

Artigo

# Avaliação limnológica e ecotoxicológica das águas subterrâneas do município de Ji-Paraná, (RO)

*Limnological and ecotoxicological assessment of wroundwater in the municipality of JI-Paraná, Rondônia, Brazil*

Euripedes Fernandes Costa Junior<sup>1\*</sup>, Tiago de Oliveira Lima<sup>2</sup>, Elisabete Lourdes Nascimento<sup>3</sup>, Thandy Junior da Silva Pinto<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> Universidade Federal de Rondônia / Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária - Ji-Paraná – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8803-3891> - euripedesfernandes13@gmail.com;
  - <sup>2</sup> Universidade Federal de Rondônia / Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária - Ji-Paraná – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4454-1127>;
  - <sup>3</sup> Universidade Federal de Rondônia / Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária - Ji-Paraná – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2157-6415>;
  - <sup>4</sup> Escola de Engenharia de São Carlos / Núcleo de Ecotoxicologia e Ecologia Aplicada – São Carlos – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1640-8329>
- \* Correspondência: euripedesfernandes13@gmail.com

**Citação:** Costa Junior, E. F.; Lima, T. de O.; Nascimento, E. L.; Pinto, T. J. da S. Avaliação limnológica e ecotoxicológica das águas subterrâneas do município de Ji-Paraná, (RO). *RBCA* 2024, 13, 3. p.9-35.

Editor de Seção: Dra. Karen Janones da Rocha

Recebido: 11/07/2024

Aceito: 15/08/2024

Publicado: 02/09/2024

**Nota do editor:** A RBCA permanece neutra em relação às reivindicações jurisdicionais em sites publicados e afiliações institucionais.



**Copyright:** © 2024 pelos autores. Enviado para possível publicação em acesso aberto sob os termos e condições da licença Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** As technology advances, man acquires the ability to manipulate the elements of nature, resulting in various environmental impacts. In Rondônia, Brazil, many people opt for well water due to a lack of trust in the quality of water supplied by the distribution system. Therefore, the focus of this research is on underground wells located in the urban area of the city of Ji-Paraná, Rondônia, Brazil. The samples were collected during two monitoring periods. Initially, groundwater quality was monitored in an area near a gas station in the first district of the city, with bimonthly collections starting from October 2023 to June 2023. Next, the wells located in the second district were monitored in October and December 2022, and January and March 2023. Limnological variables were measured to assess the aquifer's vulnerability. Additionally, ecotoxicological tests were conducted with the microalgae *Raphidocelis subcapitata* and the oligochaete *Allonais inaequalis* to verify the presence or absence of toxic effects. Although the study points showed impacts, they did not reach levels that could cause lethality or inhibition in the tested organisms. At Point 1 (gas station), the evaluated physicochemical variables showed values close to the maximum allowed by the Portaria n.º 888/2021 and CONAMA n.º 396/2008, but they showed indications of contamination of human origin. The microbiological parameters were not in compliance with the recommended values. In February, the highest concentration of oils and greases was observed, with 396 mg/L, as well as a dissolved oxygen concentration of 2.9 mg/L. Regarding the monitoring points in the second district, in all sampled months, nitrite levels were above the recommended value by the regulations, which is 1 mg/L. A concentration of oils and greases was also observed at Point 2, possibly due to the influence of a venture related to the manufacture of animal feed.

**Keywords:** Groundwater, Ecotoxicity, *Raphidocelis subcapitata*, *Allonais inaequalis*.

**Resumo:** À medida que avança a tecnologia, o homem adquire a capacidade de manipular os elementos da natureza, resultando em vários impactos ambientais. Em Rondônia, muitas pessoas optam pela água de poços devido à falta de confiança na qualidade da água fornecida pelo sistema de

abastecimento. Portanto, o foco desta pesquisa são poços subterrâneos localizados na área urbana na cidade de Ji-Paraná (RO). As amostras foram coletadas em dois períodos de monitoramento. Inicialmente, foi monitorada a qualidade da água subterrânea em uma área próxima a um posto de combustível no primeiro distrito da cidade, com coletas bimestrais, realizadas de outubro de 2022 a junho de 2023. Em seguida, foram monitorados os poços localizados no segundo distrito nos meses de outubro e dezembro de 2022, e janeiro e março de 2023. Foram medidas variáveis limnológicas para avaliar a vulnerabilidade do aquífero. Além disso, foram conduzidos testes ecotoxicológicos com a microalga *Raphidocelis subcapitata* e a oligoqueta *Allonais inaequalis* a fim de verificar a presença ou ausência de efeitos tóxicos. Embora os pontos de estudo apresentassem impactos, estes não atingiram níveis que pudessem causar letalidade ou inibição nos organismos testados. No Ponto 1 (posto de combustível), as variáveis físico-químicas avaliadas apresentaram valores próximos aos máximos permitidos estabelecidos pela Portaria n.º 888/2021 e pela CONAMA n.º 396/2008, mas mostraram indícios de contaminação de origem humana. Os parâmetros microbiológicos não estavam em conformidade com os valores recomendados. Em fevereiro, foi observada a maior concentração de óleos e graxas, com 396 mg/L, bem como uma concentração de oxigênio dissolvido de 2,9 mg/L. Em relação aos pontos de monitoramento no segundo distrito, em todos os meses amostrados, o nitrito estava acima do valor recomendado pelas normas, que é de 1 mg/L. Também foi observada uma concentração de óleos e graxas no Ponto 2, possivelmente devido à influência de um empreendimento relacionado à fabricação de ração animal.

**Palavras-chave:** Manancial subterrâneo, Ecotoxicidade, *Raphidocelis subcapitata*, *Allonais inaequalis*.

## 1. Introdução

A exploração predatória dos recursos naturais tem se intensificado com o avanço tecnológico, permitindo que o ser humano manipule os elementos da natureza em busca de seus interesses estratégicos e econômicos. Tal fato tem como marco a industrialização no século XIX, e com os padrões de consumo criados a partir daí, passaram a redefinir profundamente, cada vez mais, a qualidade do ar, do solo, da fauna, da flora e principalmente das águas, alterando o funcionamento desses ecossistemas (Zagatto; Bertoletti, 2006).

A água é o recurso natural mais abundante no planeta, cobrindo cerca de 70% da superfície terrestre, o equivalente a 1,36x10<sup>18</sup> m<sup>3</sup> de água. Desse volume, 97% se encontra como água salgada (oceanos), 2,2% como geleiras e somente 0,8% como água doce. Considerando o percentual de água doce, cerca de 97% está disponível como água subterrânea e apenas 3% como água superficial (Braga et al., 2005; Sperling, 2014).

Considerando a escala hídrica mundial, o Brasil detém cerca de 12% da água doce do planeta, mas cerca de 70% da água doce do país se concentra na bacia Amazônica (Augusto et al., 2012), que possui o maior manancial subterrâneo do mundo, o Sistema Aquífero Grande Amazônia (SAGA), e detém um volume estimado em 162.520 km<sup>3</sup> de água (Melo Júnior; Ribeiro 2021).

No entanto, a ideia de que esse recurso é infinitamente abundante, faz com que a sociedade ignore as consequências das interações complexas do uso e ocupação do solo, deixando os recursos hídricos em segundo plano. É histórica a relação entre meio ambiente, industrialização e saúde da população, ligados por um recurso em comum, para manter suas atividades essenciais (Tundisi, 2008; Augusto et al., 2012; Queiroz; Oliveira, 2018; Fortes et al., 2019). Logo, destaca-se que a interação urbano-industrial tem degradado os recursos hídricos de tal forma que desregulam o balanço da biosfera, colocando em risco a saúde da população em decorrência da exposição a mananciais (superficiais e subterrâneos) contaminados por substâncias carcinogênicas, mutagênicas e teratogênicas (Freitas, 2022; Bonfim et al., 2021; Jury; Vaux, 2005; Zákha et al., 2022).

Nas últimas três décadas, a Amazônia tornou-se uma região que sofre grande pressão antrópica, sendo o resultado da modificação dos ecossistemas naturais, principalmente pela conversão das áreas florestais em áreas destinadas à agricultura e à pastagem (Barni et al., 2022; Fearnside, 2006). Aliado a tal fator, o crescimento urbano impulsionou o de-

envolvimento industrial e, com ele, a ampliação do uso de agentes químicos, que, consequentemente, associado à gestão inadequada dos recursos hídricos, compromete a qualidade dos mananciais, precedente do lançamento de efluentes urbano-industriais sem tratamento (Netto, 2022; Rosa; Guarda, 2019).

As águas subterrâneas da Amazônia são uma importante fonte para o abastecimento, principalmente em regiões onde há carência de reservas superficiais ou em áreas as quais não são abastecidas pela rede de distribuição (Vargas et al., 2023; Leite; Wendland; Gastmans, 2021; Bertolo et al., 2019). Nos municípios do estado de Rondônia, muitos usuários preferem a água dos poços por falta de confiança na qualidade da água distribuída pela rede de abastecimento e pelo baixo custo de captação, a ponto que se tornou na região uma prática cultural, poços do tipo cacimba, abertos por autônomos, como uma fonte de abastecimento doméstico (Laureano et al., 2020).

O município de Ji-Paraná é abastecido por água superficial captada do Rio Urupá e, conforme o histórico de ligações ativas da Companhia de Águas e Esgoto de Rondônia (CAERD), em 30 de julho de 2020 foram registradas 24.298 ligações em residências, 966 em estabelecimentos comerciais, 158 em prédios públicos e 66 em indústrias, totalizando 25.488 ligações ativas (CAERD, 2020).

Mas os mananciais subterrâneos acabam sendo uma importante fonte para o consumo doméstico e a água dos poços é aceita pela população por levar em consideração as características organolépticas (turbidez, cor, sabor e odor), acreditando que tal fato evidencia sua potabilidade (Fortes et al., 2019). De acordo com o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) (2023), no município de Ji-Paraná, cerca de 37,4% da população não tem acesso à rede de distribuição de água tratada e 98,8% não tem acesso aos serviços de esgotamento sanitário.

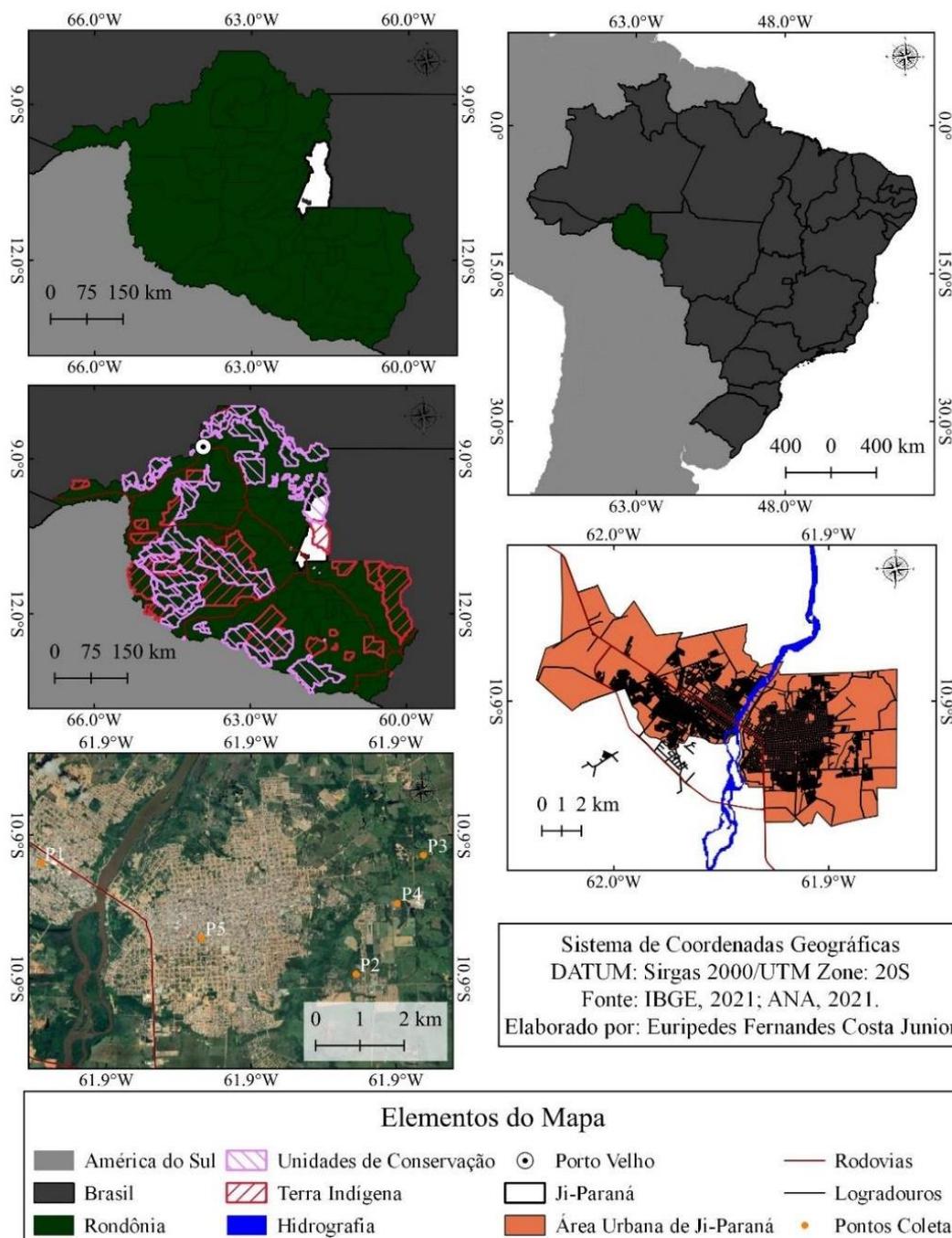
Como o desenvolvimento do município de Ji-Paraná ocorreu de maneira desorganizada, às margens dos Rios Machado e Urupá, é comum depararmos com efluentes urbanos-industriais lançados de forma inadequada aos corpos hídricos da região e nas áreas mais distantes são destinados a fossas rudimentares. Tal fator vem comprometendo não só a qualidade dos mananciais (superficiais e subterrâneos), mas também a saúde da população que faz uso desses recursos (Nunes et al., 2012; Silva et al., 2019; Ramos et al., 2021).

