

# Avaliação do estado de conservação de nascentes: uma ferramenta para a gestão da água

Mauricio José Rosso Pinto <sup>I</sup>  
Frederico Yuri Hanai <sup>II</sup>  
Giovanna Collyer Resende <sup>III</sup>

**Resumo:** As nascentes permitem a manutenção de diversos serviços ambientais, sendo importante conhecer e garantir sua conservação. O objetivo desta pesquisa foi propor uma ferramenta com potencial para a avaliação integrada de nascentes de duas bacias hidrográficas do sudeste brasileiro com condições ambientais e geográficas diferentes. A ferramenta denominada PANÁgua determina o estado de conservação por meio do monitoramento ambiental, revisão de literatura e análise espacial. Os resultados mostraram a potencialidade e versatilidade da ferramenta, gerando resultados consequentes com as características próprias de cada ecossistema. As nascentes do córrego Mineirinho possuem um estado de conservação catalogado como ruim devido à intensa degradação ambiental, enquanto as nascentes do Ribeirão do Tamanduá estão parcialmente conservadas embora existam conflitos pelo uso inadequado do solo e poluição da água. Mediante a avaliação desenvolvida observou-se que o PANÁgua é uma ferramenta funcional para o diagnóstico de fatores que alteram a dinâmica ecológica, estrutural e ambiental das nascentes.

**Palavras-chave:** Nascentes; Recursos Hídricos; PANÁgua; Estado de conservação; Ferramenta de gestão.

São Paulo. Vol. 29, 2026

Artigo Original

<sup>I</sup> Universidade de Córdoba, departamento de Engenharia Ambiental, Montería, Córdoba, Colômbia.

<sup>II</sup> Universidade Federal de São Carlos, departamento de Ciências Ambientais, São Carlos, São Paulo, Brasil

<sup>III</sup> Universidade de Tóquio, Departamento de Ciências Multidisciplinares, Tóquio, Japão.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0007vu29L2AO>

## Introdução

A água é elemento vital para a sobrevivência dos seres vivos no planeta, por ter influência direta na sustentação da vida, saúde e bem-estar do ser humano, assim como na manutenção dos ecossistemas e na conservação da biodiversidade, sendo o recurso natural mais importante (Carpenter; Bhawsar; Bhat, 2018). A água, por ser um recurso renovável devido às características intrínsecas do ciclo hidrológico, está sendo utilizada de forma insustentável, o que tem ocasionado estresse hídrico e poluição em várias regiões do mundo (Velho, 1995; Balbinot et al., 2008).

Conforme descrito pela Agência Nacional de Águas (2020), a degradação dos corpos hídricos superficiais está ocorrendo em diferentes intensidades e variações de tempo, em grande parte das cidades brasileiras. Os impactos dessa degradação também têm reflexos econômicos, tais como: o aumento no custo de tratamento de água e esgoto; o aumento de custos hospitalares com internações e medicamentos para o tratamento de infecções e intoxicações advindas da má qualidade das águas; a perda de produtividade nas indústrias, principalmente agrícolas e pecuárias; a redução de valores turísticos, culturais e paisagísticos; dentre outros. Assim, a poluição das fontes hídricas transcende a problemática ambiental, configurando-se como uma realidade complexa que envolve diferentes fatores da sociedade e, portanto, requer soluções integradas que considerem todos eles (Terra et al., 2025).

Contudo, a proteção e a conservação dos mananciais constituem a base para a gestão da água e induzem ao seu uso racional e à manutenção de sua qualidade. Neste sentido, as nascentes de cursos d'água possuem uma importância relevante na permanência e manutenção dos serviços ambientais, sendo necessário garantirmos sua preservação para as gerações futuras (Calheiros; Tabai; Bosquilia, 2004).

Devido à constatação dos impactos cada vez mais graves nas nascentes de água, o adequado gerenciamento dos recursos hídricos torna-se imprescindível e fundamental. Para tanto, é preciso entender a dinâmica socioambiental local e regional relacionada a esses recursos hídricos, mediante o estudo das bacias hidrográficas que são a unidade fisiográfica mais conveniente para o planejamento ambiental (Teodoro et al., 2007).

