todos os modelos. A ausência de multicolinearidade entre as variáveis preditoras foi avaliada pelo fator de inflação da variância ( $VIF < 10$ ). Todas as análises foram realizadas no ambiente de programação R 4.4.3 (R CORE TEAM, 2025), utilizando os pacotes *base*, *vegan*, *car*, *relaimpo* e *lmtest*.

### 3. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram inicialmente analisados de forma estratificada por unidade de conservação, considerando separadamente o Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e a Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX), com o objetivo de identificar padrões e variações associadas às especificidades ambientais e ao uso do território em cada área. Em seguida, as análises estatísticas multivariadas e os modelos de regressão foram conduzidos de forma integrada, combinando os dados das duas unidades, em função do tamanho amostral, o que possibilitou ampliar o poder estatístico das análises e fortalecer a interpretação dos fatores que influenciam a distribuição do mercúrio e a variabilidade dos parâmetros físico-químicos da água.

### 3.1. PARQUE ESTADUAL DE TERRA RONCA (PETER)

#### 3.1.1. Parâmetros de qualidade da água

Os parâmetros físico-químicos da água no Parque Estadual de Terra Ronca apresentaram comportamento compatível com sistemas aquáticos naturais do Cerrado, com variações associadas à litologia e às condições locais de drenagem (Tabela 4). A temperatura da água apresentou média de  $22,4 \pm 1,9$  °C, refletindo baixa variabilidade espacial. As concentrações de oxigênio dissolvido foram elevadas, com média de  $8,1 \pm 0,3$  mg L<sup>-1</sup>, indicando predomínio de condições oxidantes ao longo dos pontos amostrados.

O pH apresentou média de  $6,0 \pm 0,7$ , variando de levemente ácido a próximo da neutralidade. A condutividade elétrica apresentou média de  $3,4 \pm 1,4$  µS cm<sup>-1</sup>, enquanto os sólidos totais dissolvidos apresentaram média de  $1,8 \pm 0,8$  mg L<sup>-1</sup>, indicando baixa mineralização, com variações locais possivelmente associadas à contribuição de águas subterrâneas e ao tempo de residência da água.

A turbidez apresentou elevada variabilidade (média de  $4,0 \pm 4,7$  UNT; CV = 117 %), sugerindo influência de eventos pontuais de aporte de material particulado, especialmente em pontos associados a nascentes, pontes e zonas de maior conectividade hidrológica. A cor aparente variou amplamente (média de  $11,1 \pm 14,7$  PCU; CV = 133 %), refletindo a presença de matéria orgânica dissolvida, característica de ambientes com aporte de resíduos vegetais.

A dureza total apresentou média de  $2,1 \pm 1,1$  mg L<sup>-1</sup>, indicando predominância de águas brandas, apesar da influência de rochas carbonáticas. As concentrações de nutrientes nitrogenados (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) foram baixas, com valores frequentemente próximos aos limites de detecção, sugerindo ausência de enriquecimento nutricional expressivo. Os principais cátions (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) e ânions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup> e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) apresentaram concentrações reduzidas, compatíveis com águas pouco mineralizadas.

**Tabela 4 - Características físico-químicas da água – Parque estadual Terra Ronca**

ID	Classificação	Tem.	OD	pH	Cond	STD	Turb	Cor	Dur	NT	CT	PT	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NH <sub>3</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
		°C	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	-	µS/cm	mg L <sup>-1</sup>	UNT	PCU	mg L <sup>-1</sup>																		
1	Cav. São Vicente	24,9	7,9	5,3	3,3	1,5	19,6	55,0	2,5	0,3	3,6	0,0	0,5	0,1	0,1	0,2	0,5	0,3	0,0	0,4	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1
2	Ponte São Vicente	24,6	8,1	5,1	1,0	2,4	2,3	0,0	2,0	0,5	2,9	0,0	0,5	0,1	0,0	0,2	0,4	0,2	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
3	Prainha São Vicente	24,9	7,6	4,7	2,3	1,0	3,1	0,0	1,9	0,4	6,8	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,7	0,1	0,0	0,0	0,06
5	Nasc. Angélica	23,3	7,8	6,4	1,9	1,1	2,3	0,0	0,9	0,4	3,8	0,0	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,03
6	Cav. Angélica	20,3	8,4	6,0	3,9	2,3	2,6	10,0	1,7	0,6	4,5	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03
7	Ponte Angélica	22,1	8,1	6,7	4,2	2,1	2,1	5,0	0,8	0,5	3,8	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,03
8	Ponte Bezerra	21,3	8,1	6,5	5,8	2,7	3,9	10,0	4,1	0,5	4,5	0,0	0,6	0,1	0,1	0,1	0,8	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,05
9	Cav. Bezerra	19,3	8,1	6,4	5,7	2,9	2,5	20,0	3,3	0,3	4,2	0,0	0,4	0,1	0,0	0,1	0,7	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07
10	Nasc. Bezerra	20,3	7,8	6,8	4,8	2,3	2,2	0,0	1,4	0,5	3,7	0,0	0,4	0,2	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1
11	Nasc. São Vicente	-	-	6,0	3,0	0,9	2,5	20,0	2,3	0,4	1,5	0,1	0,3	0,1	0,1	0,4	0,6	0,2	0,0	5,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,02
12	Nasc. São Bernardo	-	-	5,3	3,3	1,0	1,5	15,0	1,2	0,1	1,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
13	Ponte São Bernardo	23,4	8,2	6,6	1,8	0,9	2,8	0,0	1,6	0,3	2,4	0,0	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,03
14	Cav. São Bernardo	23,2	8,5	6,6	4,1	2,6	1,7	5,0	4,3	0,0	3,4	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,8	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,03
20	São Matheus	21,0	8,1	5,1	2,6	1,2	6,8	15,0	1,6	0,7	2,8	0,0	0,3	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,06
	<b>Média</b>	<b>22,4</b>	<b>8,1</b>	<b>6,0</b>	<b>3,4</b>	<b>1,8</b>	<b>4,0</b>	<b>11,1</b>	<b>2,1</b>	<b>0,4</b>	<b>3,5</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,05</b>
	<b>D. Padrão</b>	<b>1,9</b>	<b>0,3</b>	<b>0,7</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>	<b>4,7</b>	<b>14,7</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	<b>1,4</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>1,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,03</b>
	<b>Cv</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>42</b>	<b>42</b>	<b>117</b>	<b>133</b>	<b>52</b>	<b>45</b>	<b>39</b>	<b>118</b>	<b>35</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>72</b>	<b>50</b>	<b>59</b>	<b>110</b>	<b>250</b>	<b>374</b>	<b>114</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>168</b>	<b>54</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor

**Legenda:** Tem. = temperatura da água; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; Cond = condutividade elétrica; STD = sólidos totais dissolvidos; Turb = turbidez; Cor = cor aparente; Dur = dureza total; NT = nitrogênio total; CT = carbono total; PT = fósforo total; Na<sup>+</sup> = sódio; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = amônio; N-NH<sub>3</sub> = nitrogênio amoniacal; K<sup>+</sup> = potássio; Ca<sup>2+</sup> = cálcio; Mg<sup>2+</sup> = magnésio; F<sup>-</sup> = fluoreto; Cl<sup>-</sup> = cloreto; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> = nitrito; Br<sup>-</sup> = brometo; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = nitrato; N-NO<sub>3</sub> = nitrogênio na forma de nitrato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = fosfato; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = sulfato.

### 3.1.2. Concentrações de HgT nos compartimentos bióticos e abióticos

As concentrações de mercúrio total (HgT) na água, solo, sedimentos em suspensão e perifíton são apresentadas na Tabela 5. A análise dos dados de HgT em diferentes matrizes ambientais (água, solo, sedimentos em suspensão e perifíton) fornece uma compreensão crítica da dinâmica de contaminação por mercúrio em um ecossistema aquático.

A concentração média de HgT na água foi de  $0,85 \pm 0,39 \text{ ng L}^{-1}$ , com valores variando entre 0,28 e  $1,57 \text{ ng L}^{-1}$ . A variação observada indica relativa homogeneidade entre os pontos amostrados, sugerindo que, de modo geral, o mercúrio encontra-se pouco concentrado na fase dissolvida.

No solo, a concentração média de HgT foi de  $23,15 \pm 7,88 \text{ ng g}^{-1}$ , com intervalo entre 13,3 e  $35,5 \text{ ng g}^{-1}$ . A dispersão observada evidencia heterogeneidade espacial, associada às diferentes classes de solos presentes na área de estudo. Os maiores valores foram registrados em Organossolos e Neossolos Quartzarênicos. Em contrapartida, os Neossolos Flúvicos apresentaram, de modo geral, concentrações mais baixas (CARVALHO et al., 2019).

As concentrações de HgT nos sedimentos em suspensão apresentaram média de  $28,33 \pm 22,60 \text{ ng g}^{-1}$ , com valores variando entre 6,7 e  $70,5 \text{ ng g}^{-1}$ . Os maiores valores foram registrados em pontos a jusante e em áreas de maior convergência de drenagem, indicando que o sedimento em suspensão atua como importante vetor de redistribuição do Hg no sistema aquático.

No perifíton, a concentração média de HgT foi de  $50,69 \pm 35,31 \text{ ng g}^{-1}$ , com valores mínimos de  $9,3 \text{ ng g}^{-1}$  e máximos de  $127,0 \text{ ng g}^{-1}$ .

**Tabela 5** - Estatística descritiva das concentrações de HgT na água, no solo, sedimento em suspensão e em perifíton

Pontos	Descrição	Classe de Solos	Solos	Água	sedimentos	Perifíton
			ng.g <sup>-1</sup>	ng.L <sup>-1</sup>	suspensão	
			ng.g <sup>-1</sup>	ng.L <sup>-1</sup>	ng.g <sup>-1</sup>	ng.g <sup>-1</sup>
1	Caverna São Vicente	Neossolo flúvico	16,7	1,57	10,5	58,8
2	Ponte São Vicente	Neossolo flúvico	13,3	0,64	6,7	34,0
3	Prainha São Vicente	Neossolo flúvico	14,0	1,26	7,6	9,3
5	Nascente Angélica	Argissolo amarelo	14,6	0,48	13,1	12,6
6	Caverna Angélica	Neossolo quartzarênico	35,5	1,03	14,5	127,0

Pontos	Descrição	Classe de Solos	Solos	Água	sedimentos	Perifiton
			ng.g <sup>-1</sup>	ng.L <sup>-1</sup>	suspensão ng.g <sup>-1</sup>	ng.g <sup>-1</sup>
7	Ponte Angélica	Argissolo amarelo	24,4	0,49	38,0	42,9
8	Ponte Bezerra	Neossolo flúvico	18,5	0,76	59,1	89,6
9	Caverna Bezerra	Argissolo amarelo	24,6	0,28	69,6	*
10	Nascente. Bezerra	Neossolo flúvico	14,9	0,66	70,5	75,2
11	Nascente São Vicente	Neossolo flúvico	30,0	0,58	7,9	*
12	Nascente São Bernardo	Organossolo	33,8	1,10	23,8	50,3
13	Ponte São Bernardo	Neossolo flúvico	32,8	1,12	21,7	26,8
14	Caverna São Bernardo	Neossolo flúvico	26,0	1,38	26,1	*
20	São Matheus	Neossolo quartzarênico	25,1	0,55	27,6	31,2
<b>Média</b>			<b>23,15</b>	<b>0,85</b>	<b>28,33</b>	<b>50,69</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>7,88</b>	<b>0,39</b>	<b>22,60</b>	<b>35,31</b>
<b>CV (%)</b>			<b>34,06</b>	<b>45,92</b>	<b>79,78</b>	<b>69,66</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

\* Não teve massa.

Concentrações de HgT atmosférico, os resultados de Hg atmosférico não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os diferentes ambientes amostrados (cavernas, nascentes e BR020). O teste *Kruskal–Wallis* (H-test) apresentou  $H = 4,763$  e  $p = 0,092$ ; como  $p \geq 0,05$ , não sendo detectada diferença significativa entre os grupos. Assim, não houve necessidade de aplicar o pós-teste de *Dunn*. De modo geral, as concentrações de Hg atmosférico (ng m<sup>-3</sup>) variaram de 8 a 14 nos diferentes pontos avaliados. Nas nascentes, os valores foram mais baixos e homogêneos (8–11), com média de 9,00, desvio-padrão de 1,00 e coeficiente de variação (CV) de 11,11%, indicando baixa variabilidade entre os locais.

Conforme a Tabela 6, nas cavernas, observaram-se concentrações mais elevadas e maior dispersão (8–14), com média de 11,00, DP de 2,10 e CV de 19,07%, sugerindo heterogeneidade entre os ambientes subterrâneos (destaque para o maior valor na Caverna Riacho Lapa: 14).

Nos pontos da BR020, os teores também apresentaram amplitude semelhante (8–14) e variabilidade relativamente alta, com média de 10,86, DP

de 2,04 e CV de 18,75%, aproximando-se do padrão observado nas cavernas e indicando diferenças mais marcantes entre os pontos amostrados (maior valor em P7\_BR020: 14).

**Tabela 6** - Estatística descritiva das concentrações de HgT atmosférico

<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>	<b>Hg (ng m<sup>-3</sup>)</b>
Nascente Riacho Angélica	8,00
Nascente Riacho Bezerra	9,00
Nascente Riacho São Vicente	9,00
Nascente Riacho São João	8,00
Nascente Riacho São Matheus	9,00
Nascente Riacho Lapa	9,00
Nascente Riacho São Bernardo	11,00
<b>Média</b>	<b>9,00</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,00</b>
<b>Coefficiente de variação</b>	<b>11,11</b>
Caverna Riacho Angélica	10,00
Caverna Riacho Bezerra	12,00
Caverna Riacho São Vicente	10,00
Caverna Riacho São Matheus	8,00
Caverna Riacho Lapa	14,00
Caverna Riacho São Bernardo	12,00
<b>Média</b>	<b>11,00</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>2,10</b>
<b>Coefficiente de variação</b>	<b>19,07</b>
P1_BR020	8,00
P2_BR020	12,00
P3_BR020	12,00
P4_BR020	11,00
P5_BR020	10,00
P6_BR020	9,00
P7_BR020	14,00
<b>Média</b>	<b>10,86</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>2,04</b>
<b>Coefficiente de variação</b>	<b>18,75</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

## 3.2. RESERVA EXTRATIVISTA DAS ARARAS DE TERRA RONCA (RESEX)

### 3.2.1. Parâmetros de qualidade da água

Os parâmetros físico-químicos da água nos pontos amostrados na Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX) apresentaram variabilidade moderada (Tabela 7), associada principalmente, à litologia carbonática e à posição dos pontos de amostragem na paisagem, assim como na reserva Terra Ronca. A temperatura da água apresentou média de  $23,2 \pm 1,8$  indicando baixa variação espacial entre os pontos.

As concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram média de  $7,2 \pm 1,8$  mg L<sup>-1</sup>, com valores mais baixos observados em pontos de nascente, possivelmente relacionados a menor turbulência e maior tempo de contato da água com o substrato. O pH apresentou média de  $5,4 \pm 0,5$ , variando de levemente ácido a próximo da neutralidade. A condutividade elétrica apresentou média de  $3,7 \pm 0,9$  µS cm<sup>-1</sup> e os sólidos totais dissolvidos uma média de  $1,6 \pm 0,6$  mg L<sup>-1</sup>, refletindo baixa mineralização. A turbidez apresentou média de  $2,8 \pm 1,0$  UNT, enquanto a cor aparente apresentou média de  $19,2 \pm 12,4$  PCU. A dureza total apresentou média de  $1,7 \pm 1,0$  mg L<sup>-1</sup>, caracterizando águas brandas, mesmo sob influência de rochas carbonáticas.

As concentrações de nutrientes nitrogenados (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) foram baixas, com valores frequentemente próximos aos limites de detecção e elevados coeficientes de variação. Os principais cátions (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) apresentaram concentrações reduzidas, com maior contribuição relativa de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, coerente com a influência do substrato carbonático. Os ânions (Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) também apresentaram concentrações baixas, com elevada variabilidade relativa em alguns parâmetros, refletindo a influência de fontes naturais e da dinâmica hidrológica.

**Tabela 7** - Características físico-químicas da água – Reserva Extrativista das Araras de Terra Ronca (RESEX).

ID	Classificação	Temp.	OD	pH	Cond.	STD	Turb.	Cor	Dur.	NT	CT	FT	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NH <sub>3</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		°C	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	-	µS/cm	mg L <sup>-1</sup>	UNT	PUC	mg L <sup>-1</sup>																	
4	Nasc. São João	25,1	4,6	5,0	4,2	2,1	3,9	5,0	1,2	0,4	2,5	0,0	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
15	Cav. Terra Ronca - Lapa	23,0	8,3	6,3	4,0	2,1	3,6	10,0	3,7	0,2	2,9	0,0	0,3	0,1	0,1	0,4	0,7	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
16	Ponte São Matheus	20,8	8,3	5,6	2,5	1,2	3,3	40,0	1,2	0,5	2,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
17	Ponte São João	23,8	7,6	4,9	4,7	2,2	1,8	25,0	1,0	0,4	3,9	0,0	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,3	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0
18	Nasc. Lapa	-	-	5,1	4,1	1,4	1,6	15,0	1,7	0,3	1,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,4	0,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	Nasc. São Matheus	-	-	5,4	2,8	0,8	2,4	20,0	1,2	0,7	1,3	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0
	<b>Média</b>	<b>23,2</b>	<b>7,2</b>	<b>5,4</b>	<b>3,7</b>	<b>1,6</b>	<b>2,8</b>	<b>19,2</b>	<b>1,7</b>	<b>0,4</b>	<b>2,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
	<b>D. Padrão</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	<b>0,6</b>	<b>1,0</b>	<b>12,4</b>	<b>1,0</b>	<b>0,2</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
	<b>Cv</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>10</b>	<b>23</b>	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>65</b>	<b>61</b>	<b>35</b>	<b>44</b>	<b>80</b>	<b>32</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>85</b>	<b>47</b>	<b>80</b>	<b>167</b>	<b>65</b>	<b>-</b>	<b>110</b>	<b>58</b>	<b>58</b>	<b>128</b>	<b>81</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

**Legenda:** Tem. = temperatura da água; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; Cond = condutividade elétrica; STD = sólidos totais dissolvidos; Turb = turbidez; Cor = cor aparente; Dur = dureza total; NT = nitrogênio total; CT = carbono total; PT = fósforo total; Na<sup>+</sup> = sódio; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = amônio; N-NH<sub>3</sub> = nitrogênio amoniacal; K<sup>+</sup> = potássio; Ca<sup>2+</sup> = cálcio; Mg<sup>2+</sup> = magnésio; F<sup>-</sup> = fluoreto; Cl<sup>-</sup> = cloreto; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> = nitrito; Br<sup>-</sup> = brometo; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = nitrato; N-NO<sub>3</sub> = nitrogênio na forma de nitrato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = fosfato; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = sulfato.

### 3.2.2. Concentrações de HgT nos compartimentos bióticos e abióticos

Na unidade RESEX as concentrações de HgT na água apresentaram média de  $0,76 \pm 0,40 \text{ ng L}^{-1}$ , com valores variando entre 0,49 e  $1,55 \text{ ng L}^{-1}$ , indicando baixa variabilidade espacial e níveis compatíveis com ambientes naturais (Tabela 8). Os maiores valores foram observados no ponto Caverna Terra Ronca – Lapa, localizado em área de interação entre drenagem superficial e sistemas subterrâneos, o que pode favorecer a remobilização do mercúrio associado às partículas finas.

No solo, a concentração média de HgT foi de  $37,86 \pm 22,51 \text{ ng g}^{-1}$ , com intervalo entre 22,5 e  $82,8 \text{ ng g}^{-1}$ , evidenciando elevada heterogeneidade. O maior valor foi registrado no solo classificado como Organossolo. Em áreas sob Neossolo Flúvico e Argissolo Amarelo, os valores foram intermediários, refletindo a influência combinada da classe de solo, da dinâmica deposicional e da posição na paisagem (CARVALHO et al., 2019; FERNANDES et al., 2024).

As concentrações de HgT nos sedimentos em suspensão apresentaram média de  $81,95 \pm 75,30 \text{ ng g}^{-1}$ , com elevada variabilidade (6,0 a  $186,5 \text{ ng g}^{-1}$ ), refletindo a heterogeneidade do material particulado coletado.

No perifíton, a concentração média foi de  $78,15 \pm 41,22 \text{ ng g}^{-1}$ , com valores entre 31,0 e  $141,7 \text{ ng g}^{-1}$ , confirmando sua elevada capacidade de bioacumulação.

**Tabela 8** - Estatística descritiva das concentrações de HgT na água, no solo, sedimento em suspensão e em perifíton.

Pontos	Descrição	Classe de solos	Solos	Água	sedimentos	Perifíton
			ng/g	ng.L <sup>-1</sup>	suspensão	ng/g
4	Nascente São João	Organossolo	82,8	0,55	41,0	*
15	Caverna Terra Ronca - Lapa	Neossolo flúvico	24,5	1,55	19,3	78,8
16	Ponte São Matheus	Argissolo amarelo	33,5	0,49	186,5	141,7
17	Ponte São João	Neossolo flúvico	30,3	0,72	79,3	31,0
18	Nascente Lapa	Neossolo flúvico	33,4	0,70	6,0	55,7
19	Nascente São Matheus	Organossolo	22,5	0,55	159,6	83,5

<b>Média</b>	<b>37,86</b>	<b>0,76</b>	<b>81,95</b>	<b>78,15</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>22,51</b>	<b>0,40</b>	<b>75,30</b>	<b>41,22</b>
<b>CV (%)</b>	<b>59,45</b>	<b>52,38</b>	<b>91,88</b>	<b>52,75</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NAS CONCENTRAÇÕES DE Hg

A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para investigar as relações entre os parâmetros físico-químicos da água e as concentrações de mercúrio total (HgT) na água, sedimentos em suspensão e perifíton, considerando os pontos de amostragem localizados na RESEX e no PETeR.

As três primeiras componentes principais explicaram aproximadamente 56% da variância total dos dados (PC1 = 23,41%, PC2 = 18,36%, PC3 = 14,28%). A PC1 apresentou maiores cargas (em valor absoluto) para  $Mg^{2+}$  (0,382), dureza total (0,376),  $Ca^{2+}$  (0,349), sólidos totais dissolvidos (STD) (0,275) e coliformes termotolerantes (Coli.T) (0,270), todos com sinal positivo. A PC2 foi principalmente associada à condutividade elétrica (CT) (0,333), fósforo total (PT) (0,323), amônio ( $NH_4^+$ ) (0,316), amônia ( $NH_3$ ) (0,316) e nitrato ( $NO_3^-$ ) (0,307), também predominantemente positivos. A PC3 apresentou cargas positivas para cloreto ( $Cl^-$ ) (0,392), potássio (K) (0,389) e fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) (0,330), além de contribuição positiva de Hg na água (HgAg) (0,215) e negativa de Hg em sedimentos suspensos (HgSS) (-0,245) e Hg no perifíton (HgPeri) (-0,173) (Tabela 9).

A turbidez destacou-se como o melhor parâmetro para estimar a concentração de Hg nos sedimentos em suspensão, uma vez que reflete a carga de partículas finas transportadas pela coluna d'água, que atuam como principais veículos do Hg particulado (ROULET et al., 2000).

