

## **Relatório Parcial do Projeto de Pesquisa Aquacerrado: Análise da Contaminação Ambiental Decorrente do Lançamento de Efluentes pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) no Município de Bela Vista de Goiás**

O **Instituto de Desenvolvimento Econômico e Socioambiental (IDESA)** é uma OSCIP que atua no desenvolvimento de projetos de cunho ambiental, promovendo o conhecimento sobre a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. O Rio Paranaíba é um afluente do Rio Paraná, pertencente à bacia do Alto Paraná, reconhecida pela elevada diversidade ictiofaunística, apresentando aproximadamente **340 espécies**, das quais cerca de **200** são citadas no Rio Paranaíba. Entre elas destacam-se o *Brycon orbygnianus* (piracanjuba) e o *Pseudoplatystoma corruscans* (pintado), ambas incluídas na lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção.

As modificações ocorridas nesse ecossistema acentuaram-se, principalmente, a partir da década de 1950, em razão do aumento da densidade demográfica, que intensificou a exploração dos recursos naturais. O uso inadequado do solo, associado a processos antrópicos como mineração, construção de barragens, extração de areia, navegação e pesca, introdução de espécies exóticas e contaminação por micropoluentes e agrotóxicos, tem causado a diminuição da biodiversidade da ictiofauna local.

Também é importante ressaltar que o desmatamento — inclusive da vegetação ripária —, a destruição de lagoas marginais e o lançamento de efluentes urbanos e industriais promovem alterações profundas na qualidade da água, influenciando diretamente a fauna aquática. Dessa forma, tais impactos têm refletido, ao longo do tempo, na composição e na saúde da fauna e flora regionais.

A **Rede Aquacerrado** surgiu da necessidade de desenvolver estudos voltados ao Rio Paranaíba, no Estado de Goiás, em parceria com as Universidades Federal de Jataí e Federal de Goiás. Esse rio é considerado uma das áreas prioritárias de estudo pelo **PAN Alto Paraná**, atualmente em seu primeiro ciclo. O objetivo desse plano é a conservação das espécies de peixes ameaçadas de extinção da Bacia do Alto Rio Paraná, visando prevenir e mitigar impactos sobre as espécies-alvo do PAN, reduzindo o risco de extinção e preservando seus habitats. O plano compreende seis mesorregiões hidrográficas: Grande, Ivaí/Piquiri, Paraná Oeste, Paranaíba, Paranapanema e Tietê (Portaria nº 170, de 17 de janeiro de 2024).

A porção do Rio Paranaíba localizada em Goiás é pouco estudada, e a rede tem realizado trabalhos que permitem não só a caracterização da ictiofauna, como também a detecção dos riscos a que ela está exposta, identificando áreas prioritárias de conservação e inspirando políticas públicas de proteção dessas regiões. Um dos afluentes do Rio Paranaíba é o **Rio Piracanjuba**, no qual deságua o **Ribeirão Sussuapara**.

## Contexto

Após alertas da **Associação SOS Rio Piracanjuba** sobre denúncias de poluição feitas por moradores das margens do Rio Piracanjuba, nos municípios de Bela Vista de Goiás e Piracanjuba — que observaram mudanças na cor da água, odores e materiais flutuantes nos dias 05 e 06 de setembro de 2025 —, as equipes do **IDESA Brasil** e da **Rede Aquacerrado**, que realizavam expedições periódicas na região, constatarem alterações nas características fisiográficas locais e buscaram possíveis fontes poluidoras nos municípios mencionados.

No dia **06/09/2025**, a equipe identificou lançamentos irregulares e possíveis desconformidades com as resoluções e legislações vigentes, oriundos da **ETE de Bela Vista de Goiás**, com dois pontos de descarga de efluentes no Ribeirão Sussuapara: um de água tratada (Coordenadas Geográficas 23K 717962 / 8119189) e outro de efluente não tratado (Coordenadas Geográficas 23K 717917 / 8119482).

Dessa forma, uma equipe do **IDESA Brasil** coletou, em 06/09/2025, amostras de água para análises laboratoriais e ecotoxicológicas na **Universidade Federal de Jataí**. No dia **09/09/2025**, foi realizada uma nova vistoria no local de lançamento dos efluentes da ETE de Bela Vista, com avaliação dos aspectos fisiográficos do curso hídrico, aferição de parâmetros físico-químicos da água e coleta de macroinvertebrados bentônicos (bioindicadores de qualidade ambiental) (Figuras 1 a 6).

Visando identificar as possíveis fontes de contaminação que estavam alterando visivelmente o odor e a aparência da água, foram coletadas **sete amostras** (Figura 1) de água superficial e/ou subterrânea, em duplicata (duas réplicas por ponto de coleta), totalizando **14 (quatorze) subamostras**. As coletas foram realizadas em frascos de vidro âmbar esterilizados, com profundidade mínima de 20 cm, mantidos sob baixa temperatura (4°C), a fim de preservar a integridade das matrizes biológicas e químicas, minimizando artefatos analíticos decorrentes de degradação ou contaminação cruzada. As amostras foram distribuídas entre as equipes multidisciplinares responsáveis pelas análises, garantindo **cadeia de custódia documentada e rastreável**.

Figura 1: As setas vermelhas indicam os dutos de lançamento de efluentes da ETE Bela Vista de Goiás – Goiás.

## **Equipes e Responsabilidades**

### **Coleta de amostras de água:**

Execução: Ary Soares do Santos e Patrícia Giongo

Supervisão: Wagner Martins Santana Sampaio

### **Microbiológicas (concluídas):**

Execução: Analista Edmar Gonçalves Pereira Filho

Supervisão: Dr. Hanstter Hallison

### **Químicas da Água (concluídas):**

Execução: MSc. João Vitor Assis Borges

Supervisão: Dra. Andrea Rodrigues Chaves

### **Ecotoxicidade (em execução):**

Execução: Esp. Matheus Henrique Barcelos Figueiredo, Laura Milena Souza Lopes Navarini e Paula Soares Nakamura

Supervisão: Dra. Mônica Rodrigues Ferreira Machado

O relatório está estruturado por áreas de conhecimento, apresentando introdução, resultados e discussão para cada análise realizada

### Análises dos parâmetros físico-químicos e coleta de água:

Os técnicos acionados verificaram *in loco* os principais parâmetros físico-químicos da água (pH, Oxigênio Dissolvido, Saturação de Oxigênio, Salindade, Condutividade e Turbidez) para comparação com a resolução do CONAMA 357/2005 para águas de Classe 2 (que envolvem consumo humano, animal e vida aquática) e Conama 430/2011 específica para efluentes de ETEs ao serem jogados em curso natural. Ainda foram coletadas amostras de água para análises de Ecotoxicidade conforme recomendado pela CONAMA em situações de aparente desconformidade como é o caso (Tabela 1 e figura 7 e 8).

Ainda foram coletados macroinvertebrados bentônicos, organismos aquáticos que servem como bioindicadores de qualidade de água e grau de trofia da água. Os resultados demonstram alguns parâmetros em desconformidade com as resolução CONAMA em ambas resoluções como Oxigênio Dissolvido e turbidez e presença de espumas não naturais para CONAMA (357).

Os resultados para macroinvertebrados indicam ambiente em péssima qualidade ambiental segundo os índice BWMP (*Biological Monitoring Working Party System* (BMWP) (segundo ALBA-TERCEDOR & SANCHES-ORTEGA, 1998, Junqueira & Campos 1998; IAP, 2003 Monteiro et al., 2008; CETESB, 2012) que indica o grau de trofia do ecossistema. As espécies encontradas foram Chironomidae (*Chironomus sp.* (red), Curbiculidae (*Corbicula sp.*) Planorbidae (*Biomphalaria sp.*). Entre essas espécies de macroinvertebrados ainda foram encontradas Curbicula sp. mortos que são organismos altamente tolerantes à ambientes degradados. A equipe ainda constatou diversas espécies de peixes mortos como *Hypostomus spp.*; *Rhamdia quelen*, *Psalidodon fasciatus*, *Astyanax bimaculatus*, *Oreochromis niloticus*, *Pimelodella sp.*; *Neoplecostoms sp.* (Figura 2).

**Figura 2:** As setas vermelhas indicam exemplares de peixes e macroinvertebrados mortos no córrego Sussuapara nas áreas de influência da ETE Bela Vista de Goiás - Goiás. As setas laranjas indicam exemplares de Chironomidae, bioindicador de má qualidade ambiental.

**Amostras:**

**As coletas ocorreram nas seguintes coordenadas (figura 3):**

**Ponto 1 – (17°02'40"S; 48°56'14"W):** Confluência entre o Córrego Sussuapara e o Rio Piracanjuba, abrangendo áreas de influência ambiental adjacentes (zonas rurais e de preservação) e cursos d'água receptores a jusante.