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar as características limnológicas e ecotoxicológicas dos mananciais subterrâneos do município de Ji-Paraná, Rondônia. Tais áreas de conhecimento são importantes ferramentas para o monitoramento ambiental, pois possibilitam determinar as alterações das variáveis físicas, químicas e biológicas e assim compreender os efeitos de qualquer substância por meio de bioindicadores ambientais.

## 2. Materiais e Métodos

Ji-Paraná é um município brasileiro, situado no estado de Rondônia, entre as coordenadas geográficas 10° 52' 51" Sul e 61° 56' 31" Oeste, na mesorregião do leste Rondoniense. A Figura 1 apresenta a localização do município e dos pontos de coleta de água subterrânea do presente estudo. Conforme a classificação de Köppen-Geiger, adaptado por Alves et al. (2013), o estado de Rondônia possui clima predominantemente tropical, Am (clima tropical úmido), com transição para estação seca Aw, ou seja, apresenta estação chuvosa no verão e de seca com pequena duração no inverno.

Rondônia apresenta precipitação média em torno de 2.500 mm ano<sup>-1</sup>, com períodos sazonais bem definidos, ou seja, com período chuvoso (janeiro, fevereiro e março), de transição chuva-seca (abril, maio e junho), de seca (julho, agosto e setembro) e, por fim, o de transição seca-chuva (outubro, novembro e dezembro), com temperaturas médias que variam de 24 a 26 °C (Webler et al., 2013).



**Figura 1.** Localização geográfica do município de Ji-Paraná, Rondônia, e a identificação os pontos de coleta de água subterrânea em estudo. **Fonte:** Autores (2024).

O município de Ji-Paraná detém uma área territorial correspondente a 6.896,65 km<sup>2</sup>. Seu nome tem origem na expressão da língua indígena local, jy paraná que significa rio dos machados. O termo traz referência ao grande número de pedras em seu leito e por se assemelhar com machados utilizados pelos povos tradicionais da região (Rondônia, 2021). Possui como principal eixo de transporte terrestre a rodovia BR-364.

Conforme estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para o ano de 2021, o município possui população estimada em torno de 131.026 habitantes. Uma especificidade no município refere-se ao termo “distrito”, que pode ser usado para indicar os distritos de Nova Colina e Nova Londrina, mas pode também fazer referência aos distritos da própria cidade.

A cidade é dividida em dois distritos, separados pelo Rio Machado. Foi no primeiro distrito que surgiram as primeiras casas e áreas comerciais, no entorno do posto telegráfico de Marechal Rondon; já o segundo distrito corresponde à parte da cidade em que se desenvolveu um maior centro comercial e se caracteriza por ser uma zona de expansão urbana, com grande número de loteamentos, condomínios e áreas industriais (Ji-Paraná, 2021). Com a expansão urbana, vários condomínios e loteamentos têm surgido em uma área denominada terceiro distrito, localizado na RO-135 e dividida do primeiro distrito pelo Rio Urupá.

Este estudo foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Águas Superficiais e Subterrâneas (GPEASS), do Departamento de Engenharia Ambiental (DEA), da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), campus de Ji-Paraná, e fez parte do projeto intitulado “Caracterização e vulnerabilidade do manancial subterrâneo: visando a elaboração de alternativa de enquadramento das águas subterrâneas no município de Ji-Paraná, Rondônia”, no período de 2019 a 2021, que teve o intuito da análise ecotoxicológica e limnológica dos mananciais subterrâneos do município, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Os poços subterrâneos estudados encontram-se dentro da área de influência urbana e industrial e foram monitorados em dois períodos distintos, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1** – Período de monitoramento dos poços subterrâneos na cidade de Ji-Paraná, Rondônia.

	1° Monitoramento					2° Monitoramento			
	2021		2022			2023			
Coletas	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	Out.	Dez.	Jan.	Mar.
Ponto 1	X	X	X	X	X				
Ponto 2						X	X	X	X
Ponto 3						X	X	X	X
Ponto 4						X			
Ponto 5									X
	Seca-Chuva		Chuva	Chuva-Seca		Seca-Chuva		Chuva	

Fonte: Autores (2024).

No Quadro 1 contém as coordenadas geográficas e a descrição ambiental observadas do ponto coleta em estudo.

**Quadro 1** – Coordenadas geográficas dos poços de monitoramento estudados e a descrição das características ambientais observadas.

	Longitude	Latitude	Descrição
<b>Ponto 1</b>	10°52'33.15"S	61°57'12.67"O	O ponto localiza-se em meio urbano, no pátio de um posto de combustível, em que a água é comercializada como potável à população.
<b>Ponto 2</b>	10°53'56.51"S	61°53'17.84"O	O ponto localiza-se em uma residência próxima a um frigorífico e nas últimas duas coletas foi observado que a água do manancial estava sendo utilizada para o consumo doméstico.
<b>Ponto 3</b>	10°52'27.10"S	61°52'27.51"O	O ponto localiza-se em área rural, próximo a um frigorífico, uma fábrica de ração e ao aeroporto municipal, em que o manancial não é utilizado para o consumo doméstico.
<b>Ponto 5</b>	10°53'29.70"S	61°55'12.88"O	O ponto localiza-se em uma residência em meio urbano consolidado, a água no poço é utilizada por cinco unidades residenciais, abastecendo uma caixa de água coletiva em que os moradores não têm acesso ao poço subterrâneo.

Fonte: Autores (2024).

Inicialmente, foi realizado o monitoramento limnológico e ecotoxicológico do Ponto 1 (P1), onde foram feitas coletas bimestrais nos meses de outubro e dezembro de 2021 e fevereiro, abril e junho de 2022, em um poço artesiano localizado em uma área de posto de combustível, no primeiro distrito. Tal aprofundamento nessa área de estudo deve-se ao fato que em estudo anterior, realizado por Nascimento (2022), foi verificado que a água do local apresentou efeitos tóxicos em 100% dos organismos-teste.

Para esse ponto, as amostras foram coletadas diretamente de uma torneira conectada ao poço e conectada a um galão de água mineral de 20L, que estava vazio e devidamente higienizado. O galão foi aberto apenas no momento da coleta, para receber a amostra de água, sendo que, primeiramente, esse galão foi lavado com um pouco da amostra, que foi descartada, para, enfim, proceder ao preenchimento. Imediatamente após a coleta, a amostra foi transportada ao Laboratório de Limnologia e Microbiologia (LABLIM), do Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária (DAEA), UNIR – campus Ji-Paraná.

Em um segundo momento, foram monitorados os demais pontos do estudo. As coletas ocorreram nos meses de outubro e dezembro de 2022 e janeiro e março de 2023. Iniciou-se o monitoramento com os pontos 2, 3 e 4 no mês de outubro. Porém, em dezembro, o ponto 4 foi lacrado pela família residente, sendo assim, a coleta foi realizada apenas no mês de outubro de 2022. No Ponto 5 foi realizada apenas uma coleta, por se tratar de um ponto de monitoramento no qual iniciou-se o acompanhamento mais recente, em março de 2023. Dessa maneira, totalizou-se quatro coletas, com dez amostras de água subterrânea ao todo.

Na segunda etapa do monitoramento, as amostras de água subterrânea coletadas foram acondicionadas em garrafas de água mineral de Politereftalato de Etileno (PET), as quais estavam lacradas e foram abertas e tiveram seu líquido descartado apenas no momento do recebimento da amostra. Após o recebimento da amostra, as garrafas foram identificadas e mantidas resfriadas em caixas térmicas com gelo até o seu transporte ao LABLIM, em menos de 24 horas.

Para a realização dos testes de coliformes fecais e totais, foi separada uma garrafa de água do mesmo lote das demais, que foi transportada e acondicionada com as outras, para realizar o “branco de campo”. Ssalienta-se que em todos os testes não foram encontradas Unidades Formadoras de Colônia UFC/100ml, o que indica que as garrafas que receberam a amostra dos ensaios microbiológicos não apresentavam contaminação por coliformes fecais e totais.

No ponto 1 e no ponto 5 as amostras foram coletas de torneiras conectadas a reservatórios abastecidos pelos poços. Para a coleta das amostras subterrâneas nos pontos 2, 3 e 4, foi utilizado um coletor adaptado para água subterrânea, sendo que o coletor é constituído de aço inoxidável, com uma base em concreto, próprio para receber uma garrafa de água mineral de 500ml. Importante destacar que sempre foi priorizado que a primeira amostra fosse destinada à análise microbiológica, para o oxigênio dissolvido (método titulométrico de Winkler), e os demais parâmetros medidos com uso da sonda YSI-EC 300, para minimizar os efeitos do borbulhento e da contaminação ambiente. Na Figura 2 contém o registro fotográfico da realização das coletas.



**Figura 2.** Registro fotográfico da 1ª coleta realizada nos a) Ponto 2, b) Ponto 3 e c) Ponto 4  
**Fonte:** Autores (2024).

Em relação ao Ponto 1, foram medidos os valores de turbidez (NTU) com auxílio do turbidímetro de bancada HACH-2100 P, condutividade elétrica (Conduvímeter luca-dema modelo luca-150) e o oxigênio dissolvido (mg/L) determinado pelo método titulométrico de Winkler (APHA, 2017). Foram mantidos congelados 6L de amostra de água para a realização dos testes ecotoxicológicos.

In loco, nos pontos P2, P3, P4 e P5, foram medidas as variáveis temperaturas da água, condutividade elétrica e pH, por meio da sonda YSI-EC 300. Além disso, foram coletadas duas garrafas de 500 mL para as análises microbiológicas e de nutrientes e uma garrafa mineral de 2L a serem utilizadas nos testes ecotoxicológicos.

As análises de coliformes totais e fecais foram realizadas pela técnica filtragem em membrana de acetato de celulose (4,7 cm de diâmetro e 0,45  $\mu$ m de porosidade), em meio cromogênico (Chromocultcoliform agar). Em seguida, as membranas foram dispostas em placas Petri com meio de cultura, incubadas por 24 horas, em temperatura de  $36 \pm 1^\circ\text{C}$  em estufa bacteriológica. Após o período de incubação, foi observado o crescimento de colônias rosas (coliformes totais) e azuis e violetas (*E. coli*), sendo que o número final de coliformes totais corresponde à soma das colônias (rosas e azuis), expresso em Unidades Formadoras de Colônia (UFC 100mL-1).

Parte da amostra bruta foi congelada para análise de fósforo total. Foram filtrados 100 mL da amostra, visando às análises dos nutrientes dissolvidos ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), amônia ( $\text{NH}_3\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), sendo mantidas congeladas até a realização dos procedimentos laboratoriais.

A determinação do teor de óleos e graxas presente na água foi realizada pelo método gravimétrico, com extração com éter de petróleo.

Os procedimentos metodológicos espectrofotométricos das técnicas citadas encontram-se disponíveis em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA (2017) e para a determinação do teor de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) utilizou-se o método colorimétrico de Brucina, conforme protocolo da EPA (1971).

As análises ecotoxicológicas são testes com organismos aquáticos que possibilitam a detecção, a avaliação e os limites da concentração aceitável de um contaminante químico, para a proteção da vida aquática. Conhecer essa concentração é de grande importância, no intuito de avaliar o impacto do excesso de contaminantes, principalmente em decorrência do surgimento de substâncias químicas com efeitos desconhecidos, portanto, torna-se viável o uso de organismos-teste para avaliar a toxicidade dessas matrizes (Zagatto; Bertolotti, 2006).

Dessa forma, a sensibilidade dos organismos à presença de contaminação é um fator fundamental na escolha dos organismos-teste. Preferencialmente, são utilizadas espécies que mostram sensibilidade a uma diversidade de agentes químicos, de maneira que possibilite a obtenção dos resultados mais precisos quando expostos à contaminação (Braz; Longo, 2021; Corbi; Gorni; Correa, 2015).