**Tabela 9** - Autovalores e variância acumulada na análise de componentes principais.

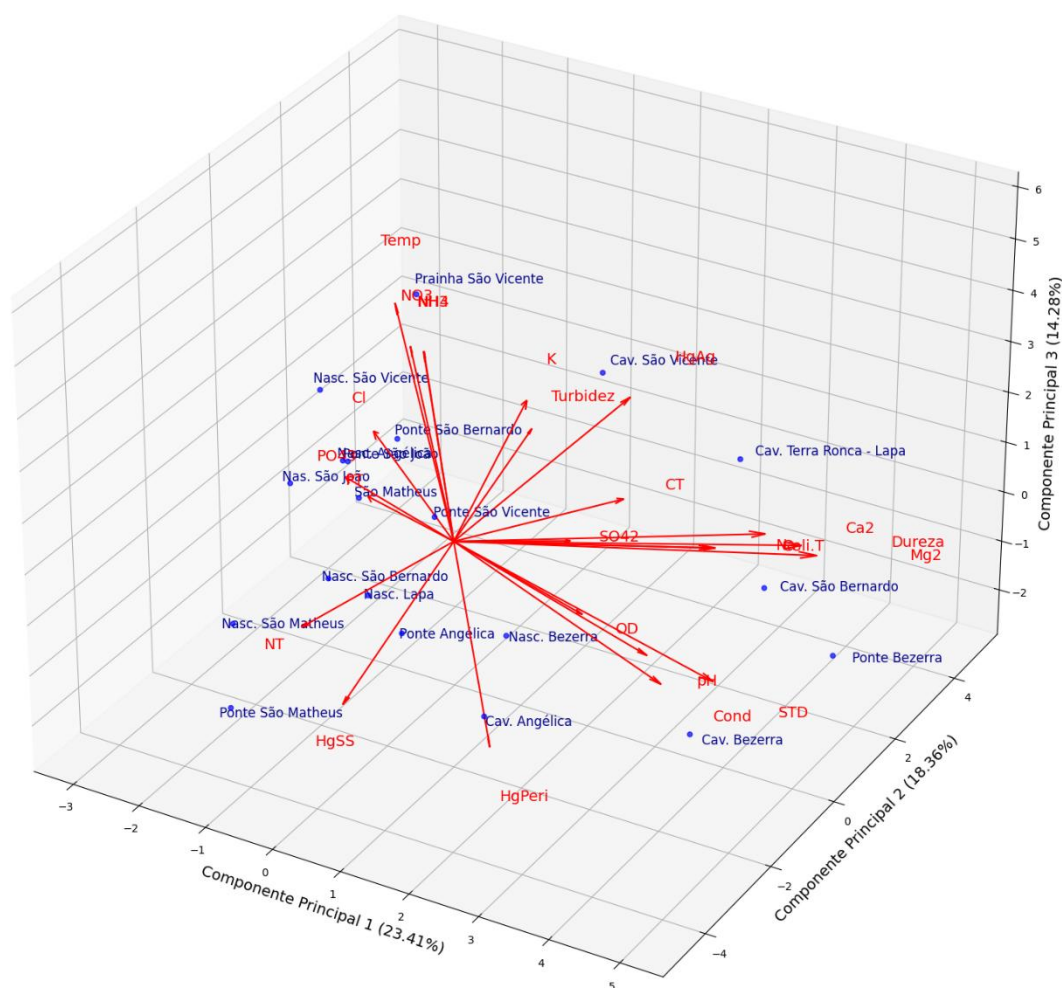
Componentes	Componentes Principais		
	PC1	PC2	PC3
Autovalores	5,62	4,41	3,43
Proporção (%)	23,41	18,36	14,28
Proporção acumulada	23,41	41,76	56,04
Variáveis	Cargas Fatoriais		
	PC1	PC2	PC3
HgAg	0,12	0,23	0,21
HgSS	-0,05	-0,19	-0,25
HgPeri	0,16	-0,26	-0,17
Coli.T	0,27	0,11	0,05
Temperatura	-0,17	0,21	0,29
OD	0,19	-0,09	0,00
pH	0,26	-0,05	-0,07
Condutividade	0,24	0,03	-0,20
STD	0,27	0,10	-0,22
Turbidez	0,03	0,14	0,16
Na+	0,25	0,16	0,01
NH <sub>4</sub>	-0,18	0,32	0,12
NH <sub>3</sub>	-0,18	0,32	0,11
K	0,12	-0,06	0,39
Ca <sup>2+</sup>	0,35	0,06	0,15
Mg <sup>2+</sup>	0,38	0,13	0,08
Cl-	0,01	-0,24	0,39
NO <sub>3</sub>	-0,19	0,31	0,13
PO <sub>4</sub>	0,01	-0,30	0,33
SO <sub>4</sub>	0,07	0,16	-0,07
Dureza	0,38	0,10	0,11
NT	-0,15	-0,09	-0,20
CT	0,07	0,33	-0,09
PT	0,04	-0,32	0,33

Fonte: Elaborado pelo autor

**Legenda:** Tem. = temperatura da água; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; Cond = condutividade elétrica; STD = sólidos totais dissolvidos; Turb = turbidez; Cor = cor aparente; Dur = dureza total; NT = nitrogênio total; CT = carbono total; PT = fósforo total; Na<sup>+</sup> = sódio; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = amônio; N-NH<sub>3</sub> = nitrogênio amoniacal; K<sup>+</sup> = potássio; Ca<sup>2+</sup> = cálcio; Mg<sup>2+</sup> = magnésio; F<sup>-</sup> = fluoreto; Cl<sup>-</sup> = cloreto; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> = nitrito; Br<sup>-</sup> = brometo; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = nitrato; N-NO<sub>3</sub> = nitrogênio na forma de nitrato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = fosfato; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = sulfato.

O gráfico da PCA (Figura 6) mostra que o vetor correspondente ao Hg na água (HgAg) posicionou-se próximo ao vetor de turbidez, indicando correlação positiva entre essas variáveis no plano fatorial. As projeções das estações no plano fatorial sugeriram maior associação da Caverna São Vicente com HgAg, da Ponte São Matheus com HgSS e da Caverna Angélica com HgPeri, evidenciando diferenças espaciais na especiação e na partição do mercúrio entre os compartimentos avaliados: água, sedimento em suspensão e perifíton.

**Figura 6** - PCA dos parâmetros físico-químicos da água e do HgT na água, sedimentos em suspensão e no perifíton nas unidades Terra Ronca.



Fonte: Elaborado pelo autor

**Legenda:** Tem. = temperatura da água; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; Cond = condutividade elétrica; STD = sólidos totais dissolvidos; Turb = turbidez; Cor = cor aparente; Dur = dureza total; NT = nitrogênio total; CT = carbono total; PT = fósforo total;  $\text{Na}^+$  = sódio;  $\text{NH}_4^+$  = amônio;  $\text{N-NH}_3$  = nitrogênio amoniacal;  $\text{K}^+$  = potássio;  $\text{Ca}^{2+}$  = cálcio;  $\text{Mg}^{2+}$  = magnésio;  $\text{F}^-$  = fluoreto;  $\text{Cl}^-$  = cloreto;  $\text{NO}_2^-$  = nitrito;  $\text{Br}^-$  = brometo;  $\text{NO}_3^-$  = nitrato;  $\text{N-NO}_3$  = nitrogênio na forma de nitrato;  $\text{PO}_4^{3-}$  = fosfato;  $\text{SO}_4^{2-}$  = sulfato.

Os modelos de regressão linear múltipla indicaram que a variabilidade das concentrações de HgT é explicada por conjuntos distintos de variáveis, de acordo com o compartimento ambiental analisado. Para o HgT na água, o modelo apresentou  $R^2 = 0,578$  ( $p < 0,0031$ ), com contribuição predominante da turbidez e do  $\text{N-NO}_3^-$ . Já as contribuições de  $\text{NNO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Br}^-$  foram secundárias (Tabela 10).

No sedimento em suspensão, o modelo apresentou  $R^2 = 0,578$  ( $p < 0,0016$ ), com maior contribuição da cor e do Cl. A turbidez e o  $\text{PO}_4^{3-}$  também contribuíram para o ajuste do modelo, porém com menor importância. Para o solo, o modelo apresentou maior capacidade explicativa ( $R^2 = 0,658$ ;  $p < 0,0008$ ), com destaque para o  $\text{Na}^+$  e carbono total (CT) como principais preditores (Tabela 10).

O modelo para HgT no perifíton apresentou o maior coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,812$ ;  $p < 0,001$ ), com predominância das variáveis fósforo total,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NH}_3$  (Tabela 8).

**Tabela 10** - Parâmetros do modelo de regressão linear múltipla das concentrações de HgT nos compartimentos abióticos (água, sedimento em suspensão, e solo), e no compartimento biótico (perifíton).

Variável independente	b	t	p	Contribuição %
<b>[HgT] Água (<math>R^2 = 0,5782</math>; <math>p &lt; 0,0031</math>)</b>				
Turb	0,04379	2,786	0,01457	24,60
NT	-0,89307	-2,268	0,3967	31,08
Mg2	0,79848	1,738	0,10419	19,89
Br	-2,11396	-1,994	0,06607	08,81
$\text{NNO}_3$	4,89518	2,476	0,02668	15,61
<b>[HgT] SS (<math>R^2 = 0,5779</math>; <math>p &lt; 0,0016</math>)</b>				
Turb	-8,7246	-3,298	0,00488	23,46
Cor	2,1746	2,447	0,02723	30,00
Cl	-46,4615	-3,142	0,00671	27,14
$\text{PO}_4^3$	1729,273	2,281	0,03755	19,40
<b>[HgT] SL (<math>R^2 = 0,6581</math>; <math>p &lt; 0,0007892</math>)</b>				
STD	19,364	4,249	0,00081	16,71
CT	-6,932	-3,632	0,002721	19,91
Na	-146,182	-5,352	0,000102	38,95
$\text{NH}_3$	149,189	2,736	0,016083	5,43

[HgT] Peri ( $R^2 = 0,8122$ ; $p < 0,0007966$ )				
Variável independente	b	t	p	Contribuição %
Cond	1,474	0,314	0,760483	10,26
Turb	-2,575	-1,715	0,120437	01,67
PT	2302,087	5,867	0,000239	37,37
NH <sub>4</sub>	75167,087	-4,499	0,001518	24,71
NH <sub>3</sub>	-97083,304	-4,499	0,001491	24,90

Fonte: Elaborado pelo autor

**Legenda:** Turb: Turbidez; NT: Nitrogênio total; Mg2: Íon Magnésio; Br: Bromo; N-NO<sub>3</sub>: Nitrogênio de Nitrato; Cor: Coloração da água; Cl: Cloro; PO<sub>4</sub> 3: Fosfato; Cond: Condutividade; PT: Fósforo total; NH<sub>4</sub>: Íon Amônio; NH<sub>3</sub>: Amônia; STD: Sólidos totais dissolvidos; CT: Carbono total; Na: Sódio.

Os modelos de regressão linear múltipla indicaram diferenças no grau de interação entre as concentrações de HgT nos compartimentos avaliados. Quando o HgT na água foi considerado variável dependente, o modelo apresentou baixo poder explicativo ( $R^2 = 0,1026$ ;  $p = 0,2476$ ), indicando que a variabilidade do mercúrio dissolvido não é adequadamente explicada pelas concentrações de HgT nos demais compartimentos. Apesar da elevada contribuição percentual do HgT no sedimento em suspensão (87,31%), a associação não foi estatisticamente significativa ( $p = 0,0514$ ), enquanto as contribuições do HgT no perifíton e no solo foram reduzidas e não significativas (Tabela 11).

No modelo em que o HgT no sedimento em suspensão foi definido como variável dependente, observou-se capacidade explicativa moderada ( $R^2 = 0,3931$ ;  $p = 0,029$ ). Nesse caso, o HgT no perifíton apresentou a maior contribuição (57,67%) e associação estatisticamente significativa ( $p = 0,0241$ ), indicando relação direta entre esses compartimentos. O HgT na água apresentou contribuição relevante (38,81%), com associação baixa ( $p = 0,0514$ ), enquanto o HgT no solo teve participação reduzida e não significativa (Tabela 11).

Para o HgT no perifíton, o modelo apresentou  $R^2 = 0,3186$ , com  $p$  não significativo ( $p = 0,0561$ ). O HgT na água foi a variável preditora dominante (69,31%) e estatisticamente significativa ( $p = 0,0241$ ), evidenciando que a disponibilidade de mercúrio dissolvido exerce influência direta sobre a incorporação de Hg pelo perifíton. As contribuições do HgT no sedimento em

suspensão (6,01%) e no solo (24,68%) foram secundárias e não significativas (Tabela 11).

**Tabela 11** - Parâmetros do modelo de regressão linear múltipla para determinar a influência das concentrações de HgT entre os compartimentos, considerando, HgT na água, HgT no sedimento em suspensão e HgT em perifíton, alternado entre si como variável dependente e variáveis preditoras.

Modelo	b	t	p	Contribuição (%)
<b>HgT Água (<math>R^2 = 0,1026</math>; <math>p = 0,2476</math>)</b>				
HgT SS	-0,0043691	-2,164	0,0514	87,31
HgT Peri	0,0031871	1,035	0,3209	12,17
HgT Solo	-0,0001286	-0,011	0,9917	00,52
<b>HgT SS (<math>R^2 = 0,3931</math>; <math>p = 0,029</math>)</b>				
HgT Ag	-64,233	-2,164	0,0514	38,81
HgT Peri	0,806	2,58	0,0241	57,67
HgT Solo	-0,2011	-0,138	0,8928	3,52
<b>HgT Peri (<math>R^2 = 0,3186</math>; <math>p = 0,05607</math>)</b>				
HgT Ag	0,4426	2,58	0,0241	69,31
HgT SS	25,7303	1,035	0,3209	06,01
HgT Solo	1,2586	1,234	0,241	24,68

Fonte: Elaborado pelo autor

O teste de Kruskal–Wallis indicou diferença estatisticamente significativa entre os compartimentos avaliados ( $H = 7,498$ ;  $p = 0,0235$ ), evidenciando heterogeneidade nas distribuições das concentrações de HgT. O teste de Dunn identificou diferença significativa apenas entre solo e perifíton ( $p$  ajustado = 0,0327), com maior rank médio para o perifíton, indicando maior concentração relativa de Hg nesse compartimento (Tabela 12). As comparações entre solo e sedimento em suspensão e entre sedimento em suspensão e perifíton não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, sugerindo sobreposição entre esses compartimentos.

**Tabela 12** - Resultados do teste de Dunn para comparação das concentrações de mercúrio total (HgT) entre os compartimentos ambientais.

	Mean rank 1	Mean rank 2	Mean rank diff,	Adjusted P Value
HgSI vs. HgSS	23,95	25,55	-1,6	>0,9999
<b>HgSI vs. HgPeri</b>	<b>23,95</b>	<b>37,88</b>	<b>-13,93</b>	<b>0,0327</b>
HgSS vs. HgPeri	25,55	37,88	-12,33	0,0728

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.4. PRODUTO FINAL

#### 3.4.1. *Dashboard* interativo Power BI (*Business Intelligence*)

*Business Intelligence* (BI) compreende metodologias, processos e tecnologias voltados à conversão de dados brutos em informação útil para a tomada de decisões estratégicas, permitindo aos gestores compreender o desempenho organizacional, identificar tendências e antever cenários futuros (INMON, 2005). Constituem, assim, recursos estratégicos que transformam dados em insumos valiosos para a competitividade no mercado (SCHWEITZER, 2020). Nesse contexto, organizações públicas e privadas empregam soluções de BI para conferir agilidade às decisões fundamentadas em amostragens de dados, assegurando integração, usabilidade e eficiência na extração de conhecimento (ALMEIDA et al., 2019).

No âmbito da presente investigação, a partir dos dados obtidos nas etapas de coleta e processamento das amostras, desenvolveu-se um *dashboard* na plataforma de Inteligência Empresarial Power BI. A ferramenta consolida, por meio de mapas temáticos, filtros interativos, gráficos e tabelas, os resultados das análises de qualidade da água e das concentrações de mercúrio nos compartimentos ambientais estudados.

As Figuras 07 a 13 apresentam as interfaces do painel, nas quais são exibidos os resultados visuais — gráficos, tabelas e mapas — dos resultados da concentração de mercúrio nas duas Unidades de Conservação (UCs): PETeR e RESEX Terra Ronca. A ferramenta permite ao usuário uma navegação flexível e intuitiva, possibilitando a visualização tanto do conjunto integrado dos dados quanto de recortes específicos, mediante seleção da UC, do compartimento ambiental, do parâmetro e da variável de interesse.

**Figura 7** - Página inicial do painel de monitoramento ambiental do PETeR e da RESEX.



**PAINEL DE MONITORAMENTO AMBIENTAL**

**UNIDADES DE CONSERVAÇÃO – GOIÁS**

ANÁLISE DE MERCÚRIO (Hg)

QUALIDADE DA ÁGUA

Este painel apresenta um estudo desenvolvido pela Universidade de Brasília como parte do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. O trabalho investiga a qualidade ambiental de duas importantes unidades de conservação do estado de Goiás: o **Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR)** e a **Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca (Resex)** – áreas reconhecidas por sua rica biodiversidade, mas ainda pouco exploradas quanto à sua qualidade ambiental.

A pesquisa foi realizada em duas frentes. A primeira analisou a concentração de mercúrio em diferentes compartimentos ambientais – solo, água superficial, ar, sedimentos em suspensão e perifiton. A segunda frente avaliou a qualidade ambiental das águas superficiais, com foco no diagnóstico e no risco associado ao seu uso para balneabilidade das comunidades do entorno.

Ao todo, foram amostrados 20 pontos distribuídos por sete rios, com a medição de diversos parâmetros físico-químicos essenciais para compreender o estado geral dos ecossistemas aquáticos.

Mais do que gerar dados, este trabalho busca aproximar a comunidade do conhecimento científico, reforçando a importância da preservação dos ecossistemas e do monitoramento dos recursos naturais utilizados pelas populações locais. Informar é o primeiro passo para proteger – e essa construção é coletiva.

**RODRIGO MARQUES DA ROCHA**  
**Orientador: Dr. José Vicente Elias Bernardi**  
**Coorientador: Dr. Carlos José Sousa Passos**  
 Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua

**PARQUE ESTADUAL TERRA RONCA**



CLIQUE E SAIBA MAIS SOBRE AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

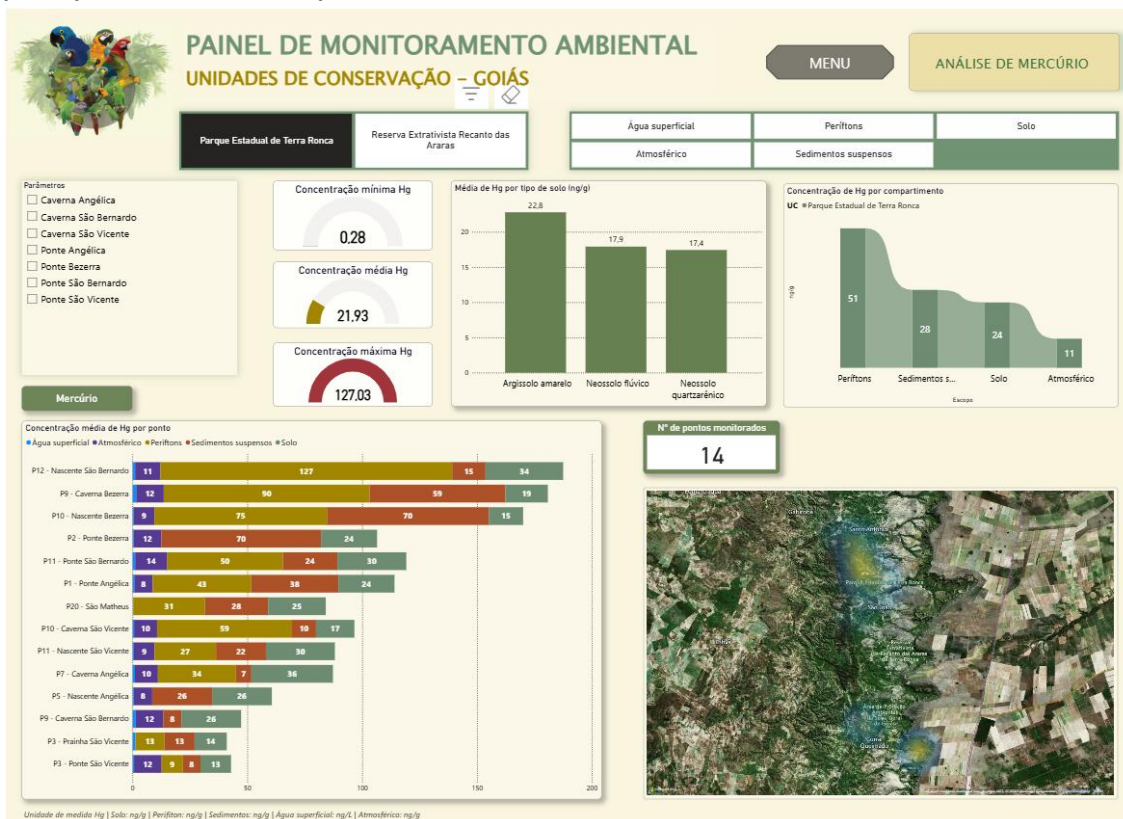
**RESEX TERRA RONCA**



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 8, apresenta em gráficos os resultados das concentrações de mercúrio na UC do PETeR, em todos os compartimentos analisados, as concentrações mínima, média e máxima, também apresenta a média por tipo de solo e por compartimento, e um mapa de calor dos pontos de coleta.

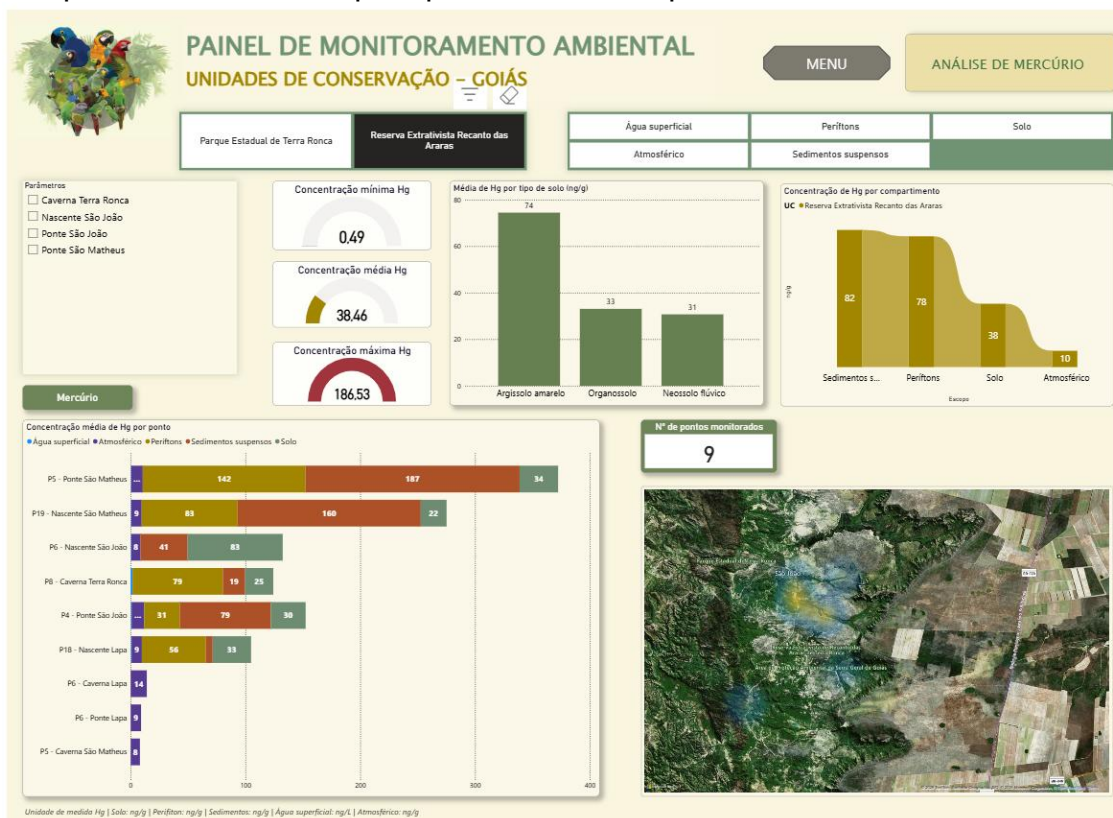
**Figura 8** - Concentrações de Hg na UC do PETeR, por compartimento; e média por tipo de solo e compartimento.



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 9, apresenta em gráficos os resultados das concentrações de mercúrio na UC do RESEX Terra Ronca, em todos os compartimentos analisados, as concentrações mínima, média e máximo, também apresenta a média por tipo de solo e por compartimento, e um mapa de calor dos pontos de coleta.

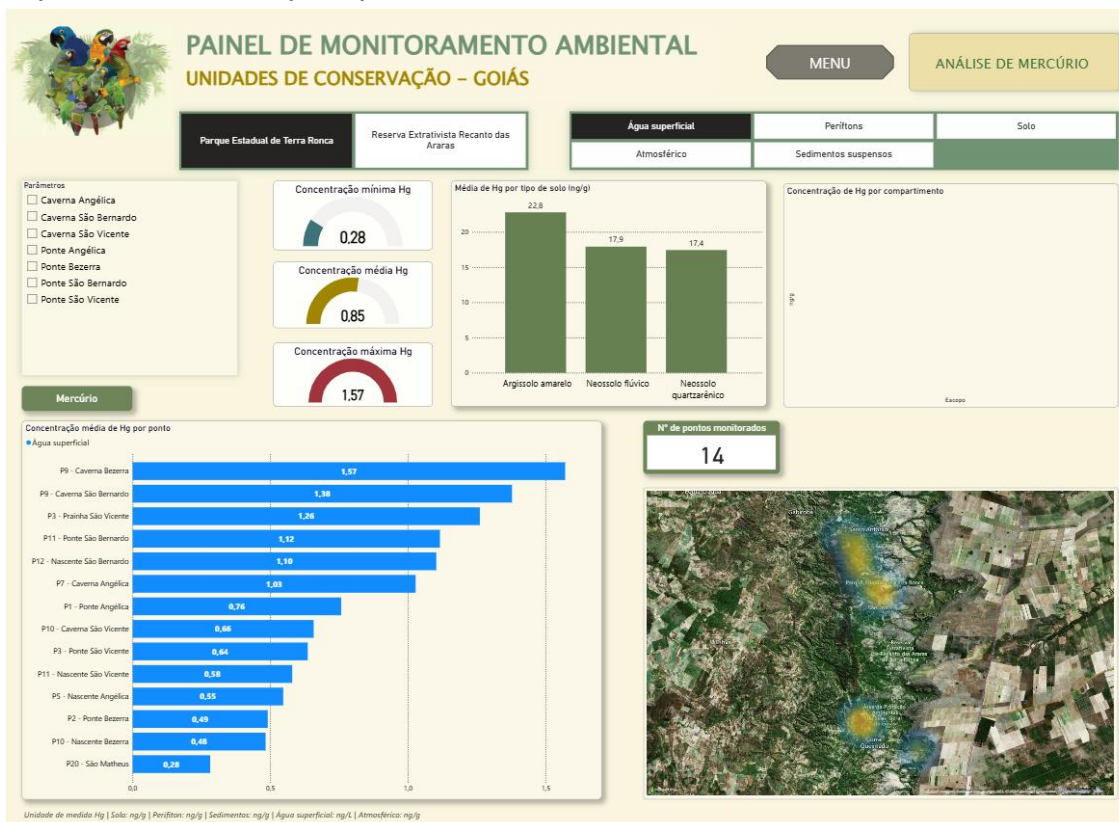
**Figura 9** - Concentrações de Hg na UC do RESEX Terra Ronca, por compartimento; e média por tipo de solo e compartimento.