**Ponto 2 – (16°57'06"S; 48°54'45"W):** Trecho do Rio Piracanjuba, localizado a montante da confluência com o Córrego Sussuapara, inserido em áreas de influência ambiental adjacentes, incluindo zonas rurais e de preservação.

**Ponto 3 – (16°58'53"S; 48°54'37"W):** Trecho do Rio Piracanjuba a montante da confluência com o Córrego Sussuapara, abrangendo áreas de influência ambiental adjacentes que incluem zonas rurais, urbanas e de preservação.

**Ponto 4 – (16°58'20"S; 48°57'22"W):** Localizado a montante, em área utilizada para captação comunitária de água.

**Ponto 5 – (17°00'02"S; 48°57'10"W):** Trecho a montante, situado nas proximidades da saída da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

**Ponto 6 – (17°00'03"S; 48°57'09"W):** localizado no duto de saída da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), isto é, antes da adição ao curso d'água.

**Ponto 7 – (17°05'26"S; 48°56'17"W):** Trecho a jusante, contemplando cursos d'água receptores.



**Figura 3:** Pontos de coleta de água.

**Descrição:** Águas fluviais acondicionadas em frascos âmbar, refrigeradas e transportadas em gelo, com controle de temperatura em 4 °C.

### **Coleta e Armazenamento:**

Executada pela equipe do IDESA, representada por MSc. Ary Soares dos Santos, Dr. Wagner Sampaio Santos e MSc. Patrícia Giongo, em conjunto com o **S.O.S. Piracanjuba**, representado pelo Sr. Rosimar Joaquim Silva.

### **Transporte:**



Realizado em caixas térmicas de isopor com gelo, garantindo temperatura controlada inferior a 10 °C durante todo o trajeto. As amostras foram entregues imediatamente aos laboratórios designados, sob fiscalização da equipe de coleta, minimizando riscos de alterações microbiológicas ou químicas.

### **Análises Realizadas:**

#### **Microbiológicas (concluídas):**

Execução: Analista Edmar Gonçalves Pereira Filho

Supervisão: Dr. Hanstter Hallison

#### **Químicas da Água (concluídas):**

Execução: MSc. João Vitor Assis Borges

Supervisão: Dra. Andrea Rodrigues Chaves

#### **Ecotoxicidade (em execução):**

Execução: Esp. Matheus Henrique Barcelos Figueiredo, Laura Milena Souza Lopes Navarini e Paula Soares Nakamura

Supervisão: Dra. Mônica Rodrigues Ferreira Machado

A coleta das amostras foi realizada em 9 de setembro de 2025, em sete pontos distintos, definidos a partir de critérios geoespaciais e hidrológicos (Figura 1). Os locais contemplaram: (i) proximidades da saída da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE); (ii) cursos d'água receptores a jusante; (iii) pontos de captação comunitária; e (iv–vii) áreas de influência ambiental adjacentes, incluindo zonas urbanas, rurais e de preservação. Cada ponto foi amostrado em duplicata, a fim de assegurar maior robustez estatística aos dados. Durante a coleta, foram utilizados equipamentos de proteção individual (EPIs) completos e aplicados procedimentos assépticos, reduzindo riscos de contaminação e vieses. As amostras foram imediatamente transportadas para laboratórios credenciados, acompanhadas de registro fotográfico e georreferenciamento via GPS para garantir a validação espacial.



Este relatório parcial **demonstra a existência de evidências preliminares de degradação ambiental**, com análises microbiológicas e químicas já concluídas indicando violações aos padrões de qualidade da água estabelecidos pela legislação vigente, incluindo a Portaria GM/MS nº 888/2021 para parâmetros microbiológicos e a Resolução CONAMA nº 430/2011 para efluentes. As análises de ecotoxicidade, em fase final, fornecerão dados complementares sobre riscos à biodiversidade e à saúde humana. Recomenda-se a continuidade das investigações, com integração de dados epidemiológicos locais para uma avaliação integral de impactos socioambientais. O relatório completo será submetido ao Ministério Público assim que todas as análises forem finalizadas, contribuindo para ações corretivas e preventivas na gestão de saneamento básico.

### **Análise microbiológica**

As Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, juntamente com a Portaria GM/MS nº 888/2021, constituem o principal referencial legal utilizado para a avaliação da qualidade da água e o controle de efluentes e para consumo humano.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece diretrizes ambientais para o enquadramento, definindo valores de referência (VMP) para parâmetros microbiológicos, físicos e químicos conforme o uso e a classe do corpo hídrico

De acordo com esta resolução:

- Classe 1: ausência de *Escherichia coli* em 100 mL de amostra;
- Classe 2: até 200 NMP/100 mL de *E. coli* (ou coliformes termotolerantes) em 80% das amostras;
- Classe 3: até 1.000 NMP/100 mL;
- Classe 4: não aplicável para consumo humano, sendo destinada apenas à navegação e harmonia paisagística.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 complementa a 357/2005 e estabelece condições, parâmetros e padrões para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, sendo aplicável principalmente aos pontos amostrais de saída da ETE (P5 e P6). Para efluentes lançados em corpos de água, a resolução determina:

- Coliformes termotolerantes: máximo de 1.000 NMP/100 mL;
- pH: entre 5 e 9;
- Temperatura: variação máxima de 3°C em relação à água do corpo receptor;
- Sólidos sedimentáveis: até 1,0 mL/L em 1 hora;
- Óleos e graxas: até 100 mg/L (origem vegetal/animal) e 20 mg/L (origem mineral);
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5): máximo de 60 mg/L, e redução mínima de 60% em relação ao afluente bruto.

Nos demais pontos de amostragem (P1 a P4), os resultados devem ser comparados aos valores de referência da Resolução CONAMA nº 357/2005, conforme a classe de enquadramento atribuída ao corpo hídrico receptor, considerado classe 2.

A Portaria GM/MS nº 888/2021, por sua vez, estabelece os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Embora não se aplique diretamente à ETE de Bela Vista, é relevante de forma complementar, considerando que parte da população pode realizar captação particular para consumo. Assim, a presença de microrganismos nessas amostras pode representar risco sanitário

Os valores de referência dessa Portaria incluem:

- Coliformes totais: ausência em 100 mL de amostra;
- *Escherichia coli*: ausência em 100 mL de amostra;
- Bactérias heterotróficas:  $\leq 500$  UFC/m

Essas legislações fundamentam-se em evidências epidemiológicas e toxicológicas, alinhadas às diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) e às normas técnicas da ABNT, como a NBR 17080/2023 (Amostragem de água para análise microbiológica) e a NBR 9898/2008

(Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores). Todos os procedimentos laboratoriais seguiram Boas Práticas de Laboratório (BPL), assegurando a rastreabilidade, precisão e reprodutibilidade dos resultados obtidos.

### **Metodologia:**

Os testes de coliformes totais foram realizados a partir de *pools* das amostras de água. Uma das duas garrafas de cada ponto foi identificada e destinada à análise microbiológica. As análises foram conduzidas em duplicata, com duas repetições para cada ponto de coleta.

Inicialmente, foi aplicado o teste presuntivo, utilizando o meio Lauryl Sulfate Broth (LSB) em três diluições:

- 1:1 – cinco tubos contendo 10 mL de meio e 10 mL de amostra;
- 1:10 – cinco tubos contendo 10 mL de meio e 1 mL de amostra;
- 1:100 – cinco tubos contendo 10 mL de meio e 0,1 mL de amostra.

Cada tubo recebeu um tubo Durhan para detecção da formação de gás após 48 horas de incubação. A presença de gás foi considerada positiva. Os testes confirmativos foram realizados a partir dos tubos positivos do presuntivo, em Verde Brilhante Bile 2% (VB), e para coliformes termotolerantes em meio EC, inoculados com alça de platina. Os tubos em meio EC foram incubados em banho-maria a 44,5 °C por 24 horas, enquanto os tubos em VB foram incubados em estufa BOD a 36 °C por 48 horas. A presença de gás nos tubos Durhan indicou resultado positivo.

O teste de contagem padrão de bactérias heterotróficas foi conduzido pela inoculação de 1 mL de cada amostra em 12 mL de Plate Count Agar (PCA), vertido em placas de Petri e incubadas em duplicata por 48 horas a 36 °C em estufa BOD. Após esse período, foi realizada a contagem e avaliação das colônias formadas.

Esses parâmetros foram definidos com base em evidências epidemiológicas e toxicológicas, em conformidade com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS).