Nesta pesquisa, adotou-se o Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua) proposto e elaborado por Rosso-Pinto (2019). O PANÁgua é uma ferramenta de subsídio aos processos de tomada de decisões sobre a gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas, focada especificamente na determinação do estado de conservação de nascentes a partir da ponderação de pontuações por pesos hierárquicos associadas às avaliações diretas em campo, mensuração de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, análise espacial e implementação de ações de conservação documentadas em instrumentos de gestão e outras referências bibliográficas.

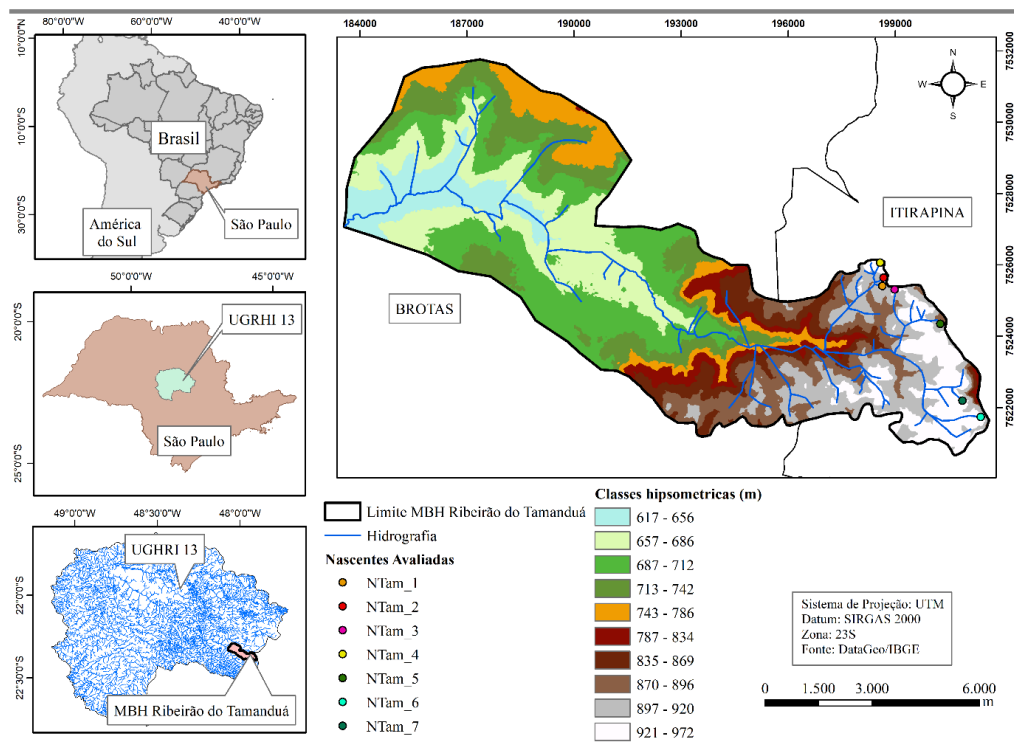
Dessa forma, o presente estudo buscou realizar a avaliação integrada de algumas nascentes das bacias hidrográficas do Ribeirão do Tamanduá e do Córrego Mineirinho utilizando o PANÁgua, com a finalidade de estabelecer comparações entre os impactos evidenciados nas duas bacias e sua relação com as condições de uso e ocupação do solo ao redor delas.

## Materiais e métodos

A aplicação do PANÁgua (Rosso-Pinto, 2019) emprega três etapas compreendendo uma estrutura hierárquica conformada por várias categorias e parâmetros mediante os quais se faz a coleta de informações relevantes para determinar o estado de conservação das nascentes. Neste trabalho, a ferramenta foi aplicada para a avaliação de algumas nascentes das bacias hidrográficas do Ribeirão do Tamanduá e do Córrego do Mineirinho.

O Ribeirão do Tamanduá é um dos maiores afluentes do Rio Jacaré-Pepira que pertence a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê-Jacaré (UGRHI 13). Esta microbacia encontra-se parcialmente dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental Corumbataí, no estado de São Paulo, possui uma área aproximada de 5,09 km<sup>2</sup> (Rodrigues et al., 2011), e é caracterizada pela oferta turística e atividades agrícolas e pecuárias importantes para a região. Segundo a caracterização desenvolvida por Santos; Trevisan e Moschini (2018), as nascentes da microbacia do Ribeirão do Tamanduá, encontram-se na formação Serra Geral e formação Bauru, em regiões de latossolos com declividades variadas entre 9 e 27%, para este estudo foram avaliadas algumas das nascentes da região da cabeceira desta bacia hidrográfica (Figura 1).

