

Avaliação da influência do uso e ocupação do solo na qualidade e ecotoxicidade das águas de nascentes em áreas de preservação permanente no município de Irati-PR

Assessment of the influence of land use and occupation on water quality and ecotoxicity of spring waters in permanent preservation areas in the municipality of Irati-PR

Marcelo Adriano Ginko¹ , Kely Viviane de Souza¹ , Guilherme Gavlak¹ , Kelly Geronazzo Martins¹ 

¹Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Irati, PR, Brasil. E-mails: marceloginko10@gmail.com, kelyvdesouza@gmail.com, guilhermegavlak2009@hotmail.com, kellygm77@gmail.com

Como citar: Ginko, M. A., Souza, K. V., Gavlak, G., & Martins, K. G. (2025). Avaliação da influência do uso e ocupação do solo na qualidade e ecotoxicidade das águas de nascentes em áreas de preservação permanente no município de Irati-PR. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 22, e20. <https://doi.org/10.21168/rega.v22e20>.

RESUMO: Este estudo investiga a relação entre o uso do solo e a qualidade da água em nascentes da bacia do Rio das Antas, no município de Irati (PR), com ênfase nas Áreas de Preservação Permanente (APPs). A pesquisa destaca o papel dessas áreas na conservação dos recursos hídricos e da vegetação nativa, além dos impactos causados pela ocupação antrópica. Foram analisadas 11 nascentes, cujas amostras de água passaram por avaliações físicas, químicas e microbiológicas, seguindo metodologias padronizadas. A ecotoxicidade foi testada com neonatos de *Daphnia magna*, e o entorno das nascentes foi mapeado por meio do software Google Earth Pro, classificando o uso do solo em quatro categorias: preservado, urbano, agropecuário e solo exposto. Os resultados demonstraram variações significativas na qualidade da água, com algumas nascentes apresentando conformidade com os parâmetros de potabilidade, enquanto outras mostraram contaminação microbiológica, sobretudo por coliformes termotolerantes. A análise evidenciou que a qualidade da água está fortemente associada ao uso e ocupação do solo nas APPs, sendo melhor em áreas preservadas. Esses achados reforçam a importância da proteção e recuperação das APPs para garantir a integridade dos corpos hídricos. O estudo conclui que a conservação dessas áreas é essencial para assegurar a disponibilidade de água de qualidade, indispensável para a saúde humana, o equilíbrio dos ecossistemas e o planejamento ambiental, além de evidenciar a urgência de políticas públicas eficazes voltadas à gestão sustentável dos recursos naturais.

Palavras-chave: Qualidade da água; Uso do solo; Ecotoxicidade; *Daphnia Magna*; APP.

ABSTRACT: This study investigates the relationship between land use and water quality in springs located in the Rio das Antas watershed, in the municipality of Irati, Paraná (Brazil), with a focus on Permanent Preservation Areas (PPAs). The research highlights the role of these areas in conserving water resources and native vegetation, as well as the impacts caused by anthropogenic land occupation. Eleven springs were analyzed, with water samples subjected to physical, chemical, and microbiological assessments, following standardized methodologies. Ecotoxicity was evaluated using *Daphnia magna* neonates, and the surroundings of the springs were mapped using Google Earth Pro software, classifying land use into four categories: preserved, urban, agricultural, and exposed soil. The results showed significant variations in water quality, with some springs meeting drinking water standards, while others exhibited microbiological contamination, particularly by thermotolerant coliforms. The analysis revealed a strong relationship between water quality and land use within PPAs, with better conditions observed in preserved areas. These findings reinforce the importance of protecting and restoring PPAs to ensure the integrity of water bodies. The study concludes that conserving these areas is essential to guarantee the availability of high-quality water, which is vital for human health, ecosystem balance, and environmental planning. It also underscores the urgency of implementing effective public policies aimed at the sustainable management of natural resources.

Keywords: Water Quality; Land Use; Ecotoxicity; *Daphnia Magna*; PPA.

Recebido: Abril 08, 2025. Revisado: Julho 24, 2025. Aceito: Setembro 24, 2025.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença [Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

A conservação dos recursos hídricos e a preservação dos ecossistemas aquáticos representam desafios cruciais para a gestão ambiental, especialmente em regiões onde a pressão do uso do solo é significativa. As Áreas de Preservação Permanentes (APPs) desempenham um papel crucial na salvaguarda da vegetação autóctone em regiões específicas, visando manter um equilíbrio adequado no uso do solo, que deve ser mantida com sua cobertura vegetal original. No entanto, as APPs enfrentam atualmente extensas deteriorações devido à intensificação das pressões humanas sobre o meio ambiente. Esse cenário é evidenciado pelo processo de substituição de paisagens naturais por outros usos e ocupações do solo, resultando na transformação de áreas originalmente florestadas em fragmentos florestais. Esse fenômeno compromete significativamente o ecossistema e, em muitos casos, impacta a disponibilidade de recursos naturais essenciais para a vida (Espírito Santo, 2006).