## Resultados:

A avaliação microbiológica das amostras de água foi realizada com base na contagem de coliformes totais (Tabela 1), parâmetro amplamente utilizado como indicador de contaminação de origem fecal e de qualidade sanitária da água. Os resultados obtidos foram comparados aos valores de referência estabelecidos nas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, conforme a natureza de cada ponto amostral — corpos hídricos superficiais (P1 a P4 e P7) e efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) (P5 e P6).

**Tabela 1** - Apresenta a identificação dos pontos de coleta, suas respectivas coordenadas geográficas, os resultados de contagem de coliformes totais, a conformidade frente aos limites legais e as legislações de referência aplicáveis a cada tipo de amostra.

Ponto de Coleta	Coordenadas (GPS)	Resultado (NMP/100 mL)	Conformidade	Legislação de referência	Valor de referência (VMP)
<b>Ponto 1</b>	17°02'40"S; 48°56'14"W	280	<b>Não conforme</b>	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	≤ 200 NMP/100 mL
<b>Ponto 2</b>	16°57'06"S; 48°54'45"W	26	Conforme	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	≤ 200 NMP/100 mL
<b>Ponto 3</b>	16°58'53"S; 48°54'37"W	≥1600	<b>Não conforme</b>	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	≤ 200 NMP/100 mL
<b>Ponto 4</b>	16°58'20"S; 48°57'22"W	280	<b>Não conforme</b>	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	≤ 200 NMP/100 mL
<b>Ponto 5</b>	17°00'02"S; 48°57'10"W	34	Conforme	CONAMA nº 430/2011 (efluente)	≤ 1.000 NMP/100 mL
<b>Ponto 6</b>	17°00'03"S; 48°57'09"W	≥1600	<b>Não conforme</b>	CONAMA nº 430/2011 (efluente)	≤ 1.000 NMP/100 mL

A quantificação de coliformes termotolerantes (Tabela 2) foi realizada com o objetivo de identificar a presença de contaminação fecal recente nas amostras de água coletadas. Esse grupo de microrganismos é um dos principais indicadores de poluição por esgoto doméstico ou resíduos orgânicos de origem animal, sendo utilizado para fins de enquadramento ambiental e avaliação da eficiência de tratamento de efluentes.

A comparação dos resultados seguiu os valores de referência estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, conforme o tipo de ponto amostral:

- P1 a P4 e P7 foram avaliados segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, considerando enquadramento como Classe 2, com limite máximo de 200 NMP/100 mL de *E. coli* ou coliformes termotolerantes em 80% das amostras;
- P5 e P6, correspondentes ao efluente tratado e pós-lançamento da ETE, foram analisados conforme a Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece limite máximo de 1.000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes para lançamento de efluentes.

**Tabela 2** – Apresenta os resultados obtidos de coliformes termotolerantes, as coordenadas de cada ponto de coleta e a conformidade em relação aos limites legais vigentes.

Ponto de Coleta	Coordenadas (GPS)	Resultado (NMP/100 mL)	Conformidade	Legislação de referência	Valor de referência (VMP)
<b>Ponto 1</b>	17°02'40"S; 48°56'14"W	220	<b>Não conforme</b>	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	≤ 200 NMP/100 mL
<b>Ponto 2</b>	16°57'06"S; 48°54'45"W	17	Conforme	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	≤ 200 NMP/100 mL
<b>Ponto 3</b>	16°58'53"S;	26	Conforme	CONAMA nº	≤ 200

	48°54'37"W			357/2005 (Classe 2)	NMP/100 mL
<b>Ponto 4</b>	16°58'20"S; 48°57'22"W	≤2	Conforme	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	≤ 200 NMP/100 mL
<b>Ponto 5</b>	17°00'02"S; 48°57'10"W	2	Conforme	CONAMA nº 430/2011 (efluente)	≤ 1.000 NMP/100 mL
<b>Ponto 6</b>	17°00'03"S; 48°57'09"W	34	Conforme	CONAMA nº 430/2011 (efluente)	≤ 1.000 NMP/100 mL
<b>Ponto 7</b>	17°05'26"S; 48°56'17"W	17	Conforme	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	≤ 200 NMP/100 mL

A avaliação de bactérias heterotróficas (tabela 3) foi realizada com o objetivo de identificar a presença de microrganismos dependentes de matéria orgânica, cuja contagem é utilizada como indicador de qualidade microbiológica da água e possível contaminação pós-tratamento.

Os resultados obtidos foram comparados ao padrão de referência estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que define como limite máximo aceitável 500 UFC/mL para sistemas de abastecimento de água potável. Apesar de esta Portaria se aplicar a água destinada ao consumo humano, os valores aqui registrados fornecem uma indicação complementar da carga microbiana presente nos pontos amostrados.

**Tabela 3** – Contagem de bactérias heterotróficas com seus respectivos pontos de coleta e resultados das contagens de bactérias heterotróficas, e a conformidade em relação ao padrão legal e o valor de referência utilizado como comparação.

Ponto de Coleta	Coordenadas (GPS)	Resultado (NMP/100 mL)	Conformidade	Legislação de referência	Valor de referência (VMP)
-----------------	-------------------	------------------------	--------------	--------------------------	---------------------------

<b>Ponto 1</b>	17°02'40"S; 48°56'14"W	488	Conforme	Portaria GM/MS nº 888/2021,	≤ 500 UFC/mL
<b>Ponto 2</b>	16°57'06"S; 48°54'45"W	456	Conforme	Portaria GM/MS nº 888/2021,	≤ 500 UFC/mL
<b>Ponto 3</b>	16°58'53"S; 48°54'37"W	Incontáveis	<b>Não conforme</b>	Portaria GM/MS nº 888/2021,	≤500/≤ 500 UFC/mL
<b>Ponto 4</b>	16°58'20"S; 48°57'22"W	408	Conforme	Portaria GM/MS nº 888/2021,	≤ 500 UFC/mL
<b>Ponto 5</b>	17°00'02"S; 48°57'10"W	Incontáveis	<b>Não conforme</b>	Portaria GM/MS nº 888/2021,	≤ 500 UFC/mL
<b>Ponto 6</b>	17°00'03"S; 48°57'09"W	Incontáveis	<b>Não conforme</b>	Portaria GM/MS nº 888/2021,	≤ 500 UFC/mL
<b>Ponto 7</b>	17°05'26"S; 48°56'17"W	Incontáveis	<b>Não conforme</b>	Portaria GM/MS nº 888/2021,	≤ 500 UFC/mL

**Tabela 4** – Identificação dos pontos de coleta e resultados da pesquisa de presença ou ausência de *Escherichia coli* nas amostras de água. Os resultados foram expressos qualitativamente (presença/ausência) em 100 mL de amostra, conforme critérios de conformidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2 e pela Resolução CONAMA nº 430/2011 para efluentes.

Ponto de Coleta	Coordenadas (GPS)	Resultado (NMP/100 mL)	Conformidade	Legislação de referência	Valor de referência (VMP)
<b>Ponto 1</b>	17°02'40"S; 48°56'14"W	Presença	<b>Não conforme</b>	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	Ausência em 100mL
<b>Ponto 2</b>	16°57'06"S; 48°54'45"W	Presença	<b>Não conforme</b>	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	Ausência em 100mL
<b>Ponto 3</b>	16°58'53"S; 48°54'37"W	Presença	<b>Não conforme</b>	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	Ausência em 100mL
<b>Ponto 4</b>	16°58'20"S;	Ausência	Conforme	CONAMA nº	Ausência em



	48°57'22"W			357/2005 (Classe 2)	100mL
<b>Ponto 5</b>	17°00'02"S; 48°57'10"W	Ausência	Conforme	CONAMA nº 430/2011 (efluente)	Ausência em 100mL
<b>Ponto 6</b>	17°00'03"S; 48°57'09"W	Ausência	Conforme	CONAMA nº 430/2011 (efluente)	Ausência em 100mL
<b>Ponto 7</b>	17°05'26"S; 48°56'17"W	Presença	<b>Não conforme</b>	CONAMA nº 357/2005 (Classe 2)	Ausência em 100mL

### Discussão:

Atualmente, os principais indicadores utilizados para o monitoramento de águas destinadas ao abastecimento humano, irrigação agrícola e aquicultura são a presença de *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes. Estudos demonstram que a detecção de *E. coli* apresenta maior sensibilidade para avaliar a contaminação fecal recente do que os coliformes termotolerantes (Hachich et al., 2012). Ainda assim, os coliformes termotolerantes são considerados indicadores de qualidade microbiológica inadequada, sinalizando possíveis fontes de contaminação por bactérias entéricas (Poma; Mamani; Iñiguez, 2016; Mohan et al., 2022). As bactérias heterotróficas fornecem informações complementares sobre a carga microbiana dependente de matéria orgânica, podendo indicar falhas no tratamento ou contaminação pós-processamento.