Embora haja uma diversidade de espécies que possam ser utilizadas nos testes toxicológicos, dá-se preferência a espécies locais, possibilitando prever os efeitos de contaminantes à fauna da região e a avaliação da qualidade d'água, uma vez que apenas os parâmetros físico-químicos não são o bastante para mensurar os efeitos tóxicos potenciais de um contaminante (Corbi; Gorni; Correa, 2015; Felipe et al., 2020; Rocha et al., 2018; Zagatto; Bertoletti, 2006).

Os cultivos de ambas as espécies citadas no presente projeto são mantidos no LABLIM. A microalga *R. subcapitata* é cultivada em meio L.C Oligo, conforme procedimentos descritos na ABNT NBR 12.648 (2018). Inóculos da espécie são preparados em meio líquido, pelo crescimento das algas até a fase exponencial, sob agitação mecânica constante (100 rpm/min), a  $25 \pm 1$  °C e iluminação contínua (aproximadamente 4.500 lux). Todos os procedimentos são feitos em meio estéril, a fim de evitar contaminação. Após o crescimento, os inóculos são mantidos sob refrigeração (4 a 10 °C) por, no máximo, 6 meses, quando são feitos novos inóculos e os antigos, descartados.

Os oligochaeta *A. Inaequalis* foram mantidos com base em procedimentos descritos em Corbi et al., (2015). Os organismos são cultivados em bandejas plásticas (lavadas com água destilada), contendo 4L de água de cultivo e 1kg de areia fina lavada e calcinada em forno mufla a 550 °C por 3 horas. As bandejas são mantidas à temperatura de  $25 \pm 1$  °C e ciclo de luz de 12h claro e 12h escuro, controlado por timer automático, com aeração mecânica, no LABLIM.

Os organismos são alimentados semanalmente com 10 mL de solução de ração TetraMin® (5g/L) e as bandejas limpas no dia da alimentação com renovação e monitoramento da água do cultivo, sendo descartadas a cada 60 dias.

Para realização dos testes com a microalga, todos os materiais utilizados e o meio de cultivo foram esterilizados por autoclavagem, para eliminação de contaminação externa. Os procedimentos adotados foram baseados na NBR 12.648/2018.

Os testes foram realizados em Erlenmeyer de 250mL, contendo 100mL da água subterrânea sem diluição e o controle laboratorial foi feito contendo apenas o meio de cultivo, e o ensaio foi realizado em triplicata. Para o inóculo da espécie, foi feita previamente a contagem para determinação da densidade algal a ser adicionada em cada Erlenmeyer, de modo que a densidade inicial de algas fosse de 105 células/mL.

Os Erlenmeyers foram distribuídos aleatoriamente em mesa agitadora e o teste foi mantido sob agitação (100 r/min) por 96h, a  $25 \pm 1$  °C, com iluminação contínua (4.500 lux), conforme a Figura 3.



**Figura 3.** Erlenmeyers distribuídos em mesa agitadora para realização do teste. **Fonte:** Autores (2024).

Ao fim do experimento, 80 mL de cada réplica foram filtrados em filtros de microfibras de vidro de 0,45 µm de abertura de poro (Whatman) para a determinação da clorofila a (APHA, 2017), no intuito de possibilitar observar a inibição ou a multiplicação das células algáceas, dada a impossibilidade de realização de contagem em microscópio óptico.

O teste de sensibilidade tem o intuito de avaliar a sensibilidade dos organismos diante a exposição a diferentes concentrações. Dessa forma, foi preparada uma solução de cloreto de potássio (KCl), em diferentes concentrações (1,5; 2,25; 3,5; 5; 7,5 g/L) e o controle feito com água do cultivo da espécie.

O teste foi realizado em quadruplicata e em cada réplica foram adicionados 20 mL da solução em um recipiente de 50mL, contendo seis organismos por réplica, com tamanho corporal de  $7,8 \pm 0,4$  mm. O experimento foi mantido a uma temperatura  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  e fotoperíodo de 12h claro e 12h escuro, sem aeração e alimentação. O pH foi medido conforme a metodologia analítica descrita acima.

Após 96h, foi contado o número de indivíduos vivos (sobrevivência) em cada réplica.

Os testes de toxicidade aguda com a espécie *Allonais inaequalis* foram feitos em recipientes de 50mL, atóxicos, contendo 20mL da solução teste, sem substrato (areia). Foram testadas cinco diluições (6,25; 12,5; 25; 50 e 100% da amostra). As diluições foram preparadas com água destilada. O organismo selecionado para o teste segue os mesmos critérios do teste de sensibilidade, comprimento corporal de  $7,8 \pm 0,4$  mm e adicionados seis organismos por recipiente-teste, sendo feitas quatro réplicas por diluição, com duração de 96h, e os organismos não foram alimentados (Figura 4).



**Figura 4.** Teste de toxicidade com *Allonais inaequalis*. Fonte: Fontes: Autores (2024).

O controle laboratorial foi feito com a utilização de água de cultivo. O teste foi mantido nas condições de temperatura e iluminação das culturas, ou seja, a uma temperatura de  $24 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  e fotoperíodo de 12h:12h (escuro:claro), sem aeração.

No fim do teste, foi avaliado o número de organismos vivos (sobrevivência) e o teste foi considerado válido quando a sobrevivência no controle foi superior a 90%. Os procedimentos adotados foram baseados no método descrito por Rocha et al. (2018) e pela Norma OECD/315 (2008).

A tabulação de dados foi realizada no programa Excel® (Microsoft 365), assim como a determinação das retas das curvas de concentração e a estatística preliminar.

A variação dos parâmetros ecotoxicológicos foi avaliado por ANOVA de um fator, seguida pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. A normalidade dos dados e a homogeneidade de variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk, respectivamente, através do software STATISTICA 7.

Nos testes ecotoxicológicos, foram determinadas as Concentrações Letais (CL) que causa efeito/inibição a 50% dos organismos (CL50), com auxílio do software STATISTICA 7. Essa análise possibilita determinar o efeito-resposta dos organismos-teste, predizendo se amostra é tóxica e a partir de qual concentração/diluição os efeitos podem ser observados. Os testes foram realizados com o intervalo de confiança 95% ( $\alpha: 0,05$ ).

### 3. Resultados e Discussão

A etapa 1 do estudo se refere aos dados obtidos no poço localizado em uma área de posto de combustível (P1) no primeiro distrito. É importante destacar que a água desse

manancial é comercializada como água potável. Além disso, no local há uma tabela contendo os valores de diferentes variáveis limnológicas, e todas essas variáveis estão em conformidade com a legislação vigente.

A contaminação por derivados de petróleo pode ocorrer devido a vazamentos de tanques metálicos que enferrujam e racham ou furam com o tempo, visto que nem todos os tanques possuem camada de fibra de vidro, assim, as fissuras em sua estrutura acabam não contendo o fluido que escoar pelo solo, até atingir os mananciais subterrâneos (Carneiro et al., 2020). No Brasil, o licenciamento de postos de combustíveis segue as orientações da Resolução CONAMA n.º 273/2000, que dispõe sobre a instalação de sistemas de armazenamento de combustíveis, traz suas considerações acerca das ocorrências de vazamentos significativos, principalmente pela falta de manutenção adequada ou mão de obra qualificada.

Diante da necessidade de monitoramento das matrizes e de parâmetros legislativos com seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP), a Resolução CONAMA n.º 396/2008 dispõe sobre o enquadramento das águas subterrâneas e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Portaria de Consolidação n.º 5, de 2017, alterada pela Portaria de Consolidação n.º 888, de 2021 (PC5/MS/2017), estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A Tabela 3 apresenta os valores das variáveis limnológicas do manancial de estudo em questão e os valores orientadores da Resolução CONAMA n.º 396 (2008) e PC5/MS/2017.

**Tabela 2** – Valores das variáveis limnológicas nos meses de estudo e os valores orientadores da Resolução CONAMA n.º 396 (2008) e PC5/MS/2017.

Parâmetros	2021		2022			Legislações	
	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.	CONAMA n.º 396	PC5/MS/2017
<b>pH</b>	7,45	7,13	5,56	6,80	5,94	-	6 a 9,5
<b>CE (µS/cm)</b>	197,3	154,8	241	196,2	195,4	-	-
<b>Tur (NTU)</b>	1	0,9	1	0,4	0,3	-	5
<b><i>E. coli</i> (UFC)</b>	0	0	0	0	8	Ausente	Ausente
<b>Coliforme total (UFC)</b>	4600	40	0	1	8	Ausente	Ausente
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NH<sub>3</sub> (mg/L)</b>	0,029	0,049	0,048	0,056	0,049	-	1,2
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	1	1
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	5,88	6,11	5,73	5,11	5,88	10	10
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/L)</b>	0,109	0,112	0,111	0,104	0,109	-	-
<b>P total (mg/L)</b>	0,118	0,116	0,119	0,112	0,109	-	-
<b>OD (mg/L)</b>	5,49	5,63	2,9	6,68	3,63	-	-
<b>Óleos e graxas (mg/L)</b>	163	125	396	253	153	-	-

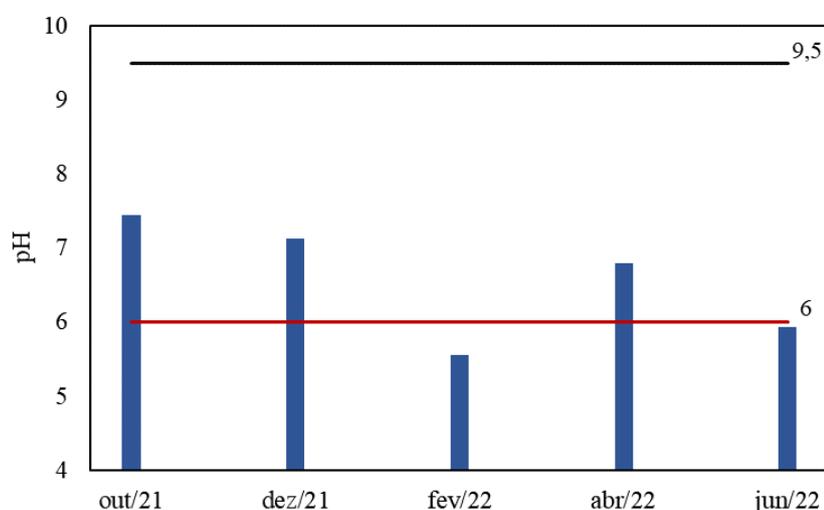
**Nota:** pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NH<sub>3</sub> – amônia; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – nitrito; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – nitrato; P – fósforo; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> – fosfato; OD – oxigênio dissolvido; (-parâmetros não estabelecidos nas resoluções. **Fonte:** Autores (2024).

A Resolução n.º 396/2008/CONAMA não estabelece valores orientadores para o potencial hidrogeniônico (pH), já a PC5/MS/2017 estabelece valores de pH entre 6,0 e 9,5. Naturalmente, a água está em contato constante com partículas dissolvidas e suspensas, diante disso, para realizar o tratamento da água, adotar essa faixa de pH assegura que nas etapas do tratamento da água ocorra os processos físico-químicos necessários para a remoção das partículas.

Considerando os parâmetros como alcalinidade elevada ou características ácidas na água de um manancial podem influenciar negativamente nos processos de floculação, coagulação e decantação durante o tratamento de água para consumo humano. Esses pro-

cessos são importantes para remover partículas sólidas e turbidez da água tratada. A alcalinidade elevada pode dificultar a floculação e a coagulação, pois interfere na ação dos coagulantes químicos. Por outro lado, características ácidas podem afetar a formação e a estabilidade dos flocos, comprometendo a eficiência da remoção de sólidos suspensos. A eficiência na remoção de sólidos é crucial para garantir uma água de melhor qualidade, especialmente quando se considera a presença de protozoários patogênicos, como *Giardia* sp e *Cryptosporidium* sp (Jordão; Pessoa, 2009; Metcalf; Eddy, 2016; Sperling, 2014).

Esses protozoários são de origem fecal e podem ser transmitidos por veiculação hídrica. Os cistos e oocistos desses protozoários são naturalmente resistentes aos processos de desinfecção, e eles tendem a se associar aos sólidos suspensos presentes na água, por isso é essencial realizar um processo de tratamento de água eficiente (Jordão; Pessoa, 2009; Metcalf; Eddy, 2016; Sperling, 2014). O manancial de estudo apresenta uma variação nos valores de pH nos meses de estudo, conforme apontado na Figura 5.



**Figura 5.** Teste de toxicidade com *Allonais inaequalis*. Potencial hidrogeniônico (pH) da água subterrânea nos meses de estudo comparados com os valores orientadores da PC5/MS/2017 (linha vermelha mínimo e preta máximo). **Fonte:** Autores (2024).

Ao analisar a Figura 5, pode-se observar que os valores de pH nos meses de outubro, dezembro de 2021 e abril de 2022 estão dentro dos limites estabelecidos pela PC5/MS/2017. Esses valores foram registrados como 7,45, 7,13 e 6,8, indicando condições que variam de ligeiramente ácidas a alcalinas. No entanto, nos meses de fevereiro e junho de 2022 foram registrados valores de pH de 5,56 e 5,94, respectivamente, indicando condições ácidas da água. Esses valores estão fora dos limites estabelecidos pela resolução.