A utilização do solo, abrangendo tanto o tipo de vegetação quanto as atividades humanas, exerce influência direta na produção de água. Este é um fator de extrema importância a ser ponderado no gerenciamento de bacias hidrográficas, uma vez que a produção de água pode ser significativamente modificada, para o bem ou para o mal, dependendo da natureza da vegetação e das práticas adotadas pelo ser humano na região (Cicco & Fujieda, 1992).

Embora a água de nascentes seja frequentemente presumida como potável e utilizada sem tratamento prévio, a associação automática das nascentes com ambientes naturais intocados não é precisa. É essencial compreender as características específicas das nascentes para avaliar adequadamente seu grau de vulnerabilidade e pureza. A qualidade da água é determinada por suas propriedades químicas, físicas e biológicas, as quais refletem as condições naturais do ambiente. Compreender essas características é crucial para obter insights sobre os impactos antrópicos que os corpos hídricos podem estar sofrendo, permitindo a implementação de medidas de controle, quando necessário, na região em questão (Oliveira et al., 2020).

Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água podem ser influenciados por uma variedade de fatores, incluindo elementos naturais inerentes ao ecossistema e intervenções de origem humana. A qualidade da água reflete variações espaciais e temporais notáveis associadas à dinâmica dos parâmetros físicos, químicos e biológicos (Nascimento et al., 2019). Também, A avaliação ecotoxicológica da qualidade da água envolve a realização de testes laboratoriais e estudos de campo que medem os efeitos dos poluentes na saúde e no comportamento de organismos aquáticos, incluindo peixes, invertebrados, algas e micro-organismos. Esses estudos são fundamentais para a identificação e avaliação de riscos ambientais, permitindo a determinação dos impactos potenciais das substâncias químicas na vida aquática (Forbes & Calow, 1999).

Assim, o presente estudo visa abordar a influência complexa e interconectada do uso e ocupação do solo sobre as nascentes em uma bacia do Estado do Paraná, contribuindo para o entendimento das dinâmicas ambientais locais e para o embasamento de estratégias de manejo e conservação. A análise cuidadosa desses fatores críticos é fundamental para garantir a preservação de um dos recursos naturais mais preciosos e vulneráveis do nosso planeta: a água.

Portanto, o presente estudo buscou avaliar a influência do uso e ocupação do solo na APP de nascentes do município de Irati-PR na qualidade e ecotoxicidade das suas águas utilizando de parâmetros de qualidade da água e ensaios de biomonitoramento por meio de neonatos de *Daphnia Magna*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

A área de estudo pertence a um trecho da Bacia Hidrográfica do Rio das Antas que está localizado no município de Irati, na região centro-sul do estado do Paraná. O município possui uma área total de 1000 km² está a 820m acima do nível do mar. A área abrange a Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, entre as coordenadas Datum Sirgas 2000, UTM 22J, 538023,42m - 7178548,38m e 543948,66m - 7200836,07m, abrange os municípios de Irati, Imbituva, Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares (Dariva, 2021). O clima regional é classificado como Cfb, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger (1928), apresentando uma variação média de temperatura entre 11,0°C (junho) e 24,2°C (janeiro), com uma média mensal de precipitação de cerca de 150 mm.

A Bacia do Rio das Antas faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi e está classificada na classe 2, conforme estabelecido pela Portaria da Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Paraná (Paraná, 1991 citado por Dariva, 2021). O Rio das Antas, que constitui o principal curso d'água

da bacia, tem sua nascente na serra do Nhapindazal e percorre a maior parte de seu trajeto pela área urbana, desaguando posteriormente no Rio Imbituvão, o principal corpo hídrico do município de Irati (Andrade & Felchak, 2009 citado por Dariva, 2021). A localização da Bacia do Rio das Antas está apresentada na Figura 1.

Adoção dos pontos de amostragem e coleta das amostras

A adoção dos pontos de amostragem foi realizada por meio de consultas em cartas topográficas disponíveis no site do órgão ambiental do estado do Paraná, o Instituto Água e Terra, assim como análise da topografia do terreno e conhecimento popular. Após este levantamento inicial, foram definidos possíveis locais onde ocorreriam afloramentos de água, então, realizou-se uma diligência até cada uma das localidades, com o objetivo da verificação in loco das nascentes e posteriormente realizado o georreferenciamento por meio da utilização de um GPS GARMIN modelo etrex 20x. A partir disso, foram definidas 11 nascentes localizadas na parte alta da Bacia do Rio das Antas. A localização dos pontos de amostragem está apresentada na Figura 2.