**Figura 1 – Localização da microbacia do Ribeirão do Tamanduá**

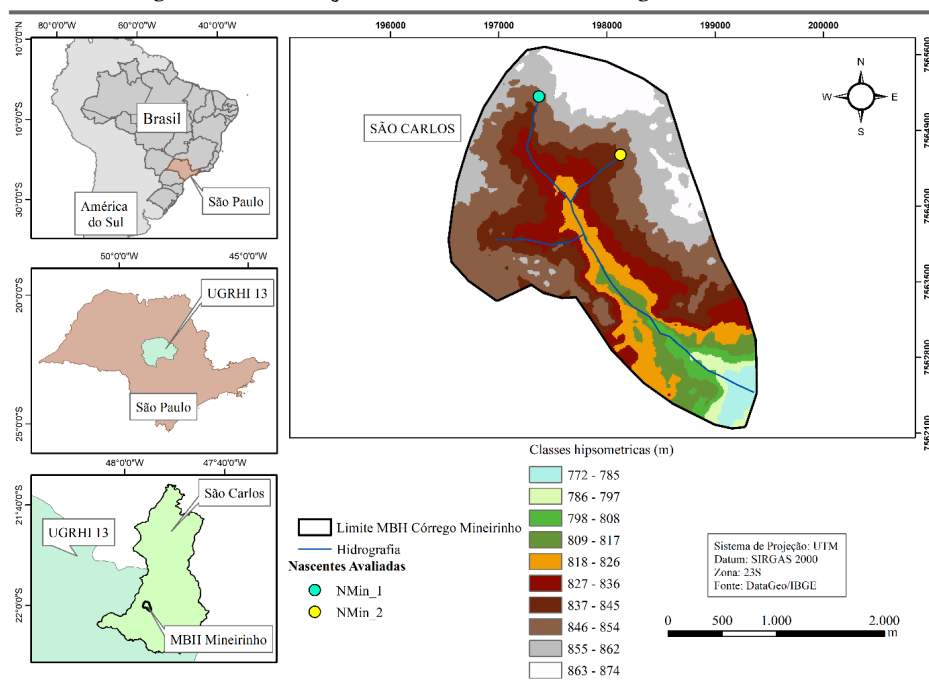


Fonte: Os autores, 2025

A microbacia do Córrego do Mineirinho localiza-se na região centro-oeste da cidade de São Carlos (SP), e está inserida na bacia do Rio Monjolinho, ocupando parcialmente o perímetro urbano da cidade. O padrão habitacional da bacia do Córrego do Mineirinho é configurado com variabilidade ao longo de seu curso d'água: a montante, prevalecem habitações populares com moradias simples, com condições de infraestrutura precárias e desconectadas entre si; a jusante, encontram-se condomínios habitacionais de moradias de alto padrão, com infraestrutura e conectados a uma malha viária capaz de suportar o adensamento (Tarpani e Brandão, 2009). Essa configuração socioespacial reflete diretamente na dinâmica ambiental da microbacia, uma vez que as áreas de montante, geralmente mais sensíveis do ponto de vista hidrológico, apresentam maior vulnerabilidade a processos de degradação ambiental. A precariedade da infraestrutura urbana, associada à ocupação irregular, tende a intensificar problemas como lançamento de efluentes sem tratamento, erosão dos solos, assoreamento do leito do córrego e aumento da carga difusa de poluentes.

A caracterização física mostra que a declividade da microbacia hidrográfica do Córrego do Mineirinho varia entre 0 e 12% (Figura 2). De igual maneira, a formação geológica predominante é o Grupo Bauru e a pedologia Latossolos Vermelho-Amarelo. A geologia predominante do Grupo Bauru, composta majoritariamente por arenitos, confere à microbacia materiais geológicos de elevada porosidade, que, em condições naturais, favorecem a infiltração da água e a recarga dos aquíferos. Entretanto, a urbanização intensa compromete esse potencial, uma vez que a substituição de superfícies naturais por pavimentos impermeáveis reduz significativamente a infiltração e aumenta o escoamento superficial concentrado (Trevisan, 2018).