Diversos estudos apontam que naturalmente as águas subterrâneas do estado de Rondônia apresenta valores mais baixos de pH. Ferreira (2013) encontrou valores de pH entre 4 e 5 para os pontos de monitoramento subterrâneo em estudo, caracterizando a água dos mananciais com características ácidas e levemente ácidas.

Outro ponto importante a ser destacado é a contaminação dos mananciais por esgoto de origem doméstica, devido à atividade microbiológica (Esteves, 2011; Tundisi; Tundisi, 2008). No caso específico do município, é importante ressaltar que ainda não há uma rede de coleta de efluentes sanitários em funcionamento. Como alternativa, a destinação final desses efluentes é feita por meio de fossas rudimentares, em que o efluente é infiltrado no solo, podendo contaminar os mananciais subterrâneos.

A turbidez é uma medida que expressa a intensidade (redução ou espelhamento) que um feixe de luz sofre ao atravessar em decorrência a presença de partículas (areias, argilas, entre outros), detritos orgânicos (bactérias, fungos, plânctons) e todo material que confere a cor aparente à água. Mas a turbidez pode não causar efeitos a saúde, uma vez que confere um padrão físico. Notoriamente, esse parâmetro é mensurado pela PC5/MS/2017, por

servir como meio para associação de microrganismos patogênicos, influenciando na desinfecção da água tratada e por apresentar uma característica visualmente desagradável ao consumo (padrão organolético) (Jordão; Pessoa, 2009).

No período de estudo, a turbidez variou de 0,3 a 1 (NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez), apresentando conformidade com a legislação 5 NTU, ou seja, 100% das amostras apresentam valores em acordo com o estabelecido pela PC5/MS/2017.

A Condutividade Elétrica (CE) expressa a capacidade que a água tem de transmitir eletricidade. Essa capacidade depende das concentrações iônicas e possibilitam indicar a quantidade de sais existentes na amostra e, de maneira geral, níveis superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes contaminados/impactados. Dessa maneira, a variação da condutividade elétrica foi de 154,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (janeiro de 2021) a 241  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (fevereiro de 2022), sendo essas as variações mínimas e máximas, respectivamente.

O estudo conduzido por Melo Junior e Costi (2004) teve como objetivo caracterizar um manancial subterrâneo na Vila Tupi, em Porto Velho/RO, afetado pelo lançamento ou vazamento de combustíveis. Piezômetros de monitoramento foram instalados na montante e na jusante de um posto de combustível para avaliar a contaminação. A presença de um forte odor de gasolina na água do manancial foi relatada pela população. A condutividade elétrica nos pontos de monitoramento variou de 41,8 a 240  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e aumentou com as concentrações de óleos e graxas, que foram de 63 e 193 mg/L, respectivamente. No ponto de monitoramento P1, mais próximo da fonte de contaminação, foi encontrado um valor médio de óleos e graxas de 218 mg/L. A condutividade também foi superior aos valores nos poços da Vila Tupi, sugerindo uma maior concentração de óleos e graxas nesse ponto. Os valores de condutividade variaram entre 154,8 e 241  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo o valor máximo registrado em fevereiro de 2022 (396 mg/L de óleos e graxas).

Protozoários, vírus e bactérias geralmente são introduzidos no sistema pelo contato com material fecal e, naturalmente, o solo desempenha a função de filtragem de poluentes e dos microrganismos à medida que a água percola por essa matriz para a recarga dos aquíferos (Mingoti; Spadotto; Moraes, 2016). A sobrevivência dos microrganismos fecais em condições ambientais aquáticas é limitada, mas podem ser ingeridos quando consumidos da fonte recém contaminada.

O grupo de coliformes termotolerantes faz parte da composição dos coliformes totais. A bactéria mais estudada do grupo é a *Escherichia coli* (*E. coli*), que é encontrada no trato intestinal de animais de sangue quente e, dessa forma, a presença da bactéria na água subterrânea não garante que a contaminação seja de origem fecal humana (Esteves, 2011; Tundisi; Tundisi, 2008).

Assim, no presente estudo foi avaliada a presença de coliformes totais e da bactéria *E. coli*. Diante dos resultados obtidos, ressalta-se que no mês de outubro de 2021 foi encontrado o valor máximo de 4.600 UFC/100mL. Conforme a Tabela 3, foi observado que apenas no mês de fevereiro foram encontrados valores em conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 396/2008 e pela PC5/MS/2017, pois não foram detectados coliformes totais e fecais em 100 mL de água. No entanto, é importante ressaltar que mesmo nesse mês foi identificada uma concentração significativa de óleos e graxas provenientes de derivados de petróleo, com uma concentração correspondente a 396 mg/L.

Em junho foi o único mês em que foi detectada *E. coli* (8 UFC/100mL). Esse resultado evidencia que nesse ponto houve contaminação de origem fecal recente. Dessa forma, com um indicativo de contaminação fecal recente, naquele manancial pode haver presença de protozoários e vírus derivados do trato intestinal de animais de sangue quente.

A atmosfera é composta por cerca de 78% de gás nitrogênio. No ciclo biogeoquímico, o nitrogênio pode ser encontrado nas formas de amônia ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), e as bactérias do gênero *Rhizobium*, presentes no solo, têm a capacidade de converter o nitrogênio atmosférico em amônia, que é utilizada pelas plantas (Esteves, 2011; Tundisi; Tundisi, 2008). Em seguida, ocorre o processo de nitrificação, realizado por bactérias *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus*. Essas bactérias realizam a quimiossíntese, usando

a energia liberada durante o processo para sintetizar suas substâncias orgânicas. Elas convertem a amônia em nitrito e as bactérias Nitrobacter convertem o nitrito em nitrato e, para completar o ciclo, as bactérias desnitrificantes transformam o nitrato em nitrogênio gasoso, que é devolvido para a atmosfera (Esteves, 2011).

Em relação aos valores de amônia ( $\text{NH}_4^{++}\text{NH}_3$ ), em todos os meses os valores estiveram dentro dos limites máximos estabelecidos pela PC5/MS/2017. O nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) é um parâmetro essencial no monitoramento da qualidade da água, principalmente em fontes para o consumo humano. Altos valores de nitrito expressam uma indicação de contaminação recente, advinda de material orgânico (vegetal ou animal). O valor máximo permitido em ambas as legislações é de 1 mg/L e nas coletas realizadas no Ponto 1 estiveram abaixo do valor preconizado (Tabela 3).

Dessa forma, mesmo em concentrações reduzidas (0,001 mg/L), é um indicativo de poluição recente (Heller; Pádua, 2010; Metcalf; Eddy, 2016). Logo, foram encontrados valores de 0,002 mg/L em outubro de 2021, fevereiro e abril de 2022 e de 0,003 mg/L em dezembro de 2021 e junho de 2022, o que corroboram que mesmo abaixo do valor preconizado, houve contaminação, considerando os valores de coliformes totais e fecais, o que sugere que houve o contato com material de origem fecal.

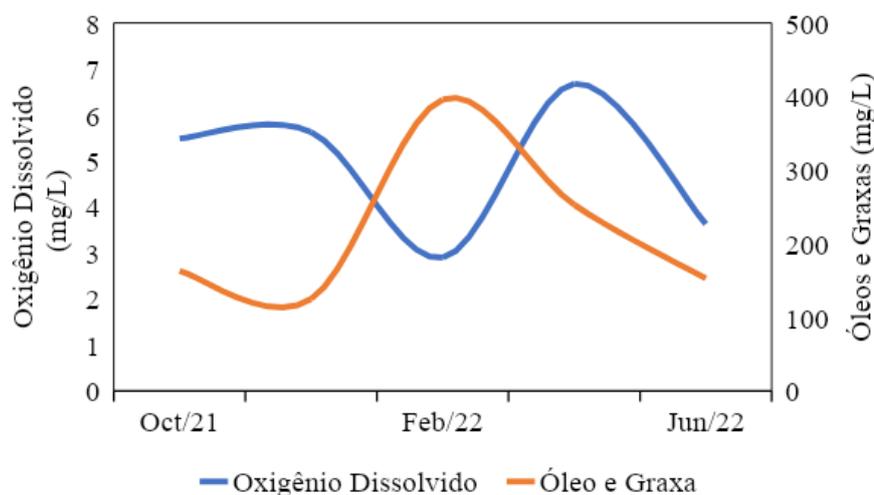
Naturalmente, o nitrato está presente no solo em baixas quantidades, como resultado da decomposição da matéria orgânica e bioassimilado por organismos (Esteves, 2011). A presença no nutriente na água em altas quantidades para o consumo humano desperta atenção, pois esse elemento, ao ser consumido em grandes quantidades ao longo do tempo, causa a metemoglobinemia, que é um distúrbio sanguíneo no qual as hemácias se tornam incapazes de transportar o oxigênio necessário para as células (ATSDR, 2011; USEPA, 2007).

No monitoramento de poços subterrâneos realizado por Nunes et al. (2012), foram encontrados valores médios de 9,36 mg/L no período chuvoso, variando entre 3,4 e 15,1 mg/L, sendo que os maiores valores de nitrato foram localizados nos poços próximos à área de cultivo de hortaliças, em que, provavelmente, a fonte nitrogenada seja oriunda dos fertilizantes utilizados no cultivo, sendo que os valores de nitrato nos poços a montante foram menores dos pontos à jusante, evidenciando a influência do cultivo.

Devido ao fato de que Rondônia apresenta o segundo maior índice de diagnósticos estomacais carcinogênicos, é essencial monitorar as águas subterrâneas, pois elas são uma importante fonte de abastecimento. A Agência Internacional de Câncer (IARC) classifica o nitrato e o nitrito como prováveis cancerígenos para os seres humanos (Grupo 2A), quando consumidos em grandes quantidades ao longo do tempo, podendo gerar nitrosaminas internamente (IARC, 2010). Estudos demonstram que mesmo concentrações de nitrato abaixo do limite estabelecido pelas legislações, como 3 mg/L, podem ter efeitos adversos à saúde, o que é preocupante para a população que consome água desse manancial (Ward et al., 2010; Schullehner et al., 2018).

Nos estudos realizados pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), nos 214 casos de metemoglobina registrados em diversas partes do mundo, nenhum ocorreu em crianças que consumiram água com concentrações inferiores a 10 mg L<sup>-1</sup> de nitrato, sendo que na faixa de concentração de 21 e 50 mg L<sup>-1</sup>, apresentaram casos de metemoglobina em crianças, de 17% a 81% respectivamente (USEPA, 2007).

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem animal, vegetal e mineral, geralmente formados por hidrocarbonetos, ésteres e gorduras, raramente encontrados nos mananciais naturais, sendo oriundos de efluentes e resíduos domésticos e industriais, de oficinas mecânicas, estradas e vias e postos de combustíveis (Carneiro et al., 2020; Silva et al., 2022). Por apresentarem baixa solubilidade, a presença desses elementos pode levar à contaminação dos mananciais, alterando suas características e comprometendo sua utilização para o abastecimento público (CETESB, 2009). Dessa maneira, na Figura 6 constam os valores de óleos e graxas e oxigênio dissolvidos no P1 para o período estudado.



**Figura 6.** Concentração de oxigênio dissolvido e óleo e graxa na água subterrânea. **Fonte:** Autores (2024).

Dessa forma, o menor valor registrado de oxigênio dissolvido ocorreu no mês de fevereiro, com valor de 2,9 mg/L, quando foi observada a maior concentração de óleos e graxas na água subterrânea (396 mg/L).

As águas subterrâneas, por si só, já apresentam baixos valores de oxigênio dissolvido, em decorrência de não estarem em contato com a atmosfera (Esteves, 2011). Durante o processo de decomposição de óleos e graxas, naturalmente são reduzidos os teores de oxigênio dissolvido nos mananciais, o que pode vir a causar prejuízos nos ecossistemas aquáticos (Melo Junior; Costi, 2004; Tundisi; Tundisi, 2008).