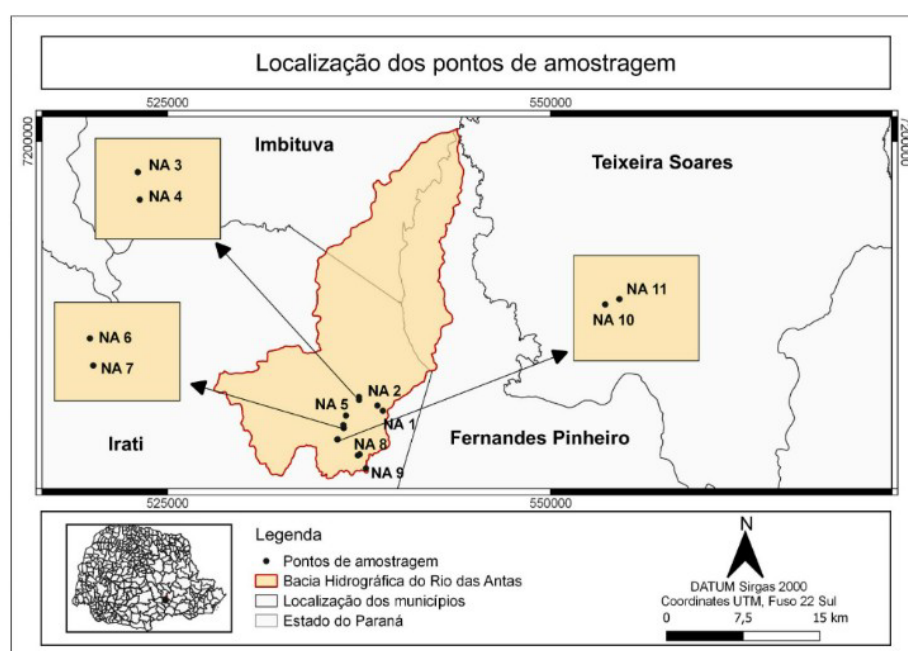


Figura 1 – Localização das nascentes avaliadas na Bacia do Rio Das Antas.

*NA refere-se a Nascente

Fonte: Autores (2023)

As amostras de água de todas os pontos de amostragem foram coletadas no mesmo dia com a finalidade de não haver influência climatológica nos dados. Assim como, obedeceu-se a condição de não haver chuva em pelo menos 5 dias consecutivos na bacia hidrográfica. Cabe destacar que os recipientes utilizados para as coletas foram previamente autoclavados.

Análises da qualidade da água

Após as coletas, as amostras foram submetidas a análises laboratoriais apresentadas na Tabela 1, seguindo as metodologias descritas no Standard Methods for water and wastewater analysis techniques (American Public Health Association, 2023).

Avaliação ecotoxicológicas das amostras de água

Posteriormente a coleta das amostras de água das nascentes da Bacia do Rio das Antas, realizou-se as análises ecotoxicológicas com o intuito de avaliar a toxicidade aguda das amostras coletadas, utilizando neonatos do microcrustáceo *Daphnia magna*, que são conhecidos por sua alta sensibilidade à poluição ambiental. Para a realização dos ensaios, foram seguidas as normas adaptadas da NBR 12.713, datada de janeiro de 2022. Em cada ensaio, foram utilizados 5 neonatos de *Daphnia magna* com idades

variando de 2 a 26 horas os quais foram colocados em béqueres contendo 50 ml de amostra de água coletada em cada ponto de análise e permaneceram sob observação por um período de 48 horas. Os ensaios foram conduzidos em duplicata, e não houve necessidade de diluir as amostras, uma vez que elas foram coletadas diretamente das nascentes estudadas.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na caracterização das amostras de água.

Parâmetros avaliados	Unidades
Nitrogênio total (N)	(mg/L)
Fósforo total (P)	(mg/L)
Alcalinidade	mg/L de CaCO ₃
Turbidez	NTU
Cor aparente	UC
Condutividade elétrica	µS/cm
Escherichia coli	UFC/100ml
Coliformes totais	UFC/100ml
pH	

Qualquer amostra que demonstrasse diferença estatisticamente significativa em relação ao controle negativo foi considerada como tendo efeito tóxico. As leituras das análises foram realizadas de maneira minuciosa, observando atentamente qualquer sinal de lentidão, imobilização, mortalidade ou mudanças no comportamento dos crustáceos após 24 e 48 horas de exposição. Para assegurar a veracidade e confiabilidade dos dados, foram realizadas análises adicionais, incluindo o controle positivo e negativo.