Para os pontos P1 a P4 e P7, localizados em corpos hídricos superficiais a montante ou afastados da influência direta da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Bela Vista, a avaliação seguiu a Resolução CONAMA nº 357/2005. Nesses locais, a contaminação observada reflete múltiplas fontes de poluição, incluindo atividades urbanas, rurais e escoamento superficial, sendo a ETE apenas uma das possíveis contribuições. Os resultados indicaram presença de coliformes totais em todos os pontos, com destaque para P3 e P7, e detecção de coliformes termotolerantes nos pontos 1, 2, 3 e 7. A pesquisa específica de *E. coli* confirmou a presença nos mesmos pontos, reforçando a ocorrência de contaminação

fecal recente. A contagem de bactérias heterotróficas permaneceu dentro do limite legal de 500 UFC/mL em P1, P2 e P4, indicando baixa carga orgânica e qualidade microbiológica relativa adequada.

Nos pontos P5 e P6, correspondentes à saída da ETE, a avaliação seguiu a Resolução CONAMA nº 430/2011, aplicável a efluentes lançados em corpos hídricos, com referência complementar à Portaria GM/MS nº 888/2021 para avaliação de risco ao consumo humano. O ponto P6 apresentou contagens elevadas de coliformes totais e termotolerantes, contrariando a expectativa de redução microbiana pós-tratamento e sugerindo falhas no processo ou contaminação pós-tratamento. As bactérias heterotróficas também ultrapassaram o limite de 500 UFC/mL, reforçando a necessidade de monitoramento e aprimoramento do tratamento. Embora *E. coli* não tenha sido detectada em algumas amostras desses pontos, qualquer excedente nos limites da Resolução 430/2011 pode impactar a qualidade da água a jusante, contribuindo para que os pontos posteriores (P1 a P4 e P7) apresentem parâmetros acima do permitido pela Resolução 357/2005.

É fundamental ressaltar que todo consumo humano de água deve ser precedido de tratamento adequado, como filtragem, fervura ou desinfecção com hipoclorito de sódio, independentemente dos resultados laboratoriais. A responsabilidade da ETE limita-se à água que abastece a cidade; em áreas fora do sistema de abastecimento público, o poder público deve alertar e educar a população sobre os riscos sanitários e a necessidade de tratamento antes do consumo.

Em síntese, a interpretação dos resultados evidencia uma diferenciação clara entre os pontos amostrais:

- **P1 a P4 e P7: corpos hídricos de uso múltiplo, avaliados conforme CONAMA 357/2005, sujeitos a múltiplas fontes de poluição, com contribuição parcial da ETE.**

- **P5 e P6: efluentes tratados, avaliados conforme CONAMA 430/2011, com impacto direto sobre a qualidade da água a jusante e necessidade de atenção ao controle microbiológico.**

Os achados reforçam a importância de monitoramento contínuo, avaliação integrada de múltiplos indicadores microbiológicos e aplicação de medidas preventivas, visando reduzir o risco à saúde e proteger os ecossistemas aquáticos, garantindo conformidade com as normas legais vigentes.

### **Conclusão das análises microbiológicas:**

As análises microbiológicas indicam que todas as amostras apresentaram coliformes totais, evidenciando contaminação fecal potencial em todos os pontos avaliados. Foram detectados coliformes termotolerantes nos pontos 1, 2, 3, 5, 6 e 7, e *E. coli* nos pontos 1, 2, 3 e 7, caracterizando contaminação fecal recente. Os pontos 3, 6 e 7 apresentaram os níveis mais elevados, possivelmente associados à influência urbana e à ineficiência do tratamento de esgoto. A presença de bactérias heterotróficas nos pontos 3, 5, 6 e 7 sugere acúmulo de matéria orgânica e possíveis falhas nos processos de tratamento, aumentando o risco microbiológico da água. Em todos os casos, mesmo pequenas quantidades de coliformes termotolerantes são consideradas indicativo positivo de contaminação, com potencial risco à saúde e não conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente.

### **Referências:**

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 mar. 2005.



BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 dez. 2011.

HACHICH, E. M. et al. Comparison of thermotolerant coliforms and *Escherichia coli* densities in freshwater bodies. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 43, n. 2, p. 675–681, jun. 2012.

MARQUES, L. O. DO A. et al. Phosphorus and thermotolerant coliforms' loads in Brazilian watersheds with limited data: considerations on the integrated analysis of water quality and quantity. *RBRH*, v. 24, 2019.

MOHAN, P. et al. Prevalence of Contributing Factors in Water Borne Diseases of Achankovil River with Respect to Coliforms and Thermotolerant Coliforms. *International Journal of Zoological Investigations*, v. 08, n. 02, p. 362–371, 2022.

POMA, V.; MAMANI, N.; IÑIGUEZ, V. Impact of urban contamination of the La Paz River basin on thermotolerant coliform density and occurrence of multiple antibiotic resistant enteric pathogens in river water, irrigated soil and fresh vegetables. *SpringerPlus*, v. 5, 22 abr. 2016.

### **Análises químicas da água:**

A expressão “agrotóxico e afins”, conforme estabelecido pela lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023, designa produtos e agentes resultantes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso em atividades de produção, armazenamento e processamento de produtos agrícolas, em pastagens, na proteção de florestas (nativas ou plantadas) e em outros ecossistemas, como áreas urbanas, corpos hídricos e instalações industriais, tendo como finalidade modificar a composição da flora ou fauna para protegê-las contra organismos prejudiciais (Brasil, 2023).

A identificação e quantificação de contaminantes em níveis traço — frequentemente na ordem de nanogramas por mililitro ou inferiores — exigem, além de equipamentos analíticos de alta sensibilidade, expertise no preparo de amostras. Para tanto, uma parceria foi estabelecida com o Centro de Excelência em Estudos Moleculares, Energia e Petróleo (CEMEP) do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás (IQ-UFG). Os contaminantes foram avaliados por meio da cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas com analisador do tipo triplo quadrupolo (LC-TQ-MS), por meio do cromatógrafo a líquido 1290 acoplado a um espectrômetro de massas triplo quadrupolo modelo 6495 D (Agilent, Santa Clara, EUA), instalado no laboratório parceiro.

A cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS) é uma técnica analítica que combina a separação físico-química de compostos em uma mistura por cromatografia líquida (LC) com a identificação e quantificação baseada na razão massa/carga ( $m/z$ ) por espectrometria de massas (MS). Inicialmente, os analitos são separados em fase líquida com base nas diferentes polaridades e afinidades com a fase estacionária. Em seguida, são ionizados por uma fonte adequada, geralmente *electrospray ionization* (ESI), convertendo as moléculas neutras em íons gasosos. Esses íons são então introduzidos no analisador de massas, onde são separados e detectados com base em sua  $m/z$ . A LC-MS é amplamente utilizada em áreas como farmacocinética, metabolômica, proteômica e análise de contaminantes, devido à sua alta sensibilidade, especificidade e capacidade de analisar compostos complexos em matrizes biológicas.

O analisador do tipo triplo quadrupolo (*Triple Quadrupole*, TQ), Figura 2, é utilizado em MS devido à sua alta sensibilidade e especificidade na detecção e quantificação de analitos, especialmente em matrizes complexas. Ele opera com três quadrípolos alinhados: o primeiro (Q1) seleciona íons precursores com uma razão massa/carga ( $m/z$ ) específica; o segundo (Q2), atuando como célula de colisão, fragmenta esses íons por meio de colisão com gás inerte (CID – *collisional induced dissociation*); e o terceiro (Q3) analisa os íons fragmentos (produtos). Essa configuração permite a realização de experimentos do tipo MRM (*Multiple Reaction Monitoring*), altamente seletivos e sensíveis, ideais para análises de

compostos-alvo em baixos níveis de concentração, sendo amplamente empregada em bioanálises, farmacocinética e monitoramento de resíduos.