Figura 2. Localização da microbacia do Córrego Mineirinho



Fonte: Os autores (2025).

### Determinação do estado de conservação das nascentes

A primeira etapa de aplicação do PANÁgua consistiu a determinação de parâmetros relacionados às categorias de: monitoramento da qualidade da água; interferências na nascente; integridade física do solo e características do uso e ocupação do solo no entorno, para o qual foi preciso realizar uma visita de campo. Na sequência, a segunda etapa identificou e avaliou as ações de recuperação e conservação de nascentes, adotando-se a escala da bacia hidrográfica; e a terceira etapa empregou os Sistemas de Informação Geográfica para a avaliação das características do uso e ocupação do solo no entorno das nascentes estudadas.

Os parâmetros que integram o PANÁgua são avaliados por profissionais da área ambiental, adotando-se a escala ordinal adaptada de Likert (1932) para definir a pontuação. Por último, o cálculo do estado de conservação é realizado por meio da ponderação das notas de cada parâmetro, considerando os pesos de relevância determinados na dissertação de mestrado do autor principal deste artigo (Rosso-Pinto, 2019).

### Avaliação das condições ambientais em campo (etapa 1)

Nas visitas às nascentes, foram observadas suas características, analisando e avaliando os parâmetros de acordo com as instruções estabelecidas no protocolo. Para a

categoria “monitoramento qualitativo da água da nascente”, foram mensurados os parâmetros físico-químicos requeridos utilizando um medidor Multiparâmetro Horiba U-10 e as amostras para a contagem de *Escherichia Coli* e Coliformes totais foram coletadas pelo método do kit microbiológico COLIPAPER®.

Uma vez finalizada a avaliação da etapa 1 do PANÁgua, socializaram-se as respostas dos membros da equipe técnica (formada por 3 profissionais da área ambiental) para compartilhamento das avaliações e convergência dos resultados sem alterar a autonomia individual das notas atribuídas. Por último, essas notas foram ponderadas utilizando os pesos estabelecidos do PANÁgua (Rosso-Pinto, 2019), obtendo como resultado o estado de conservação para a etapa 1, apresentado pela escala de Likert. O fato de participarem três profissionais da área ambiental na equipe técnica é importante para diminuir o risco de subjetividade na avaliação.

### **Pesquisa de ações de conservação e recuperação desenvolvidas (etapa 2)**

As ações de conservação e recuperação desenvolvidas na área de estudo foram avaliadas mediante uma revisão bibliográfica. As fontes consultadas para pesquisar essas informações foram: o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH); o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH); a Agência Nacional de Águas (ANA); Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro), Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS); Ministério de Meio Ambiente (MMA); prefeituras dos municípios de Itirapina, Brotas e São Carlos; e Google Acadêmico para a busca de informações científicas (artigos, relatórios, dissertações, teses). Os parâmetros cuja informação base não foi encontrada na pesquisa bibliográfica desenvolvida, foram excluídos da pontuação final desta categoria, evitando a subestimação da ferramenta.

### **Avaliação das condições ambientais utilizando SIG (Etapa 3).**

A avaliação dos parâmetros estabelecidos na etapa 3 do PANÁgua foi realizada por meio do reconhecimento e mapeamento das classes de uso e ocupação do solo da área de entorno de cada nascente avaliada, utilizando o Software ArcGis 10.5®.

Para a delimitação da área de entorno, foi realizado o buffer de 1 km ao redor de cada nascente, seguindo a proposta de Fumagalli et al. (2017). O mapeamento das classes de uso e ocupação do solo foi desenvolvido utilizando como base as imagens orbitais da Constelação de Satélites RapidEye do sensor REIS (RapidEye Earth Imaging System), um dos mais destacados no âmbito do geoprocessamento devido à capacidade de adquirir dados espaciais de grandes áreas em altas resoluções espaciais e espectrais. As imagens obtidas foram multiespectrais e ortorretificadas, com uma resolução espacial de 5,0 metros para uma escala de mapeamento de 1:15.000. Estas imagens foram adquiridas por meio da plataforma de dados do Programa de Educação e Pesquisa do Planet Team (2017).