Avaliação do uso e ocupação do solo da área de estudo

O levantamento de dados de uso e ocupação do solo foi realizado com o auxílio do software Google Earth Pro onde foram localizadas as áreas de estudo, inserindo as coordenadas geográficas específicas no campo de pesquisa do software. Foram adicionadas as camadas de imagens de satélite, as quais foram utilizadas as mais próximas da data de coleta e não excederam uma diferença de 30 dias e demais informações geográficas. Posteriormente realizou-se a delimitação de um raio de 50 metros a partir da coordenada de interesse, por meio das ferramentas de medição disponíveis no software adicionando um polígono

Após a delimitação do buffer de 50 metros de raio, procedeu-se à análise visual da área de estudo observando as características como áreas urbanas, cobertura vegetal, corpos d'água, estradas, edifícios e campos agrícolas, a fim de identificar diferentes usos e ocupações do solo. Ainda, foi considerada a experiência in loco no momento de identificar os usos e ocupações do solo, para garantir que os diferentes aspectos observados em campo correspondem com os definidos no software, a fim de impossibilitar erros no momento da classificação. Os diferentes usos e ocupações do solo foram mensurados em porcentagem de área coberta nos seguintes grupos:

- Preservado: corresponde a áreas com vegetação em estágio médio e avançado de sucessão ecológica, sendo característico pela presença de árvores e livre de ocupação humana.
- Urbano: para este grupo considerou-se as áreas com construção civil, vias urbanas e rurais.
- Agropecuária e Silvicultura: áreas voltadas a produção animal, como suínos, bovinos, aves e também tanques artificiais para fins de piscicultura recreativa ou extensiva. Áreas destinadas produção madeireira, através de plantio espaçado de espécies exóticas, tais como Pinus e Eucalipto, também foram contabilizadas nessa classe.
- Solo exposto: áreas livres de ocupação e sem vegetação.

Análise estatística dos dados

Com a finalidade de verificar se as nascentes estudadas apresentam similaridade e, portanto, formam grupos conforme os parâmetros investigados, uma análise de componentes principais foi efetuada.

Para assegurar os agrupamentos formados, análises de variância com um fator (grupo), foram efetuadas para cada variável amostrada, as médias foram asseguradas pelo teste de Fischer, assim como a correlação pelo coeficiente de Spearman. Para todas as análises o nível de significância foi igual a 5%.

Especificamente para as análises de variância (anova), as premissas de gaussianidade e homogeneidade de variâncias foram checadas pelos testes de Shapiro-Wilks e Bartlett respectivamente. Os testes foram realizados utilizando o Software RStudio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo concentrou-se na avaliação da qualidade das nascentes e suas características ambientais físicas, especificamente no uso e ocupação do solo em suas áreas de preservação permanentes. Os parâmetros de qualidade da água encontrados podem ser observados na Tabela 2.

A partir do levantamento de uso e ocupação do solo foi possível definir a porcentagem de cada uso considerado em todas as nascentes estudadas e os resultados de todas as nascentes estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros de qualidade da água das nascentes estudadas.

Parâmetros	Nascente										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nitrogênio (N)	0	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	0,56	<0,1*	1,08	<0,1*	1,29
Fósforo (P)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	<0,1*	0
Alcalinidade	13	6,24	5,2	4,81	4,68	3,12	11,96	1,17	2,21	2,99	20,28
Turbidez	1,85	18,6	14,6	10,6	2,36	2,72	28,2	2,76	76,8	1,23	71,9
Cor aparente	9	114	87	55	16	13	195	15	594	5	487
Condutividade	86,85	57,61	26,79	57,76	37,04	47,89	79,5	48,56	54,42	66,29	99,83
<i>Escherichia coli</i>	0	88	360	24	1	1	248	80	80	6	20
Coliformes totais	2	144	104	592	12	31	104	568	1680	17	1370
pH	5,94	5,81	5,85	5,81	5,9	5,83	5,84	5,9	5,94	5,67	5,67

* Resultado abaixo do limite de detecção do método

Fonte: Autores (2023)

Tabela 3 – Porcentagem do uso e ocupação do solo das nascentes estudadas.

Uso e Ocupação	Nascente										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Preservado	66,03	0	95,4	37	22,4	33,88	13,36	86,96	91,6	55,98	66,84
Urbano	9,88	15,97	4,6	53,08	61,5	0	0	0	0	44,02	31,36
Agropecuária e Silvicultura	24,09	24,15	0	0	0	57,2	86,64	13,04	8,4	0	0
Solo exposto	0	58,89	0	9,92	16,45	8,92	0	0	0	0	0
Preservado	66,03	0	95,4	37	22,4	33,88	13,36	86,96	91,6	55,98	66,84

Fonte: Autores (2023)

Observou-se que a qualidade da água das nascentes variou significativamente, com a Nascente 1 apresentando os melhores parâmetros, sendo considerada potável, enquanto a Nascente 6 demonstrou contaminação significativa por patógenos, requerendo tratamento antes do consumo.