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 10, apresenta em gráficos os resultados das concentrações de mercúrio na UC do PETeR, no compartimentos água superficial, as concentrações mínima, média e máxima, também apresenta a média por tipo de solo, e um mapa de calor dos pontos de coleta.

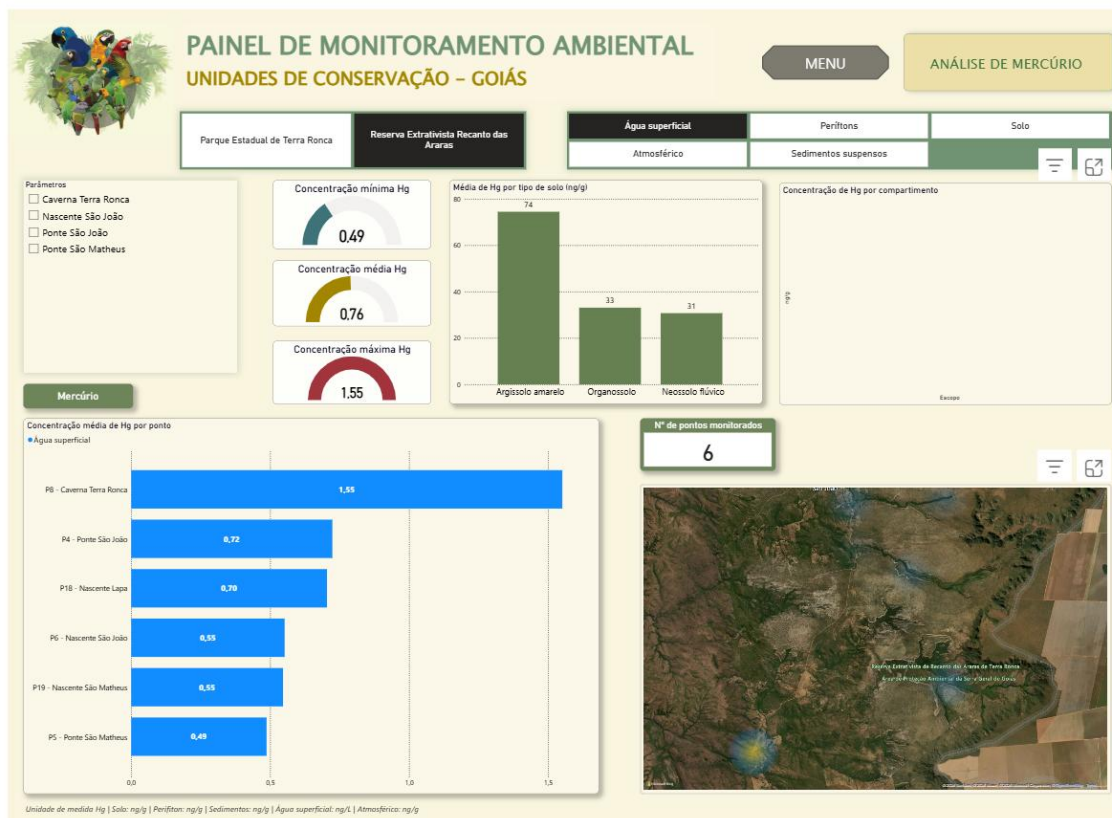
**Figura 10** -Concentrações de Hg na UC do PETeR, no compartimento água superficial; e média por tipo de solo.



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 11, apresenta em gráficos os resultados das concentrações de mercúrio na UC do RESEX Terra Ronca, em todos no compartimento água superficial, as concentrações mínima, média e máxima, também apresenta a média por tipo de solo, e um mapa de calor dos pontos de coleta.

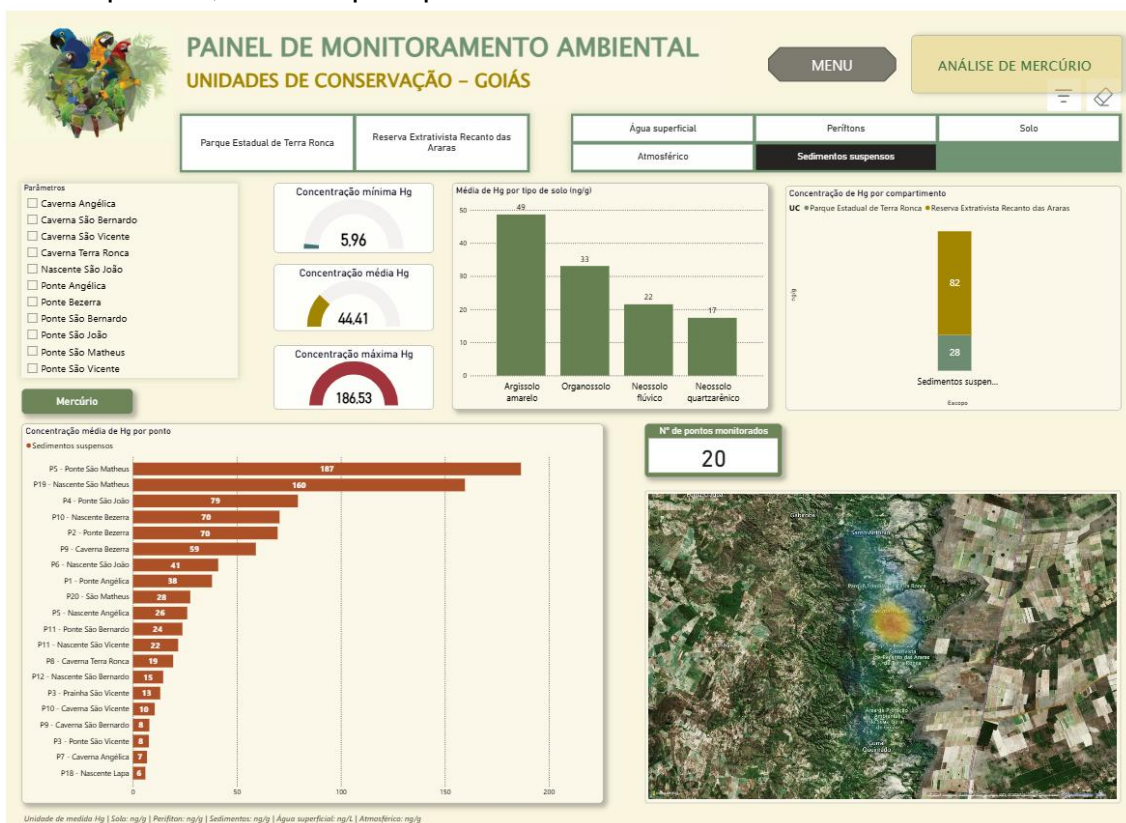
**Figura 11** - Concentrações de Hg na UC RESEX Terra Ronca, no compartimento água superficial; e média por tipo de solo.



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 12, apresenta em gráficos os resultados das concentrações de mercúrio nas duas UCs, no compartimento sedimento em suspensão, também apresenta a média por tipo de solo, e um mapa de calor dos pontos de coleta.

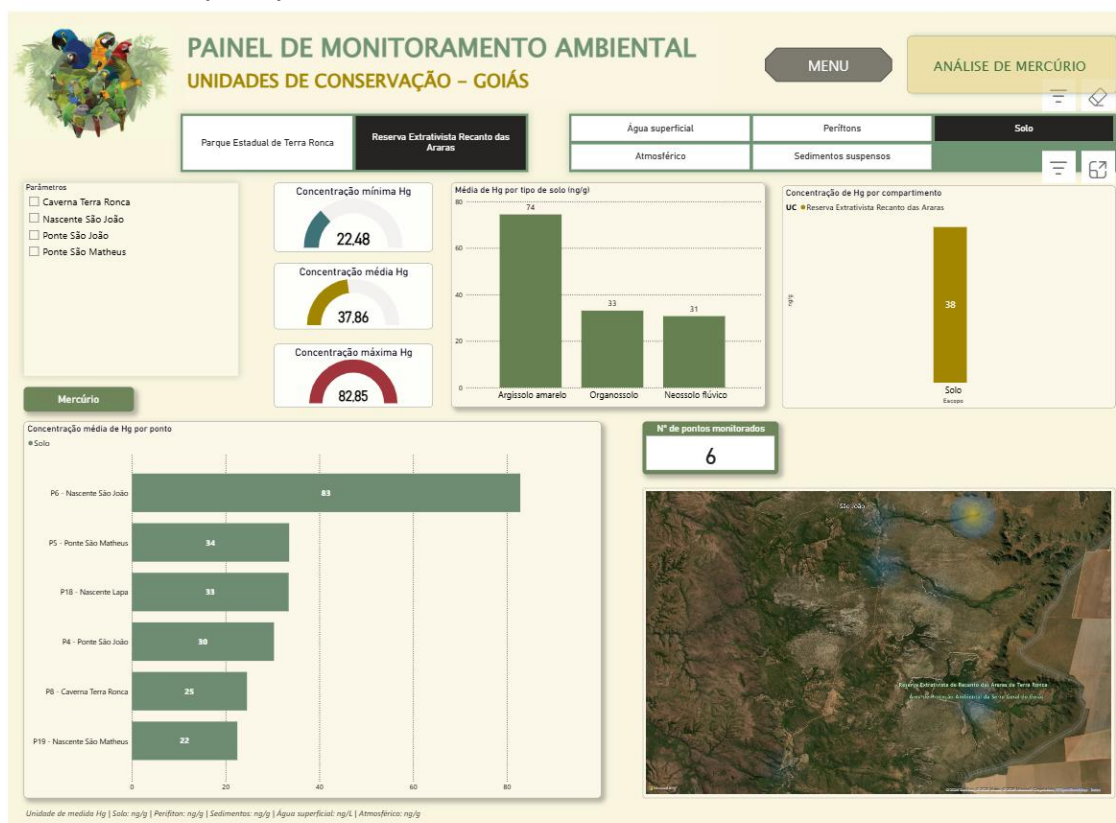
**Figura 12** - Concentrações de Hg nas duas UCs, no compartimento sedimento em suspensão, e média por tipo de solo.



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 13, apresenta em gráficos os resultados das concentrações de mercúrio na UC RESEX Terra Ronca, no compartimento solo, também apresenta a média por tipo de solo, e um mapa de calor dos pontos de coleta.

**Figura 13** - Concentrações de Hg na UC RESEX Terra Ronca, no compartimento solo, e média por tipo de solo.



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4. DISCUSSÃO

A distribuição do mercúrio nos compartimentos ambientais avaliados no Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e na Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX) revela um padrão compartimentalizado típico de ecossistemas naturais, no qual a água superficial apresenta as menores concentrações de mercúrio total (HgT), enquanto os compartimentos sólidos e biológicos concentram os maiores teores. Esse comportamento reflete a elevada afinidade do mercúrio por partículas finas e matéria orgânica, além de sua rápida remoção da fase dissolvida por processos de adsorção, complexação e incorporação biológica (Fitzgerald e Lamborg, 2005; Driscoll et al., 2013; Kumar et al., 2023).

As concentrações de HgT na água superficial observadas nas duas unidades de conservação foram baixas, com médias inferiores a  $1 \text{ ng L}^{-1}$  (Tabela 5 e Tabela 8), situando-se muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira e por diretrizes internacionais (BRASIL, 2005; BRASIL, 2021; WHO, 2017). Resultados semelhantes têm sido reportados em ambientes remotos e áreas protegidas, onde o mercúrio dissolvido tende a representar apenas uma fração transitória do ciclo biogeoquímico do elemento (SOMMAR et al., 2025; CHEN et al., 2024). Assim, a baixa concentração na água não indica ausência de processos relevantes, mas reforça o papel da água como meio de transporte entre atmosfera, solo, sedimentos e biota (PIRRONE et al., 2010; OUTRIDGE et al., 2018).

A associação entre HgT na água e variáveis relacionadas ao material particulado, evidenciada pelas análises multivariadas e pelos modelos de regressão (Figura 6; Tabela 10), indica que o mercúrio presente na coluna d'água encontra-se majoritariamente ligado à fração particulada. Em sistemas cársticos, essa característica é particularmente importante, pois a elevada conectividade hidrológica favorece a mobilização episódica de partículas e a redistribuição do Hg durante eventos de chuva e aumento de vazão (TORAN; REISCH, 2013; CHEN et al., 2024). Estudos recentes reforçam que a fração particulada domina os fluxos fluviais de mercúrio em sistemas naturais, mesmo quando as concentrações dissolvidas são baixas (PENG et al., 2023; SMITH et al., 2024).

Os solos apresentaram concentrações de HgT superiores às da água, com variação associada às classes pedológicas identificadas nos pontos de coleta (Tabela 1). Os maiores teores foram observados em Organossolos, confirmando o papel central da matéria orgânica na retenção do mercúrio por meio de complexação com grupos funcionais sulfurados e carboxílicos (CARVALHO et al., 2019; FERNANDES et al., 2024). Estudos recentes no Cerrado têm demonstrado que a dinâmica da matéria orgânica do solo, modulada pelo uso da terra e pela posição na paisagem, exerce controle direto sobre a capacidade de retenção de elementos traço, incluindo o Hg (SOARES et al., 2024; LOCATELLI et al., 2025). Em contraste, os Neossolos Flúvicos apresentaram, em geral, menores concentrações de HgT, o que pode ser atribuído à renovação frequente dos materiais sedimentares em ambientes

aluviais e à menor estabilidade das frações orgânicas (KER et al., 2015; MONTEIRO et al., 2024).

O material em suspensão destacou-se como um dos compartimentos mais dinâmicos do sistema, apresentando elevada variabilidade espacial e, especialmente na RESEX, concentrações médias superiores às observadas no solo (Tabela 8). Esse compartimento atua como principal vetor de redistribuição do mercúrio ao longo da rede hidrográfica, integrando aportes atmosféricos, erosão do solo e resíduos vegetais. A associação entre HgT no material em suspensão e variáveis relacionadas à cor aparente e à matéria orgânica reforça a influência de detritos vegetais e partículas orgânicas finas no transporte do mercúrio, padrão amplamente descrito em estudos fluviais recentes (Ericksen et al., 2003; Rea et al., 2002; Peng et al., 2023).

Entre todos os compartimentos avaliados, o perífíton apresentou as maiores concentrações relativas de HgT (Tabela 5 e Tabela 8), com diferença estatisticamente significativa em relação ao solo, conforme o teste de Dunn (Tabela 12). Esse resultado evidencia a elevada capacidade de bioacumulação do perífíton e seu papel como compartimento integrador da disponibilidade de mercúrio no ambiente aquático. Revisões recentes demonstram que o perífíton atua simultaneamente como sumidouro e reator biogeoquímico do Hg, concentrando Hg inorgânico e favorecendo processos de metilação em microambientes anóxicos no interior do biofilme (CHEN et al., 2024; LI et al., 2025). A forte relação observada entre HgT no perífíton e nutrientes (Tabela 10) corrobora evidências recentes de que a disponibilidade nutricional aumenta a biomassa perífítica e intensifica a incorporação e transformação do mercúrio (CARRELL et al., 2021; LI et al., 2025).

As análises de componentes principais (Figura 6; Tabela 9) indicam que os controles sobre a distribuição do mercúrio diferem conforme o compartimento ambiental, organizando os pontos amostrais ao longo de gradientes hidrogeoquímicos e de nutrientes. A ausência de separação clara entre PETeR e RESEX sugere que os processos físico-químicos que governam a dinâmica do Hg são semelhantes nas duas unidades, embora a RESEX apresente maior heterogeneidade espacial. Esse padrão é consistente com estudos recentes que destacam a importância da posição na paisagem e da influência difusa do uso

agrícola no entorno de áreas protegidas para a variabilidade do Hg em compartimentos sólidos e biológicos (MARQUES et al., 2019; CHEN et al., 2024).

As concentrações de mercúrio atmosférico variaram entre 8 e 14 ng m<sup>-3</sup> (Tabela 6), sem diferenças estatisticamente significativas entre ambientes amostrados, conforme o teste de Kruskal–Wallis. Esses valores são compatíveis com níveis de fundo atmosférico reportados em áreas remotas e regiões sob influência de transporte de longa distância, conforme revisões recentes sobre a dinâmica do mercúrio atmosférico global (SOMMAR et al., 2025; MASHYANOV et al., 2026). A maior variabilidade observada em cavernas pode estar associada a condições microclimáticas específicas, como menor ventilação, favorecendo o acúmulo temporário de vapor de Hg (SELIN, 2009; GWOREK et al., 2017).

Em conjunto, os resultados do Capítulo 1 demonstram que, embora as concentrações de mercúrio na água superficial sejam baixas, o metal encontra-se eficientemente retido e redistribuído nos compartimentos sólidos e biológicos, especialmente no material em suspensão e no perifíton. Esses compartimentos emergem como matrizes chave para o monitoramento ambiental e para a avaliação do risco ecológico do mercúrio em áreas protegidas do Cerrado, reforçando a necessidade de abordagens integradas que considerem a interação entre atmosfera, solo, água e biota, mesmo em unidades de conservação formalmente protegidas (Fitzgerald et al., 2007; Driscoll et al., 2013; Chen et al., 2024; Li et al., 2025).

## **5. LIMITAÇÕES E DESAFIOS DA PESQUISA**

O presente estudo se destaca por adotar uma abordagem integrada e multicompartimental, avaliando o HgT em solo, água, material em suspensão e perifíton em duas Unidades de Conservação do Cerrado, o que permitiu identificar padrões de compartimentalização e apontar o perifíton e o material em suspensão como matrizes-chave para caracterizar a dinâmica do Hg, além de relacionar essa variabilidade a parâmetros de qualidade da água por meio de análises multivariadas e modelos de regressão.

Como limitações, destaca-se a ausência de análises de metilmercúrio, o que impede inferências diretas sobre a fração mais biodisponível e tóxica do mercúrio, bem como o desenho amostral restrito no tempo, que não permite

avaliar variações interanuais. Ainda assim, o Capítulo 1 estabelece uma linha de base robusta para ambientes cársticos do Cerrado e demonstra que sedimento em suspensão e perifíton são compartimentos chave para o monitoramento ambiental do mercúrio em áreas protegidas.

## 6. CONCLUSÃO

O Capítulo 1 demonstrou que o mercúrio total apresenta distribuição fortemente compartimentalizada nos ambientes estudados do Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e da Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX), com concentrações muito baixas na água superficial e teores progressivamente mais elevados nos compartimentos sólidos e biológicos. Esse padrão confirma que, em ambientes naturais do Cerrado associados a sistemas cársticos, a água atua predominantemente como meio de transporte, enquanto solos, sedimentos em suspensão e perifíton funcionam como reservatórios e integradores da dinâmica do mercúrio.

Os resultados indicaram que os solos, especialmente aqueles com maior conteúdo de matéria orgânica, desempenham papel relevante na retenção do mercúrio, reforçando sua função como compartimento de acúmulo de longo prazo e potencial fonte secundária em eventos de erosão e transporte particulado. O material em suspensão destacou-se como vetor dinâmico de redistribuição do mercúrio ao longo da rede de drenagem, refletindo a interação entre aporte atmosférico, material vegetal e processos hidrossedimentológicos.

O perifíton apresentou as maiores concentrações relativas de mercúrio total entre os compartimentos avaliados, configurando-se como matriz biológica estratégica para compreender a disponibilidade ambiental do metal e sua entrada na base da cadeia trófica aquática. Esse resultado reforça a relevância do perifíton como indicador sensível em ambientes onde a água superficial, isoladamente, apresenta baixa capacidade diagnóstica devido às concentrações muito reduzidas de mercúrio dissolvido.

As análises multivariadas e os modelos de regressão indicaram que os controles sobre a distribuição do mercúrio variam conforme o compartimento ambiental, sendo modulados por parâmetros físico-químicos distintos, como turbidez, matéria orgânica e nutrientes. A ausência de separação clara entre

PETeR e RESEX nas análises integradas sugere que os processos naturais dominantes são semelhantes nas duas unidades, embora a RESEX apresente maior heterogeneidade espacial, possivelmente associada à posição na paisagem e à influência do uso do entorno.

O mercúrio atmosférico apresentou variação relativamente homogênea entre os ambientes amostrados, indicando contribuição regional difusa como principal via de entrada do elemento no sistema. A maior variabilidade observada em cavernas sugere influência de condições microclimáticas locais, mas sem evidência de fontes pontuais de emissão.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Damião et al. Uso de Business Intelligence na gestão de recursos hídricos: o caso da fiscalização do uso da água. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (WCAMA), 10., 2019, Belém. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 11-20. ISSN 2595-6124. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2019.6415>.

ALMEIDA, R. M.; HUIJBREGTS, M. A. J. Land use changes in the Brazilian Cerrado: consequences for mercury contamination in water and plants. **Environmental Pollution**, v. 252, p. 139–147, 2019.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARAL, A. K. N.; SILVA, G. B.; ROSA, L. E.; CHEREM, L. F. S.; MOMOLI, R. S.; ZANCOPE, M. H. de C. Contamination vulnerability assessment of the Bambuí karst aquifer, in the Terra Ronca region – Goiás, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 130, art. 104552, 2023.

BASH, Jesse Owen. **Measurements of total mercury flux over a forest canopy for model development**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – University of Connecticut, Storrs, 2006. Disponível em: <https://digitalcommons.lib.uconn.edu/dissertations/AAI3244575/>. Acesso em: 22 mar. 2026.

BISINOTI, M. C.; SARGENTINI, É.; JARDIM, W. F. Seasonal behavior of mercury species in waters and sediments from the Negro River Basin, Amazon, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2007.

BOYLAN, Helen M. et al. Rapid mercury analysis for the field: method development and application to natural gas utility sites. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 127, n. 1-4, p. 255-270, 2001. DOI: 10.1023/A:1005223121931. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1005223121931>. Acesso em: 22 mar. 2026.

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. **Decreto de 11 de setembro de 2006**. Dispõe sobre criação da Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca, nos municípios de Guarani de Goiás e São Domingos, Estado de Goiás, e dá outras providências. **Diário oficial da União**, Brasília, 12 set. 2006.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de

Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888**, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 maio 2021.

BRAVO, A. G. et al. The interplay between total mercury, methylmercury and dissolved organic matter in fluvial systems: A latitudinal study across Europe. **Water Research**, v. 144, p. 172–182, 2018.

CARRELL, Alyssa A. et al. Nutrient exposure alters microbial composition, structure, and mercury methylating activity in periphyton in a contaminated watershed. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 12, p. 647861, 19 mar. 2021. DOI: 10.3389/fmicb.2021.647861. PMID: 33815336. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.647861>. Acesso em: 22 mar. 2026.

CARVALHO, G. S. et al. Selenium and mercury in Brazilian Cerrado soils and their relationships with physical and chemical soil characteristics. **Chemosphere**, Oxford, v. 218, p. 412-415, mar. 2019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.099. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.099>. Acesso em: 22 mar. 2026.

CASTRO, R. M., MARCIONILIO, S. M. L. D. O., MORAIS, W. A., ALVES, W. D. S., OLIVEIRA, L. D., TEIXEIRA, M. B., & OLIVEIRA, D. M. D. S. Spatiotemporal analysis of water quality indicators in a watershed in Brazilian Cerrado. **Water Supply**, v. 23, n. 3, p. 1161-1176, 2023.

CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – 2ª Ed. CETESB, 2023. 456 p.

CHEN, Y. et al. Mercury dynamics in remote alpine lakes. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 58, n. 15, p. 6543-6552, 2024. DOI: 10.1021/acs.est.3c09265.

CHEN, Zhe et al. Mercury methylation in periphyton and its impact on the fate of methylmercury in aquatic environments. **Progress in Chemistry**, Beijing, v. 36, n. 5, p. 771-782, 2024. DOI: 10.7536/PC231014. Disponível em: <https://doi.org/10.7536/PC231014>. Acesso em: 22 mar. 2026.