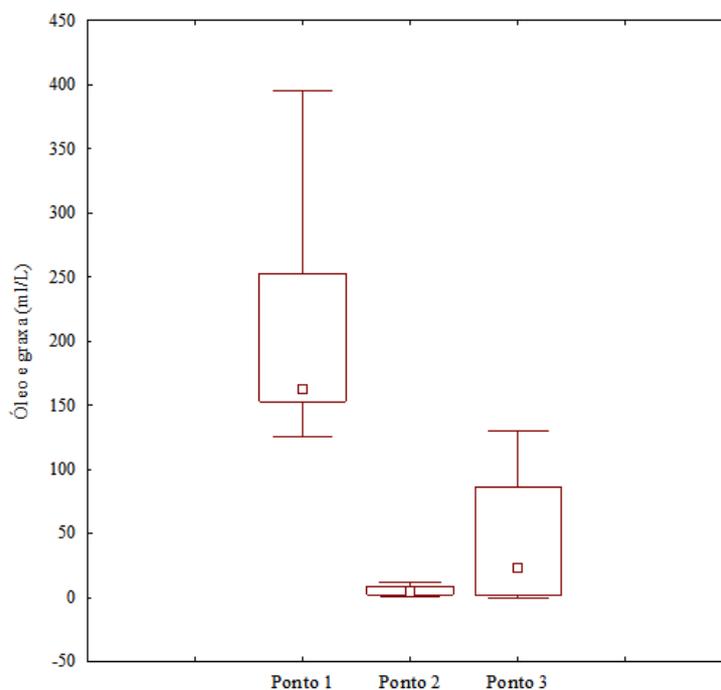
Diante do exposto, pode-se inferir que a flutuação da concentração de oxigênio dissolvido no ponto de estudo é decorrente da oxidação da matéria orgânica no manancial subterrâneo, ou seja, conforme o manancial apresentou maiores concentrações de óleos e graxas, houve a redução dos valores de oxigênio dissolvido, sendo que esse oxigênio é utilizado nos processos químicos para degradar as moléculas orgânicas presentes. Um fator que corrobora isso é que as quebras de emulsões oleosas ocorrem mediante a acidificação do meio, e o manancial, em todos os meses, apresentaram características levemente ácidas (CETESB, 2009).

A legislação brasileira que dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, a Resolução CONAMA n.º 357/2005, recomenda que óleos e graxas sejam ausentes nos mananciais de classes 1, 2 e 3 respectivamente, porém a CONAMA n.º 396 não estabelece valores orientadores para esse parâmetro. Raramente óleos e graxas são encontrados em águas naturais, sendo normalmente advindos por meio do despejo e do derramamento de efluentes e resíduos urbano-industriais. Logo, essas substâncias podem ser gorduras animais, sabões, óleos vegetais ou mineiras (Chaves; Filho; Bender, 2022; Hess et al., 2021; Kobori; Jorge, 2005).

No estudo realizado por Melo Junior e Costi (2004) em um manancial subterrâneo na Vila Tupi, em Porto Velho/RO, constatou concentrações de óleos e graxas entre 53 e 193 mg/L. As águas provenientes de poços de residências com distância de 150 metros desse manancial apresentavam forte odor de combustível e, conforme os piezômetros instalados para o monitoramento, conclui-se que o fluxo subterrâneo facilitava o arraste da pluma de contaminação para os locais mais distantes da fonte contaminadora.

Considerando que o município contém 94 empreendimentos do ramo de comercialização de combustíveis registrados pelo Anuário Estatístico Brasileiro, Gás Natural e Biocombustível (ANP, 2021), esses empreendimentos despertam preocupação, decorrente de possíveis vazamentos de combustíveis, degradando o solo e, conseqüentemente, os mananciais subterrâneos, visto que no município não há dados referentes ao monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas em áreas de postos de combustíveis.

Considerando a influência do posto de combustível na qualidade da água subterrânea do poço 1 e em razão da baixa quantidade de dados e na discrepância entre eles, na Figura 7 contém os valores medianos de óleos e graxas dos pontos 1, 2 e 3, respectivamente, a título de comparação.



**Figura 7.** Valores medianos de óleos e graxas dos pontos 1, 2 e 3, respectivamente, para os poços de estudo. **Fonte:** Autores (2024).

Observa-se que o ponto 2 apresentou um valor máximo de 12 mg/L de óleo e graxa. Os pontos 4 e 5 apresentaram valores correspondentes iguais de 15 e 9 mg/L de óleo e graxa, respectivamente. Esses pontos de monitoramento se encontram em área urbana, em residências, assim, a presença de óleos e graxas estão relacionados com o lançamento de efluentes domésticos, devido à baixa quantidade no efluente e quanto mais longe da fonte contaminadora, menor será a concentração (Forte et al., 2007). Considerando que a atividade microbológica auxilia na degradação das substâncias e na oxidação natural pelo meio e pela baixa quantidade no esgoto doméstico, os óleos e graxas podem ser facilmente solubilizados e degradados.

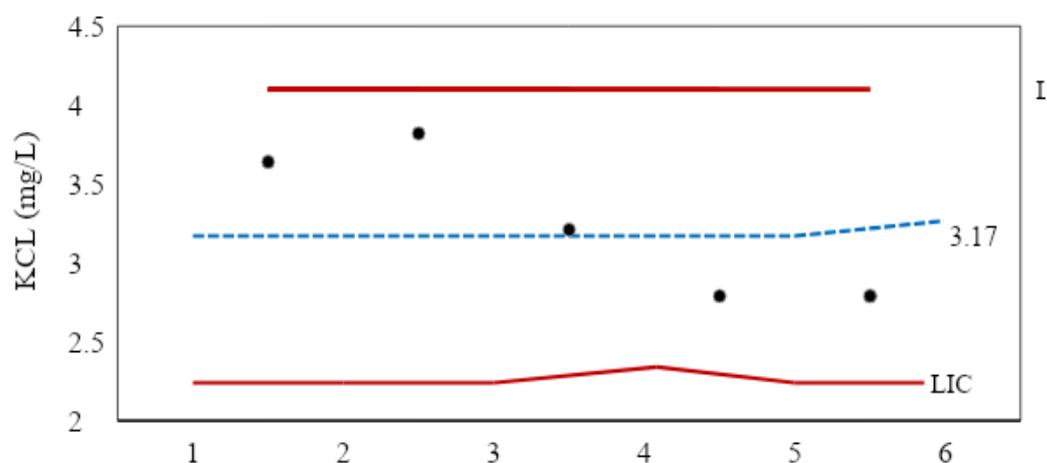
No Ponto 3, próximo a um empreendimento de produção de ração animal, que utiliza lagoas para o tratamento do efluente gerado, foi observada uma alta concentração de óleos e graxas. Isso pode estar relacionado à infiltração de esgoto tratado, uma vez que há uma área verde com placas indicando ser uma área fertirrigada em frente ao empreendimento. Dessa forma, o efluente utilizado, com altas concentrações de óleos e graxas, pode facilmente atingir o manancial subterrâneo. Foi observada uma concentração de 130 mg/L no Ponto 3 em outubro de 2022. No entanto, devido à variação sazonal, a concentração no manancial em março de 2023 é igual a 0 mg/L. Isso pode ser atribuído à solubilidade das substâncias e ao fato de que, durante o período chuvoso, a irrigação da área verde ocorre com menor frequência.

Portanto, para o gerenciamento das áreas contaminadas por postos de combustíveis, devem proceder conforme as normas técnicas vigentes, como a NBR 15.515, que dispõe sobre os passivos ambientais em solo e na água subterrânea, e traz na parte 1 considerações na avaliação preliminar, na parte 2 descreve os procedimentos da realização da investigação confirmatória da contaminação e na parte 3 descreve os procedimentos para a

realização da investigação detalhada da qualidade e do grau de impacto causado a esses mananciais.

Diante da evidência da contaminação da água subterrânea na área estudada, os bioensaios de ecotoxicológicos constituem uma importante ferramenta para avaliar a qualidade da água, uma vez que apenas os parâmetros limnológicos podem não ser o suficiente para diagnosticar os potenciais riscos de um contaminante à biodiversidade.

Os testes de sensibilidade realizados com a espécie *A. inaequalis* foram feitos para avaliar a sensibilidade dos organismos e atestar a saúde das culturas. Para isso, foi calculada a concentração letal a 50% dos indivíduos (LC50) expostos à substância de referência cloreto de potássio (KCl). A partir disso, foi desenvolvido o gráfico de carta controle (Figura 8) para a validação dos dados e a obtenção da faixa de sensibilidade do organismo-teste. Nesse sentido, testes de sensibilidade foram conduzidos antes da utilização da espécie nos testes de toxicidade aguda com as amostras ambientais.

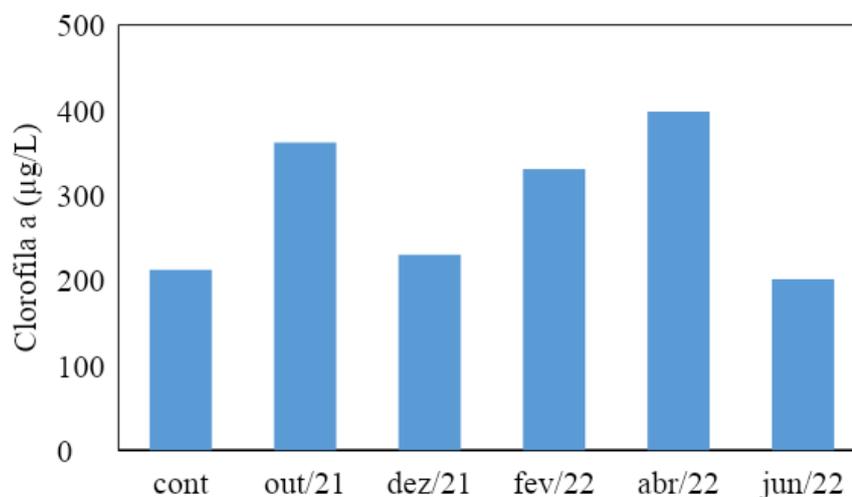


**Figura 8.** Gráfico gerado a partir da carta controle para a espécie *A. inaequalis*. No gráfico, são mostrados os valores médios (linha pontilhada) e os limites superior e inferior (linhas vermelhas) de sensibilidade. Além disso, são apresentados os valores médios para cada teste (pontos) feito antes dos ensaios com amostra ambiental. Onde, LIC – Limite inferior de confiança e LSC – Limite superior de confiança. **Fonte:** Autores (2024).

A espécie *A. inaequalis* apresentou valor de LC50 médio de 3,17 mg/L, com limite de confiança de 2,24 e 4,10 mg/L para KCl. Corbi et al. (2015) encontraram valores médios de 3,505 mg/L para a LC50, valor próximo ao encontrado. Dessa forma, os organismos das culturas implementadas no LABLIM apresentaram uma faixa de sensibilidade próxima aos valores estabelecidos metodologicamente para a espécie, sendo que esses valores atestam a validade dos testes de toxicidade aguda.

Portanto, não foi observada letalidade aos organismos em nenhum período amostral para todos os poços monitorados, ou seja, 100% dos organismos sobreviveram a todas as diluições, apresentando sobrevivência igual aos organismos do controle. Embora o manancial tenha sido impactado com contaminação urbana-industrial, os ensaios de ecotoxicológicos com o *Allonais inaequalis* não demonstraram efeitos tóxicos (letalidade) para o período de estudo.

Nos testes com a microalga *R. subcapitata* não foram observadas alterações na concentração de clorofila entre os organismos controle e expostos à água coletada ao longo dos meses. A análise de Variância (ANOVA) indicou que não há diferenças estatísticas das médias de clorofila a ( $p = 0,11$ ). Logo, essa fonte não apresenta toxicidade para a microalga, conforme apresentado na Figura 9.



**Figura 9.** Média e desvio padrão da concentração de Clorofila a (mg/L) nos bioensaios para o Ponto 1. **Fonte:** Autores (2024).

Os resultados do teste de Tukey estão dispostos na Tabela 3, que apresenta uma comparação múltipla entre os grupos, além do grupo controle. Considerando os resultados, evidencia-se que não há diferença entre nenhum dos meses amostrais. No entanto, observa-se uma tendência do aumento na concentração de clorofila nos meses de outubro (2021) e fevereiro e abril (2022) em relação ao controle e aos outros meses. Apesar disso, devido ao alto desvio entre as réplicas, essa diferença não foi significativa ( $p > 0,05$ ). Logo, embora o manancial apresente alterações em alguns dos parâmetros de qualidade, incluindo a presença de óleos e graxas, essas alterações não causaram a inibição do crescimento da *R. subcapitata*.

Portanto, de acordo com o estudo realizado por Nascimento (2022) sobre o mesmo ponto em questão (Ponto 1), não houve crescimento celular estatisticamente significativo nos pontos monitorados P2 e P9 ( $p > 0,05$ ) durante a estação seca, e apenas no ponto P2, durante a estação chuvosa, houve inibição do crescimento. Em todos os outros pontos, o crescimento celular foi observado.

**Tabela 3** – Teste de Tukey para a concentração média de Clorofila a nos meses de estudo em comparação com o controle com  $\alpha:0,05$

Coleta	Controle	Out.	Dez.	Fev.	Abr.	Jun.
Concentração média (mg/L)	212,1	361,8	229,8	330,8	398,1	200,9
1	****	****	****	****	****	****

**Fonte:** Autores (2024).

Salienta-se que não foram realizados os testes com a microalga *R. subcapitata* para os demais pontos pela falta de reagentes necessários. Foi feita a aquisição dos reagentes, porém não chegaram a tempo para repetir o ensaio no Ponto 1 e para realizar os bioensaios com os demais pontos estudados.

As características físicas e microbiológicas dos Pontos 2, 3, 4 e 5 estão descritos na Tabela 4.