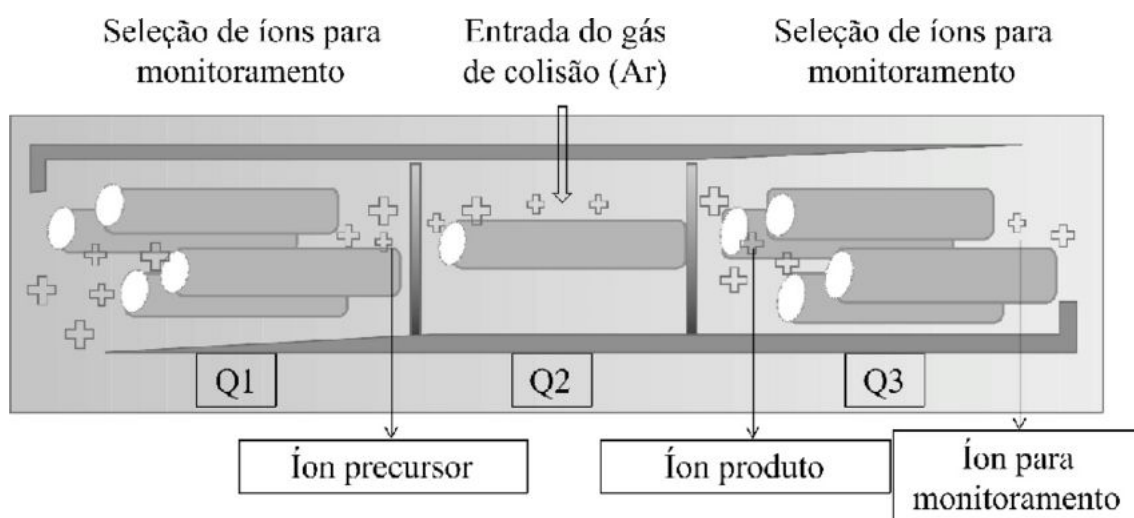
Para a análise de contaminantes em amostras de água, após o recebimento das amostras, imediatamente se deu início ao preparo das análises do laboratório. A análise cromatográfica foi conduzida em HPLC com coluna C18 Eclipse Plus ZORBAX ( $4,6 \times 150$  mm,  $3,5 \mu\text{m}$ ), usando como fase móvel A água: acetonitrila (6:4, v/v) e como fase B isopropanol:acetonitrila (9:1, v/v), ambas contendo 10 mM de acetato de amônio e 1 mM de ácido acético; o volume de injeção foi de  $4 \mu\text{L}$ , o fluxo de  $0,5 \text{ mL/min}$  e a temperatura de amostragem mantida em  $4^\circ\text{C}$ .

Foi construída uma curva analítica na faixa de 5 a  $100 \mu\text{g/L}$  para cada pesticida monitorado. O limite de quantificação (LQ) adotado foi de  $5 \mu\text{g L}^{-1}$ , correspondente ao ponto inicial da curva analítica. As seguintes substâncias foram monitoradas: 2,4,5-T, 2,4-D, Acefato, Acrilamida, Alacloro, Aldicarbe, Ametrina, Atrazina, Atrazina-desetil-desisopropil, Azinfos-metílico (Gution), Benomil, Benzydina, Carbendazim, Carbofurano, Clorotalonil, Clorpirifós, Clotianidina, Ciproconazol, Deisopropilatrastina, Demeton, Desetilatrastina, Destio-protioconazol, Dimetoato, Diuron, Epoxiconazol, Etilenotioureia, Fipronil, Flutriafol, Hidróxi-atrastina, Malationa, Metamidofós, Metolacloro, Metribuzina, Molinate, Pendimetalina (Penoxalina), Picloram, Profenofós, Propanil, Propargite, Protioconazol, Simastina, Tebuconazol, Terbufós, Tiametoxam, Tiodicarbe e Tiram.

A análise qualitativa foi conduzida comparando a resposta do branco do solvente (água ultrapura), das amostras de águas fluviais e dos padrões analíticos (água ultrapura com adição de concentrações conhecidas dos pesticidas). Inicialmente, o branco foi injetado para verificar a ausência de interferências ou contaminantes no sistema. Em seguida, as amostras foram avaliadas quanto à presença de picos com tempo de retenção ( $t_R$ ) e razão massa/carga ( $m/z$ ) compatíveis com os padrões. A correspondência entre os dados da amostra e do padrão, aliada à ausência de sinal no branco, garante a especificidade da identificação. Essa

abordagem permitiu confirmar a presença dos defensivos agrícolas em estudo, reforçando o potencial da metodologia LC-TQ-MS para monitoramento ambiental.

Para validar o método analítico, definiram-se parâmetros essenciais — linearidade, precisão, exatidão, limites de detecção e quantificação, robustez e efeito matriz — avaliados por meio de padrões, controles e amostras reais.



**Figura 2:** Esquema ilustrativo de um espectrômetro de massas do tipo triplo quadrupolo (*Triple Quadrupole* - TQ) operando no modo MRM (*Multiple Reaction Monitoring*). O primeiro quadrupolo (Q1) seleciona o íon precursor, que é fragmentado na célula de colisão (Q2) por meio da introdução de um gás inerte (geralmente argônio). Os íons resultantes (íons produto) são então analisados pelo terceiro quadrupolo (Q3), que seleciona o íon de interesse para monitoramento. Esse processo confere alta especificidade e sensibilidade à detecção de compostos-alvo em matrizes complexas.

### 1.3. Resultados

As análises qualitativas e quantitativas de pesticidas foram realizadas por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas em triplo quadrupolo (LC-TQ-MS). Para cada pesticida monitorado, foi construída uma curva analítica na faixa de 5 a 100



$\mu\text{g/L}$ , adotando-se o limite de quantificação (LQ) de  $5 \mu\text{g L}^{-1}$ , correspondente ao ponto inicial da curva.

Foram monitoradas as seguintes substâncias: 2,4,5-T, 2,4-D, Acefato, Acrilamida, Alacloro, Aldicarbe, Ametrina, Atrazina, Atrazina-desetil-desisopropil, Azinfos-metílico (Gution), Benomil, Benzidina, Carbendazim, Carbofurano, Clorotalonil, Clorpirifós, Clotianidina, Ciproconazol, Deisopropilatrazina, Demeton, Desetilatrazina, Destio-protioconazol, Dimetoato, Diuron, Epoxiconazol, Etilenotioureia, Fipronil, Flutriafol, Hidróxi-atrazina, Malationa, Metamidofós, Metolacoloro, Metribuzina, Molinate, Pendimetalina (Penoxalina), Picloram, Profenofós, Propanil, Propargite, Protioconazol, Simazina, Tebuconazol, Terbufós, Tiametoxam, Tiodicarbe e Tiram.

A análise qualitativa foi realizada por meio da comparação das respostas obtidas no branco do solvente (água ultrapura), nas amostras de águas fluviais e nos padrões analíticos (água ultrapura contendo concentrações conhecidas dos pesticidas). Inicialmente, o branco foi injetado para assegurar a ausência de interferências ou contaminantes no sistema. Posteriormente, as amostras foram avaliadas quanto à presença de picos com tempo de retenção (tR) e razão massa/carga (m/z) compatíveis com os padrões. A correspondência entre os dados das amostras e dos padrões, aliada à ausência de sinal no branco, assegura a especificidade da identificação. Essa metodologia permitiu confirmar a presença dos defensivos agrícolas em análise, evidenciando a eficácia da técnica LC-TQ-MS para o monitoramento ambiental.

A Tabela 1 apresenta os resultados de detecção obtidos, onde cada linha corresponde a um defensivo agrícola detectado e cada coluna representa uma amostra, identificada pelo código fornecido pelo solicitante. As células destacadas em amarelo indicam a detecção dos compostos, ou seja, a identificação do defensivo agrícola naquela amostra específica. Já as células em branco indicam a ausência de detecção do composto na amostra correspondente. É

importante ressaltar que, embora alguns pesticidas tenham sido detectados, todos os sinais encontrados estavam abaixo do limite de quantificação estabelecido ( $5 \mu\text{g L}^{-1}$ ), impossibilitando a quantificação precisa das concentrações. Ou seja, na tabela 1 temos os contaminantes identificados nas águas, porém em quantidade baixa, impossibilitando a quantificação.

**Tabela 1.** Resultados obtidos para as análises qualitativas de micropoluentes ambientais das amostras de águas.

Amostra/Pesticida	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
2,4-D							
Acrilamida							
Ametrina							
Atrazina							
Atrazina-desetil-desisopropil							
Benzidina							
Carbofurano							
Deisopropilatrazina							
Etilenotiureia							
Flutriafol							
Malationa							
Metamidofós							

Picloram							
Propanil							
Protioconazol							

Para a acrilamida, as concentrações variaram entre 14,67 µg/L no Ponto 3 (29,34 vezes acima do valor máximo permitido) e 882,85 µg/L no Ponto 6 (1.765,7 vezes acima do limite), ultrapassando de forma expressiva o valor máximo permitido de 0,5 µg/L (Tabela 2), conforme estabelecido na Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde – Anexo XX. Esses resultados evidenciam a presença significativa desse contaminante em praticamente todas as amostras analisadas, indicando risco potencial à saúde humana em caso de consumo sem tratamento adequado.