COELHO-SOUZA, S. A. et al. Mercury and flooding cycles in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: the role of periphyton of a floating macrophyte (*Paspalum repens*). **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 14, p. 2746–2753, 2011.

COSTA, L. M. F. et al. Determinação de zonas de mudança na área da Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca – Goiás. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba, 2011

DESROSIERS, Mélanie; PLANAS, Dolors; MUCCI, Alfonso. Total mercury and methylmercury accumulation in periphyton of Boreal Shield Lakes: influence of watershed physiographic characteristics. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 355, n. 1-3, p. 247-258, 15 fev. 2006. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.02.037.

DINIZ BARBOSA, D. M.; DE PAULA, R. S.; MENEGASSE VELÁSQUEZ, L. N.; CASTELO PENA, M. A. Hydrogeochemistry of aquifers in the northern portion of the Lagoa Santa Karst Environmental Protection Area and surroundings, State of Minas Gerais, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 144, p. 105042, 2024.

DRISCOLL, Charles T. et al. Mercury as a global pollutant: sources, pathways, and effects. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 47, n. 10, p. 4967-4983, 2013. DOI: 10.1021/es305071v. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es305071v>. Acesso em: 22 mar. 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Neossolos Flúvicos**. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/neossolos-fluvicos>. Acesso em: 22 mar. 2026.

ERICKSEN, J. A.; GUSTIN, M. S.; SCHORRAN, D. E.; JOHNSON, D. W.; LINDBERG, S. E.; COLEMAN, J. S. Accumulation of atmospheric mercury in forest foliage. **Atmospheric Environment**, v. 37, n. 12, p. 1613–1622, 2003.

FAQUIM, A. C. da S.; ZANCOPÉ, M. H. de C.; CHEREM, L. F. S. Potencial de transferência de sedimentos das bacias contribuintes do sistema cárstico Terra Ronca. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 448-465, 2017.

FERNANDES, I. O.; MONTEIRO, L. C.; RODRIGUES, Y. O. S.; FREITAS MUNIZ, D. H.; CASTRO PAES, É.; BERNARDI, J. V. E. Mercury distribution in organisms, litter, and soils of the Middle Araguaia floodplain in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 14, p. 20925–20940, 2024.

FITZGERALD, William F.; LAMBORG, Carl H.; HAMMERSCHMIDT, Chad R. Marine biogeochemical cycling of mercury. **Chemical Reviews**, Washington, DC, v. 107, n. 2, p. 641-662, 2007. DOI: 10.1021/cr050353m. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr050353m>. Acesso em: 22 mar. 2026.

FITZGERALD, William F.; LAMBORG, Chad H. Geochemistry of mercury in the environment. In: HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. K. (ed.). **Treatise on geochemistry**. Amsterdam: Elsevier, 2005. v. 9, p. 107-148.

FONSECA, B. M.; FEIJÓ, L. M.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; D. Soft-bodied benthic algae in pristine Brazilian streams: from acid to karst. **Acta Botanica Brasilica**, 33(3), 517-529, 2019.

FOUCHER, Anthony et al. Retro-observations of terrestrial and aquatic ecosystem degradation associated with agricultural intensification in South America using sedimentary archives. In: EGU GENERAL ASSEMBLY CONFERENCE ABSTRACTS, 2024, Vienna. **Anais...** Vienna: EGU, 2024. DOI: 10.5194/egusphere-egu24-10712. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-10712>. Acesso em: 22 mar. 2026.

FRANÇA, J. S.; CALLISTO, M.; BISPO, P. C.; SILVA, D. R. O. Periphytic diatoms (Bacillariophyta) in streams from three Conservation Units of central Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 31, n. 2, p. 233–246, 2017.

GOIÁS. **Área de Proteção Ambiental da Serra Geral de Goiás (APA Serra Geral)**. Goiânia: Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2024. Disponível em: <https://goias.gov.br/meioambiente/area-de-protecao-ambiental-da-serra-geral-de-goias-apa-serra-geral/>. Acesso em: 22 mar. 2026.

GUIMARÃES, Daniel Pereira; LANDAU, Elena Charlotte. **Agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil em 2024**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2024. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 261). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1167756>. Acesso em: 22 mar. 2026.

GWOREK, Barbara et al. Air contamination by mercury, emissions and transformations—a review. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 228, n. 4, p. 123, 2017. DOI: 10.1007/s11270-017-3311-y. PMID: 28316351. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3311-y>. Acesso em: 22 mar. 2026.

HACON, S.; ARTAXO, P.; GERAB, F.; ET AL. Atmospheric mercury and trace elements in the region of Alta Floresta in the Amazon basin. **Water, Air, & Soil Pollution**, 80(1), 273–283, 1995.

HIGUERAS, P.; OYARZUN, R.; KOTNIK, J.; ET AL. A compilation of field surveys on gaseous elemental mercury (GEM) in air. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 36, n. 4, p. 713–734, 2014.

HISLER, C.; PROBST, J.-L.; MORTATTI, J. Annual inorganic mercury speciation in river water disturbed by chlor-alkali effluents: role and competition of ligands (Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, DOC). **Geochimica Brasiliensis**, v. 20, n. 2, p. 133–147, 2006.

HUNKE, Philip et al. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, Hoboken, v. 8, n. 6, p. 1154-1180, set. 2015. DOI: 10.1002/eco.1573. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eco.1573>. Acesso em: 22 mar. 2026.

INMON, William H. **Building the data warehouse**. 4. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, 2005.

JERAULD, M. et al. Mercury concentrations in macrophytes, periphyton, and detritus in the Everglades, Florida, USA, with special attention to *Utricularia* species. **Aquatic Botany**, v. 192, 103758, 2024.

JOLLIFFE, I. T. **Principal Component Analysis**. 2. ed. New York: Springer, 2002. 487 p.

KER, João Carlos; CURI, Nilton; SCHAEFER, Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud; VIDAL-TORRADO, Pablo. **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 343 p. ISBN 9788586504099.

KUMAR, Vinay et al. A retrospection on mercury contamination, bioaccumulation, and toxicity in diverse environments: current insights and future prospects. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 18, p. 13292, 2023. DOI: 10.3390/su151813292. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151813292>. Acesso em: 22 mar. 2026.

LAURIER, F. J. G.; COSSA, D.; BEUCHER, C.; BRÉVIÈRE, E. The impact of groundwater discharges on mercury partitioning, speciation and bioavailability to mussels in a coastal zone. **Marine Chemistry**, v. 104, n. 3–4, p. 143–155, 2007. DOI: 10.1016/j.marchem.2006.

LAVOIE, Raphael A. et al. Biomagnification of mercury in aquatic food webs: a worldwide meta-analysis. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 47, n. 23, p. 13385-13394, 3 dez. 2013. DOI: 10.1021/es403103t.

LEE, S.; ROH, Y.; KIM, K.-W. Influence of chloride ions on the reduction of mercury species in the presence of dissolved organic matter. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 41, p. 71–79, 2019. DOI: 10.1007/s10653-018-0121-0.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. 1006 p. (Developments in Environmental Modelling, v. 24).

LI, Pan et al. Research progress on biot-mercury interactions in the periphyton: environmental processes, ecological effects and restoration applications. **Frontiers in Environmental Science**, Lausanne, v. 13, 4 jan. 2026. DOI: 10.3389/fenvs.2025.1693766. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1693766>. Acesso em: 22 mar. 2026.

LOCATELLI, J. L. et al. Soil organic matter dynamics and trace element retention in Brazilian Cerrado: a 15-year assessment under different land uses. **Geoderma**, Amsterdam, v. 455, p. 117198, mar. 2025. DOI: 10.1016/j.geoderma.2025.117198. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117198>. Acesso em: 22 mar. 2026.

LUMEX. **Mercury Analyser RA-915+ - User's Manual**. 2009.

MAIA, J. L. M., NETTO, V. M., & COSTA, B. L. G. Forma urbana e poluição atmosférica: impactos na cidade do Rio de Janeiro. **Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 11, e20180145, 2019.

MARQUES, A. et al. Increasing impacts of land use on biodiversity and carbon sequestration driven by population and economic growth. **Nature Ecology & Evolution**, London, v. 3, p. 628-637, mar. 2019. DOI: 10.1038/s41559-019-0824-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0824-3>. Acesso em: 22 mar. 2026.

MASHYANOV, N. et al. Insights into patterns and trends of atmospheric mercury variability in the GMOS network based on a decade of measurements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MERCURY AS A GLOBAL POLLUTANT (ICMGP), 16., 2024, Cape Town. **Anais...** Cape Town: ICMGP, 2026. p. 248.

MERRITT, Karen A.; AMIRBAHMAN, Aria. Mercury dynamics in sulfide-rich sediments: geochemical influence on contaminant mobilization within the Penobscot River estuary, Maine, USA. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, New York, v. 71, n. 4, p. 929-941, 15 fev. 2007. DOI: 10.1016/j.gca.2006.10.012.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Serra Geral de Goiás**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2018.

MOLISANI, M. M. et al. Land–sea mercury transport through a modified watershed, SE Brazil. **Water Research**, v. 41, n. 9, p. 1929–1938, 2007. DOI: 10.1016/j.watres.2007.02.007.

MONTEIRO, Lucas Cabrera et al. Mercury bioconcentration and translocation in rooted macrophytes (*Paspalum repens* Berg.) from floodplain lakes in the Araguaia River watershed, Brazilian Savanna. **Water**, Basel, v. 16, n. 9, p. 1199, 2024. DOI: 10.3390/w16091199. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16091199>. Acesso em: 22 mar. 2026.

MONTEIRO, Lucas Cabrera et al. Mercury distribution, bioaccumulation, and biomagnification in riparian ecosystems from a neotropical savanna floodplain, Araguaia River, central Brazil. **Environmental Research**, Amsterdam, v. 252, p. 118906, jul. 2024. DOI: 10.1016/j.envres.2024.118906. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118906>. Acesso em: 22 mar. 2026.

MUNIZ, D. H. D. F., MORAES, A. S., FREIRE, I. D. S., CRUZ, C. J. D. D., LIMA, J. E. F. W., & OLIVEIRA-FILHO, E. C. Avaliação dos parâmetros de qualidade da água para monitoramento de áreas naturais, urbanas e agrícolas no Cerrado brasileiro. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 23, 307-317, 2011.

OBRIST, D., KIRK, J. L., ZHANG, L., SUNDERLAND, E. M., JISKRA, M., & SELIN, N. E. A review of global environmental mercury processes in response to human and natural perturbations: Changes of emissions, climate, and land use. **Ambio**, 47(2), 116-140, (2018).

O'CONNOR, D., HOU, D., OK, Y. S., MULDER, J., DUAN, L., WU, Q., ... RINKLEBE, J. Mercury speciation, transformation, and transportation in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review. **Environment international**, 126, 747-761, 2019.

OLIVEIRA, A. M. et al. Potencial espeleológico da Reserva Extrativista Recanto das Araras - RESEX em São Domingos - GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33., 2015, Eldorado. **Anais .... Eldorado**, 2015.

OUTRIDGE, Peter M. et al. Updated global and oceanic mercury budgets for the United Nations Global Mercury Assessment 2018. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 52, n. 20, p. 11466-11477, 16 out. 2018. DOI: 10.1021/acs.est.8b01246.

PEI, P. et al. Soil aggregate-associated mercury (Hg) and organic carbon distribution and microbial community characteristics under typical farmland-use types. **Chemosphere**, v. 275, art. 129987, 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.129987.

PENG, Dong et al. Mercury budgets in the suspended particulate matters of the Yangtze River. **Water Research**, Amsterdam, v. 243, p. 120390, set. 2023. DOI: 10.1016/j.watres.2023.120390. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120390>. Acesso em: 22 mar. 2026.

PIRRONE, Nicola et al. Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. **Atmospheric Chemistry and Physics**, Göttingen, v. 10, n. 13, p. 5951-5964, 2 jul. 2010. DOI: 10.5194/acp-10-5951-2010.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

REA, A. W.; LINDBERG, S. E.; SCHORRAN, D. E.; KEELER, G. J. Mercury accumulation in vegetation and soils of the northeastern United States. **Environ Pollut**, v. 118, p. 277–287, 2002.

REA, A. W. et al. Mercury accumulation in foliage over time in two northern mixed-hardwood forests. **Water Air Soil Pollut**, v. 133, n. 1, 2002.

RODRIGUES, Y. O., DÓREA, J. G., LANDIM, P. M. B., BERNARDI, J. V. E., MONTEIRO, L. C., DE SOUZA, J. P. R., ... DE SOUZA, J. R. Mercury spatiality and mobilization in roadside soils adjacent to a savannah ecological reserve. **Environmental Research**, v. 205, p. 112513, 2022.

ROULET, M., & LUCOTTE, M. Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferralitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. **Water, Air, and Soil Pollution**, 80(1), 1079-1088, 1995.

ROULET, M. et al. Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós River, Brazil. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 261, n. 1-3, p. 43-59, 16 out. 2000. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00594-5. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00594-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00594-5). Acesso em: 22 mar. 2026.

SANTANA, O. A. et al. Nutrientes e metais no solo e em árvores de cerrado adjacentes a um aterro sanitário. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 212-219, 2008.

SCHWEITZER, Arthur Resende Brandalise. **Aplicação de ferramenta na otimização de gerenciamento de resíduos sólidos em aeroportos**: estudo de caso: aeroporto internacional de Brasília. 2020. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2020.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE GOIÁS (SEMAD-GO). **Plano de Manejo do Parque Estadual de Terra Ronca**. Goiânia: SEMAD, 2018.

SELIN, Noelle E. Global biogeochemical cycling of mercury: a review. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 34, p. 43-63, 2009. DOI: 10.1146/annurev.environ.051308.084314. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.051308.084314>. Acesso em: 22 mar. 2026.

SHIH, R. et al. Nitrate controls methyl mercury production in a streambed bioreactor. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, p. 1586–1592, 2011. DOI: 10.2134/jeq2011.0072.

SHOLUPOV, S. et al. Zeeman atomic absorption spectrometer RA-915+ for direct determination of mercury in air and complex matrix samples. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 85, n. 6-7, p. 473-485, 2004. DOI: 10.1016/j.fuproc.2003.11.003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2003.11.003>. Acesso em: 22 mar. 2026.

SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás. **Base cartográfica e ambiental do estado de Goiás**. Goiânia, 2014.

SILVA, G. H. M. C. et al. The role of soil organic matter quality and mineralogy controlling the highest mercury concentration of the Brazilian mangroves. **Science of the Total Environment**, v. 975, art. 179274, 2025.

SMITH, M. Isabel et al. Mercury stocks in discontinuous permafrost and their mobilization by river migration in the Yukon River Basin. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 19, n. 8, p. 084041, ago. 2024. DOI: 10.1088/1748-9326/ad536e. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad536e>. Acesso em: 22 mar. 2026.

SOARES, E. M. et al. Land use and landscape position control soil organic matter and trace element retention in Cerrado ecosystems. **Science of The Total**

**Environment**, Amsterdam, v. 912, p. 168944, fev. 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.168944. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168944>. Acesso em: 22 mar. 2026.

SOMMAR, Jonas et al. High temporal variability of atmospheric mercury and its deposition in a remote Swedish mire. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 962, p. 178347, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.178347. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178347>. Acesso em: 22 mar. 2026.

SOMMAR, Jonas O. et al. Atmospheric mercury: recent advances in theoretical, computational, experimental, observational, and isotopic understanding to decipher its redox transformations in the upper and lower atmosphere and interactions with Earth surface reservoirs. **Atmospheric Chemistry and Physics**, Göttingen, v. 25, n. 19, p. 12233-12334, 8 out. 2025. DOI: 10.5194/acp-25-12233-2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/acp-25-12233-2025>. Acesso em: 22 mar. 2026.

TERŠIČ, T., BIESTER, H., & GOSAR, M. Leaching of mercury from soils at extremely contaminated historical roasting sites (Idrija area, Slovenia). **Geoderma**, 226, 213-222, 2014.

TODOROVA, S. G. et al. Evidence for regulation of monomethyl mercury by nitrate in a seasonally stratified, eutrophic lake. **Environmental Science & Technology**, v. 43, p. 6572–6578, 2009. DOI: 10.1021/es900887b.

TORAN, Laura; REISCH, Chad E. Using stormwater hysteresis to characterize karst spring discharge. **Groundwater**, Hoboken, v. 51, n. 4, p. 575-587, jul./ago. 2013. DOI: 10.1111/j.1745-6584.2012.00984.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2012.00984.x>. Acesso em: 22 mar. 2026.

UNEP (United Nations Environment Programme). **Global Mercury Assessment 2018**. Genebra: UNEP, 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Method 7473 (SW-846): Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry**. Revision 0. Washington, DC: US EPA, 1998. Disponível em: <https://www.epa.gov/esam/epa-method-7473-sw-846-mercury-solids-and-solutions-thermal-decomposition-amalgamation-and>. Acesso em: 22 mar. 2026

VIEIRA, L. C. A formação sete lagoas (grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do proterozóico. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, p. 574-574, 2008.

WANG, Xun et al. Assessment of global mercury deposition through litterfall. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 50, n. 16, p. 8548-8557, 16 ago. 2016. DOI: 10.1021/acs.est.5b06369.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Evaluation of certain food additives and contaminants: mercury**. Geneva, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**. 4th ed. Geneva: WHO, 2017.

XIA, J. et al. Migration and transformation of soil mercury in a karst region of southwest China: Implications for groundwater contamination. **Water Research**, v. 226, 119271, 2022.

YUAN, Wei et al. Fate and transport of mercury through waterflows in a tropical rainforest. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 58, n. 11, p. 4968-4978, mar. 2024. DOI: 10.1021/acs.est.3c09265. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c09265>. Acesso em: 22 mar. 2026.

ZANATTO, V.; STEINKE, V.; VIEIRA, A. Impactos do geoturismo na caverna Terra Ronca, Goiás, Brasil. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 16, p. 391, 2019.

## CAPÍTULO 2

### QUALIDADE DA ÁGUA DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA REGIÃO DA APA DA SERRA GERAL DE GOIÁS

#### Resumo

Unidades de conservação do Cerrado desempenham papel central na proteção de mananciais e no suporte ao uso recreacional de ambientes aquáticos, especialmente em regiões cársticas, onde a conectividade entre aquíferos e rios pode aumentar a sensibilidade do sistema a perturbações naturais e pressões antrópicas. Este estudo avaliou parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água superficial em 11 pontos do Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e da Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX), Goiás, em campanhas na estação chuvosa (01/04/2025) e seca (01/11/2025). As águas apresentaram baixa mineralização, com condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos reduzidos, e oxigênio dissolvido predominantemente elevado no PETeR. A sazonalidade influenciou principalmente a temperatura e a dureza total, enquanto turbidez e cor exibiram variações pontuais associadas à dinâmica hidrológica. As densidades de *Escherichia coli* variaram entre 2,0 e 1299,7 NMP/100 mL. A classificação indicativa de balneabilidade foi, em geral, favorável; contudo, no PETeR, a campanha seca registrou valores acima de 800 NMP/100 mL em dois pontos, sugerindo aporte fecal pontual e maior vulnerabilidade ao uso recreativo. Os resultados fornecem diagnóstico de base para gestão e monitoramento, reforçando a necessidade de séries temporais para consolidar a avaliação sanitária e subsidiar ações preventivas.

Palavras-chave: Cerrado; carste; balneabilidade; *Escherichia coli*; parâmetros físico-químicos; unidades de conservação.

## Abstract

Protected areas in the Brazilian Cerrado play a key role in safeguarding water resources and supporting recreational uses, particularly in karst settings where strong connectivity between aquifers and surface waters may increase system sensitivity to natural variability and anthropogenic pressures. This study assessed physicochemical and microbiological parameters of surface waters at 11 sampling points within Terra Ronca State Park (PETeR) and the Recanto das Araras Extractive Reserve (RESEX), Goiás, during the rainy (April 1st, 2025) and dry (November 1st, 2025) seasons. Waters showed low mineralization, with low electrical conductivity and total dissolved solids, and predominantly high dissolved oxygen in PETeR. Seasonality mainly affected temperature and total hardness, whereas turbidity and apparent color displayed site-specific variations linked to hydrological dynamics. *Escherichia coli* densities ranged from 2.0 to 1299.7 MPN/100 mL. Overall, the indicative bathing water classification was generally favorable; however, PETeR exhibited dry-season values exceeding 800 MPN/100 mL at two sites, suggesting episodic fecal inputs and higher vulnerability for recreational use. These findings provide a baseline diagnosis for management and monitoring and highlight the need for time-series sampling to strengthen sanitary assessment and guide preventive actions.

Keywords: Savanna; karst; recreational water quality; *Escherichia coli*; physicochemical parameters; protected áreas

## 1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa analisou a qualidade da água em duas Unidades de Conservação (UCs) localizadas na Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra Geral de Goiás: o Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e a Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX). Essas duas UCs fazem parte de uma região de grande beleza natural, com paisagens impressionantes (Figuras de 14 e 15) e um rico patrimônio espeleológico (Figuras 16 a 18), um conjunto de cavernas e formações rochosas que se destaca como um dos mais importantes de toda a América Latina (ZANATTO et al., 2019).

**Figuras 14** - Cachoeira das palmeiras



Fonte: internet

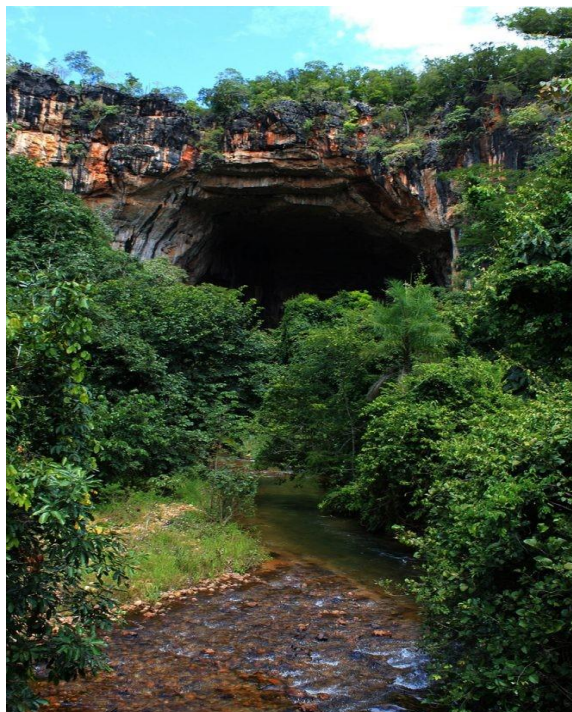
**Figura 15** - Prainha do São Vicente



Fonte: próprio autor

Para as comunidades tradicionais residentes na RESEX, o turismo representa fonte de renda complementar associada ao extrativismo vegetal e às atividades tradicionais, fortalecendo a autonomia econômica e a valorização dos saberes locais (COSTA et al., 2011; LEÃO; JULIANO, 2018).

**Figuras 16** - Caverna Terra Ronca lado externo



Fonte: próprio autor

**Figura 17** - Caverna Terra Ronca lado interno



Fonte: internet

No entorno do PETeR, moradores atuam como guias credenciados e prestadores de serviços (figura 18), promovendo a interlocução entre a tradição oral e os visitantes, o que confere ao turismo o papel de vetor de desenvolvimento sustentável e de valorização da identidade cultural regional (GOIÁS, 2024).

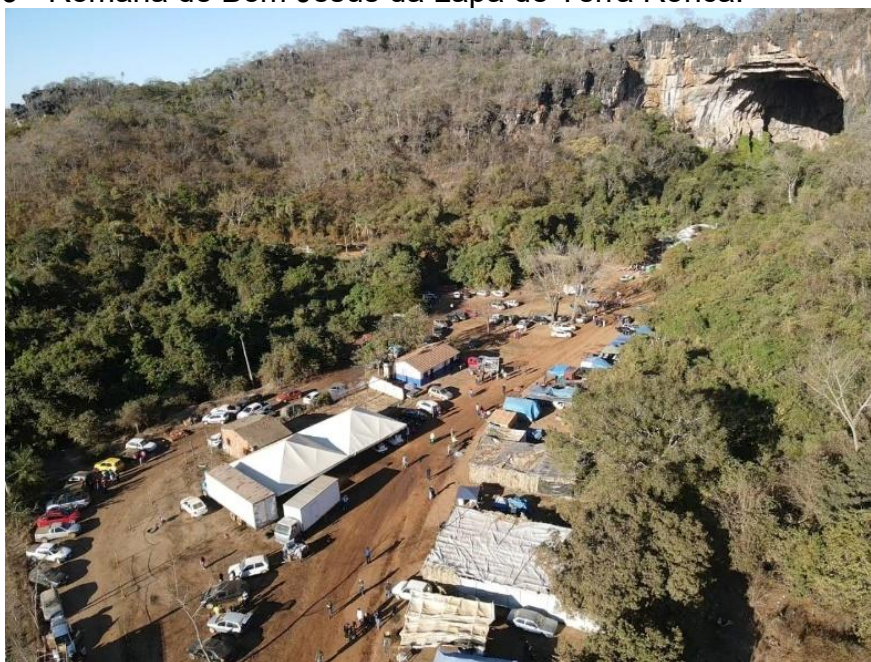
**Figura 18** - Guias locais conduzindo turistas nas cavernas do PETeR.