O processamento da imagem raster foi realizado a partir da ferramenta de segmentação e classificação Mean Shift, sendo tomadas amostras de cada classe de uso e

ocupação identificadas ao redor das nascentes. Estas amostras foram processadas utilizando a ferramenta Maximum Likelihood Classification para elaborar o mapa de uso e ocupação do solo em formato raster, que posteriormente foi transformado para shapefile calculando-se as áreas de cada classe.

## **Resultados e discussões**

A Tabela 1 resume o total das pontuações estabelecidas para cada nascente, de acordo com as etapas de aplicação do PANÁgua e os pesos utilizados na ponderação.

**Tabela 1 – Resultado da avaliação do estado de conservação das nascentes**

| Etapas                                                                          | Categorias                                                                                    | Parâmetros                                                         | Peso | Resultados do estado de conservação |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                                                 |                                                                                               |                                                                    |      |                                     | NTam<br>2 | NTam<br>3 | NTam<br>4 | NTam<br>5 | NTam<br>6 | NTam<br>7 | NMin<br>1 | NMin<br>2 |
| Etapa 1<br>Avaliação<br>das condições<br>ambientais em<br>campo<br>(Peso: 0,65) | Monitoramento<br>qualitativo água<br>da nascente<br>(Peso:0,1 da)                             | Coliformes totais e E. Coli                                        | 0,4  | 3                                   | 5         | 3         | 2         | 5         | 3         | 5         | 1         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Condutividade elétrica                                             | 0,28 | 3                                   | 3         | 5         | 3         | 3         | 1         | 1         | 1         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Turbidez                                                           | 0,18 | 5                                   | 5         | 3         | 5         | 5         | 3         | 5         | 5         | 5         |
|                                                                                 |                                                                                               | Presença de espuma                                                 | 0,07 | 4                                   | 5         | 1         | 4,5       | 4,5       | 5         | 3         | 5         | 5         |
|                                                                                 |                                                                                               | Presença de óleos ou graxas                                        | 0,07 | 5                                   | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         | 3,5       | 1         |
|                                                                                 | Interferências<br>na nascente<br>(Peso:0,24)                                                  | Eutrofização                                                       | 0,04 | 5                                   | 5         | 5         | 5         | 5         | 3         | 5         | 5         | 5         |
|                                                                                 |                                                                                               | Interferências no fluxo de água                                    | 0,1  | 5                                   | 5         | 5         | 5         | 5         | 1         | 5         | 2         | 2         |
|                                                                                 |                                                                                               | Deslocamento do afloramento da água                                | 0,19 | 5                                   | 5         | 5         | 5         | 5         | 3         | 3         | 5         | 3         |
|                                                                                 |                                                                                               | Acesso de animais de criação                                       | 0,12 | 3                                   | 5         | 3,5       | 3,5       | 4         | 3         | 4         | 3         | 3         |
|                                                                                 |                                                                                               | Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados       | 0,3  | 5                                   | 5         | 5         | 5         | 5         | 3         | 3         | 1         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Lançamento e/ou escoamento de água pluvial                         | 0,25 | 3                                   | 5         | 5         | 5         | 5         | 1         | 1         | 1         | 1         |
|                                                                                 | Integridade<br>física do solo<br>(Peso:0,24)                                                  | Assoreamento do solo                                               | 0,26 | 3                                   | 3         | 4         | 3,5       | 3         | 1         | 1         | 1         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Movimentação de terra com ferramentas e maquinários                | 0,1  | 5                                   | 5         | 5         | 5         | 5         | 1         | 1         | 1         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Ocorrência de erosão                                               | 0,46 | 3                                   | 3         | 5         | 3         | 3         | 1         | 1         | 1         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Compactação do solo                                                | 0,18 | 4                                   | 5         | 3,5       | 4         | 4         | 1         | 1         | 1         | 1         |
|                                                                                 | Característi-<br>cas do uso e<br>ocupação do<br>solo no entorno<br>da nascente<br>(Peso:0,42) | Densidade da cobertura de vegetação natural na APP                 | 0,3  | 3                                   | 3         | 3         | 3         | 3         | 1         | 1         | 3         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface   | 0,14 | 1                                   | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface | 0,08 | 5                                   | 5         | 5         | 5         | 5         | 1         | 1         | 1         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Isolamento e proteção da APP                                       | 0,1  | 3                                   | 3         | 3         | 5         | 2         | 1         | 1         | 3         | 1         |
|                                                                                 |                                                                                               | Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno             | 0,38 | 3                                   | 3         | 2,2       | 3         | 2,25      | 2,67      | 2,2       | 1         | 1         |