Em relação ao 2,4-D, a maioria das amostras apresentou concentrações inferiores ao limite de quantificação (LQ = 5 µg/L), exceto no Ponto 6, onde foi detectada concentração de 5,6 µg/L, ligeiramente superior ao LQ. O limite máximo permitido para 2,4-D em água para consumo humano é de 30 µg/L, de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, indicando que, apesar de detectável, a concentração encontrada permanece dentro do padrão legal.

**Tabela 2.** Concentração de acrilamida e 2,4-D em pontos de coleta. Limite de quantificação (LQ)

Amostras	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
<b>Acrilamida</b>	20,1	48,45	14,67	80,42	17,94	882,85	16,87
<b>2,4-D</b>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	5,6	< LQ

*Concentrações expressas em ppb (µg/L)*

Para avaliar a exatidão do método nas determinações de acrilamida, foram conduzidos ensaios de recuperação. No Ponto 6, após a adição de 1 ppm (mg/L) de acrilamida, obteve-se recuperação de 108%, valor considerado aceitável em matriz real conforme o guia de validação do INMETRO (DOQ-CGCRE-8). No Ponto 7, com a adição de 50 ppb ( $\mu\text{g/L}$ ) do mesmo analito, a recuperação foi de 115%, demonstrando a adequada exatidão do método também em baixas concentrações. Esses resultados corroboram a confiabilidade da metodologia LC-TQ-MS para a quantificação de pesticidas em águas superficiais.

### **Discussão:**

A água no Brasil tem apresentado detecção frequente de múltiplos agrotóxicos, frequentemente em concentrações superiores aos padrões recomendados internacionalmente. Estudos recentes indicam que, em aproximadamente 25% dos municípios brasileiros, podem ser detectados até 27 pesticidas diferentes em uma amostra de água potável, dos quais 21 são proibidos na União Europeia devido aos seus riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Além disso, o limite máximo permitido para a mistura desses agrotóxicos na água no Brasil pode alcançar níveis significativamente superiores aos adotados pela União Europeia, chegando a aproximadamente 2.706 vezes o limite europeu. Essa crescente presença de um “coquetel químico” representa um alerta importante quanto aos potenciais impactos adversos sobre a saúde pública e os ecossistemas aquáticos (Fiocruz Brasília, 2019).

A acrilamida é um composto químico amplamente utilizado na indústria, principalmente na produção de poliacrilamida, que atua como floculante no tratamento de água, além de ser empregado na fabricação de adesivos, papel, cosméticos e na construção de fundações de represas. Embora sua presença em águas tratadas seja geralmente residual, descartes inadequados podem elevar significativamente suas concentrações. No Brasil, o limite máximo permitido para acrilamida na água potável é de  $0,5 \mu\text{g/L}$ , conforme estabelecido pela Portaria MS nº 518/2004, em consonância com as recomendações da Organização Mundial da Saúde (Brasil, 2004).

A acrilamida é reconhecida por seu potencial carcinogênico, tendo sido demonstrado causar câncer em modelos animais de laboratório. A Agência Internacional para Pesquisa em Câncer (IARC) classifica a substância como provavelmente carcinogênica para humanos (Grupo 2A) (IARC, s.d.). O Programa Nacional de Toxicologia dos Estados Unidos (NTP) também a considera como “razoavelmente antecipada” carcinógeno humano (ATSDR, 2013). Além do potencial mutagênico, exposições elevadas à acrilamida têm sido associadas a um aumento teórico do risco para diversos tipos de câncer (Zyoud; et al, 2025). A substância também apresenta propriedades neurotóxicas, podendo causar danos ao sistema nervoso em níveis elevados de exposição. Portanto, concentrações acima do limite regulamentar representam um risco potencial à saúde a longo prazo (ATSDR, 2013).

No contexto brasileiro, as normas de qualidade da água estabelecem o limite máximo de acrilamida em 0,5 µg/L. A principal via de exposição humana ocorre por meio da alimentação; entretanto, fontes excepcionais de contaminação incluem a poluição industrial. Resíduos ou licor de poliacrilamida mal hidrolisada podem liberar acrilamida na água. Em síntese, níveis elevados, de valores até menores do que achados nos locais de análise, a acrilamida na água representam sérios riscos à saúde pública, incluindo câncer e neurotoxicidade, bem como impactos ambientais (BRASIL, 2004; ATSDR, 2013).

O 2,4-D é um herbicida de largo uso no Brasil (soja, cana, pastagens) e no mundo. É aplicado em fóruns agrícolas e urbanos (gramados, jardins) e em lagos para controlar ervas aquáticas. No solo, decompõe-se moderadamente (meia-vida de 6 dias) e é altamente móvel, podendo contaminar águas subterrâneas e superficiais. As formas salinas não volatilizam; os ésteres são rapidamente convertidos em ácido ativo que persiste em meio aquático. O 2,4-D não se bioacumula significativamente nos organismos aquáticos (Magnoli, K. et al, 2020).

Em altas exposições agudas ou crônicas, 2,4-D pode causar efeitos sistêmicos. Intoxicações graves (por ingestão ou inalação intensiva) levam a náuseas, vômitos, confusão, taquicardia, acidose metabólica e danos ao fígado e rins. Efeitos neurológicos (dores e

fraqueza muscular, neuropatia periférica) são relatados em acidentes químicos. Em animais, o órgão-alvo mais sensível é o **rim**, segundo agências toxicológicas. Achados em experimentos incluem alterações hepáticas e renais em ratos e coelhos, além de efeitos reprodutivos em altas doses. A classificação toxicológica aponta que a evidência epidemiológica humana é insuficiente e em animais é limitada. A EPA dos EUA classifica o 2,4-D como “não classificável” quanto à carcinogenicidade humana, enquanto a IARC o colocou como possível carcinógeno (Grupo 2B). Ou seja, há preocupação potencial com câncer em exposições contínuas, embora as evidências sejam inconclusivas (Zhu et al., 2025; Ouasfi et al., 2019)

Como herbicida, o 2,4-D afeta plantas não-alvo aquáticas e terrestres. Pode causar danos à vegetação aquática e alterar ecossistemas lacustres. Estudos indicam que o 2,4-D em concentrações relevantes para o ambiente não tende a persistir muito tempo nem bioacumular, mas em pulverizações intensivas pode ocorrer transporte de partículas no vento ou escoamento na chuva. Sua alta mobilidade implica que águas subterrâneas próximas a áreas tratadas podem conter traços de 2,4-D, potencialmente ultrapassando os padrões de potabilidade. O manejo recente de aplicação no Brasil (restrições de deriva) visa reduzir esses efeitos (Freitas *et al.*, 2021; Dehnert; Karasov, 2024; Fleckner, 1991;).

Monitoramentos nacionais (SISÁGUA) indicam frequência elevada de detecção de 2,4-D na água bruta e tratada, embora os valores encontrados geralmente *não excedam* o limite máximo permitido brasileiro. Um estudo resumiu que “o 2,4-D apresentou alta frequência de detecção, mas, no geral, não excedeu o VMP para água potável no Brasil” e concluiu que, apesar de muito usado, ainda não há evidências de risco por água de consumo. Contudo, episódios de contaminação aguda (por dumpings ilegais ou acidentes) podem elevar temporariamente as concentrações. Apesar disso, no contexto atual o risco imediato via água potável é considerado baixo segundo os padrões vigentes. Vale lembrar que o VMP brasileiro para 2,4-D é relativamente alto quando comparado a países que adotam limites mais rígidos (Panis, et ali, 2024; Coelho *et al.*, 2018).

A atrazina e seus metabólitos (DEA e DIA) constituem herbicidas triazínicos de uso intensivo em culturas como milho e cana-de-açúcar. Trata-se de uma substância persistente em solos agrícolas, com potencial de lixiviação e consequente presença frequente em rios e aquíferos. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica a atrazina como não classificável quanto à carcinogenicidade em humanos (Grupo 3), embora estudos experimentais indiquem efeitos endócrinos, como ginecomastia e alterações sexuais em anfíbios. No Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece o limite de 2,0 µg/L de atrazina somada a seus degradados em água potável, valor superior ao permitido na União Europeia (0,1 µg/L individual ou 0,5 µg/L para a soma de agrotóxicos). Em termos ambientais, concentrações elevadas e crônicas de atrazina representam ameaça à fauna aquática, caracterizando-se como disruptor endócrino e fator de comprometimento da qualidade da água a longo prazo.

A ametrina, estruturalmente semelhante à atrazina, é utilizada em culturas como sorgo, cana-de-açúcar e mandioca. Seu uso foi proibido na União Europeia em razão do elevado risco ambiental. Assim como a atrazina, a ametrina apresenta potencial de toxicidade hepática e endócrina, além de bioacumulação moderada, embora dados específicos brasileiros sejam escassos.