**Tabela 4** – Características físicas e microbiológicas dos poços 2, 3, 4 e 5

	pH	T	TDS	CE	Tur.	<i>E. coli</i>	CT	N.S.	N.F.	NA
<b>Outubro de 2022</b>										
<b>P2</b>	6,05	28,93	46	100	2,87	16	512	4,9	5,95	1,05
<b>P3</b>	5,25	28,08	113	230	2,39	453	8.000	9,4	11,9	2,5
<b>P4</b>	5,97	28,77	-	244	2,23	17	473	4,37	5,1	0,73
<b>Dezembro de 2022</b>										
<b>P2</b>	6,06	28,28	64	121	3,54	176	9.776	4,35	6,74	2,39
<b>P3</b>	5,45	27,68	2,25	134	4,92	9	29.40 9	10,4 4	11,7 7	1,33
<b>Janeiro de 2023</b>										
<b>P2</b>	6,06	27,87	52	109	2,69	36	164	3,27	7	3,73
<b>P3</b>	5,97	24,66	92	184	1,9	112	440	13,1 2	15,7 2	2,6
<b>Março de 2023</b>										
<b>P2</b>	5,42	29,02	48	86	2,12	484	1.040	3,63	6,8	3,17
<b>P3</b>	5,87	27,49	108	216	2,45	1300	5.700	8,66	11,7 1	3,05
<b>P5</b>	3,94	29,3	209	419	1,22	3	82	Torreira		

**Nota:** pH – potencial hidrogeniônico; T – Temperatura (°C); TDS – Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L); CE – Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ); Tur – Turbidez (NTU); E. Coli – Escherichia coli (UFC/100ml); CT – Coliforme Total (UFC/100ml); N.S – Nível da superfície (metros); N.F – Nível do Fundo (metros); NA – Nível de água no poço (metros); (-) valor não mensurado. **Fonte:** Autores (2024).

Conforme apontado na Tabela 4, nota-se que os valores de pH para o Ponto 2 nos meses de outubro, dezembro e janeiro esteve acima dos valores preconizados pela PC5/MS/2017, que estabelece valores de pH entre 6,0 e 9,5. Observa-se que no mês de outubro o manancial apresentou um valor de 6,05, já nos meses de dezembro e janeiro, 6,06.

No mês de março de 2023, no Ponto 5 foi encontrado um pH de 3,94, e isso pode ocorrer em consequência da entrada de matéria orgânica no ponto de coleta por meio da lixiviação, visto que o mês de fevereiro é um mês que apresenta altos índices pluviométricos. Como as características do poço são desconhecidas, a matéria orgânica solubilizada pode percolar pelo solo, e se não houver boa vedação e estiver no nível do solo, pode ser facilmente impactado.

No período do estudo, os valores de pH para o Ponto 3 ficaram abaixo do valor preconizado pela PC5/MS/2017, que estabelece valores de pH entre 6,0 e 9,5. Em relação ao Ponto 4, o monitoramento foi interrompido em função de os donos terem tampado o poço. Já no Ponto 5, a primeira coleta ocorreu no mês de março, mas chama atenção o baixo valor de pH, de 3,94, tendo em vista que, como mencionado anteriormente, o contato com matéria orgânica animal ou vegetal tende a acidificar o meio. Levando em consideração a condutividade elétrica, 419  $\mu\text{S/cm}$  expressam uma contaminação recente, quando observados os valores e coliformes totais (82 UFC) e fecais (3 UFC), a redução do pH pode estar associada à oxidação de compostos orgânicos oriundos de efluentes domésticos e industriais.

Para o parâmetro turbidez, pode ser observado na Figura 10 que no período de seca-chéia houve uma maior variação no Ponto 3, sendo que no mês de outubro e dezembro de 2022 foram encontrados valores correspondentes ao parâmetro de 3,54 e 4,92 (NTU), respectivamente; já em janeiro e março de 2023 o manancial apresentou valores de 2,12 e 2,45 (NTU). A Resolução CONAMA n.º 396/2008 não estabelece valores orientadores, enquanto que a PC5/MS/2017 estabelece o valor máximo de 5 NTU, mas, por se tratar de uma característica física, esse padrão está associado às características organolépticas e sanitárias do manancial.

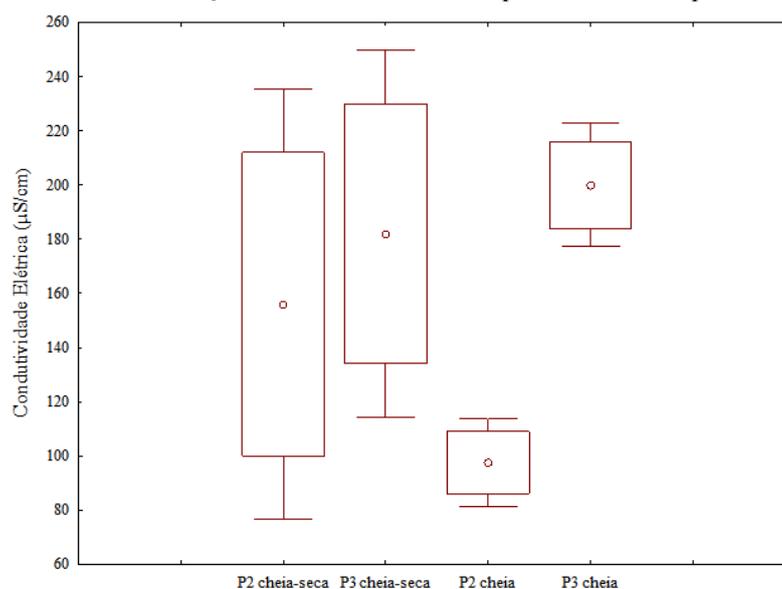
Salienta-se que em todos os pontos do estudo os valores estiveram abaixo dos valores máximos permitidos, conforme a Tabela 5, em que o menor valor de turbidez foi encon-

trado para o P5, de 1,22 NTU, mas como a água desse ponto, recalçada para um reservatório, mesmo que sendo utilizada e renovada diariamente, a ação da gravidade tende a depositar os sólidos suspensos.

Já o Ponto 3, no período da cheia, apresentou o valor de 1,9 NTU no mês de janeiro, sendo o menor registrado para o ponto, e que, no mês anterior (dezembro de 2022), apresentou um valor correspondente a 4,92. Isso pode estar associado à fertirrigação, uma vez que as moléculas orgânicas solubilizadas podem alterar os valores da transparência da água, mesmo que não seja perceptível.

No estudo realizado por Ferreira (2023), foram encontradas médias para o período de chuva iguais a 2,68 NTU para mananciais subterrâneos da região central do estado de Rondônia. Para o Ponto 2, a média de turbidez obtida foi de 2,3 NTU. O Ponto 3 apresentou um valor médio correspondente a 2,28 NTU, valor que corresponde ao período de chuvas, e se aproxima da média encontrada pelo autor.

No Ponto 2, observa-se que o valor médio de Condutividade Elétrica (CE) foi de 104  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo que o mês de março de 2023 apresentou o menor valor correspondente à condutividade, de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; no mês dezembro de 2022 o manancial apresentou um valor de 121  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo o maior valor obtido para o ponto. No Ponto de monitoramento 5, foi encontrado um valor de condutividade elétrica correspondente a 419  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando uma maior presença de sólidos dissolvidos no manancial, ou seja, no ponto há uma maior quantidade de substâncias orgânicas dissolvidas. Na Figura 10 observa-se a variação da condutividade em função da sazonalidade nos pontos 2 e 3, respectivamente.



**Figura 10.** Gráfico de Box-Plot para o parâmetro condutividade elétrica nos pontos de monitoramento 2 e 3, em relação ao período sazonal. **Fonte:** Autores (2024).

No P2, observa-se que os valores de condutividade reduziram com a transição do período seca-cheia para a cheia. Isso pode ocorrer em função do ciclo hidrológico, uma vez que a entrada de água nos lençóis subterrâneos contribui para a diluição e na dispersão de poluentes, sendo que no período de seca-cheia foi encontrado um valor médio de 156  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e no período de cheia, um valor médio de 97,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . No P3, embora tenha ocorrido uma redução da variabilidade dos valores de condutividade – o que pode ser em decorrência que no período de chuvas, em que a percolação da água no solo contribui para a movimentação de partículas orgânicas derivadas da área fertirrigada, fazendo com que aumente a concentração de íons presentes no manancial –, no período de seca-cheia foi encontrado um valor médio de 182  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e no período de cheia, um valor médio de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Considerando os parâmetros microbiológicos, pode ser observada na Tabela 5 a avaliação da presença de coliformes totais e fecais nos pontos de monitoramento.

**Tabela 5** – Resultado de coliformes totais e fecais e os valores recomendado pelas legislações.

Poços	<i>E. coli</i> (UFC)	Coliforme total (UFC)
<b>Outubro de 2022</b>		
P2	16	512
P3	453	8.000
P4	17	473
<b>Dezembro de 2022</b>		
P2	176	9.776
P3	09	29.409
<b>Janeiro de 2023</b>		
P2	36	164
P3	112	440
<b>Março de 2023</b>		
P2	484	1.040
P3	1.300	5.700
P5	03	82
PC5/MS/2017	Ausente/100ml	
CONAMA n.º 396 de 2008	Ausente/100ml	

Fonte: Autores (2024).

Não foi observado ausência de coliformes totais e fecais nos poços de estudo, em 100 ml de amostra, em razão de que todos os poços apresentam *E. Coli*, e a presença desses patógenos indica contaminação fecal recente, uma vez que a presença coliformes fecais não é natural em mananciais subterrâneos. Dessa forma, o consumo d'água desses mananciais pode transmitir doenças em decorrência da diversidade de vírus, protozoários e bactérias oriundas do efluente sanitário (Esteves, 2011; Jordão; Pessoa, 2009; Stradioto; Teramoto; Chang, 2019).

Durante o período estudado, observou-se o máximo valor de coliformes totais no mês de janeiro de 2022 nos pontos 2 e 3. No ponto 2 foi registrado um valor de 9.776 UFC/100ml durante a estação seca-cheia. Já a maior presença de *E. coli* foi identificada em março de 2023, mesmo com a residência fechada. Devido à localização em área urbana, o local pode ser facilmente contaminado por efluentes domésticos de residências vizinhas. No poço 3 houve uma grande variação na densidade de coliformes totais ao longo do período de estudo. Em outubro e dezembro de 2022, foram registrados valores de 8.000 e 29.409 UFC/100ml, respectivamente. O início da estação chuvosa pode contribuir para o aumento de microrganismos devido à entrada de material lixiviado nos poços.

O P4 registra valores de coliformes fecais e totais de 17 e 473 UFC/100ml, respectivamente. Ele está localizado próximo a três residências, embora a proximidade em relação às fossas não tenha sido determinada. Portanto, é possível que as fossas contribuam para a contaminação da água do poço monitorado. Além disso, a presença de *E. coli* com valor de 17 UFC/100ml indica uma contaminação fecal recente. No caso do P5, foram encontrados baixos valores de coliformes totais e fecais, com valores de 82 e 03 UFC/100ml, respectivamente. A água desse manancial é bombeada para um reservatório elevado, mas não há informações disponíveis sobre o tipo de poço, ou seja, se é um poço artesiano ou cimbra (poço raso).

No estudo realizado por Ramos et al. (2017) no distrito de Nova Colina (Ji-Paraná/RO), constatou-se que 100% dos poços monitorados estavam contaminados por coliformes totais e fecais, encontrando valores máximos de coliformes totais iguais a 58.000 UFC/100ml e coliformes fecais (*E. coli*) de 38.000 UFC/100ml, em que a contaminação se associa, principalmente, à precariedade do saneamento básico.

**Tabela 6** – Valores das variáveis limnológicas nos meses de estudo para os pontos 2, 3, 4 e 5

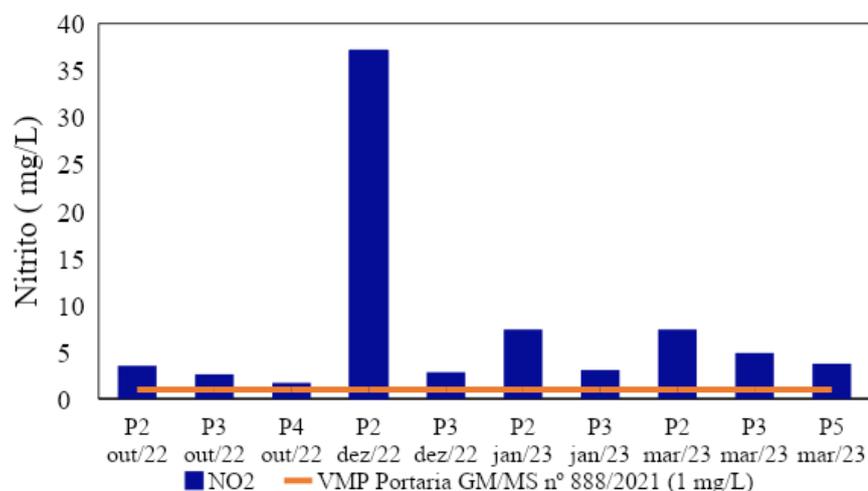
Parâmetros	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	P	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	OD	Óleos e graxas
Unidade	(mg/L)						
	Outubro de 2022						
Ponto 2	0,014	3,52	4,95	0,032	0,027	0,62	5
Ponto 3	0,019	2,61	5,35	0,024	0,026	0,34	130
Ponto 4	0,014	1,7	29,25	0,08	0,051	0,63	15
	Dezembro de 2022						
Ponto 2	0,018	37,15	5,16	0,049	0,045	0,97	12
Ponto 3	0,066	2,83	1,6	0,026	0,025	4,49	43
	Janeiro de 2023						
Ponto 2	0,017	7,38	10,99	0,012	*	4,82	1
Ponto 3	0,075	3,06	19,5	0,017	0,012	3,5	4
	Março de 2023						
Ponto 2	0,065	7,38	11,67	0,051	0,002	5,2	3
Ponto 3	0,065	4,88	18,19	0,026	0,013	5,66	*
Ponto 5	0,028	3,74	71,17	0,003	*	7,05	9

**Nota:** NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NH<sub>3</sub> – amônia; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – nitrito; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – nitrato; P – fósforo total; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> – fosfato; OD – oxigênio dissolvido; \* – abaixo do limite de detecção. **Fonte:** Autores (2024).