Fonte: Semad

Sob a perspectiva do patrimônio imaterial, a região abriga uma das mais significativas manifestações culturais e religiosas do Cerrado brasileiro: a Romaria de Bom Jesus da Lapa de Terra Ronca, realizada anualmente no interior da Caverna Terra Ronca I, desde a década de 1920 (Figura 19).

**Figura 19** - Romaria de Bom Jesus da Lapa de Terra Ronca.



Fonte: Semad

Segundo Ribeiro (2008), a romaria constitui uma das expressões mais representativas da identidade cultural e religiosa local, reunindo cerca de 4 mil fiéis ao longo de seis dias.

Nesse contexto, o turismo não apenas dinamiza a economia local, mas também fortalece a identidade cultural e a conservação do patrimônio natural e cultural, evidenciando que a proteção dos recursos hídricos e dos ecossistemas cársticos é indissociável da permanência e do bem-estar das comunidades ali residentes (ICMBio, 2019).

As Unidades de Conservação do Cerrado cumprem papel estratégico na proteção de mananciais e na oferta de serviços ecossistêmicos associados ao abastecimento, à biodiversidade e ao turismo de natureza (GOIÁS, 2024).

Em regiões de domínio cárstico, a funcionalidade hídrica revela acentuada sensibilidade em decorrência dos processos de dissolução de rochas carbonáticas, os quais originam sistemas de cavernas, dolinas e redes de drenagem subterrânea. Essas feições promovem aumento significativo da conectividade entre os compartimentos superficial e subterrâneo, elevando a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação por cargas difusas e fontes pontuais (PILÓ, 1999; TRAVASSOS, 2025).

Esses sistemas também se configuram como importantes reservatórios de água doce por meio de seus aquíferos, os quais são essenciais tanto para o abastecimento humano quanto para a manutenção dos fluxos de base em rios de superfície, além de abrigarem biodiversidade singular, com elevado grau de endemismo (TRAJANO; BICHUETTE, 2006). A importância desses sistemas transcende a esfera biológica, abrangendo também o patrimônio paleontológico, arqueológico e serviços ecossistêmicos fundamentais, tais como a regulação hídrica e o potencial geoturístico (PARRA; PEREIRA; DA PURIFICAÇÃO, 2023; MU et al., 2025; WATLET et al., 2018).

No contexto do nordeste goiano, o domínio cárstico sustentado pelo Grupo Bambuí, na Serra Geral de Goiás, abriga um dos conjuntos espeleológicos mais expressivos do Brasil, conforme evidenciado no Parque Estadual de Terra Ronca, cuja importância e diretrizes de gestão encontram-se consolidadas em seu plano de manejo (SEMAD-GO, 2018). A espacialização das unidades geomorfológicas, da rede de drenagem e dos pontos amostrais

(Figuras 20 e 21) revela-se fundamental para a interpretação da variabilidade local dos parâmetros de qualidade da água, bem como para a orientação de ações de gestão ambiental e de uso público.

Nas últimas décadas, a intensificação das atividades agropecuárias no entorno regional, associada à expansão dos sistemas irrigados e à dinâmica da fronteira agrícola, reforça a necessidade de monitoramento, sobretudo em áreas de recarga e de elevada conectividade hidrológica (LANDAU; GUIMARÃES; SOUSA, 2016; GUIMARÃES; LANDAU, 2024). Adicionalmente, em unidades de conservação que contemplam o uso recreacional de rios, ressurgências e cachoeiras, a gestão da qualidade da água assume importância direta para a saúde pública e para o planejamento do turismo, especialmente quando há práticas de recreação de contato primário (CONAMA, 2000; BAGATTOLI et al., 2019; LOPES et al., 2020).

Nesse cenário, a avaliação integrada da qualidade da água deve considerar parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez, cor aparente e dureza), que ajudam a caracterizar mineralização, oxigenação, material particulado e matéria orgânica, fornecendo suporte técnico para diagnóstico e monitoramento (PIMENTA; PEÑA; GOMES, 2009; CHAVES et al., 2025).

Complementarmente, os indicadores microbiológicos constituem ferramentas centrais para a estimativa do risco sanitário associado ao contato com a água, uma vez que a contaminação de origem fecal pode desencadear quadros gastrointestinais e outras infecções em usuários de ambientes aquáticos recreacionais. Por esse motivo, *Escherichia coli* é amplamente adotada como organismo indicador em normas sanitárias e programas de monitoramento de águas destinadas à recreação, contando com ampla base técnica internacional para avaliação de risco e vigilância epidemiológica (WHO, 2003; FEWTRELL; KAY, 2015).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000, estabelece os critérios para a avaliação da balneabilidade, definindo categorias de classificação com base em séries temporais de *Escherichia coli* (ou enterococos), além de prever condições de alerta sanitário a partir de resultados recentes elevados (BRASIL, 2000). Em áreas cársticas, esse componente

adquire relevância adicional, uma vez que a infiltração rápida e a elevada conectividade entre sumidouros, dolinas e condutos subterrâneos podem facilitar o transporte de microrganismos e ampliar significativamente a vulnerabilidade de aquíferos e ambientes subterrâneos à contaminação de origem fecal (AMARAL et al., 2023; RIBEIRO; NASCIMENTO; GARCIA, 2016).

A sazonalidade climática do tipo Aw (tropical com estação seca de inverno), predominante no nordeste goiano, altera o balanço hídrico e modifica os padrões de diluição, transporte de partículas e dinâmica de nutrientes, com reflexos diretos sobre a turbidez, a cor aparente, a condutividade elétrica e as cargas microbianas (ALVARES et al., 2013; MUNIZ et al., 2020). Nesse contexto, as análises de caráter sazonal revelam-se essenciais para a caracterização das condições naturais de qualidade da água e para a identificação de vulnerabilidades pontuais associadas ao uso público ou a aportes provenientes do entorno.

Diante do exposto, este capítulo tem como objetivos: (i) analisar a variação sazonal dos parâmetros físico-químicos da água no Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e na Reserva Extrativista (RESEX), com base em duas campanhas amostrais realizadas nos dias 1º de abril de 2025 e 1º de novembro de 2025, em 11 pontos amostrais; e (ii) discutir, em caráter indicativo, as condições de balneabilidade com base nos limiares de *Escherichia coli* estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 274/2000 (BRASIL, 2000). Os resultados referentes aos parâmetros físico-químicos e sua respectiva síntese descritiva por unidade de conservação encontram-se nas Tabelas 15 e 16, enquanto os resultados microbiológicos e a interpretação indicativa do risco à balneabilidade são apresentados nas Tabelas 17 e 18.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. ÁREA DE ESTUDO**

O Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) está localizado nos municípios goianos de Guarani de Goiás e São Domingos (Figura 20), é limitante a Leste com a Área de Preservação Ambiental da Serra Geral de Goiás. Possui uma área de 57.000 ha, com gestão voltada ao ecoturismo pesquisas científicas e práticas sustentáveis de comunidades tradicionais (SEMAD-GO, 2018).

A região possui clima tropical savânico (Aw, segundo Köppen), com estações chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro) bem definidas. A precipitação média anual é de 1.500 a 1.700 mm, e as temperaturas variam entre 22°C e 26°C, atingindo até 35°C no verão e 15°C no inverno (ALVARES et al., 2013).

A área possui grande relevância hidrogeológica e paleontológica, pois, a região é geologicamente marcada pelo Grupo Bambuí (Proterozóico: 1,2–0,54 bilhões de anos), composto por rochas carbonáticas (calcários e dolomitos) que promovem a formação cárstica (VIEIRA., 2008). Os processos de dissolução química, promovidos pela ação da água em ambientes calcários, resultam na formação de cavernas, dolinas e espeleotemas, como estalactites e estalagmites. A geologia do Parque Estadual de Terra Ronca complexidade dessas formações espeleológicas, sublinhando como a dinâmica hídrica, aliada à composição mineralógica das rochas, contribui para esses fenômenos (ZANATTO, et al., 2019).

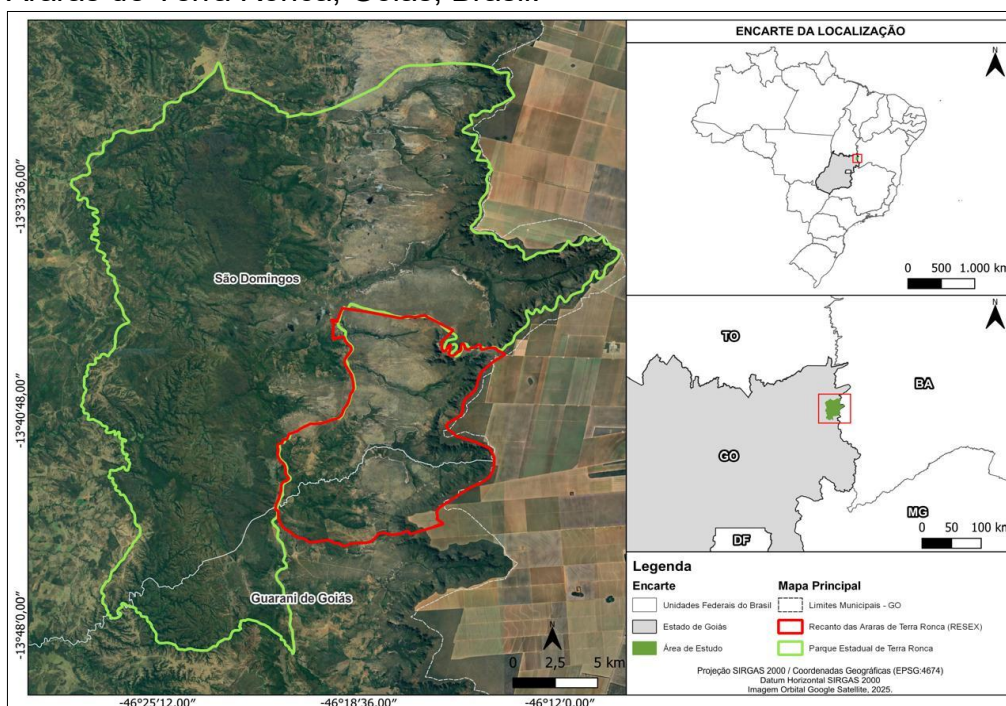
Já a Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX) foi criada pelo Decreto de 11 de setembro de 2006 e localiza-se no nordeste do estado de Goiás, em área contígua ao Parque Estadual de Terra Ronca e próxima à divisa com o estado da Bahia (BRASIL, 2006). A unidade possui aproximadamente 11.964 ha, está inserida no bioma Cerrado e constitui uma das primeiras reservas extrativistas instituídas nesse bioma. Apresenta elevado grau de conservação ambiental, expressiva biodiversidade e relevante valor paisagístico, abrigando cerca de 115 famílias de populações tradicionais que utilizam os recursos naturais de forma sustentável, com destaque para o extrativismo de espécies vegetais nativas (COSTA et al., 2011).

O clima da região é tropical do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa, entre outubro e março, e outra seca, de abril a setembro. A precipitação média anual varia entre aproximadamente 1.300 e 1.500 mm, concentrada no período chuvoso, enquanto as temperaturas médias anuais situam-se entre 22 e 26 °C, com baixa amplitude térmica. Do ponto de vista físico, a área é marcada por substrato geológico predominantemente carbonático do Grupo Bambuí, que favorece o desenvolvimento de relevo cárstico, com ocorrência de cavernas,

dolinas e sistemas subterrâneos de drenagem. Os solos predominantes incluem Latossolos, Cambissolos, Neossolos e Gleissolos, associados a um mosaico de fitofisionomias típicas do Cerrado, como cerrado sentido restrito, cerradão, veredas e matas de galeria, inseridas na bacia do rio Paranã, integrante da Região Hidrográfica Tocantins–Araguaia (BARROSO, et al., 2015; COSTA et al., 2011; SIEG, 2014).

A Área de Preservação Ambiental (APA) da Serra Geral de Goiás está inserida em uma zona de transição e forte pressão antrópica no nordeste de Goiás, na borda do Cerrado, em contato com uma das frentes mais dinâmicas da expansão agropecuária brasileira associada ao recorte MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Nessa região de entorno, predomina a agricultura intensiva e mecanizada, com ampla adoção de irrigação por pivôs centrais, elevando a intensidade de uso do solo. Esse contexto é relevante para a caracterização ambiental da unidade, pois indica um cenário regional com alta tecnificação agrícola e potencial de influência sobre a dinâmica hidrológica e a qualidade ambiental em áreas protegidas. (GOIÁS, 2024; LANDAU, GUIMARÃES e SOUZA, 2016; GUIMARÃES e LANDAU, 2024).

**Figura 20** - Mapa de localização do Parque Estadual de Terra Ronca e Recanto das Araras de Terra Ronca, Goiás, Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor

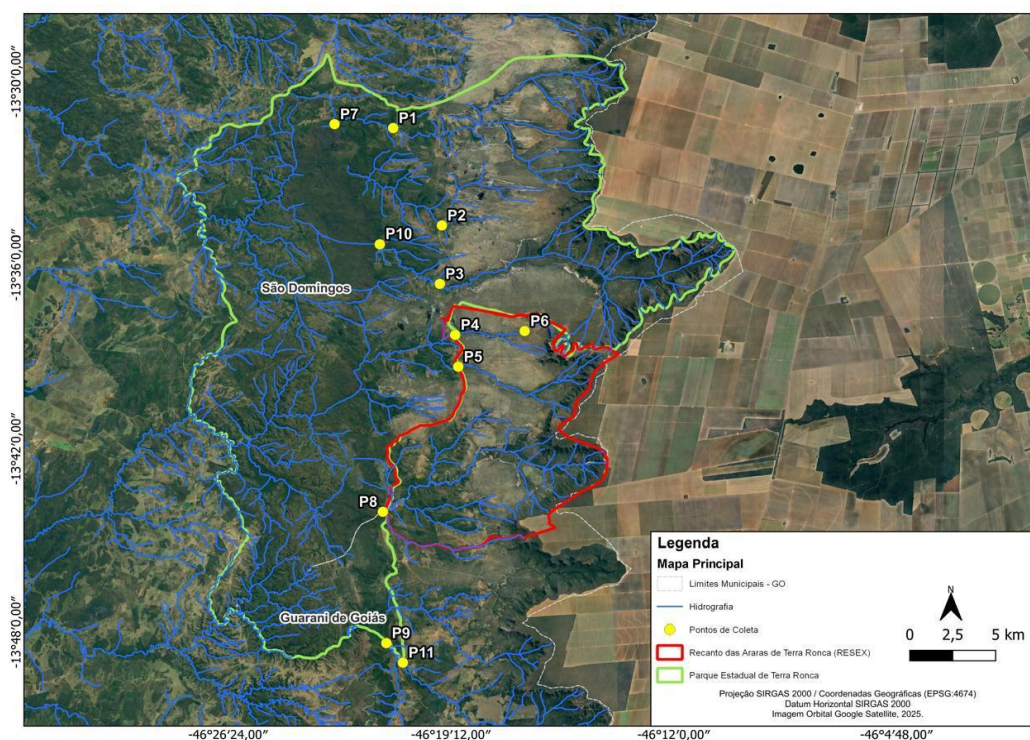
## 2.2. COLETA E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

Os procedimentos de coleta, preservação e análises seguiram as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas (CETESB, 2023).

Em cada ponto de coleta foram coletadas amostras de água também para determinação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

Os pontos foram distribuídos em 07 (sete) riachos que fazem parte da rede de drenagem dos Parques (Tabela 13, Figura 21), sendo eles: Rios Angélica, Bezerra, Lapa, São Bernardo, São João, São Matheus e Rio São Vicente. Ao todo, foram estabelecidos 11 pontos amostrais, para esse estudo os pontos foram estabelecidos pelo critério de maior presença de pessoas, como as áreas de recreação e contato primário com a água (07 pontos) e próximo à entrada das cavernas mais visitadas (04 pontos), Caverna Terra Ronca, Angélica, São Bernardo e São Vicente. Como o foco central deste capítulo foi a balneabilidade, então não foram coletados pontos próximos das nascentes dos rios citados, exceto a nascente do Rio São João, neste foi coletado na nascente, pois, é de lá que vem a água para consumo e as atividades domésticas da comunidade local (Povoado de São João Evangelista).

**Figura 21** - Mapa de localização parque, rede de drenagem, e pontos de coleta.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na região, predominam Neossolos Flúvicos, típicos de margens de rios, nascentes e fundos de vale, formados por sedimentos aluviais recentes e com baixo grau de desenvolvimento, refletindo ambientes com deposição e retrabalhamento frequentes. Em setores com maior aporte de materiais arenosos quartzosos, ocorrem Neossolos Quartzarênicos, solos muito arenosos, bem drenados, de alta permeabilidade e baixa retenção de água e nutrientes. Os Argissolos Amarelos aparecem de forma pontual em posições mais estáveis da paisagem, com maior evolução pedogenética e presença de horizonte Bt, enquanto os Organossolos se restringem a áreas hidromórficas, com acúmulo de matéria orgânica associado a condições de saturação hídrica (SANTOS et al., 2018; SPERA et al., 1999).

**Tabela 13** - Descrição dos pontos de coleta, coordenadas geográficas e tipo de solo em cada ponto.

Pontos	Unidade	Descrição	Coordenadas	
P1	PETeR	Ponte Angélica	13°31'31.44"S	46°21'4.14"O
P2	PETeR	Ponte Bezerra	13°34'42.84"S	46°19'29.64"O
P3	PETeR	Ponte São Vicente	13°36'37.20"S	46°19'33.66"O
P4	RESEX	Ponte São João	13°38'16.86"S	46°19'3.90"O
P5	RESEX	Ponte São Matheus	13°39'19.74"S	46°18'57.96"O
P6	RESEX	Nasc. São João	13°38'9.18"S	46°16'49.08"O
P7	PETeR	Cav. Angélica	13°31'23.80"S	46°22'57.90"O
P8	RESEX	Cav. Terra Ronca	13°44'4.14"S	46°21'24.18"O
P9	PETeR	Cav. São Bernardo	13°48'21.30"S	46°21'17.46"O
P10	PETeR	Cav. São Vicente	13°35'18.96"S	46°21'30.12"O
P11	PETeR	Ponte São Bernardo	13°48'59.90"S	46°20'45.40"O

Fonte: Elaborado pelo autor

### 2.3. AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS NA ÁGUA

Para coleta de amostras de água superficial destinadas às análises físico-químicas foram utilizados frascos de polietileno de 350 mL previamente preparados. A coleta foi realizada manualmente mergulhando os frascos cerca de 10 a 15 cm de profundidade. Para análise de coliformes totais e *Escherichia coli*, as amostras foram coletadas em frascos estéreis apropriados. Todas as amostras foram identificadas, acondicionados em caixa térmica, sob refrigeração

adequada, ao abrigo da luz e preservadas de acordo com as variáveis a serem analisadas até o momento das análises.

As variáveis temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos foram determinadas em campo, com o auxílio de medidor multiparâmetros portátil modelo Hq40d (Hach, Loveland, CO, EUA). A turbidez foi medida no dia da coleta, com a utilização de um turbidímetro portátil modelo 2100P (Hach, Loveland, CO, EUA) e cor aparente obtida através de medidor de cor *CheckerHC* (Hanna, EUA). Análises de coliformes totais e *Escherichia coli* foram realizadas em laboratório utilizando o método dos substratos enzimáticos Colilert® (Idexx, EUA).

A dureza total foi medida nas amostras através do método titulométrico EDTA-Na (APHA, 2018). A análise de fósforo total foi realizada pelo método ácido ascórbico/colorimétrico com leitura em espectrofotômetro UV-Visível modelo UV-1800, (Shimadzu, Kyoto, Japão). Os ânions brometo, cloreto, fluoreto, fosfato, nitrato, nitrito e sulfato; e os cátions amônio, cálcio, potássio, magnésio e sódio analisados por cromatografia iônica por meio de Cromatógrafo de Íons, modelo 761 *Compact IC*, Metrohm (Herisau, Suíça).

As análises químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Química Analítica de Água da Embrapa Cerrados (LQAA), Planaltina-DF. Na Tabela 14 são apresentadas as variáveis, unidades, métodos e metodologias empregadas nas análises das amostras.

**Tabela 14** - Variáveis físicas, químicas e microbiológicas de qualidade da água.

Variável	Unidade	Método	Metodologia
Amônio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Brometo (Br <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Coliformes totais	NMP/100 mL	Substrato enzimático	APHA, 2018, 9223 B
Condutividade elétrica	µS/cm	Eletrométrico	APHA, 2018, 2510 B
Cor aparente	PCU	Espectrofotométrico	APHA, 2018, 2120 C
Dureza total	mg L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico	APHA, 2018, 2340 B
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	Substrato enzimático	APHA, 2018, 9223 B
Fluoreto (F <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B

Variável	Unidade	Método	Metodologia
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Fósforo total (PT)	mg L <sup>-1</sup>	Colorimétrico	APHA, 2018, 4500P E
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Oxigênio dissolvido (OD)	mg L <sup>-1</sup>	Eletrométrico	APHA, 2018, 3120 B
pH	-	Eletrométrico	APHA, 2018, 4500H <sup>+</sup> B
Potássio (K <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Sódio (Na <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Sólidos totais dissolvidos (STD)	mg L <sup>-1</sup>	Eletrométrico	APHA, 2018, 2510 A
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Temperatura da água	°C	Eletrométrico	APHA, 2018, 2550
Turbidez	UNT	Turbidimétrico	APHA, 2018, 2130 B

Fonte: Elaborado pelo autor

**Legenda:** NMP = número mais provável / PCU = unidades de cobalto de platina / UNT = unidade nefelométrica de turbidez.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. VARIAÇÃO SAZONAL DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A qualidade da água foi avaliada nos mesmos 11 pontos (7 pontos no PETeR e 4 na RESEX), em duas campanhas sazonais: período de transição de seco para chuvoso (18/04/2025) e transição chuvoso para seco (07/11/2025). Os valores individuais por ponto e período estão apresentados na Tabela 15, e as estatísticas descritivas (média ± DP; mín–máx) na Tabela 16.

**Tabela 15** -Resultados dos parâmetros de qualidade da água no período seco e chuvoso no Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR) e Reserva Extrativista do Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX).