| Etapas                                                                                               | Categorias                                                                             | Parâmetros                                                                                     | Peso | Resultados do estado de conservação |           |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                                                                      |                                                                                        |                                                                                                |      |                                     | NTam<br>2 | NTam<br>3 | NTam<br>4 | NTam<br>5 | NTam<br>6 | NTam<br>7 | NMin<br>1 | NMin<br>2 |
| Etapa 2<br>Pesquisa<br>sobre ações de<br>conservação<br>e recuperação<br>desenvolvidas<br>(Peso 0,1) | Ações de<br>conservação<br>e recuperação<br>adotadas e<br>desenvolvidas<br>(Peso: 1,0) | Desenvolvimento de projetos, progra-<br>mas, planos e ações de conservação e/ou<br>recuperação | 1    | 3                                   | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         |
| Etapa 3<br>Avaliação<br>das condições<br>ambientais<br>utilizando SIG<br>(Peso: 0,25)                | Existência<br>de vegetação<br>natural no<br>entorno (Peso:<br>0,6)                     | Respeito ao raio de APP estabelecido na Lei<br>12.727 de 2012                                  | 0,6  | 2                                   | 3         | 3         | 2         | 2         | 1         | 1         | 2         | 2         |
|                                                                                                      |                                                                                        | Índice de Quantidade de Fragmentos de<br>vegetação (IQF)                                       | 0,4  | 1                                   | 1         | 1         | 2         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |
|                                                                                                      | Características<br>do uso e ocu-<br>pação do solo<br>no entorno<br>(Peso: 0,4)         | Grau de hemerobia                                                                              | 1    | 3                                   | 3         | 3         | 3         | 3         | 2         | 2         | 1         | 1         |

Fonte: Os autores, 2025.

## Microbacia Hidrográfica do Ribeirão do Tamanduá

Para a definição das pontuações da categoria de monitoramento qualitativo da água da nascente utilizaram-se os dados obtidos durante a medição em campo dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, incluindo também a medição da vazão de água nas nascentes que foi possível. Esclarece-se que a vazão não possui pontuação no PANÁgua, pois foi considerado pelos autores da ferramenta que a quantidade de água que aflora da nascente flutua de acordo com a época climática e sua presença no local não implica que o estado de conservação da nascente seja adequado. Os códigos atribuídos às nascentes permitem sua identificação no mapa que foi apresentado na Figura 1.

O resultado da nascente NTam\_1 foi considerado “bom”, segundo a escala de Likert adotada nesta pesquisa, indicando que as condições ambientais atuais da nascente permitem sua funcionalidade como sistema ambiental e garantem a oferta de serviços ecossistêmicos como o provisionamento de água e a conservação da biodiversidade. A categoria “interferências sobre a nascente” foi a única avaliada com nota superior a 4, sendo identificados indícios da presença de animais de criação (gado, cavalos e galinhas, principalmente), como pegadas e plantas derrubadas, e indícios do escoamento de água pluvial como as marcas de enxurradas no solo.

A qualidade da água apresentou baixa contaminação microbiológica, sendo a concentração de Coliformes Totais na água de 400 UFC/100ml. Da mesma forma, o valor da condutividade elétrica foi de 1700  $\mu$ S/cm, e este, embora não represente risco para o consumo humano ou de animais, indica presença de sais e sólidos dissolvidos (Pal et al., 2015). Além disso, foram identificados processos erosivos intermediários, bem como sedimentos depositados nas ladeiras do canal a jusante da nascente.