O picloram é um herbicida de elevada persistência, com meia-vida de anos, amplamente empregado em pastagens e áreas florestais. Sua alta solubilidade favorece a mobilidade para águas subterrâneas. Os principais efeitos descritos incluem irritações dérmicas e oculares, embriotoxicidade em animais e possível carcinogenicidade, observada em estudos com roedores, embora as evidências em humanos sejam limitadas. É considerado tóxico em grau moderado para comunidades aquáticas e alguns insetos.

O propanil, utilizado em arroz e outras monoculturas, apresenta toxicidade aguda moderada, com risco de hemólise e metemoglobinemia em altas doses. Apesar de se degradar relativamente rápido em solos e águas, pode ser encontrado em canais de drenagem em áreas



de aplicação intensiva. Estudos sugerem suspeita de carcinogenicidade e indicam impacto ambiental associado à redução de populações de algas e insetos aquáticos.

O carbofurano, inseticida carbamato de altíssima toxicidade, foi banido no Brasil em 2017 e está incluído na Convenção de Estocolmo. Seu mecanismo de ação é a inibição da acetilcolinesterase, resultando em efeitos neurotóxicos graves, como tremores, paralisia respiratória e morte. Ambientalmente, é extremamente tóxico para peixes, aves e abelhas, sendo letal mesmo em concentrações muito baixas.

A malationa, organofosforado de baixa persistência, ainda é utilizada na fruticultura e no controle de vetores. Atua como inibidor da colinesterase, podendo provocar sintomas neurológicos e respiratórios em casos de exposição elevada. Embora a evidência de carcinogenicidade seja considerada insuficiente, há relatos de possível toxicidade hepática e pulmonar crônica. No meio aquático, a malationa degrada-se rapidamente, mas pode originar malaoxon, subproduto mais tóxico e prejudicial à fauna aquática logo após a aplicação.

O metamidofós é um organofosforado altamente tóxico, já banido em diversos países, inclusive no Brasil. Seus efeitos incluem neurotoxicidade aguda severa, além de comprometimento hepático. Apesar de apresentar baixo índice de lixiviação, pode contaminar rios em áreas agrícolas irrigadas, causando sérios danos a organismos aquáticos.

Os fungicidas triazóis flutriafol e protioconazol são amplamente aplicados em cereais e hortaliças, atuando na inibição da síntese de ergosterol nos fungos. Entretanto, estudos demonstram que podem interferir no sistema endócrino de peixes, alterando ciclos hormonais e afetando a reprodução. Em modelos animais, foram observados danos hepáticos crônicos e efeitos reprodutivos, embora a toxicidade em humanos ainda seja considerada limitada a níveis baixo a moderado.

Por fim, a benzidina, embora não seja um pesticida, merece destaque por seu uso industrial como intermediário de corantes. É classificada pela IARC como carcinogênico humano (Grupo 1), estando associada a câncer de bexiga e fígado. Apesar do controle mais

rigoroso a partir da década de 1980, resíduos podem ainda ser encontrados em águas por meio da decomposição de corantes ou impurezas industriais. O contato prolongado ou a ingestão da substância representa risco significativo devido ao seu reconhecido potencial carcinogênico e mutagênico.

## Impactos na Saúde e no Meio Ambiente

A ingestão contínua de água com traços desses contaminantes gera riscos cumulativos. Na população humana, podem ocorrer danos neurológicos (ex.: neurotoxinas como OPs), efeitos endócrinos (modulação hormonal por atrazina, triazóis), imunológicos (inflamação crônica) e genotóxicos/carcinogênicos (acrilamida, benzidina, ETU). Exposições agudas acima de limites de guia podem levar a intoxicações severas (ex.: OPs causando envenenamento colinérgico). A literatura internacional associa longas exposições a agrotóxicos a taxas mais altas de certos cânceres (hematológicos, de fígado, próstata, bexiga) e doenças reprodutivas. Crianças são mais suscetíveis devido à maior ingestão relativa e desenvolvimento em curso (Isik; Kılınç, 2025; Pathak; Dikshit, 2012).

No meio ambiente, há evidências robustas de declínio da vida selvagem em regiões de intenso uso de agrotóxicos. Peixes e invertebrados aquáticos podem sofrer extinções locais quando lajes de pesticidas atingem corpos d'água; algas-chave e zooplâncton morrem, comprometendo a base da cadeia alimentar. Aves e mamíferos aquáticos expostos bioacumulam certos compostos (carbamatos, benzidina) e apresentam má-formação reprodutiva. Hordas de abelhas e polinizadores são mortas por inseticidas como carbofurano e malationa (Khoshnood, 2023; Américo *et al.*, 2015).

É importante notar o efeito **sinérgico** do coquetel químico: embora cada agrotóxico isolado respeite seu VMP, a soma das concentrações permitidas no Brasil pode ultrapassar milhares de vezes os limites europeus. Não há normas no país para mistura cumulativa; o resultado prático é que múltiplos agrotóxicos coexistem na água (ex.: amostras brasileiras já registraram dezenas de princípios ativos simultaneamente). O efeito dessa combinação

complexa (somatório de pequenas doses de cada composto) sobre a saúde humana e ecossistemas é imprevisível, mas estudos internacionais apontam para impactos mais severos de misturas de agrotóxicos que de exposições únicas (Leite *et al.*, 2023; LeBlanc; Wang, 2006).

## **Conclusão**

As análises realizadas evidenciam a presença de acrilamida em níveis extremamente elevados, superiores a 1.700 vezes o valor permitido, representando risco significativo à saúde humana devido aos efeitos neurotóxicos e potencial carcinogênico. O herbicida 2,4-D também foi detectado acima do limite permitido. Outros defensivos agrícolas, como atrazina, ametrina, carbofurano, benzydina, ETU e flutriafol, mesmo em níveis traço, apresentam riscos crônicos diversos, incluindo carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade, neurotoxicidade e disrupção endócrina, conforme relatado em estudos nacionais e internacionais. Nos pontos de saída da Estação de Tratamento de Esgoto (P5 e P6), a elevada presença de acrilamida, 2,4-D e outros contaminantes demonstra que a ETE é a principal responsável pela contaminação da água a jusante, indicando falhas significativas no tratamento ou no manejo dos efluentes. Nos demais pontos (P1 a P4 e P7), embora haja influência de múltiplas fontes de poluição urbana e agrícola, a carga poluente da ETE contribui diretamente para o aumento dos contaminantes nestes locais.

## **Conclusão geral:**

As análises microbiológicas evidenciam que todas as amostras apresentaram coliformes totais, indicando contaminação fecal potencial em todos os pontos avaliados. Foram detectados coliformes termotolerantes nos pontos 1, 2, 3, 5, 6 e 7, e *Escherichia coli* nos pontos 1, 2, 3 e 7, caracterizando contaminação fecal recente. Os pontos 3, 6 e 7 apresentaram os níveis mais elevados, associados à influência urbana e, especialmente, à liberação de efluentes inadequadamente tratados pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Bela Vista. A presença de bactérias heterotróficas nos pontos 3, 5, 6 e 7, com

valores superiores a 500 UFC/mL, indica acúmulo de matéria orgânica e falhas nos processos de tratamento, aumentando o risco microbiológico da água e contribuir para formação de ambientes eutróficos prejudicando não só manutenção da vida aquática e o uso múltiplos da água como para o consumo humano. Percebe-se que os pontos 5 e 6 que foram amostrados na saída da ETE apresentam indicativos que o tratamento de esgoto não está sendo eficiente. Pequenas quantidades de coliformes termotolerantes constituem indicador positivo de contaminação, com potencial risco à saúde humana e não conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente (CONAMA 357/2005; CONAMA 430/2011; Portaria GM/MS 888/2021).

As análises químicas demonstraram a presença de acrilamida em concentrações superiores a 1.700 vezes o valor máximo permitido de 0,5 µg/L, representando risco agudo e crônico à saúde humana e organismos aquáticos, incluindo neurotoxicidade e potencial carcinogenicidade. O herbicida 2,4-D foi detectado próximo ao limite de quantificação (5 µg/L), indicando presença significativa no efluente da ETE. Outros defensivos agrícolas, incluindo atrazina, ametrina, carbofurano, benzidina, ETU e flutriafol, mesmo em concentrações traço, apresentam riscos crônicos documentados, como carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade, neurotoxicidade e disrupção endócrina. Embora esses agrotóxicos não sejam indicados nas normativas, para tratamento das estações de tratamento, a sua presença demonstra os problemas cumulativos a que a bacia do Rio Piracanjuba e a comunidade aquática e humana estão expostos.