Época	ID	T	OD	pH	Cond	STD	Turb.	Cor	Dur.	PT	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		(°C)	(mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )		(µS/cm )	(mg L <sup>-1</sup> )	(UNT)	(PCU)	(mg L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> )	(mg L <sup>-1</sup> )												
Chuva	P1	25,2	7,88	5,93	3,54	1,2	1,07	5	1,42	0,031	0,569	0,102	0,236	0,422	0,089	0,005	0,312	<L,D,	<L,D,	0,101	0,010	0,049
Seca	P1	26,2	7,42	5,83	2,74	0,8	5,11	5	4,53	0,025	0,508	0,000	0,412	1,141	0,407	0,008	0,920	<L,D,	<L,D,	0,247	0,008	0,031
Chuva	P10	22,4	7,06	6,72	2,08	0,5	0,51	0	2,92	0,056	0,334	0,259	0,348	0,676	0,298	0,025	0,806	<L,D,	<L,D,	0,262	0,001	0,014
Seca	P10	26,7	7,40	6,05	5,60	2,2	2,94	0	1,52	0,007	0,147	0,000	0,097	0,439	0,104	0,041	0,254	<L,D,	<L,D,	0,150	0,002	0,002
Chuva	P11	24,6	7,95	6,53	3,22	1,0	26,5	170	1,99	0,039	0,400	0,231	0,169	0,468	0,200	0,009	1,953	<L,D,	<L,D,	0,078	0,036	0,025
Seca	P11	25,0	7,91	6,52	7,65	3,1	3,64	0	2,00	0,002	0,166	0,000	0,126	0,430	0,224	0,008	0,280	<L,D,	<L,D,	0,113	<L,D,	0,018
Chuva	P2	24,2	7,81	6,08	7,06	2,8	2,76	15	5,12	0,028	0,678	0,091	0,212	1,054	0,604	0,023	0,229	<L,D,	<L,D,	0,235	0,012	0,014
Seca	P2	27,2	7,33	6,04	7,06	2,9	14,7	45	2,03	0,015	0,163	0,000	0,095	0,640	0,105	0,031	0,211	<L,D,	<L,D,	0,137	0,010	0,022
Chuva	P3	25,6	7,73	5,91	1,42	0,2	0,94	0	2,23	0,035	0,612	0,091	0,275	0,567	0,198	0,002	0,165	<L,D,	<L,D,	0,204	0,003	0,023
Seca	P3	27,0	7,68	6,08	2,01	0,4	3,97	0	3,19	0,018	0,188	0,000	0,091	0,666	0,370	0,004	0,298	<L,D,	<L,D,	0,137	0,009	0,016
Chuva	P4	25,9	7,52	6,11	2,95	0,9	0,45	5	1,26	0,041	0,756	0,309	0,265	0,331	0,106	0,009	0,304	<L,D,	<L,D,	0,189	0,001	0,014
Seca	P4	26,4	7,30	5,70	3,51	1,2	1,46	0	3,41	0,023	0,191	0,000	0,072	0,500	0,526	0,012	0,220	<L,D,	<L,D,	0,137	0,012	0,013
Chuva	P5	24,8	7,13	6,17	3,01	0,9	0,68	0	1,71	0,022	0,299	0,185	0,212	0,401	0,173	0,003	0,339	<L,D,	<L,D,	0,184	0,080	0,034
Seca	P5	25,6	7,04	5,77	2,47	0,7	2,13	0	5,36	0,008	0,124	0,000	0,092	0,468	1,018	0,006	0,227	<L,D,	<L,D,	0,152	0,006	0,015
Chuva	P6	25,7	2,62	4,49	5,72	2,2	0,44	0	1,78	0,030	0,368	0,160	0,081	0,366	0,211	0,006	0,288	<L,D,	<L,D,	0,399	0,007	0,019
Seca	P6	26,0	3,23	5,10	5,64	2,3	1,27	0	2,80	0,001	0,161	0,000	0,279	0,513	0,368	0,009	0,292	<L,D,	<L,D,	0,111	<L,D,	1,784
Chuva	P7	22,5	7,98	6,94	4,83	1,8	0,48	10	2,86	0,044	0,285	0,056	0,121	0,487	0,399	0,002	0,381	<L,D,	<L,D,	0,207	0,001	0,021
Seca	P7	26,8	7,32	6,28	3,24	1,0	5,95	5	1,99	0,005	0,170	0,000	0,070	0,618	0,108	0,004	0,144	<L,D,	<L,D,	0,232	0,004	0,003
Chuva	P8	21,9	8,01	6,65	8,78	3,7	0,67	0	0,60	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,005	3,126	<L,D,	<L,D,	0,670	<L,D,	0,033
Seca	P8	26,1	7,54	6,48	4,48	1,6	2,88	0	4,76	0,008	0,354	0,000	0,140	0,773	0,686	0,008	0,462	<L,D,	<L,D,	0,109	0,001	0,001
Chuva	P9	22,2	7,84	6,68	9,90	4,2	0,97	0	5,84	0,078	0,231	0,028	0,104	1,221	0,678	0,005	0,662	<L,D,	<L,D,	0,243	0,007	0,021
Seca	P9	26,0	7,56	6,63	7,56	3,1	5,76	10	3,63	0,003	0,294	0,000	0,118	0,557	0,543	0,013	0,326	<L,D,	<L,D,	0,171	0,002	0,002

Fonte: próprio autor

**Legenda:** T: Temperatura; OD: Oxigênio Dissolvido; Cond: Condutividade; STD: Sólidos totais dissolvidos; Turb: Turbidez; Cor: Coloração da água; Dur.: Dureza; PT: Fósforo total; NT: Nitrogênio total; Na: Sódio; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Íon Amônio; K<sup>+</sup>: Íon Potássio; Mg<sup>2+</sup>: Íon Magnésio; Ca<sup>2+</sup>: Íon Cálcio; F: Flúor; Br: Bromo; Cl: Cloro; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: Fosfato; NO<sub>2</sub>: Dióxido de Nitrogênio; NO<sub>3</sub>: Nitrato; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: Íon sulfato.

**Tabela 16** - Estatística descritiva dos resultados dos parâmetros de qualidade da água por unidade de conservação, RESEX e PETeR

Parâmetros	T	OD	pH	Cond	STD	Turb.	Cor	Dur.	PT	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	(°C)	(mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )		(µS/cm)	(mg L <sup>-1</sup> )	(UNT)	(PCU)	(mg L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> )							(mg L <sup>-1</sup> )				
<b>Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR)</b>																			
<b>Chuva</b>																			
<b>média</b>	23,81	7,75	6,40	4,58	1,67	4,75	28,57	3,20	0,044	0,444	0,123	0,209	0,699	0,352	0,010	0,644	0,190	0,010	0,024
<b>DP</b>	1,43	0,32	0,42	2,99	1,41	9,62	62,63	1,65	0,017	0,175	0,088	0,086	0,314	0,220	0,010	0,622	0,072	0,012	0,012
<b>min</b>	22,20	7,06	5,91	1,42	0,20	0,48	0,00	1,42	0,028	0,231	0,028	0,104	0,422	0,089	0,002	0,165	0,078	0,001	0,014
<b>máx</b>	25,60	7,98	6,94	9,90	4,20	26,50	170,00	5,84	0,078	0,678	0,259	0,348	1,221	0,678	0,025	1,953	0,262	0,036	0,049
<b>Seca</b>																			
<b>média</b>	26,41	7,52	6,20	5,12	1,93	6,01	9,29	2,70	0,011	0,234	0,000	0,144	0,642	0,266	0,016	0,348	0,170	0,006	0,013
<b>DP</b>	0,75	0,22	0,29	2,42	1,17	3,99	16,18	1,10	0,009	0,130	0,000	0,120	0,239	0,176	0,015	0,259	0,051	0,004	0,011
<b>min</b>	25,00	7,32	5,83	2,01	0,40	2,94	0,00	1,52	0,002	0,147	0,000	0,070	0,430	0,104	0,004	0,144	0,113	0,002	0,002
<b>máx</b>	27,20	7,91	6,63	7,65	3,10	14,70	45,00	4,53	0,025	0,508	0,000	0,412	1,141	0,543	0,041	0,920	0,247	0,010	0,031
<b>Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca (RESEX)</b>																			
<b>Chuva</b>																			
<b>média</b>	24,58	6,32	5,86	5,12	1,93	0,56	1,25	1,34	0,046	0,378	0,186	0,162	0,297	0,145	0,006	1,014	0,361	0,029	0,025
<b>DP</b>	1,85	2,49	0,94	2,76	1,33	0,13	2,50	0,55	0,031	0,278	0,091	0,091	0,141	0,057	0,003	1,408	0,229	0,044	0,010
<b>min</b>	21,90	2,62	4,49	2,95	0,90	0,44	0,00	0,60	0,022	0,090	0,090	0,081	0,090	0,090	0,003	0,288	0,184	0,001	0,014
<b>máx</b>	26,40	8,01	6,65	8,78	3,70	2,13	5,00	5,36	0,090	0,756	0,309	0,279	0,513	1,018	0,012	3,126	0,670	0,080	1,784
<b>Seca</b>																			
<b>média</b>	26,03	6,28	5,76	4,03	1,45	1,94	0,00	4,08	0,010	0,208	0,000	0,146	0,564	0,650	0,009	0,300	0,127	0,006	0,453
<b>DP</b>	0,33	2,04	0,57	1,35	0,68	0,73	0,00	1,18	0,009	0,101	0,000	0,093	0,141	0,278	0,003	0,113	0,021	0,006	0,887
<b>min</b>	25,60	3,23	5,10	2,47	0,70	1,27	0,00	2,80	0,001	0,124	0,000	0,072	0,468	0,368	0,006	0,220	0,109	0,001	0,001
<b>máx</b>	26,40	7,54	6,48	5,64	2,30	2,88	0,00	5,36	0,023	0,354	0,000	0,279	0,773	1,018	0,012	0,462	0,152	0,012	1,784

Fonte: Elaborado pelo autor

**Legenda:** T: Temperatura; OD: Oxigênio Dissolvido; Cond: Condutividade; STD: Sólidos totais dissolvidos; Turb: Turbidez; Cor: Coloração da água; Dur.: Dureza; PT: Fósforo total; NT: Nitrogênio total; Na: Sódio; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Íon Amônio; K<sup>+</sup>: Íon Potássio; Mg<sup>2+</sup>: Íon Magnésio; Ca<sup>2+</sup>: Íon Cálcio; F: Flúor; Br: Bromo; Cl: Cloro; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: Fosfato; NO<sub>2</sub>: Dióxido de Nitrogênio; NO<sub>3</sub>: Nitrato; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: Íon sulfato.

Comparando os dois períodos, observou-se aumento de temperatura no período seco em ambas as unidades. No PETeR, a temperatura média passou de  $23,81 \pm 1,43$  °C na chuva para  $26,41 \pm 0,75$  °C na seca. Na RESEX, variou de  $24,57 \pm 1,85$  °C (chuva) para  $26,02 \pm 0,33$  °C (seca).

O pH manteve-se entre condições ligeiramente ácidas a próximas do neutro, com amplitude global entre 4,49 e 6,94. No PETeR, as médias foram  $6,40 \pm 0,42$  (chuva) e  $6,20 \pm 0,29$  (seca), indicando variação sazonal discreta. Na RESEX, os valores foram mais ácidos e mais variáveis, com médias de  $5,86 \pm 0,94$  (chuva) e  $5,76 \pm 0,57$  (seca) (Tabela 16). A Resolução CONAMA nº 274/2000 considera pH < 6,0 ou > 9,0 (águas doces) como impróprias para recreação de contato primário como por exemplo as atividades de natação e mergulho, à exceção das condições naturais.

O oxigênio dissolvido (OD) permaneceu elevado e pouco variável no PETeR, com médias de  $7,75 \pm 0,32$  mg L<sup>-1</sup> (chuva) e  $7,52 \pm 0,22$  mg L<sup>-1</sup> (seca). Na RESEX, os valores foram mais heterogêneos entre pontos, com médias semelhantes entre campanhas ( $6,32 \pm 2,49$  mg L<sup>-1</sup> na chuva e  $6,28 \pm 2,04$  mg L<sup>-1</sup> na seca), incluindo um mínimo de  $2,62$  mg L<sup>-1</sup> no período chuvoso (Tabela 16).

A condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos (STD) permaneceram baixos nas duas unidades, com variações sazonais pequenas. No PETeR, a condutividade média foi de  $4,58 \pm 2,99$  µS/cm (chuva) e  $5,12 \pm 2,42$  µS/cm (seca); na RESEX,  $5,11 \pm 2,76$  µS/cm (chuva) e  $4,03 \pm 1,35$  µS/cm (seca). Para STD, as médias foram  $1,67 \pm 1,41$  mg L<sup>-1</sup> (chuva) e  $1,93 \pm 1,17$  mg L<sup>-1</sup> (seca) no PETeR, e  $1,93 \pm 1,33$  mg L<sup>-1</sup> (chuva) e  $1,45 \pm 0,68$  mg L<sup>-1</sup> (seca) na RESEX (Tabela 16).

Nos parâmetros de STD e cor, os valores entre os períodos foram mais distintos no PETeR. A turbidez no PETeR variou de 0,48 a 26,50 UNT na chuva e de 2,94 a 14,70 UNT na seca; apesar de um pico chuvoso em um ponto específico, a maioria dos pontos apresentou turbidez maior no período seco (Tabela 16). A cor aparente no PETeR apresentou a maior amplitude no chuvoso (0–170 PCU) e reduziu no período seco (0–45 PCU). Na RESEX, a turbidez manteve-se baixa na chuva (0,44–0,68 UNT) e aumentou na seca (1,27–2,88

UNT), enquanto a cor foi muito baixa na chuva (0–5 PCU) e igual a 0 na seca (Tabela 15).

### 3.2. ÍONS E NUTRIENTES

Entre os íons analisados,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{Br}^-$  permaneceram abaixo do limite de detecção em todas as amostras, tanto no período chuvoso quanto no seco (Tabela 15), reforçando a baixa expressão desses compostos na água superficial durante as campanhas.

O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) apresentou baixa variação e permaneceu em concentrações reduzidas nas duas unidades, com intervalos de 0,08–0,26  $\text{mg L}^{-1}$  (chuva) e 0,11–0,25  $\text{mg L}^{-1}$  (seca) no PETeR. Na RESEX, houve maior amplitude na chuva (0,18–0,67  $\text{mg L}^{-1}$ ) e valores mais baixos e concentrados na seca (0,11–0,15  $\text{mg L}^{-1}$ ). Assim como o nitrato, o fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) manteve-se baixo em todo o conjunto, variando de 0,001 a 0,036  $\text{mg L}^{-1}$  no PETeR (chuva) e de 0,002 a 0,010  $\text{mg L}^{-1}$  na seca. Na RESEX, variou de 0,001 a 0,080  $\text{mg L}^{-1}$  no chuvoso e de 0,001 a 0,012  $\text{mg L}^{-1}$  no seco (Tabela 14).

Um padrão sazonal bem definido ocorreu para amônio ( $\text{NH}_4^+$ ): no período chuvoso, houve detecção em todos os pontos (PETeR: 0,03–0,26  $\text{mg L}^{-1}$ ; RESEX: 0,09–0,31  $\text{mg L}^{-1}$ ), enquanto no período seco os valores foram registrados como 0,0  $\text{mg L}^{-1}$  em todas as amostras (Tabela 15).

Quanto ao sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), as concentrações foram, em geral, baixas nas duas unidades, com variação sazonal discreta no PETeR e forte influência pontual na RESEX. No PETeR, o sulfato variou de 0,014–0,049  $\text{mg L}^{-1}$  no período chuvoso e de 0,002–0,031  $\text{mg L}^{-1}$  no período seco, indicando redução da amplitude e dos valores médios na estiagem (Tabela 14). Na RESEX, os valores no chuvoso permaneceram baixos e pouco variáveis (0,014–0,034  $\text{mg L}^{-1}$ ), enquanto no seco ocorreu maior amplitude (0,001–1,784  $\text{mg L}^{-1}$ ) em função de um valor elevado observado em ponto específico, elevando a média do período (Tabela 15).

### 3.3. INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E CONDIÇÕES DE BALNEABILIDADE

A condição sanitária das águas foi avaliada a partir das contagens de *Escherichia coli* (*E. coli*), indicador adotado pela Resolução CONAMA nº 274/2000 para fins de balneabilidade em águas doces.

Conforme a Tabela 17, as densidades de *E. coli* variaram globalmente entre 2,0 e 1299,7 NMP/100 mL, com diferenças entre unidades e entre campanhas. No PETeR, os valores oscilaram entre 57,6 e 387,3 NMP/100 mL no período chuvoso e entre 16,0 e 1299,7 NMP/100 mL no período seco, evidenciando aumento e maior dispersão na estiagem. Na RESEX, os valores permaneceram abaixo de 400 NMP/100 mL em ambas as campanhas, variando entre 75,6 e 307,6 NMP/100 mL (chuva) e 2,0 e 290,9 NMP/100 mL (seca).

**Tabela 17** - Resultados microbiológicos na água das unidades de conservação, RESEX e PETeR

Época	Unidade de Conservação	Descrição	ID	CT	E. Coli
				(NMP/ 100 mL)	
Chuva	PETeR	Ponte Angélica	P1	>2419,6	290,9
Seca			P1	>2419,6	727,0
Chuva		Ponte Bezerra	P2	> 241,6	325,5
Seca			P2	>2419,6	1299,7
Chuva		Ponte São Vicente	P3	686,7	105,4
Seca			P3	488,4	16,0
Chuva		Caverna	P7	>2419,6	344,8
Seca			P7	>2419,6	920,8
Chuva		Caverna São Bernardo	P9	2419,6	387,3
Seca			P9	>2419,6	517,2
Chuva		Caverna São Vicente	P10	1553,1	57,6
Seca	P10		1119,9	79,4	
Chuva	Ponte São Bernardo	P11	158,4	65,4	
Seca		P11	>2419,6	547,5	
Chuva	Ponte São João	P4	1732,9	121,1	
Seca		P4	1986,3	172,3	
Chuva	Ponte São Matheus	P5	1886,5	162,4	
Seca		P5	1413,6	109,5	
Chuva	Nascente São João	P6	517,6	75,6	
Seca		P6	36,8	2,0	
Chuva	RESEX		P8	>2419,6	307,6

Época	Unidade de Conservação	Descrição	ID	CT	E. Coli
				(NMP/ 100 mL)	
Seca		Caverna Terra Ronca	P8	>2419,6	290,9

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: CT: Número mais provável (NMP) de Coliformes Totais; E. Coli: NMP de *Escherichia coli*.

Conforme a CONAMA nº 274/2000, a classificação formal de balneabilidade (Excelente, Muito Boa, Satisfatória ou Imprópria) requer séries temporais com um conjunto mínimo de cinco amostras por ponto. Assim, como esse estudo apresenta duas campanhas (chuva e seca), os resultados microbiológicos são apresentados como avaliação indicativa/diagnóstica, comparando as observações pontuais aos limites de referência previstos na norma (200, 400 e 800 *E. coli*/100 mL) e aos critérios de alerta associados à última amostragem.

Nessa perspectiva indicativa, a RESEX apresentou comportamento consistente com condição favorável para recreação de contato primário nas duas datas amostradas, uma vez que todas as amostras permaneceram  $\leq 400$  *E. coli*/100 mL (Tabela 18). Já no PETeR, embora a campanha chuvosa tenha permanecido abaixo de 400 *E. coli*/100 mL em todos os pontos, na campanha seca ocorreram registros em mais de 20% dos pontos acima de 800 *E. coli*/100 mL, caracterizando sinalização de risco sanitário em parte dos pontos na estiagem. É importante destacar que nenhuma amostra ultrapassou 2000 *E. coli*/100 mL, valor que, na norma, é utilizado como critério para águas impróprias para banho.

**Tabela 18** - Indicativo de risco a balneabilidade associado aos resultados microbiológicos na água das unidades de conservação, RESEX e PETeR.

Local	Período	n	% $\leq 200$	% $\leq 400$	% $\leq 800$	Categoria*	Indicativo de risco	E. coli/100 mL (mín-máx)
PETeR	Chuva	7	42,9	100	100	Própria	Não	57,6 – 387,3
	Seca	7	28,6	28,6	71,4	Própria a Imprópria	Sim	16,0 – 1299,7
RESEX	Chuva	4	75	100	100	Própria	Não	75,6 – 307,6
	Seca	4	75	100	100	Própria	Não	2,0 – 290,9

Fonte: Elaborado pelo autor

\*A categoria foi definida conforme indica a Conama nº 274/2000, porém, não foram utilizadas séries temporais.

### 3.4. Produto final

#### 3.4.1. Dashboard interativo Power BI (Business Intelligence)

A Inteligência Empresarial (BI) abrange um conjunto de metodologias, processos e ferramentas tecnológicas destinadas a transformar dados brutos em subsídios informacionais para o processo decisório estratégico, facultando aos gestores a análise do desempenho organizacional, a identificação de padrões e a projeção de cenários prospectivos (INMON, 2005). Dessa forma, tais soluções configuram-se como ativos estratégicos ao converter dados em elementos fundamentais para a vantagem competitiva no mercado (SCHWEITZER, 2020). Diante disso, instituições públicas e privadas recorrem a ferramentas de BI com vistas a conferir celeridade às deliberações embasadas em amostragens de dados, garantindo integração, usabilidade e eficiência no processo de extração de conhecimento (ALMEIDA et al., 2019).

No escopo deste estudo, com base nos dados provenientes das fases de coleta e processamento das amostras, elaborou-se um *dashboard* na plataforma de Inteligência Empresarial Power BI. O recurso integra, mediante mapas temáticos, filtros interativos, gráficos e tabelas, os resultados referentes às análises de qualidade da água e às concentrações de mercúrio nos compartimentos ambientais investigados.

As Figuras 22 a 30 apresentam as interfaces do painel, nas quais são exibidos os resultados visuais — gráficos, tabelas e mapas — das análises da qualidade da água nas duas Unidades de Conservação (UCs): PETeR e RESEX Terra Ronca. A ferramenta permite ao usuário uma navegação flexível e intuitiva, possibilitando a visualização tanto do conjunto integrado dos dados quanto de recortes específicos, mediante seleção da UC, do compartimento ambiental, do parâmetro e da variável de interesse.

A figura 22, página inicial do *Dashboard* interativo Power BI (*Business Intelligence*) do monitoramento ambiental das UCs PETeR e RESEX Terra Ronca.

**Figura 22** - Página inicial do painel de monitoramento ambiental do PETeR e da RESEX.



**PAINEL DE MONITORAMENTO AMBIENTAL**

**UNIDADES DE CONSERVAÇÃO – GOIÁS**

ANÁLISE DE MERCÚRIO (Hg)

QUALIDADE DA ÁGUA

Este painel apresenta um estudo desenvolvido pela Universidade de Brasília como parte do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. O trabalho investiga a qualidade ambiental de duas importantes unidades de conservação do estado de Goiás: o **Parque Estadual de Terra Ronca (PETeR)** e a **Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca (Resex)** – áreas reconhecidas por sua rica biodiversidade, mas ainda pouco exploradas quanto à sua qualidade ambiental.

A pesquisa foi realizada em duas frentes. A primeira analisou a concentração de mercúrio em diferentes compartimentos ambientais – solo, água superficial, ar, sedimentos em suspensão e perifiton. A segunda frente avaliou a qualidade ambiental das águas superficiais, com foco no diagnóstico e no risco associado ao seu uso para balneabilidade das comunidades do entorno.

Ao todo, foram amostrados 20 pontos distribuídos por sete rios, com a medição de diversos parâmetros físico-químicos essenciais para compreender o estado geral dos ecossistemas aquáticos.

Mais do que gerar dados, este trabalho busca aproximar a comunidade do conhecimento científico, reforçando a importância da preservação dos ecossistemas e do monitoramento dos recursos naturais utilizados pelas populações locais. Informar é o primeiro passo para proteger – e essa construção é coletiva.

**RODRIGO MARQUES DA ROCHA**  
**Orientador: Dr. José Vicente Elias Bernardi**  
**Coorientador: Dr. Carlos José Sousa Passos**  
 Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua

**PARQUE ESTADUAL TERRA RONCA**



CLIQUE E SAIBA MAIS SOBRE AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

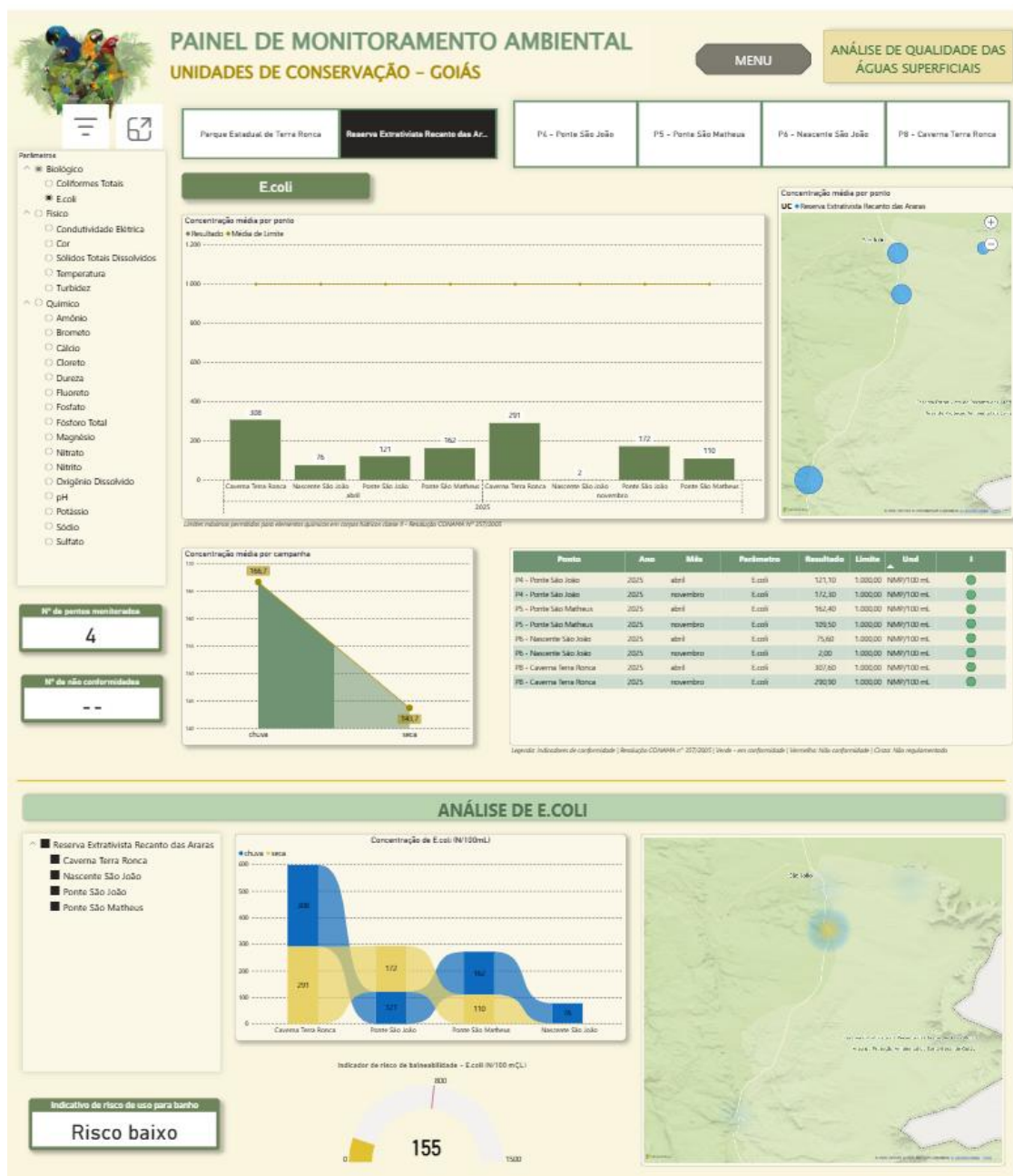
**RESEX TERRA RONCA**



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 23, apresenta em gráficos os resultados da análise da qualidade da água na UC RESEX Terra Ronca, no parâmetro biológico e variável Escherichia coli (E. coli), diferenciando o período seco e o chuvoso, concentração média por campanha, uma tabela com o valor em cada ponto e um mapa interativo dos pontos de coleta.