O estudo destacou a importância das áreas de preservação permanente (APP) na manutenção da qualidade da água das nascentes. Embora algumas nascentes estivessem localizadas em áreas com preservação parcial, como a Nascente 5, onde a urbanização estava em andamento, ainda assim, a presença de vegetação nativa ajudou a manter a qualidade da água em níveis aceitáveis. Por outro lado, nascentes como a Nascente 9, que estavam em áreas com alta presença de área preservada em sua APP, apresentaram níveis elevados de contaminação, indicando que a presença de ambientes florestais propicia o acúmulo de matéria orgânica no local de afloramento do corpo hídrico, elevando seus parâmetros como a presença de coliformes e nutrientes. Isso vai de encontro ao estudo de Tebaldi et al. (2018) também encontrou valores elevados de coliformes termotolerantes ao avaliar corpos hídricos na Área de Relevante Interesse Ecológico de Cicuta, no Rio de Janeiro.

A justificativa para a presença de coliformes termotolerantes em nascentes localizadas em áreas com cobertura florestal preservada no município de Irati apontam fontes para naturais e processos hidrológicos como responsáveis por essa contaminação microbiológica, mesmo na ausência de esgoto ou atividade agropecuária intensiva.

Rochelle-Newall et al. (2016) demonstraram que, em bacias hidrográficas tropicais com vegetação natural intacta no Sudeste Asiático, as concentrações de *Escherichia coli* nos cursos d'água eram

significativamente influenciadas pela dinâmica hidrológica local. Eventos de chuva intensa promoviam o escoamento superficial e a mobilização de partículas do solo e matéria orgânica, contribuindo para o transporte de coliformes aos corpos hídricos. Além disso, a presença de fauna silvestre foi identificada como uma importante fonte difusa de contaminação fecal, evidenciando que mesmo áreas florestadas, com pouca ou nenhuma ocupação humana, podem apresentar cargas relevantes de *E. coli* e outros coliformes termotolerantes nos períodos chuvosos

Complementarmente, Dusek et al. (2018) demonstraram que populações ambientais de *E. coli* podem se estabelecer e persistir por longos períodos no solo de ecossistemas florestais, devido à adaptação a condições específicas como umidade, sombreamento e presença de matéria orgânica. Esse processo de naturalização permite que a bactéria se mantenha no ambiente mesmo na ausência de deposição fecal recente. O estudo identificou alta prevalência de *E. coli* em solos florestais e áreas de transição com pastagens, reforçando a ideia de que a simples presença desses microrganismos não implica, necessariamente, em contaminação recente por esgoto ou fezes humanas

Portanto, a detecção de coliformes termotolerantes em nascentes localizadas em áreas com cobertura florestal preservada, como observado no presente estudo, pode ser justificada. Ambos os trabalhos indicam que há mecanismos naturais de entrada, manutenção e mobilização desses microrganismos no ambiente, desafiando a interpretação clássica de que sua presença indica necessariamente degradação antrópica recente.

Além disso, o estudo ressaltou a eficácia de medidas de proteção das nascentes, como o uso do sistema solo cimento presente na Nascente 10 o qual demonstrou resultados promissores na manutenção da qualidade da água. No entanto, mesmo com essas medidas, a presença de patógenos ainda representava um risco à saúde pública, especialmente em comunidades que dependem dessas nascentes para consumo direto. Ao avaliar a eficácia de mecanismos de proteção de nascentes no município de Prudentópolis – PR, Antonio (2022) concluiu que mecanismos para proteção são eficazes para obtenção de melhores parâmetros de qualidade, como a redução de patógenos.

A análise estatística aplicada também enfatizou a importância da proteção de nascentes, conforme pode ser observado na análise de componentes principais (PCA) ilustrada na Figura 2.

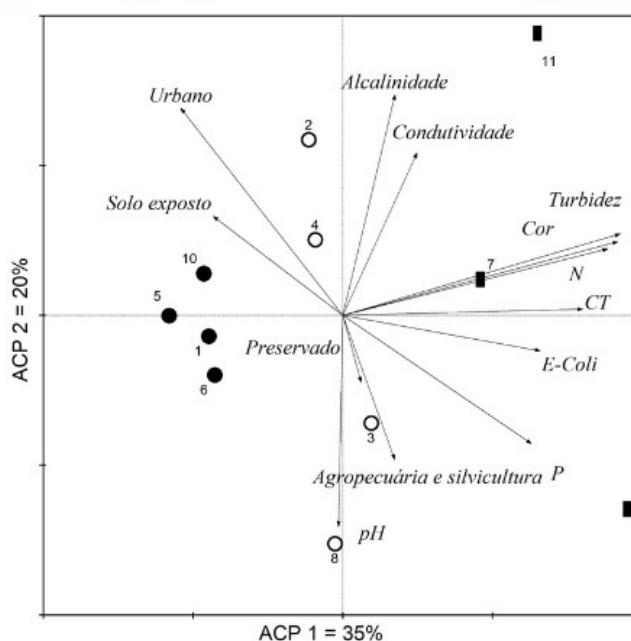


Figura 2 – Análise de componentes principais (PCA).