Nos pontos de saída da ETE (P5 e P6), os elevados níveis de acrilamida e demais contaminantes demonstram que a ETE é a principal fonte de poluição da água a jusante, evidenciando falhas operacionais e inadequação no manejo dos efluentes. A contaminação proveniente desses pontos compromete a qualidade da água nos trechos subsequentes, contribuindo para que os pontos a montante, especialmente P1 a P4 e P7, apresentem parâmetros microbiológicos e químicos superiores aos padrões permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, o que reforça a possibilidade de ação sinérgica dessa contaminação por fontes alóctones à ETE, isto é, oriundas de múltiplas fontes. A presença concomitante de

coliformes totais, coliformes termotolerantes, *E. coli*, bactérias heterotróficas e contaminantes químicos evidência má qualidade ambiental do rio Sussuapara, que podem não só prejudicar a biodiversidade local, como também representam uma questão de saúde pública, pelo elevado risco elevado à saúde humana. Os riscos à população humana incluem gastroenterites, diarreias, efeitos neurotóxicos, carcinogenicidade, disfunção endócrina e outros efeitos crônicos documentados em literatura nacional e internacional.

Diante do exposto, os resultados apontam para responsabilidade da ETE de Bela Vista na contaminação das águas do córrego Sussuapara e na sua contribuição para perda qualidade ambiental nas regiões localizadas à jusante do lançamento dos seus afluentes, o que representa falhas significativas no controle microbiológico e químico. A situação demanda adoção imediata de medidas corretivas, incluindo revisão de processos de tratamento, monitoramento contínuo de indicadores microbiológicos e químicos e ações corretivas rigorosas. É imprescindível que órgãos fiscalizadores intensifiquem a vigilância ambiental, investigando as fontes de poluição e estabelecendo medidas preventivas para a manutenção da qualidade ambiental do córrego Sussuapara e na redução da exposição da população a riscos sanitários. Além disso, todo consumo de água deve ser precedido de tratamento adequado, como filtração, fervura ou desinfecção química, especialmente em áreas fora do abastecimento público, reforçando a necessidade de educação e alerta à população sobre os riscos decorrentes da contaminação da água. Em síntese, os achados demonstram risco elevado e cumulativo à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos, com responsabilidade direta da ETE de Bela Vista na deterioração da qualidade da água nos pontos a jusante, exigindo intervenções imediatas e integradas.

Assim, ressalta-se que é responsabilidade legal da Prefeitura de Bela Vista e do Estado de Goiás desenvolver políticas para proteção ambiental e promoção da saúde dos recursos hídricos destinados à melhoria da qualidade de vida da população. Inclusive cobrando e fiscalizando suas autarquias de saneamento (e.g. SANEAGO) os devidos cuidados na gestão sustentável da água e na garantia de saneamento. Direitos estes garantidos por lei no Brasil (Lei Nº 11.445 de 2007 e Lei nº 14.026 de 2020) DE 5 DE JANEIRO DE

2007. além de ser um dos compromissos da agenda 2030 da ONU que o Brasil, através do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6.

## Referências:

Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ATSDR. Toxicological Profile for Acrylamide. Atlanta: CDC, [s.d.].

AMÉRICO, J. H. P. *et al.* O uso de agrotóxicos e os impactos nos ecossistemas aquáticos. [s. l.], v. 8, n. 13, 2015.

ATHAK, R. K.; DIKSHIT, A. K. Atrazine and Human Health. *International Journal of Ecosystem*, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 14–23, 2012.

ATSDR. Draft Toxicological Profile for Acrylamide, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Aprova o Regulamento Técnico de Qualidade da Água para Consumo Humano. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 mar. 2004.

COELHO, E. R. C. *et al.* Development and validation of analytical method for analysis of 2,4-D, 2,4-DCP and 2,4,5-T for monitoring of public water supply. [s. l.], 2018.

COELHO, E. R. C. *et al.* Development and validation of analytical method for analysis of 2,4-D, 2,4-DCP and 2,4,5-T for monitoring of public water supply. [s. l.], 2018.

DEHNERT, G. K.; KARASOV, W. H. THE EFFECTS OF COMMERCIAL 2,4-D HERBICIDE ON GAME FISH SPECIES: NATURAL LAKE WATER vs. LABORATORY SYSTEM WATER. *Chemosphere*, [s. l.], 2024.

FIORCRUZ Brasília. *Contaminação da água potável por agrotóxico no Brasil é tema de audiência pública na Câmara dos Deputados*. Brasília: Fiocruz Brasília, 14 jun. 2019.

FLECKNER, W. Effects of herbicides on target and non-target organisms in aquatic systems. [s. l.], v. 24, n. 4, p. 2276, 1991.

FREITAS, I. B. F. *et al.* The Longitudinal Profile of a Stream Contaminated With 2,4-D and its Effects on Non-Target Species. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, [s. l.], p. 1–11, 2021.



INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. *DOQ-CGCRE-8: Orientações sobre Validação de Métodos Analíticos*. Rio de Janeiro, 2020.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. Acrylamide.

ISIK, A. C.; KILINÇ, Z. Pesticides from public health perspective: threats, risks and preventive strategies. *Middle east journal of science*, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 116–126, 2025.

KHOSHNOOD, Z. Acute and Chronic Effects of Pesticides on Non-Target Aquatic Organisms. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, [s. l.], 2023.

LEBLANC, G. A.; WANG, G. Chemical mixtures: greater-than-additive effects?. *Environmental Health Perspectives*, [s. l.], v. 114, n. 9, 2006.

LEITE, L. C. O. F. *et al.* A Comparison of Maximum Permissible Concentrations for Pesticides in Brazilian Water Supply. *Rural Sustainability Research*, [s. l.], 2023.

Magnoli, K., Carranza, C.S., Aluffi, M.E. *et al.* Herbicides based on 2,4-D: its behavior in agricultural environments and microbial biodegradation aspects. A review. *Environ Sci Pollut Res* 27, 38501–38512 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10370-6>

NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM – NTP. Report on Carcinogens. Acrylamide. Research Triangle Park: NTP, [s.d.].

OUASFI, N. *et al.* Selected pharmaceuticals removal using algae derived porous carbon: experimental, modeling and DFT theoretical insights. *RSC Advances*, v. 9, n. 17, p. 9792–9808, 2019.

PANIS, C.; CANDIOTTO, L. Z. P.; GABOARDI, S. C. Overview of the pesticide contamination provided by the last Brazilian water quality surveillance information system for human consumption (SISÁGUA 2022) report. *Science of The Total Environment*, [s. l.], p. 175583, 2024.


PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021

ZHU, N. *et al.* Unveiling the Toxicity and Mechanisms of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid in Hypertension: A Molecular-Level Perspective. *Toxicology Mechanisms and Methods*, p. 1–16, 24 set. 2025.

ZYOUD, S.; ZYOUD, S. H. Global Research Hotspots and Progress on Acrylamide: Visualization Analysis. *Environmental Health Insights*, v. 19, mar. 2025.





Documento assinado digitalmente  
 **MONICA RODRIGUES FERREIRA MACHADO**  
Data: 14/10/2025 11:12:27-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Mônica Rodrigues Ferreira Machado**  
CRMV: 3558 MV  
Coordenadora do Laboratório de Biotecnologia e Fisiologia em Peixes

**Wagner Martins Santana Sampaio**  
CRBIO: 073045/04D  
CPF: 76425177268  
Responsável técnico IDESA



- (1) - **Mônica Rodrigues Ferreira Machado** é professora da UFJ – Universidade Federal de Jataí-GO, mestrado pela UFSM – Universidade Federal de Santa Maria (RS), doutorado pela UFG – Universidade Federal de Goiás e pós doutorado pela UFLA – Universidade Federal de Lavras (MG). Atua como pesquisadora no programa de pós graduação em Biociência animal e Ciências Aplicadas à Saúde. Trabalha utilizando o modelo animal zebrafish para o desenvolvimento de biotecnologia aplicadas a reprodução de peixes tropicais, para formação de bancos genéticos para conservação. Também realiza atividades de biomonitoramento de água utilizando o mesmo modelo, utilizando testes de embriotoxicidade. E realiza o monitoramento da saúde dos cardumes através da coleta de água e tecidos.
- (2) **Wagner Sampaio** é graduado em ciências biológicas; mestre em biologia animal; doutor em biologia celular e estrutural; sócio titular da associação brasileira de limnologia e da sociedade brasileira de ictiologia; atualmente é empresário do setor ambiental e educacional, CEO do Instituto de Pesquisa em Fauna Neotropical – IPEFAN; atua como consultor ambiental desde 2009 coordenando projetos e equipes. Pesquisador do IDESA nos projetos Piracanjuba Livre e Aquárium Paranaíba.