A PC5/MS/2017 e a CONAMA n.º 396/2008 não estabelecem valores orientadores para fósforo total e dissolvido. Mas considerando a Resolução CONAMA n.º 357/2005, que estabelece um valor máximo de 0,1 mg/L para fósforo total para corpos d'água de classe 2, observa-se que em todos os meses as concentrações estavam abaixo de 0,05 mg/L. Ressalta-se que a referida resolução trata sobre parâmetros de qualidade para águas superficiais e foi apenas citada como um fator de comparação. A Secretaria de Vigilância e Saúde delimita valores de fósforo no intervalo de 0,01 a 0,05 mg/L em águas naturais não poluídas para o consumo humano (Brasil, 2006) e, nesse parâmetro, os mananciais apresentam conformidade.

A amônia (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NH<sub>3</sub>) é o produto da mineralização do nitrogênio orgânico realizado pelas bactérias. As altas concentrações podem estar relacionadas à hidrólise ou à fermentação da ureia (excreção de animais). No meio ácido, a amônia formada é instável e logo é oxidada para nitrito e nitrato (Esteves, 2011).

Em relação aos valores de amônia (Tabela 6), em todos os meses os valores estiveram dentro dos limites máximos estabelecidos pela PC5/MS/2017, de 1,2 mg/L. Na Figura 11 estão indicados os valores de nitrito para os pontos de monitoramento em estudo.

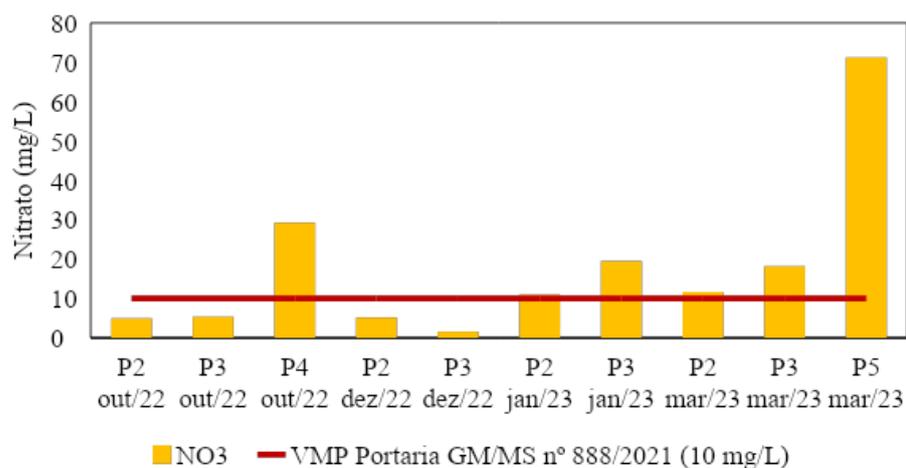


**Figura 11.** – Valores de nitrito da água subterrânea nos meses de estudo e o valor máximo de 1 mg/L estabelecido pela PC5/MS/2017 (linha laranja). **Fonte:** Autores (2024).

É possível observar na Figura 11 que 100% do período de monitoramento os pontos estudados apresentaram valores de nitrito acima dos preconizados pela PC5/MS/2017. No mês de dezembro de 2022, no Ponto 2 foi obtida uma concentração de nitrito correspondente a 37,15 mg/L. Os altos valores de nitrito expressam uma indicação de contaminação recente e, considerando ser uma forma instável na natureza, é um produto intermediário entre a amônia e ao nitrato (Esteves, 2011). Ao ingerir água desse manancial, pode-se colocar em risco a saúde humana, principalmente em decorrência da associação do nutriente quando ingerido em grandes quantidades, pode reagir com as aminas e formar substâncias que causam câncer gastrointestinal.

O nitrato tem origem antrópica e a presença do nutriente está associado a atividades urbanas e industriais e, como já mencionado, o município ainda não dispõe de serviço de esgotamento sanitário, assim, o lançamento de efluentes sanitários em fossas rudimentares vem impactando os mananciais urbanos (Helbel; Nunes; Marchetto, 2009; Laureano et al., 2020; Ramos et al., 2021; Silva; Andrade; Webler, 2019).

Na Figura 12, estão indicados os valores de nitrato encontrados nos pontos de monitoramento estudado.



**Figura 12.** – Valores de nitrato na água subterrânea nos meses de estudo e o valor máximo de 10 mg/L estabelecido pela PC5/MS/2017 (linha vermelha). **Fonte:** Autores (2024).

A presença do nitrato em altas quantidades na água destinada para o consumo humano desperta atenção ao ocasionar a metemoglobinemia, sendo um distúrbio sanguíneo

no qual as hemácias tornam-se incapazes de transportar oxigênio para as células (ATSDR, 2011; USEPA, 2007).

Tanto no Ponto 2 quanto no Ponto 3, observa-se que os valores de nitrato aumentaram à medida que houve a transição do período seca-chuva para o mês de chuva, o que indica que o período chuvoso favorece a lixiviação, percolação e o carreamento de partículas orgânicas. O Ponto 5 apresentou um valor correspondente de 71,17 mg L<sup>-1</sup>, apresentando desconformidade com as legislações de proteção ambiental.

Como já mencionado, diferentes bactérias agem no processo na oxidação da amônia, considerando que a nitrificação é um processo aeróbico e que em todos os meses de estudo no manancial havia disponibilidade de oxigênio dissolvido (Tabela 7). Sendo assim, é possível observar que nos mananciais há processos dissimilatórios do nitrato em nitrito, e isso pode ocorrer em consequência da entrada de matéria orgânica, ou seja, as bactérias presentes no efluente doméstico utilizam o oxigênio presente nas formas nitrogenadas para a degradação da matéria orgânica, sendo um processo dinâmico que depende da entrada de matéria orgânica no sistema, em que o nitrato é um elemento mais estável em pH ácido, sendo assim, encontrado em maiores quantidades, quando comparados aos valores de nitrito.

Portanto, é possível observar que o manancial apresenta indícios de contaminação orgânica por efluentes domésticos e industriais e que o consumo dessas fontes deve ser evitado, uma vez que possa vir a colocar em risco a saúde humana. Mesmo não sendo observados efeitos ecotoxicológicos ao organismo *A. inaequalis*, os sistemas rudimentares de disposição de esgoto doméstico e a contaminação das fontes para o consumo humano despertam grande preocupação quanto à qualidade dos mananciais subterrâneos do município de Ji-Paraná

#### 4. Conclusão

Os pontos de monitoramento apresentam resultados importantes em relação à qualidade do padrão microbiológico ao comparar os resultados obtidos com as legislações nacionais, como a PC5/MS/2017, que trata da potabilidade da água para consumo humano, e a CONAMA n.º 396/2008, que observa que todos os pontos contêm a presença de coliformes totais e fecais. Tal resultado reflete a ausência de saneamento básico no município, em que a destinação de efluentes domésticos para fossas negras ou sumidouros alteram as características dos mananciais subterrâneos.

Embora essas normativas não apresentem valores orientadores para o fósforo, a Resolução CONAMA n.º 357/2005 estabelece uma concentração de 0,1 mg/L para o fósforo total. Dessa maneira, os valores encontrados no Ponto 1 estão acima do estabelecido pela PC5/MS/2017, o que evidencia uma contaminação da água subterrânea.

Um ponto que desperta atenção é a contaminação por óleos e graxas tanto no Ponto 1 quanto no Ponto 3, um reflexo da percolação, lixiviação de efluentes contaminados. A oxidação desses compostos pode ter contribuído para a diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido nesse período. A Resolução CONAMA n.º 357/2005 preconiza que em corpos hídricos de classe 1, 2 e 3 seja ausente a presença de óleos e graxas. Mais uma vez ressalta-se que essa resolução trata de águas superficiais, no entanto, pela ausência de parâmetros reguladores na Resolução CONAMA n.º 396/2008, entende-se que é possível evidenciar, pela resolução, a importância da ausência desses contaminantes na água, principalmente considerando seus usos múltiplos.

A Resolução CONAMA n.º 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, estabelece que efluentes de qualquer fonte, óleos e graxas de origem animal ou vegetal não devem ultrapassar uma concentração de 50 mg/L, em decorrência dos efeitos tóxicos ao ambiente e à saúde humana, assim, o consumo de fonte contaminada por óleos e graxas ao longo dos anos pode causar efeitos deletérios.

Os pontos de monitoramento 2, 3, 4 e 5 apresentam fortes impactos por material orgânico, uma vez que para o parâmetro nitrito todos os pontos apresentam valores acima

dos preconizados pela Resolução CONAMA n.º 396, de 2008, e PC5/MS/2017, e o consumo dessa fonte pode vir a causar efeitos nocivos à saúde humana.

Os testes ecotoxicológicos realizados com o *A. inaequalis* e a *R. subcapitata* no manancial em estudo revelaram que, apesar de haver evidências de contaminação, não foram encontrados efeitos de letalidade (no caso do *A. inaequalis*) ou de inibição de crescimento (no caso da *R. subcapitata*).

Portanto, embora não apresente efeitos nos organismos, tendo em vista que foi analisada apenas a letalidade e a inibição de crescimento dos organismos, a mudança ambiental pode ser sentida por outro organismo. Por exemplo, na comunidade fitoplanctônica que, conseqüentemente, irá causar efeitos ao zooplâncton, aos produtores primários e às demais estruturas ecossistêmicas. O consumo desse manancial sem um tratamento deve ser evitado, uma vez que óleo e graxa podem causar efeitos à saúde humana pela ingestão dessa fonte ao longo do tempo. Ressalta-se que o manancial apresentou níveis de contaminação microbiológica, que, ao passar do tempo, podem ser mais significativos, podendo causar prejuízos à saúde dos consumidores dessa água, além de comprometer a qualidade ambiental do manancial subterrâneo.

**Conflitos de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Referência bibliográfica

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G., (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (2021). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Recuperado de: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2021>>. (Acessado em 29/02/2022).
- APHA, AWWA, WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Edition 23. Washington.
- ATSDR- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE REGISTRY. (2011) Nitrates and Nitrites Division of Toxicology and Environmental Medicine ToxFAQs. Recuperado de: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=1186&tid=258>> (Acessado 04/04/2023).
- Augusto, Lia G. S., Gurgel, I. G. D., Neto, H. F. C., Melo, C. H., Costa, A. M. (2012). O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, n. 6, p. 1511–1522. doi: 10.1590/S1413-81232012000600015
- Bertolo, R. A.; Hirata, R.; Aly Junior, O., (2019). Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo. *Águas Subterrâneas*, v. 33, n. 3, p. 303–313. doi: 10.14295/ras.v33i3.29479
- Bonfim, O. E. T., Silva, D. F. da., Kayano, M. T., Rocha, L. H. S., (2021). Análise dos Eventos Climáticos Extremos e de Suas Causas Climáticas para Redução de Riscos nas Bacias Hidrográficas Aguapeí e Peixe, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, p. 755–768. doi: 10.1590/0102-7786355000004.
- BRAGA, B. et al. (2005). *Introdução a Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável*. 2º Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 318p.
- Brasil. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2011). ABNT NBR 15.515 - 1, dispõe sobre os passivos ambientais em solo e na água subterrânea, Parte 1 - Avaliação preliminar. Rio de Janeiro – RJ.
- Brasil. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2011). ABNT NBR 15.515 - 2, dispõe sobre os passivos ambientais em solo e na água subterrânea, Parte 1 - Investigação confirmatória da contaminação. Rio de Janeiro - RJ.
- Brasil. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2011). ABNT NBR 15.515 - 3, dispõe sobre os passivos ambientais em solo e na água subterrânea, Parte 3 - Investigação detalhada. Rio de Janeiro - RJ.
- Brasil. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12.648 – Ecotoxicologia aquática - Toxicidade Crônica - Método de Ensaio com Algas. Rio de Janeiro-RJ, 2018.
- Brasil. CONAMA nº 273. (2000). Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. Publicada no DOU nº 5, de 8 de janeiro de 2001, Seção 1, páginas 20-23.
- Brasil. Portaria GM/MS Nº 888. (2021). Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, n. 85, p. 127.