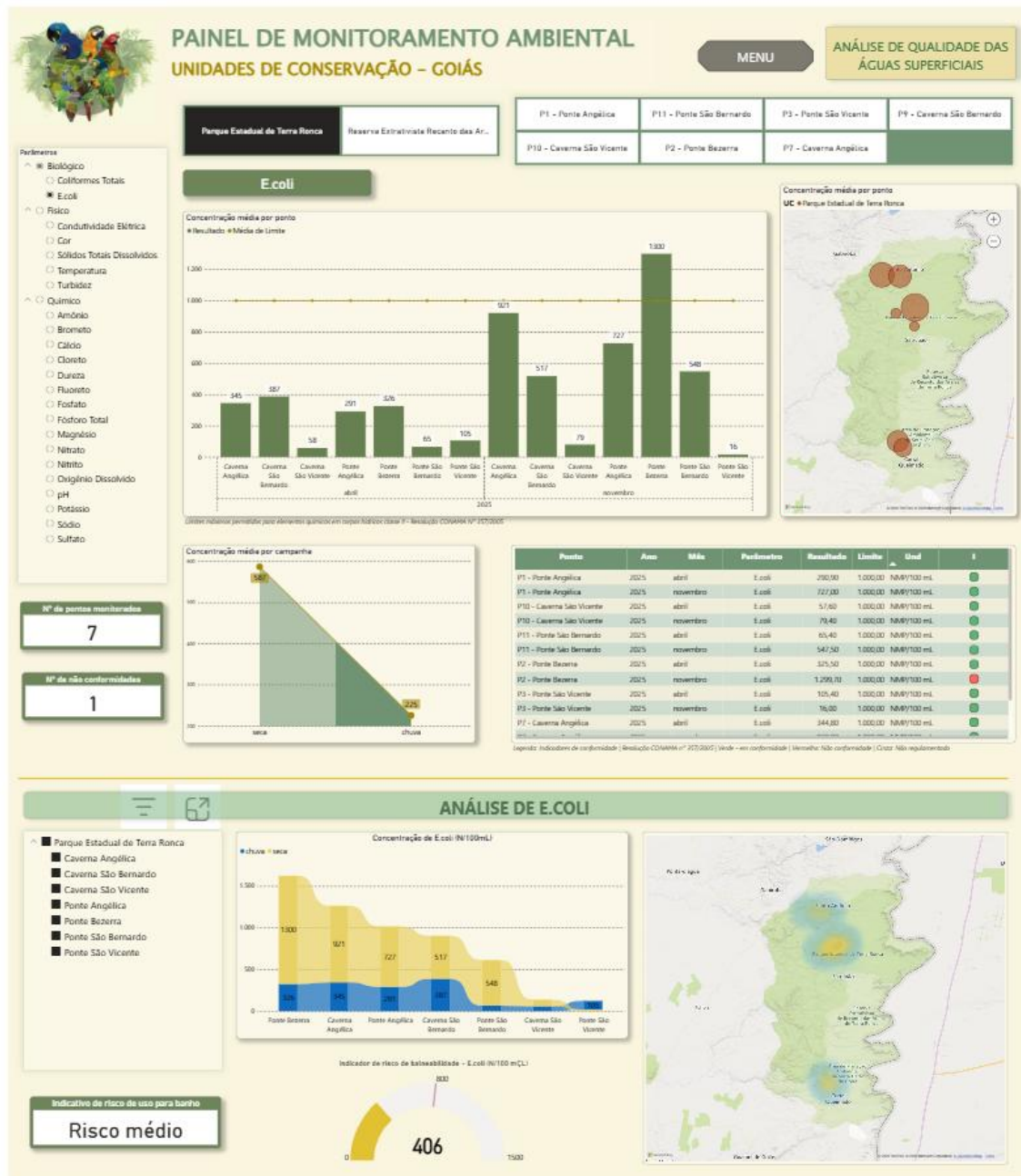
**Figura 23** - Qualidade da água na RESEX Terra Ronca, variável E. coli - NMP/100mL.



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 24, apresenta em gráficos os resultados da análise da qualidade da água na UC PETeR, no parâmetro biológico e variável Escherichia coli (E. coli), diferenciando o período seco e o chuvoso, concentração média por campanha, tabela com o valor em cada ponto e um mapa interativo dos pontos de coleta.

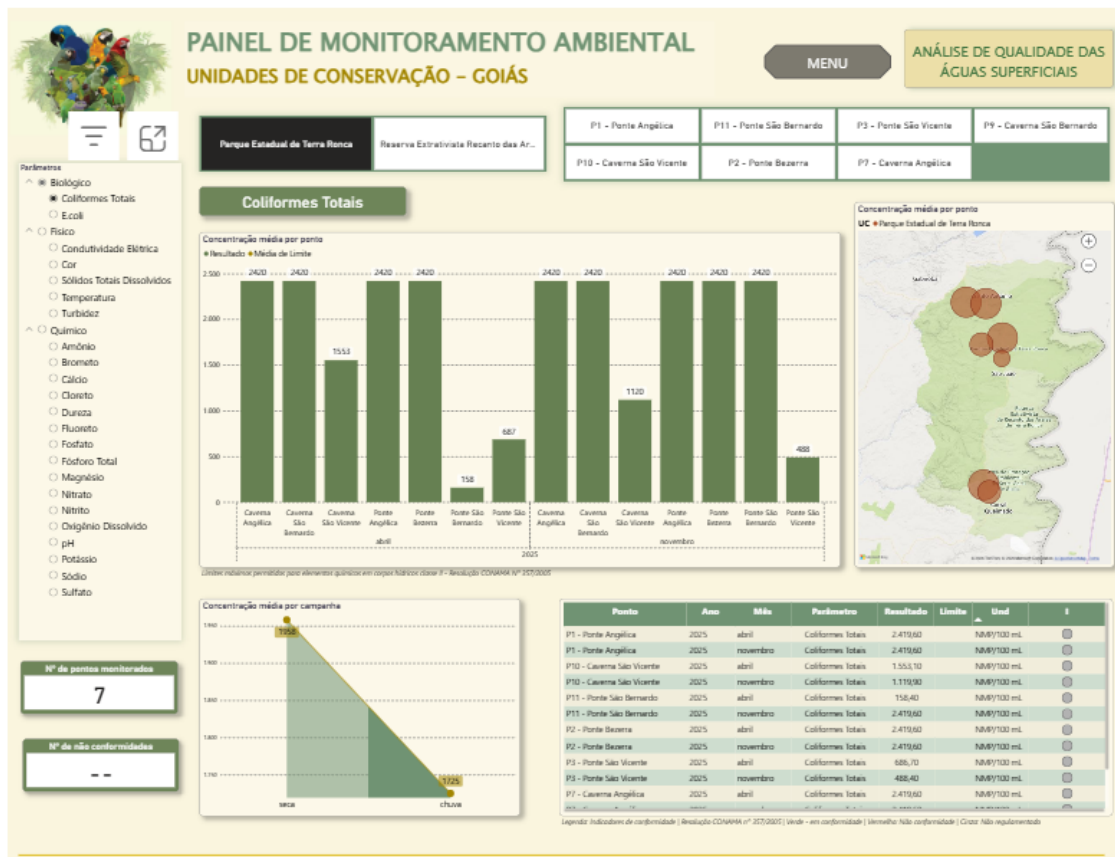
Figura 24 - Qualidade da água no PETeR, variável E. coli - NMP/100mL.



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 25, apresenta em gráficos os resultados da análise da qualidade da água na UC PETeR, no parâmetro biológico e variável Coliformes Totais (CT), diferenciando o período seco e o chuvoso, concentração média por campanha, tabela com o valor em cada ponto e um mapa interativo dos pontos de coleta.

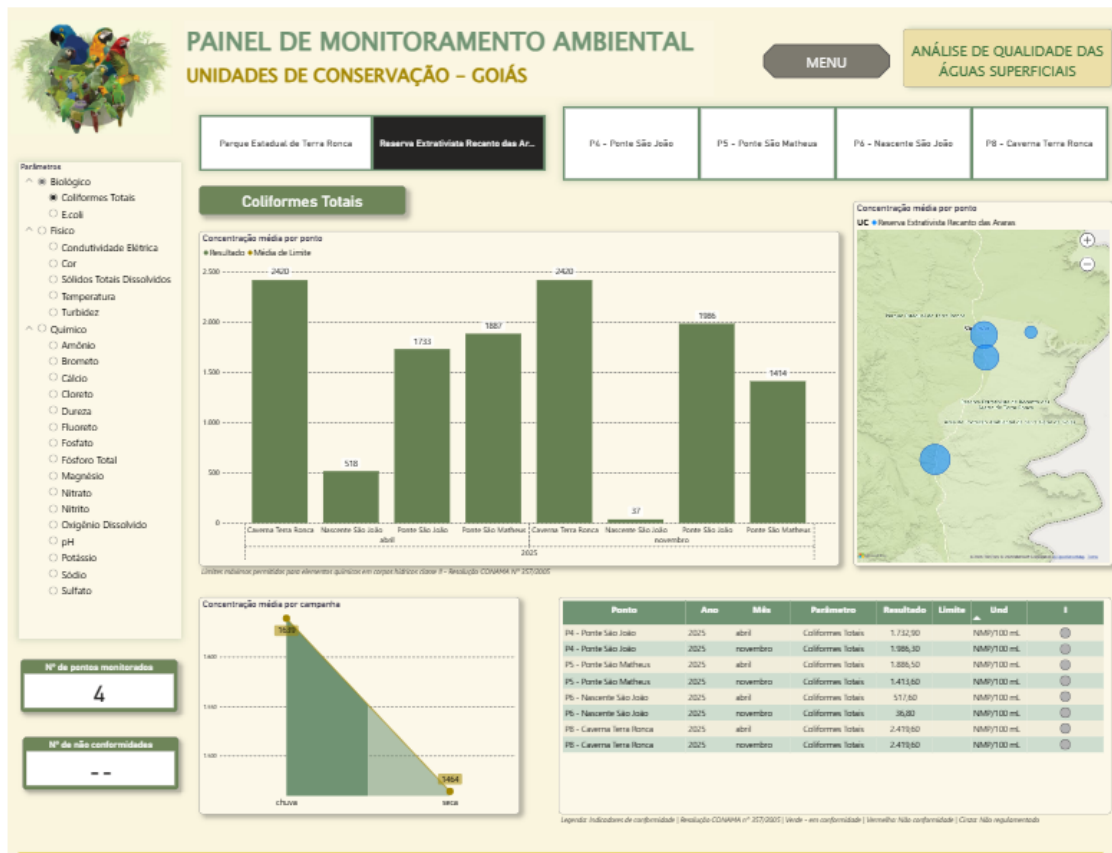
**Figura 25** -Qualidade da água no PETeR, variável Coliformes Totais - NMP/100mL.



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 26, apresenta em gráficos os resultados da análise da qualidade da água na REXEX, no parâmetro biológico, e variável Coliformes Totais (CT), diferenciando o período seco e o chuvoso, concentração média por campanha, tabela com o valor em cada ponto e um mapa interativo dos pontos de coleta.

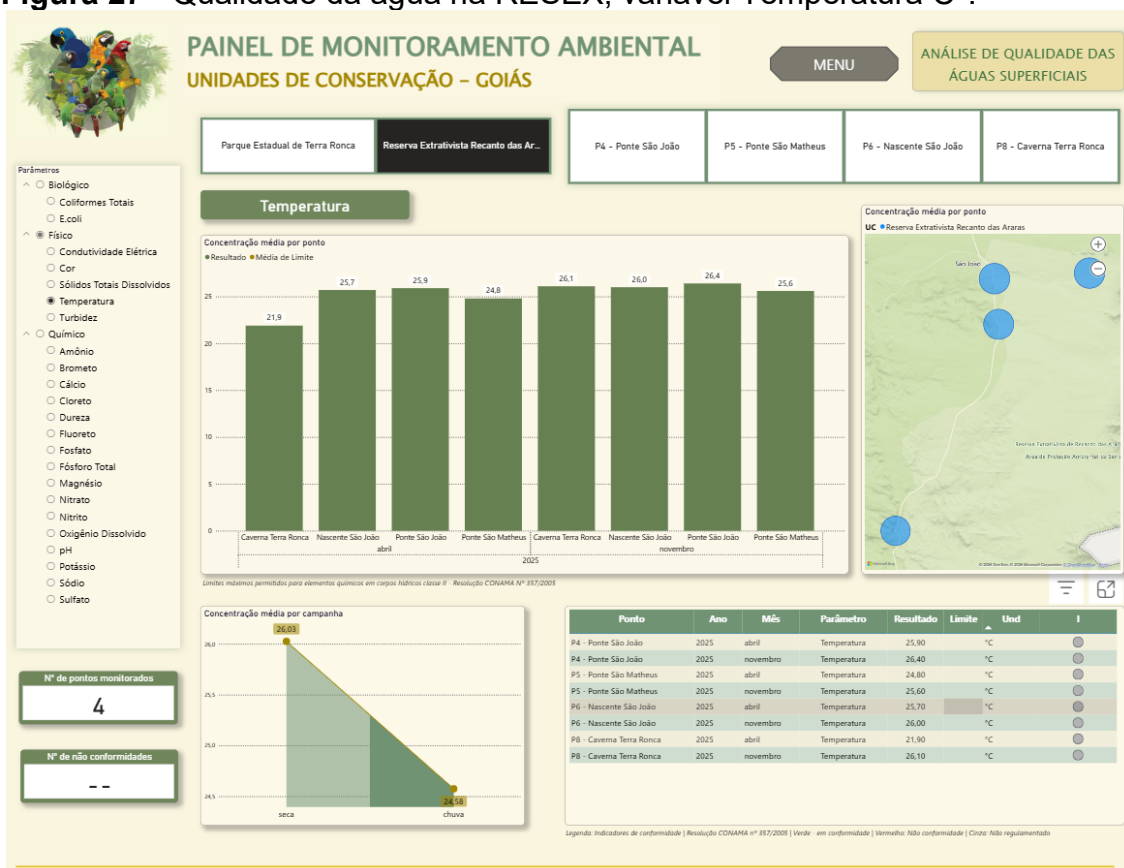
**Figura 26** - Qualidade da água na REXEX, variável Coliformes Totais - NMP/100mL.



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 27, apresenta em gráficos os resultados da análise da qualidade da água na UC PETeR, no parâmetro físico e variável temperatura C°, diferenciando o período seco e o chuvoso, concentração média por campanha, tabela com o valor em cada ponto e um mapa interativo dos pontos de coleta.

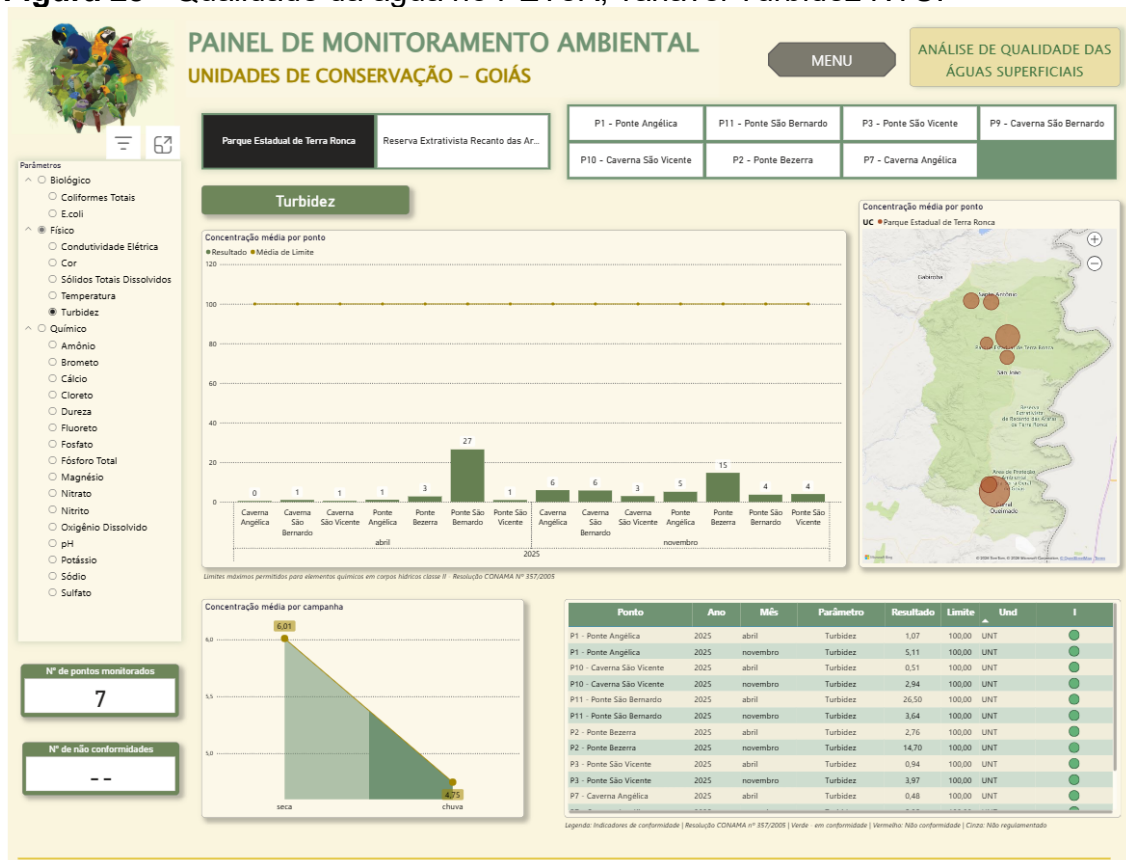
**Figura 27 - Qualidade da água na RESEX, variável Temperatura C°.**



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 28, apresenta em gráficos os resultados da análise da qualidade da água na UC PETeR, no parâmetro físico e variável Turbidez (NTU), diferenciando o período seco e o chuvoso, concentração média por campanha, tabela com o valor em cada ponto e um mapa interativo dos pontos de coleta.

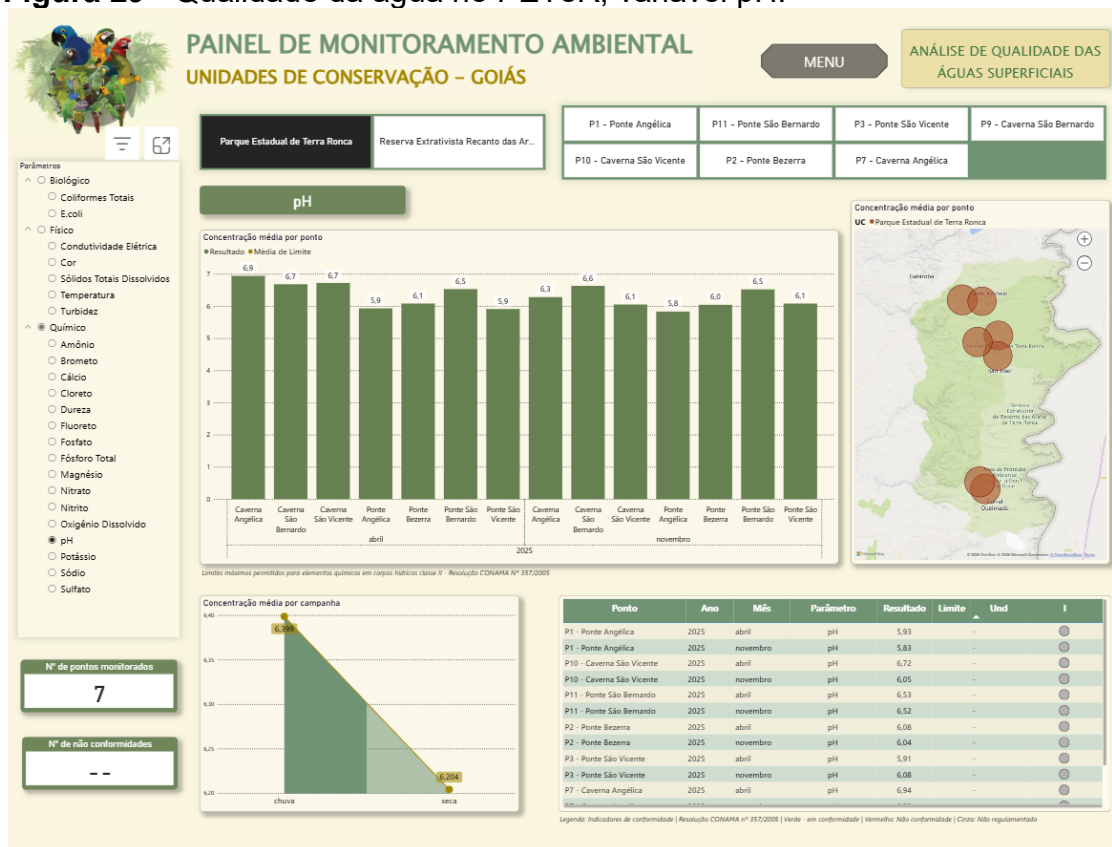
**Figura 28 - Qualidade da água no PETeR, variável Turbidez NTU.**



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 29, apresenta em gráficos os resultados da análise da qualidade da água na UC PETeR, no parâmetro químico e variável pH (potencial hidrogeniônico), diferenciando o período seco e o chuvoso, concentração média por campanha, tabela com o valor em cada ponto e um mapa interativo dos pontos de coleta.

**Figura 29 - Qualidade da água no PETeR, variável pH.**



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 30, apresenta em gráficos os resultados da análise da qualidade da água na UC PETeR, no parâmetro químico e variável Oxigênio Dissolvido (OD), diferenciando o período seco e o chuvoso, concentração média por campanha, tabela com o valor em cada ponto e um mapa interativo dos pontos de coleta.

**Figura 30** - Qualidade da água na RESEX, variável OD.



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados indicam que as águas superficiais do PETeR e da RESEX apresentam, em geral, baixa mineralização e padrões físico-químicos compatíveis com drenagens de cabeceira em contexto cárstico, com variabilidade explicada principalmente pela sazonalidade e por condições locais associadas à conectividade hidrológica e ao uso público. A leitura espacial dos pontos (Figuras 20 e 21) é crucial para contextualizar diferenças entre trechos próximos a nascentes, áreas de ponte e locais de maior visitação, nos quais o escoamento superficial e o uso recreacional podem influenciar o aporte de partículas e microrganismos. Essa interpretação é consistente com a ideia de

que, em sistemas cársticos, processos rápidos de infiltração e recarga podem produzir respostas hidroquímicas heterogêneas, exigindo diagnóstico por múltiplos parâmetros ao invés de inferências baseadas em um único indicador (TORAN; REISCH, 2013; WATLET et al., 2018).

A elevação da temperatura no período seco observada em ambas as unidades (Tabela 15) é esperada em função de maior insolação, menor cobertura de nuvens e menor influência termorreguladora da precipitação, conforme padrão climático regional (ALVARES et al., 2013). Embora a temperatura não seja critério direto de balneabilidade na CONAMA 274/2000, ela condiciona processos biogeoquímicos e pode influenciar indiretamente a persistência microbiana e a dinâmica de matéria orgânica e oxigenação do sistema (MUNIZ et al., 2020). Nesse sentido, a interpretação sazonal da temperatura contribui para explicar por que ambientes sob estiagem podem se tornar mais vulneráveis a oscilações microbiológicas, sobretudo quando a diluição é reduzida e há maior permanência de usuários nos pontos recreacionais.

O pH variou de levemente ácido a próximo da neutralidade, com valores mais ácidos e mais variáveis na RESEX (Tabela 15). Essa acidez é plausivelmente atribuída a condições naturais associadas a áreas úmidas e solos hidromórficos com aporte de matéria orgânica, cujos processos de decomposição liberam ácidos húmicos e fúlvicos, influenciando a acidez da água (SANTOS et al., 2018). Em águas de baixa alcalinidade, pequenas variações no equilíbrio de  $\text{CO}_2$ , matéria orgânica e intemperismo podem resultar em oscilações perceptíveis do pH, o que é compatível com os padrões observados em sistemas de cabeceira (NORTON et al., 2001). É importante destacar que a CONAMA 274/2000 prevê  $\text{pH} < 6,0$  como condição de impropriedade “à exceção de condições naturais”; portanto, em ambientes de Cerrado com acidez natural, o pH não deve rebaixar isoladamente a interpretação de balneabilidade sem evidências adicionais de impacto antrópico persistente.

A condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos mantiveram-se muito baixos em ambas as unidades e períodos (Tabela 15), caracterizando águas pouco mineralizadas. Esse comportamento é consistente com drenagens

de cabeceira e com a dinâmica do carste superficial, onde a infiltração rápida pode reduzir o tempo de contato água rocha e limitar a mineralização na água superficial, particularmente quando comparada a aquíferos mais profundos (TORAN; REISCH, 2013; MEYERHOFF et al., 2012). A baixa mineralização também tem implicações interpretativas: sistemas com baixa carga iônica tendem a responder rapidamente a aportes de partículas e matéria orgânica, o que torna turbidez e cor parâmetros particularmente úteis para identificar eventos de arraste e perturbações hidrológicas. Ademais, a literatura aponta que a condição de oxigenação em cursos d'água pode ser influenciada por regimes associados ao uso do solo e ao funcionamento do ecossistema, o que reforça a necessidade de avaliar OD em conjunto com demais variáveis (OLIVEIRA et al., 2019).

A turbidez e a cor aparente apresentaram maior amplitude no PETeR (Tabela 15), com picos no período chuvoso, sugerindo influência do escoamento superficial e do transporte de partículas durante eventos de precipitação. Em áreas com solos mais arenosos e frágeis, como Neossolos Quartzarênicos e ambientes com maior suscetibilidade à erosão, é comum que chuvas intensas aumentem o arraste de partículas e elevem turbidez e cor, especialmente em trechos próximos a acessos e alterações da cobertura do solo (FERREIRA et al., 2024). A literatura regional e de bacias cársticas destaca que processos de transferência de sedimentos podem ser intensificados por características das bacias contribuintes e pela conectividade do sistema, o que é relevante para orientar manejo e prevenção em pontos turísticos e de travessia (FAQUIM; ZANCOPÉ; CHEREM, 2017). Assim, os resultados sugerem que o PETeR pode demandar atenção especial para comunicação de risco em períodos pós chuva, enquanto a RESEX, com menor amplitude em turbidez/cor, apresenta sinal mais estável sob esse aspecto.

Quanto aos íons e nutrientes, as baixas concentrações e a ausência de detecção de alguns íons em determinadas amostras (Tabela 15) sugerem baixa influência de enriquecimento nutricional crônico. Ainda assim, variações sazonais podem ocorrer em função de maior aporte difuso e de transformações biogeoquímicas no período chuvoso, o que é consistente com avaliações limnológicas que enfatizam o papel da sazonalidade na qualidade da água e no

potencial de contaminação em bacias brasileiras (MUNIZ et al., 2020). Para fins de gestão, esse resultado reforça que a interpretação deve priorizar séries temporais e a comparação entre períodos, especialmente em ambientes cársticos onde respostas rápidas podem ocorrer após eventos hidrológicos.

A dimensão microbiológica é a que mais diretamente informa risco sanitário ao uso recreacional. Os resultados mostram que a RESEX permaneceu em faixas inferiores a 400 NMP/100 mL, enquanto no PETeR ocorreram excedências acima de 800 NMP/100 mL em pontos no período seco (Tabela 17), refletindo-se na interpretação indicativa de risco apresentada na Tabela 18. Esse padrão sugere aporte fecal pontual e/ou efeito de concentração pela menor diluição durante a estiagem, o que é consistente com o entendimento de que microrganismos indicadores respondem a fontes localizadas e a condições hidrológicas que afetam transporte e persistência (WHO, 2003; FEWTRELL; KAY, 2015). Em sistemas cársticos, esse achado tem implicação ampliada: a elevada conectividade hidráulica pode transportar microrganismos rapidamente para águas subterrâneas e ambientes cavernícolas, onde a ausência de radiação UV favorece a sobrevivência bacteriana, aumentando a relevância de manejo preventivo em áreas de visitação (RICHTER et al., 2021; AMARAL et al., 2023). Além disso, em áreas turísticas, impactos associados ao uso público podem aumentar vulnerabilidades ambientais, reforçando a necessidade de gestão integrada do turismo e dos recursos hídricos (ZANATTO et al., 2019).

## **5. LIMITAÇÕES E DESAFIOS DA PESQUISA**

A principal limitação reside no desenho temporal: foram realizadas duas campanhas (chuva e seca), enquanto a classificação formal de balneabilidade pela CONAMA nº 274/2000 depende de séries temporais e maior frequência amostral. Assim, as categorias apresentadas devem ser interpretadas como indicativas, úteis para triagem e gestão preliminar, mas insuficientes para conclusões normativas definitivas.

Adicionalmente, a variabilidade natural em ambientes cársticos pode ser elevada e responder rapidamente a eventos hidrológicos (chuvas intensas, pulsos de escoamento, alterações de vazão), o que demanda integração com informações hidrometeorológicas e, quando possível, medições contínuas. Por

fim, a identificação de fontes e rotas de contaminação fecal requer abordagens complementares (p.ex., rastreamento de fontes, inspeções de uso do solo no entorno, repetição amostral em pontos críticos), as quais constituem desafios logísticos e analíticos para etapas futuras do monitoramento.

## 6. CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou que as águas superficiais do PETeR e da RESEX apresentam, em geral, características físico-químicas compatíveis com sistemas naturais de cabeceira no Cerrado, com baixa mineralização, oxigenação adequada e variações predominantemente associadas à sazonalidade climática. A alternância entre os períodos chuvoso e seco mostrou-se determinante para a variação de temperatura, turbidez, cor aparente e, em menor grau, para a dinâmica de nutrientes e íons, refletindo a influência do regime hidrológico e da conectividade típica de ambientes cársticos.

As diferenças observadas entre as duas unidades indicam que, embora os processos naturais sejam semelhantes, o PETeR apresenta maior amplitude sazonal em parâmetros associados ao material particulado, especialmente no período chuvoso, enquanto a RESEX apresenta águas mais ácidas e maior variabilidade de pH, compatíveis com condições naturais associadas a solos hidromórficos e maior aporte de matéria orgânica. Esses resultados reforçam a necessidade de interpretação contextualizada dos parâmetros, sobretudo em relação aos limites normativos, evitando leituras simplistas que desconsiderem a natureza geoambiental do sistema.

Do ponto de vista microbiológico, os resultados indicaram condição sanitária majoritariamente favorável na RESEX ao longo das duas campanhas, enquanto no PETeR foram observadas excedências pontuais de *Escherichia coli* no período seco, ultrapassando o limiar de alerta estabelecido pela Resolução CONAMA nº 274/2000. Essas ocorrências sugerem vulnerabilidade sanitária localizada e sazonal, possivelmente associada à redução da diluição, ao uso recreacional e a aportes fecais pontuais, o que é particularmente relevante em ambientes cársticos com alta conectividade hidráulica.

É importante ressaltar que, conforme a própria CONAMA nº 274/2000, a classificação formal de balneabilidade requer séries temporais mais extensas. Assim, os resultados apresentados devem ser interpretados como avaliação

indicativa, útil para identificar tendências, pontos críticos e necessidades de gestão, mas insuficiente para enquadramento definitivo das áreas. Ainda assim, os dados obtidos fornecem subsídios técnicos relevantes para o planejamento do monitoramento, para a gestão do uso recreacional e para a comunicação de risco em unidades de conservação.

Como limitações, destacam-se o número reduzido de campanhas e a elevada variabilidade natural dos ambientes cársticos, que pode responder rapidamente a eventos hidrológicos de curta duração. Apesar disso, o Capítulo 2 contribuiu ao demonstrar que, mesmo em áreas protegidas, a qualidade da água pode apresentar vulnerabilidades sazonais e espaciais, reforçando a importância do monitoramento contínuo e integrado de parâmetros físico-químicos e microbiológicos como ferramenta de apoio à gestão ambiental e à saúde pública.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Damião et al. Uso de Business Intelligence na gestão de recursos hídricos: o caso da fiscalização do uso da água. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (WCAMA), 10., 2019, Belém. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 11-20. ISSN 2595-6124. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2019.6415>.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil). Acesso em: 22 mar. 2026.

AMARAL, A. K. N. et al. Contamination vulnerability assessment of the Bambuí karst aquifer, in the Terra Ronca region-Goiás, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 130, p. 104552, 2023. DOI: 10.1016/j.jsames.2023.104552. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104552>. Acesso em: 22 mar. 2026.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) et al. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: APHA: AWWA: WEF, 2018.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: [https://www.ana.gov.br/portalnqa/Publicacao/PANORAMA\\_DA\\_QUALIDADE\\_DAS\\_AGUAS.pdf](https://www.ana.gov.br/portalnqa/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf). Acesso em: 02 fev. 2026.

APHA; AWWA; WEF. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2018.

BAGATTOLI, F. et al. Assessment of Presidente Getúlio waterfalls bathing conditions – Santa Catarina state, Brazil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 22, n. 1, p. 22-30, 2019. DOI: 10.14210/bjast.v22n1.11139. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/bjast/article/view/11139>. Acesso em: 22 mar. 2026.

BARROSO, R. H. G. et al. Potencial espeleológico da Reserva Extrativista Recanto das Araras – RESEX em São Domingos – GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33., 2015, Eldorado. **Anais....** Eldorado, 2015.

BRASIL. **Decreto de 11 de setembro de 2006**. Dispõe sobre criação da Reserva Extrativista de Recanto das Araras de Terra Ronca, nos municípios de Guarani de Goiás e São Domingos, Estado de Goiás, e da outra providencias. **Diário oficial da União**, Brasília, 12 set. 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas essenciais à balneabilidade. Brasília, DF: CONAMA, 2000. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=450](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450). Acesso em: 22 mar. 2026.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – 2 ed. CETESB, 2023. 456 p.

CHAVES, L. D. P. da S. et al. Qualidade da água superficial na sub-região hidrográfica do rio Itacaiúnas: estudo dos parâmetros físico-químicos (2017-2021). **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 6, p. e10159, 2025. Disponível em: <https://observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/10159>. Acesso em: 22 mar. 2026.

COSTA, L. D. M. F. et al. Determinação de zonas de mudança na área da Reserva Extrativista Recanto das Araras de Terra Ronca – Goiás. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011

FAQUIM, A. C. Da S.; ZANCOPÉ, M. H. De C.; CHEREM, L. F. S. Potencial de transferência de sedimentos das bacias contribuintes do sistema cárstico Terra Ronca. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 448-465, 2017.

FERREIRA, P. S. A. et al. Impacto da cobertura vegetal e simulação de chuvas na erosão hídrica em Neossolos Quartzarenicos no Cerrado Maranhense. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 10, p. e9582, 2024.

FEWTRELL, L.; KAY, D. Recreational water and infection: a review of recent findings. **Current Environmental Health Reports**, v. 2, n. 1, p. 85-94, 2015. DOI: 10.1007/s40572-014-0036-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40572-014-0036-6>. Acesso em: 22 mar. 2026.

GOIÁS. Parques de Goiás. **APA da Serra Geral de Goiás**. Goiânia: Governo do Estado de Goiás, 2024. Disponível em: <https://goias.gov.br/parquesdegoias/parque-apa-e-unidade/apa-serra-geral/>. Acesso em: 31 jan. 2026.

GOMES, C. H.; SCHMIDT, A. M.; DESSART, R. L.; NOVA, G. P. C. Geochemical analyses of water and public health of the Mangueirão and Salso Streams in Caçapava do Sul, RS, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 5, p. 760-773, 2017.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil em 2024**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2024. 11 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 261). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1167756/1/Agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-no-Brasil-em-2024.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2026.

INMON, William H. **Building the data warehouse**. 4. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, 2005.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P.; SOUSA, D. L. **Expansão geográfica da agricultura irrigada por pivôs centrais na Região do Matopiba entre 1985 e 2015**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 55 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 136). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1062686/1/bol136.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2026.

LEÃO, V. de M.; JULIANO, R. de F. A identidade da comunidade tradicional e seu papel em uma unidade de conservação do Brasil Central: uma perspectiva da ecologia política. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Anápolis, v. 7, n. 2, p. 273-289, 2018. DOI: 10.21664/2238-8869.

LOPES, F. A. et al. Challenges for contact recreation in a tropical urban lake: assessment by a water quality index. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, v. 22, n. 6, p. 5409-5423, 2020. DOI: 10.1007/s10668-019-00430-4. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-019-00430-4>. Acesso em: 22 mar. 2026.

MARONTELL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e ambiente**, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015.

MEDEIROS, L. A. DE.; CUNHA, C. N. DE; RIBEIRO-SILVA, S. Áreas úmidas nas unidades de conservação do Cerrado: subsídios para a gestão. **Biodiversidade Brasileira**, v. 14, n. 3, p. 32-50, 2024.

MEYERHOFF, S. B.; KARAOLIS, M.; FIEBIG, F.; MAXWELL, R. M.; REVIL, A.; MARTIN, J. B.; GRAHAM, W. D. Visualization of conduit-matrix conductivity differences in a karst aquifer using time-lapse electrical resistivity. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 24, 2012.

MU, Y.; XIONG, K.; ZHAI, Q.; XIE, Q. Progress in regulating ecosystem services research: an implication for the Karst World Heritage sites. **npj Heritage Science**, London, v. 13, n. 1, p. 1-12, 2025. DOI: 10.1038/s40494-025-01674-2. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s40494-025-01674-2>. Acesso em: 22 mar. 2026.

MUNIZ, J. N. et al. Limnological quality: seasonality assessment and potential for contamination of the Pindaré River Watershed, Pre-Amazon Region, Brazil. **Water**, Basel, v. 12, n. 3, p. 851, 2020. DOI: 10.3390/w12030851. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12030851>. Acesso em: 22 mar. 2026.

NORTON, S. A.; COSBY, B. J.; FERNANDEZ, I. J.; KAHL, J. S.; ROBBINS CHURCH, M. Long-term and seasonal variations in CO<sub>2</sub>: Linkages to catchment alkalinity generation. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 5, n. 1, p. 83-91, 2001.

OLIVEIRA, P. C. DOS R., GEEST, H. G. VAN DER; KRAAK, M. H.; VERDONSCHOT, P. F. Land use affects lowland stream ecosystems through dissolved oxygen regimes. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 19685, 2019.

PARRA, R.; PEREIRA, R. G. F. de A.; DA PURIFICAÇÃO, C. G. C. Caves, karst features and speleological heritage in Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 24, n. 4, 2023.

PARRA, M. S.; PEREIRA, J. C.; DA PURIFICAÇÃO, V. M. Geoturismo em áreas cársticas: potencialidades e desafios para a gestão patrimonial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 312-328, 2023.

PILÓ, L. B. Ambientes Cársticos em Minas Gerais: valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, p. 34-43, 1999.

PILÓ, Luís Beethoven. **Carste: ambientes de transição entre superfície e subsolo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999. 120 p. ISBN 85-314-0456-7.

PIMENTA, S. M.; PEÑA, A. P.; GOMES, P. S. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, Rio Verde - Goiás. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 1, 2009. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/9605>. Acesso em: 22 mar. 2026.

RIBEIRO, D. de M.; NASCIMENTO, S. A. M.; GARCIA, A. J. V. Vulnerabilidade dos aquíferos cársticos Sapucari e Maruim, bacia sedimentar de Sergipe-Alagoas. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 375-393, 2016.

RIBEIRO, M. M. **São Domingos: tradições e conflitos**. 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado em História) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008. Disponível em: <https://tede2.pucgoias.edu.br/handle/tede/3393>. Acesso em: 22 mar. 2026.

RICHTER, D.; GOEPPERT, N.; ZINDLER, B.; GOLDSCHIEDER, N. Spatial and temporal dynamics of E. coli in a complex surface-water and karst groundwater system. **Hydrogeology Journal**, v. 29, p. 1823-1840, 2021.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em: 31 jan. 2026.

SCHWEITZER, Arthur Resende Brandalise. **Aplicação de ferramenta na otimização de gerenciamento de resíduos sólidos em aeroportos**: estudo de caso: aeroporto internacional de Brasília. 2020. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE GOIÁS – SEMAD-GO. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Terra Ronca**. Goiânia: SEMAD-GO, 2018. Disponível em: <https://goias.gov.br/meioambiente/planos-de-manejo-de-unidades-de-conservacao/>. Acesso em: 1 jan. 2026.

SIEG, Sistema Estadual de Geoinformação. **Base cartográfica e ambiental do estado de Goiás**. Goiânia, 2014. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso: 02 de jan. 2026.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, É. de S.; CORREIA, J. R.; CUNHA, T. J. F. **Solos areno-quartzosos no Cerrado: características, problemas e limitações ao uso**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. (Documentos, 7). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/555305/1/doc07.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2026.

TORAN, L.; REISCH, C. E. Using stormwater hysteresis to characterize karst spring discharge. **Groundwater**, v. 51, n. 4, p. 575-587, 2013.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia subterrânea: introdução**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2006. 92 p.

TRAVASSOS, L. E. P. A importância cultural do carste e das cavernas. Belo Horizonte: PUC Minas, **Espeleo-Tema**. v. 21, n. 1, p. 113-114. 2010.

TRAVASSOS, L. E. P. GEOMORFOLOGIA CÁRSTICA: A TRANSFORMAÇÃO E O DINAMISMO DA PAISAGEM. **Caderno de Geografia**, v. 35, n. 1, p. 273-273, 2025.

TRAVASSOS, L. E. P. **Hidrogeologia de sistemas cársticos: fundamentos e aplicações**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2025. 220 p.

VIEIRA, L. C. A formação sete lagoas (grupo Bambuí) e as variações paleoambientas no final do proterozóico. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, p. 574-574, 2008.

VILLANUEVA, T. C. B.; LEAL, L. R. B.; ZUCCHI, M. D. R.; MIRANDA, J. G. V., AZEVEDO, A. E. G. D.; VILLANUEVA, P. R. Caracterização hidroquímica e hidrogeológica do aquífero cárstico Salitre na região de Irecê, Bahia. 2014.

WANG, J.; ZHOU, Z.; DONG, H.; DING, S.; WANG, X.; ZHANG, Y.; HUANG, Y. Tracking sources and transformations of dissolved sulfate in karstic sub-basins in Southwest China using dual isotopes and water chemistry. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 38081, 2025.

WATLET, A. et al. Imaging groundwater infiltration dynamics in the karst vadose zone with long-term ERT monitoring. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 22, n. 2, p. 1563-1592, 2018. DOI: 10.5194/hess-22-1563-2018. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/22/1563/2018/>. Acesso em: 22 mar. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for safe recreational water environments: volume 1: coastal and fresh waters**. Geneva: WHO, 2003. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9241545801>. Acesso em: 22 mar. 2026.

ZANATTO, V. G. et al. Avaliação rápida de impactos em cavernas turísticas do Parque Estadual de Terra Ronca, Goiás, Brasil. **Physis Terrae - Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 83-100, 2019. DOI: 10.21814/physisterrae.2178. Disponível em: <https://doi.org/10.21814/physisterrae.2178>. Acesso em: 22 mar. 2026.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta dissertação demonstram que a avaliação integrada de compartimentos terrestres e aquáticos é essencial para compreender a dinâmica do mercúrio em ambientes naturais do Cerrado, inclusive dentro de unidades de conservação. O Capítulo 1 evidenciou que, embora o HgT na água superficial tenha permanecido em baixos níveis, os compartimentos sólidos e biológicos concentraram maiores teores, com valores mais elevados e maior heterogeneidade espacial na RESEX. Esse padrão reforça a importância do perifíton e do material em suspensão como matrizes sentinelas para caracterizar a disponibilidade ambiental de Hg e o potencial de entrada do contaminante na base da cadeia trófica, qualificando o diagnóstico em áreas protegidas e apoiando estratégias futuras de monitoramento e avaliação de risco ecológico.

No Capítulo 2, o diagnóstico da qualidade da água indicou condições compatíveis com sistemas naturais de baixa mineralização e, de modo geral, balneabilidade favorável. Entretanto, a ocorrência de *E. coli* acima de 800 NMP/100 mL em dois pontos no PETeR durante a seca sugere vulnerabilidade sanitária pontual, relevante para o uso recreacional e para a gestão preventiva, sobretudo em áreas cársticas onde a conectividade hidrológica pode amplificar a sensibilidade do sistema a aportes localizados.

O produto final apresentado (Dashboard interativo Power Bi) tem por objetivo dar um retorno social para a comunidade local e aos entes envolvidos, ampliando a utilidade prática da dissertação ao favorecer transparência, educação ambiental, comunicação de risco e apoio à tomada de decisão por gestores, moradores, visitantes e demais atores locais.

A disponibilização do banco de dados em BI também facilita atualizações futuras (séries temporais), comparações entre locais e identificação rápida de pontos críticos, fortalecendo o monitoramento participativo e a governança ambiental nas unidades estudadas.

## APÊNDICE

Participação na reunião do Conselho Deliberativo da RESEX Recanto das Araras de Terra Ronca, nesse ato, foi apresentado aos presentes dois pôsteres com os resultados da pesquisa da dissertação. A reunião aconteceu na sede do NGI ICMBio Mata Grande Terra Ronca, antiga pousada São Matheus.



Fonte: instagram @resex.terraronca\_icmbio

Apresentação dos pôsteres e divulgação dos resultados da pesquisa.



Fonte: próprio autor

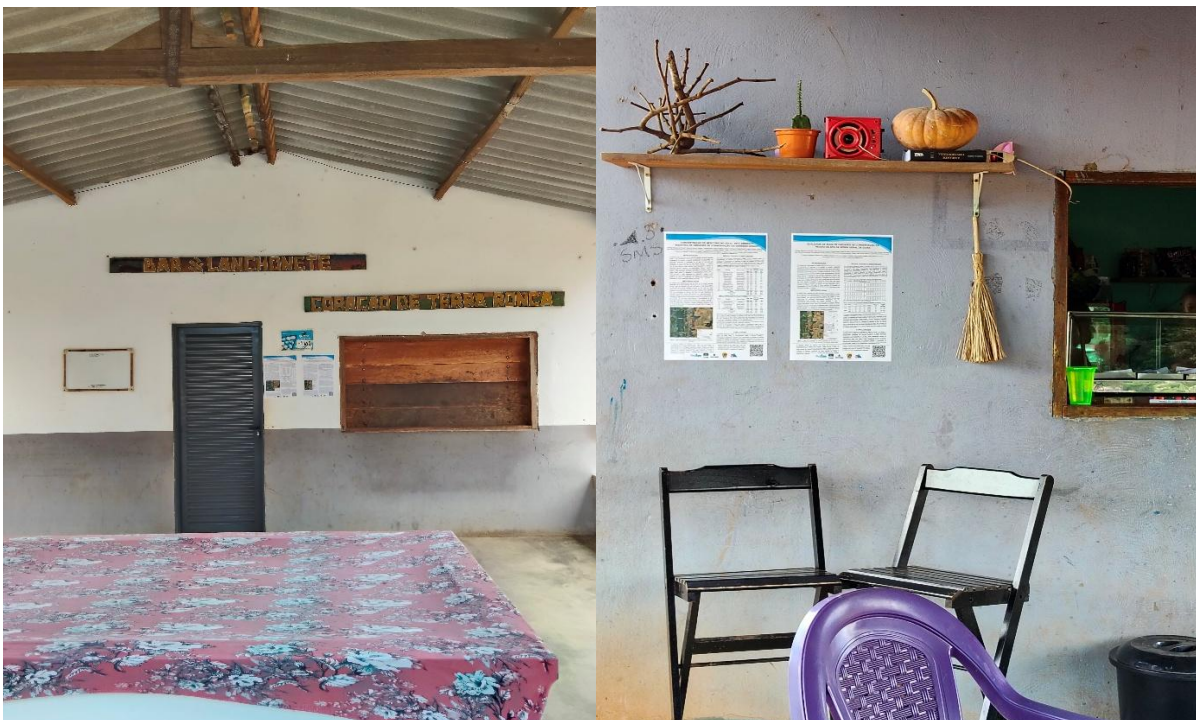
Foto com os participantes da reunião do Conselho Deliberativo, comunidade local e analistas do ICMBio.



Fonte: próprio autor

Logo após a reunião do Conselho Deliberativo, foi realizado visitas em algumas pousadas da região, divulgando os resultados da pesquisa e deixando fixado em portas e paredes os pôsteres referentes aos resultados da dissertação.

Bar e Açai do Povoado do povoado de São João Terra Ronca.



Fonte: próprio autor

Pousada Diadorim e pousada Terra Ronca.



Fonte: próprio autor

Pousada Alto da Lapa.



Fonte: próprio autor

Restaurante da Janine e Bar da Karla.



Fonte: próprio autor

## Pousada Ebenezer I e II.



Fonte: próprio autor

Ainda como forma de acesso aos dados da pesquisa segue abaixo um link e o qr-code de acesso a plataforma POWER BI.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjgyMmQ2NWYtZjBhZi00ZDYwLTg2NDQtOTAwYTEzZTNhMWQ4IiwidCI6ImVjMzU5YmExLTYzMGI0NGQyYi1iODMzLWWM4ZTZkNDhmODA1OSJ9>

QR-CODE de acesso ao Power BI do banco de dados da pesquisa