*○, ● e ■ demonstram as nascentes em seus grupamentos

Fonte: Autores (2023)

A análise de componentes principais (PCA) permitiu identificar três agrupamentos distintos entre as nascentes da bacia do Rio das Antas, em Irati-PR, com base em suas características físico-químicas e microbiológicas. Esse tipo de abordagem multivariada é fundamental para reduzir a complexidade dos

dados ambientais e evidenciar padrões comuns entre os pontos amostrados, que, neste caso, revelam influências diferenciadas do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água.

O Grupo 1, composto pelas nascentes 6, 1, 5 e 10, apresentou melhores condições ambientais, refletidas em melhores parâmetros de qualidade da água, como menores concentrações de coliformes e nutrientes. A exceção parcial à regra foi a nascente 5, localizada em área urbanizada, mas com indícios de infraestrutura sanitária eficiente. Isso demonstra que mesmo em contextos urbanos é possível manter a qualidade da água em níveis aceitáveis, desde que haja coleta e tratamento adequados de esgoto doméstico. Segundo a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2008), a presença de fósforo e nitrogênio em corpos hídricos está frequentemente associada ao lançamento de efluentes sanitários, o que, por sua vez, eleva os índices de coliformes. A ausência desse padrão na nascente 5, portanto, reforça a hipótese de que o saneamento é um fator mitigador da degradação ambiental mesmo em áreas urbanas.

Já os Grupos 2 e 3, constituídos pelas nascentes 2, 4, 3 e 8 (Grupo 2) e 11, 7 e 9 (Grupo 3), apresentaram padrões de qualidade distintos, com médias significativamente superiores dos parâmetros indicativos de contaminação: nitrogênio, fósforo, coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*), cor e turbidez.

Esses parâmetros são comumente associados a processos de degradação ambiental, como erosão do solo, escoamento superficial com carga orgânica e nutrientes, e presença de fontes difusas de contaminação. A elevação dessas variáveis indica que esses agrupamentos estão sujeitos a influências antrópicas mais intensas ou a ausência de práticas eficazes de conservação ambiental.

Apesar da evidente separação entre os grupos com base na qualidade da água, a análise estatística mostrou que nem todos os tipos de uso e ocupação do solo apresentaram correlação significativa com os parâmetros de qualidade da água.

A análise de correlação de Spearman revelou que apenas os usos agropecuário e de silvicultura mostraram correlação significativa com os parâmetros pH e fósforo, com coeficientes de 0,67 e 0,74, respectivamente. Tais valores indicam uma correlação positiva moderada a forte, sugerindo que o manejo dessas atividades influencia diretamente os processos biogeoquímicos nas microbacias.

O uso agropecuário pode contribuir com o aumento de fósforo por meio da aplicação de fertilizantes fosfatados e manejo inadequado do esterco animal, que pode atingir os corpos d'água por escoamento superficial. Já a silvicultura, embora considerada uma atividade de menor impacto quando bem manejada, pode alterar o pH do solo e da água em função da lixiviação de ácidos orgânicos, além de provocar alterações nos ciclos hidrológicos e no aporte de matéria orgânica, especialmente durante a colheita ou desbaste das plantações.

A ausência de correlações significativas com outros usos do solo (ex. urbano, pastagem, mata nativa) pode estar relacionada a múltiplos fatores: baixa representatividade dessas categorias nas áreas de contribuição das nascentes, limitações espaciais das análises geográficas (ex. delimitação de microbacias), ou ainda à presença de variáveis ocultas não consideradas na análise, como topografia, tipos de solo ou intensidade da atividade antrópica.

Portanto, embora a análise não tenha identificado uma correlação estatística para todos os tipos de uso e ocupação do solo, os resultados indicam que os usos agropecuários e silvicultural representam vetores importantes de influência sobre a qualidade da água, sobretudo em relação ao fósforo e ao pH. Esses achados reforçam a necessidade de estratégias de manejo sustentável nessas áreas, como controle da aplicação de insumos agrícolas, manutenção de zonas ripárias e planejamento florestal adequado, visando a conservação dos recursos hídricos da bacia.

Ainda, as análises realizadas permitiram uma melhor compreensão das relações entre as nascentes e dos possíveis fatores que influenciam a qualidade da água em cada grupo. Foi possível compreender que se deve considerar não apenas os parâmetros quantitativos, mas também as características visuais e os usos do solo nas áreas de preservação permanente são fundamentais para orientar estratégias de conservação e manejo hídricos mais eficazes e sustentáveis.