- Brasil. Resolução CONAMA n° 357. (2005). Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para seu enquadramento. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, n° 053, p. 58-63.
- Brasil. Resolução CONAMA n° 396. (2008). Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Diário Oficial da União, n. 66, p. 66.
- Brasil. Resolução CONAMA n° 430. (2011). Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Diário Oficial da União, n. 93.
- Braz, S. N., Longo, R. M., (2021). Qualidade ambiental das cidades: uso de bioindicadores para avaliação da poluição atmosférica. Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares, v. 2. doi: 10.24220/2675-7885v2e2021a5198
- Carneiro, G. C. A., Dias, D. A. F., Fonseca, E. R., Gonçalves, J. A. C., (2020). Contaminação das águas subterrâneas por compostos orgânicos na bacia hidrográfica do rio das Velhas, no estado de Minas Gerais, Brasil. Research, Society and Development, v. 9, n. 10, p. e3109108536: doi: 10.33448/rsd-v9i10.8536.
- Cetesb. Relatório de qualidade de águas superficiais: Apêndice D Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. CETESB, Recuperado de: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>. (Acessado em 15/03/2023)
- Chaves, M. Dos S.; Filho, J. R. A.; Bender, S. (2022). Development of natural bar soap containing lavender and melaleuca essential oil. Research, Society and Development, v. 11, n. 15. doi: 10.33448/rsd-v11i15.37249
- Companhia de Água e Esgoto De Rondônia - CAERD. (2020). Número de ligações ativas no município de Ji-Paraná. Documento de circulação interna – Ofício.
- Corbi, J. J., Gorni, G. R., Correa, R. C., (2015). An evaluation of *Allonais inaequalis* Stephenson, 1911 (Oligochaeta: Naididae) as a toxicity test organism. Ecotoxicol. Environ. Contam. v. 10, n. 1, p. 7–11. doi: 10.5132/eec.2015.01.02
- Costa, I., Saldanha, E. C., Monte, C. N., (2020). A sazonalidade de contaminantes em águas subterrâneas e superficiais entorno de um aterro sanitário na região Amazônica. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 11, n. 6, p. 371–382. doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.006.0030
- EPA – United States Environmental Protection Agency (1971). Nitrogen, Nitrate (Colorimetric, Brucine). Technical Resource Document, EPA/600/4-79/020 Recuperado de: <[https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method\\_352-1\\_1971.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_352-1_1971.pdf)>. (Acessado em 15/03/2021)
- Esteves, F. A. (2011) Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. Editora Interciência, v. 3 edição, Reimpressão: Rio de Janeiro.
- Fearnside, P. M. (2006) Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. Acta Amazônica, v. 36, n. 3, p. 395–400, doi: 10.1590/S0044-59672006000300018
- Felipe, M. C., Bernegossi, A. C., Castro, G. B., Pinheiro, F. R., Nadai, B. L., Cardoso-Silva, B. N., Corbi, J. J. (2020). The use of an *Allonais inaequalis* reproduction test as an ecotoxicological bioassay. Ecotoxicology, v. 29, n. 5, p. 634–638. doi: 10.1007/s10646-020-02232-1
- Ferreira, R. F. (2013). Avaliação da qualidade da água utilizada por produtores de polpa de fruta na região central de Rondônia. Ji-Paraná-RO, UNIR, 2013. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia.
- Fortes, A. C., Barrocas, P. R. G., Kligerman, D. C., (2019). A vigilância da qualidade da água e o papel da informação na garantia do acesso. Saúde em Debate, v. 43, n. spe3, p. 20–34, doi: 10.1590/0103-11042019s302
- Freitas, A. R. de. (2022) Degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio das Antas, Sudeste do Paraná. Revista Geografias, v. 16, n. 1, p. 22–42, 15 abr. doi: 10.1590/0103-11042019S302
- Heller, L.; Pádua, V. L. (2010). Abastecimento de água para consumo. 3ª Edição. Belo Horizonte: UFMG.
- Hess, C., Meleiro, A., Augusto, L., Meleiro, C., Mendes, M. F., Rosa, M., Nascimento, F., Teixeira, B. A., (2021). Caracterização de óleo rico em compostos bioativos extraído do descarte das agroindústrias de tomate. Brazilian Journal of Health Review, v. 4, n. 1, p. 646–660. doi: 10.34119/BJHRV4N1-055
- IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. (2010) Ingested nitrate and nitrite. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, v. 94.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2023) IBGE CIDADES. Recuperado de: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/ji-parana>. (Acessado em 15/03/2023).
- JI-PARANÁ. Lei Municipal n° 3464. (2021) Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Ji-Paraná, revisa e atualiza o Plano Diretor do Município e dá outras providências. Câmara Municipal de Ji-Paraná. Recuperado de: <https://transparencia.ji-parana.ro.gov.br/transparencia/index.php?link=aplicacoes/publicacao/frmpublicacao&grupo=&nomeaplicacao=publicacao>. (Acessado em 14/03/2023).

- Jordão, E. P.; Pessoa, C. A. (2009). Tratamento de esgotos domésticos. Rio De Janeiro: Synergia.
- Jury, W. A., Vaux, H. (2005). The role of science in solving the world's emerging water problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 102, n. 44, p. 15715–15720, doi: 10.1073/pnas.0506467102.
- Kobori, C. N., Jorge, N., (2005). Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 5, p. 1008–1014, doi: 10.1590/S1413-70542005000500014.
- Laureano, J. J., Mendonça, A. G., Lopes, D. S., Sousa, L. M., Lima, T. O., Rosa, A. L. D., Bastos, W. R., Nascimento, E. L., (2020). Análise da qualidade da água subterrânea. *Águas Subterrâneas*, v. 35, n. 1, p. 1–15. doi: 10.14295/ras.v35i1.29972
- Leite, C. M. C., Wendland, E., Gastmans, D., (2021). Caracterização hidrogeoquímica de águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público na porção nordeste do Sistema Aquífero Guarani. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 1, p. 29–43, doi: 10.1590/s1413-415220190087
- Lima, S. D. de., Oliveira, A. F. de., Golin, R., Caixeta, D. S., Lima, Z. M de., Moraes, E. B. de., (2017). Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 12, n. 2, p. 299. doi: 10.4136/ambi-agua.1872
- Melo Júnior, H. D. S., Ribeiro, R. D. R., (2021). DE ONDE O GELO DERRETE TAMBÉM É AMAZÔNIA. *Terceira Margem Amazônica*, v. 6, n. 16, p. 65–83, 12 fev. doi: 10.36882/2525-4812.2021v6i16.ed.esp.p65-83
- Melo Junior, H. R.; Costi, A. C. Z. (2004). AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR HIDROCARBONETOS PROVENIENTES DE POSTO DE ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEL NA VILA TUPI, PORTO VEELHO (RO). *Águas Subterrâneas*. Recuperado de: <https://aguassubterraneas.abas.org/>. (Acessado em 14/04/2023).
- Metcalf, L.; Eddy, H. (2016) Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5º ed. Porto Alegre: AMGH.
- Mingoti, R., Spadotto, C. A., Moraes, D. A. de C., (2016). Suscetibilidade à contaminação da água subterrânea em função de propriedades dos solos no Cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1252–1260. doi: 10.1590/s0100-204x2016000900025
- Moura, P. G., Aranha, F. N., Handam, N. B., Martin, L. E., Salles, M. J., Carvajal, E., Jardim, R., Sotero-Martins, A., (2020). Água de reuso: uma alternativa sustentável para o Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 6, p. 791–808, 18 dez. doi: 10.1590/S1413-4152202020180201
- Nascimento, E. L. (2022). Ensaio de toxicidade e avaliação química da água subterrânea de áreas potencialmente contaminadas do Estado de Rondônia: uma abordagem para avaliação de risco. Relatório de pós-doutorado apresentado a universidade de São Paulo – USP (Núcleo de Ecotoxicologia e Ecologia Aplicada – (NEEA).
- Nascimento, R. J. S., Couri, S., Antoniassi, R., Freitas, S. P., (2008). Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n. 2, p. 498–502. doi: 10.1590/S0100-29452008000200040
- Nunes, M. L. A., Gomes, J. B. Webler, A. D., Andrade, N. L. R., Marchetto, M., (2012). COMPROMETIMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA POR NITRATOS. *Núcleos*, v. 9, n. 1, p. 63–72, 30 abr. 2012.
- OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. (2008). Bioaccumulation in Sedimente Dwelling Benthic Oligochaetes. GUIDELINES FOR THE TESTING OF CHEMICALS. OECD/OCDE 315.
- Ramos, C. F., Laureano, J. J., Rosa, A. L. D. da., Gomes, B. M., Gomes, J. P. O., Oliveira, G. A., Mendonça, A. P., Bastos, W. R., Nascimento, E. L., (2021) Avaliação da qualidade da água subterrânea no município de Ji-Paraná, Rondônia, região Amazônica brasileira. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 7, p. 225–235. doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0021
- Rocha, O., Neto, A. J. G., Lima, J. C. S., Freitas, E. C., Miguel, M., Mansano, A. S., Moreira, R. A., Daam, M. A., (2018). Sensitivities of three tropical indigenous freshwater invertebrates to single and mixture exposures of diuron and carbofuran and their commercial formulations. *Ecotoxicology*, v. 27, n. 7, p. 834–844. doi: 10.1007/s10646-018-1921-9
- Rondônia. SECOM - Secretaria de Estado e Comunicação. (2021). Ji-Paraná, aos 44 anos de criação, consolida-se na condição de segundo maior município de Rondônia. Recuperado de: <<https://rondonia.ro.gov.br/ji-parana-aos-44-anos-de-criacao-consolida-se-na-condicao-de-segundo-maior-municipio-de-rondonia/>> (acessado em: 13/05/2023).
- SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL (SEDAM). Plano Estadual de Recursos Hídricos. Porto Velho, 2019. Recuperado de < <https://rondonia.ro.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/RELATORIO-FINAL.pdf>> (Acessado em 09/07/2022).
- Silva, D. D., Migliorini, R. B., Silva, E. C. Lima, Z. M., Moura, I. B., (2014). Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: Região do bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 43–52. doi: 10.1590/S1413-41522014000100005

- Silva, D. P. P. da., Andrade, N. L. R. de., Webler, A. D., (2019). Qualidade da água de nascentes urbanas: estudo de caso em micro-bacia Amazônica, município de Ji-Paraná/RO. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 10, n. 3, p. 90–102. doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0009
- Silva, D. P. S., Carriço, C. Barbosa, J. V., Caetano, R. L., Beck, L., Pinto, Z. T., (2022) Contaminação de águas superficiais e subterrâneas pelo derramamento de combustíveis e suas possíveis remediações. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 2, p. 8557–8572. doi: 10.34117/bjdv8n2-010
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Municípios e Saneamento (2020). Recuperado de: [www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/fontes-notas-tecnicas#snis](http://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/fontes-notas-tecnicas#snis). (Acessado em: 24/03/2023).
- SPERLING, M. V. (2014). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte - MG: UFMG.
- Stradioto, M. R., Teramoto, E. H., Chang, H. K., (2019). Nitrato em águas subterrâneas do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, v. 40, n. 3, p. 1–12 doi: 10.33958/revig.v40i3.672
- TUNDISI, J. G., (2008). Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 7–16. doi: 10.1590/S0103-40142008000200002
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. (2008). *Limnologia I*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 632.
- USEPA - U.S.A. Environmental Protection Agency. (2007). Nitrates and Nitrites: TEACH Chemical Summary. Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health. Recuperado de: <[http://www.epa.gov/teach/chem\\_summ/Nitrates\\_summary.pdf](http://www.epa.gov/teach/chem_summ/Nitrates_summary.pdf)> (Acessado em 05/04/2023).
- Vargas, T., Sgorla, V., Belladonna, R., Vedana, L. A., (2023). Mapas de zonas potenciais de recarga da água subterrânea como uma nova ferramenta para a segurança hídrica do abastecimento público. *Águas Subterrâneas*, v. 37, n. 1, p. 29–43. doi: 10.14295/ras.v37i1.30152
- Ward, M. H., Kilfoy, B. A., Weyer, P. J., Anderson, K. E., Folsom, A. R., Cerhan, J. R., (2010). Nitrate Intake and the Risk of Thyroid Cancer and Thyroid Disease. *Epidemiology*, v. 21, n. 3, p. 389–395. doi: 10.1097/EDE.0b013e3181d6201d
- Webler, A. D., Gomes, J. B., Aguiar, R., G., Andrade, N. L. R. de., Aguiar, L. J. G., (2013) Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 8, p. 868–876, ago. 2013. doi: 10.1590/S1415-43662013000800011
- ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (2006). *Ecotoxicologia aquática – Princípios e aplicações*. São Carlos.
- Zákhia, E. M. S., Alvarenga, L. A., Tomasella, J., Martins, M. A., Santos, A. C. N., Melo, P. A., (2022). Impactos das Mudanças Climáticas em uma Bacia Hidrográfica no Sul do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 36, n. 4, p. 667–681, doi: 10.1590/0102-7786360002