Os resultados das análises ecotoxicológicas realizadas nas nascentes da Bacia do Rio das Antas revelaram informações significativas sobre a qualidade ambiental da região. Durante os ensaios de toxicidade aguda conduzidos com *Daphnia magna*, utilizando períodos de exposição de 24 e 48 horas, nenhuma das amostras avaliadas resultou em imobilização ou mortalidade dos organismos teste, indicando ausência de toxicidade aguda nas condições experimentais adotadas. A elevada sensibilidade dos neonatos de *D. magna* foi confirmada pelas respostas nos controles positivos, demonstrando a confiabilidade dos bioensaios.

Tais resultados sugerem que, apesar da presença de atividades antrópicas nas áreas de contribuição das nascentes, a integridade ecológica desses sistemas aquáticos pode estar relativamente preservada. Essa evidência corrobora com os achados de Moura *et al.* (2018), que também não observaram efeitos tóxicos agudos em amostras de água da bacia do Arroio Andréas, mesmo diante de variações na

qualidade da água. Da mesma forma, Rodrigues et al. (2015) verificaram ausência de toxicidade no Rio Piracicaba, embora afluentes como o Córrego Itapeva apresentassem significativos impactos antrópicos, com toxicidade identificada apenas em determinados períodos e locais. Já Maranhão et al. (2017), ao analisarem o Ribeirão Samambaia, identificaram efeitos tóxicos à jusante de área urbana apenas em alguns meses do ano, demonstrando que a toxicidade pode ser episódica e associada a descargas pontuais.

Esses achados reforçam a importância do monitoramento ecotoxicológico contínuo como ferramenta complementar às análises físico-químicas. O uso de *Daphnia magna* como organismo modelo permite detectar a presença de contaminantes com efeitos subletais ou em concentrações abaixo dos limites de detecção analítica convencional. A ausência de efeitos agudos nas amostras das nascentes da Bacia do Rio das Antas sugere uma resiliência ecológica relevante, embora não afaste a necessidade de ações preventivas frente à pressão antrópica.

Dessa forma, a avaliação ecotoxicológica periódica constitui um instrumento estratégico para a gestão sustentável dos recursos hídricos, oferecendo uma visão integrada sobre os potenciais riscos ecológicos. Além disso, possibilita a detecção precoce de alterações na qualidade da água que poderiam comprometer os usos múltiplos dos recursos hídricos e a manutenção da biodiversidade aquática.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados das análises realizadas nas nascentes da Bacia do Rio das Antas, em Irati-PR, este estudo destaca a importância da gestão sustentável dos recursos hídricos para preservar a qualidade da água e garantir a saúde dos ecossistemas aquáticos. As correlações identificadas entre os usos e ocupações do solo, como Agropecuária e Silvicultura, e parâmetros de qualidade da água evidenciam a influência direta das atividades humanas na dinâmica dos ecossistemas aquáticos.

Este estudo reforça a necessidade premente de políticas de manejo hídricos abrangentes e proativas, que incorporem uma visão holística para garantir a sustentabilidade em longo prazo dos recursos hídricos na Bacia do Rio das Antas. Recomenda-se um monitoramento contínuo da qualidade da água, a avaliação de tendências sazonais, o desenvolvimento de modelos hidroambientais e a promoção de práticas sustentáveis e inovadoras para a preservação dos ecossistemas aquáticos.

Ao considerar a interação complexa entre os usos do solo, a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos, este estudo destaca a importância de uma abordagem integrada na gestão dos recursos hídricos, visando garantir a conservação dos ecossistemas aquáticos e o fornecimento sustentável de água para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

- Antonio, L. M. (2022). *Avaliação da qualidade da água em nascentes do município de Prudentópolis – PR* (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati. Recuperado em 15 de fevereiro de 2025, de <https://www3.unicentro.br/ppgesa/2023/08/08/unicentro-avaliacao-da-qualidade-da-agua-em-nascentes-do-municipio-de-prudentopolis-pr/>
- American Public Health Association – APHA. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 24th ed. Washington: APHA Press.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. (2008). *Variáveis de qualidade das águas*. São Paulo: CETESB.
- Cicco, V., & Fujieda, M. (1992). Pesquisa de manejo de bacias hidrográficas em São Paulo. *Revista do Instituto Florestal*, 4(3), 808-816. Recuperado em 12 de janeiro de 2025, de https://smastr16.blob.core.windows.net/inflorestal/iframe/RIF4-3/RIF4-3_808-816.pdf
- Dariva, C. M. (2021). *Influência do uso e ocupação da terra sobre os macroinvertebrados aquáticos e a qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas* (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati. Recuperado em 23 de julho de 2025, de <https://www3.unicentro.br/ppgesa/wp-content/uploads/sites/11/2022/03/Carla-Malavazi-Dariva.pdf>
- Dusek, N., Hewitt, A. J., Schmidt, K. N., & Bergholz, P. W. (2018). Landscape-scale factors affecting the prevalence of *Escherichia coli* in surface soil include land cover type, edge interactions, and soil pH. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(10), e02714-17. <https://doi.org/10.1128/AEM.02714-17>
- Espírito Santo. (2006). *Atlas das áreas com potencial de riscos do Estado do Espírito Santo* (125 p.). Vitória: Imprensa Estadual. Recuperado em 23 de julho de 2025, de [https://www.mundogeomatica.com.br/Livro_Atlas_ARES%20\(editado\).pdf](https://www.mundogeomatica.com.br/Livro_Atlas_ARES%20(editado).pdf)

- Forbes, V. E., & Calow, P. (1999). Is the per capita rate of increase a good measure of population-level effects in ecotoxicology? *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18(7), 1544-1556.
- Maranho, L. A., Botelho, R. G., Nogueira, L. A., & Tornisielo, V. L. (2017). Avaliação da qualidade da água do Ribeirão Samambaia (São Pedro, São Paulo, Brasil) através de parâmetros físicos e químicos, índice de estado trófico e teste de toxicidade com *Daphnia magna*. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(1), 195-201.
- Moura, D. C., Taques, F. M., Rieger, A., & Lobo, E. A. (2018). Avaliação da qualidade da água de nascentes da Bacia do Arroio Andréas, RS, Brasil, com base em ensaios ecotoxicológicos e genotóxicos com *Daphnia magna* (Straus, 1820). *Caderno de Pesquisa*, 30(esp), 13-21. Recuperado em 23 de junho de 2025, de <https://online.unisc.br/seer/index.php/cadpesquisa/article/view/12196/7349>
- Nascimento, A. M. A., Santos, A., Alves, G. M., & Petter, P. (2019). Limnologia aplicada à análise de água em duas nascentes do Povoado Baixa da Areia, Alagoas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(2), 574-591. Recuperado em 10 de maio de 2025, de <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/239369>
- Oliveira, F. R., Cecilio, R. A., Zanetti, S. S., & Ferraz, F. T. (2020). Qualidade de água e diagnóstico socioambiental das famílias do Assentamento Florestan Fernandes. *Caminhos de Geografia*, 21(74), 226-240. Recuperado em 7 de abril de 2025, de <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/50284>
- Rochelle-Newall, E. J., Ribolzi, O., Viguier, M., Thammahacksa, C., Silvera, N., Latsachack, K., Dinh, R. P., Naporn, P., Sy, H. T., Souleuth, B., Hmimum, N., Sisouvanh, P., Robain, H., Janeau, J.-L., Valentin, C., Boithias, L., & Pierret, A. (2016). Effect of land use and hydrological processes on *Escherichia coli* concentrations in streams of tropical, humid headwater catchments. *Scientific Reports*, 6, 32974 <http://dx.doi.org/10.1038/srep32974>
- Rodrigues, L. A., Torres, N. H., Tornisielo, V. L., Ferreira, L. F. R., & Maranho, L. A. (2015). Determination of toxicity assays, trophic state index, and physicochemical parameters on Piracicaba River and Itapeva Stream. *Ambiente & Água*, 10(2), 310-317. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1387>
- Tebaldi, V. M. R., Pereira, S. S., & Sanshes, E. M. P. (2018). Indicadores microbiológicos como parâmetro de qualidade da água de dois corpos hídricos na ARIE Floresta da Cicuta – RJ. *Revista Científica UBM*, 20(38), 177-188. Recuperado em 2 de julho de 2025, de <https://revista.ubm.br/index.php/revistacientifica/article/view/968/>

Contribuições dos autores:

Marcelo Adriano Ginko: teve participação central na pesquisa, sendo responsável pela redação do trabalho, organização, coleta e análise dos dados em campo e laboratório. Sua atuação foi fundamental para o desenvolvimento e estruturação do estudo

Kely Viviane de Souza: responsável pela concepção inicial da pesquisa, definição dos objetivos e metodologia. Coordenou todas as etapas do projeto e prestou orientação técnica e científica, garantindo a qualidade e coerência do trabalho final.

Guilherme Gavlak: contribuiu significativamente na fase de tratamento e interpretação dos dados, com destaque para a elaboração e análise dos mapas temáticos, auxiliando na visualização espacial e compreensão dos resultados

Kelly Geronazzo Martins: atuou de forma relevante no apoio à análise estatística dos dados, colaborando com a aplicação de métodos adequados e interpretação dos resultados, contribuindo para a robustez das conclusões apresentadas.