Ao analisar as características do uso e ocupação do solo no entorno, infere-se que as possíveis causas destes impactos estejam relacionadas à presença de cultivos agrícolas e de atividade pecuária na área de interface da nascente: a contaminação microbiológica pode ser resultado do contato da água com fezes de animais; e o valor da condutividade elétrica pode estar relacionado a altas concentrações de nitratos e fosfatos derivados da atividade agrícola. Além disso, esses processos de contaminação estão sendo favorecidos pelo escoamento de água pluvial em direção à nascente. A erosão e o assoreamento evidenciados também são consequência da agricultura, pois o uso de maquinários para a lavoura afeta a integridade física do solo, impactando também a vegetação natural que está sendo substituída paulatinamente.

A nascente NTam\_2 recebeu conceito “bom”. Dentre as sete nascentes avaliadas para a microbacia hidrográfica do Ribeirão do Tamanduá, esta foi considerada como a mais conservada, obtendo uma nota de 3,71 na avaliação em campo. O principal resultado diferencial desta nascente foi a constatação da ausência de Coliformes Totais na água e a inexistência de interferências antrópicas. Durante a visita de campo, observou-se que o afloramento da água ocorre de forma difusa, pela água se espalhando ao longo da área vegetada e com a formação de pequenos lagos. No entanto, o grande volume de água que aflora, acompanhado pelo relevo do terreno, gera um escoamento constante que resulta em um canal a jusante. Esta nascente encontra-se em uma área de desenvolvimento de

atividades agrícolas e pecuárias e, como consequência disso, a vegetação na área de interface foi substituída por pastagem para criação de gado e por culturas agrícolas, sendo a vegetação natural dentro da Área de Proteção Permanente (APP) de baixa densidade, não representando a proteção adequada para a nascente.

O resultado da nascente NTam\_3 foi “bom”, obtendo uma nota de 3,67. Neste caso, para a categoria de monitoramento da qualidade da água, foi obtida a concentração de Coliformes Totais de 650 UFC/100ml, que indica contaminação microbiológica. Do mesmo modo, foi identificada uma escassa presença de espuma na água, que pelas características da área de entorno pode ter uma origem orgânica. No entanto, a baixa condutividade elétrica nesta nascente indica que não há presença de sais ou sólidos dissolvidos na água ( $300\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Na categoria de interferências antrópicas na nascente, foram identificados indícios do acesso de animais de criação na APP e na área de interface, sem apresentar evidências de processos erosivos. Também, evidenciou-se a presença de silvicultura de eucalipto na área de interface o que pode gerar rebaixamento do lençol freático e explicar a baixa vazão de água nesta nascente em comparação com as outras (Trick; Custodio, 2004). Segundo Moura e Zaidan (2018), o eucalipto, por possuir grande biomassa, requer uma elevada quantidade de água e nutrientes para acelerar seu crescimento e, por isso, ainda com um sistema radicular superficial, as plantações localizadas em áreas próximas a corpos ou reservatórios hídricos onde o lençol freático é baixo podem afetar gravemente o armazenamento de água no aquífero.

O resultado da nascente NTam\_4 foi “bom”. Porém, dentre as sete nascentes avaliadas para a microbacia hidrográfica do Ribeirão do Tamanduá, esta apresentou a concentração mais alta de Coliformes Totais (3920 UFC/100ml). Também, evidenciaram-se impactos ocasionados pelas classes de uso e ocupação do solo predominantes no entorno (agricultura e pecuária), como os processos erosivos, assoreamento e compactação. A vegetação natural da APP foi considerada de baixa densidade e na área de interface foi totalmente substituída por pastagem para a criação de gado. No entanto, um aspecto a se destacar desta nascente é a existência de uma cerca (em boas condições) que a protege.

O resultado da nascente NTam\_5 foi “bom”. Neste caso, não apresentou contaminação microbiológica da água. Porém, o valor de condutividade elétrica em  $1733\mu\text{S}/\text{cm}$ , indica a presença de sais e sólidos dissolvidos. Em relação à categoria de interferências na nascente, todos os parâmetros foram avaliados com nota 5, não representando nenhum impacto na nascente. Já a integridade física do solo encontrou-se parcialmente alterada com processos erosivos e assoreamento nas margens do canal a jusante, além de alguns indícios de compactação do solo na área de interface. Assim como foi apresentado e discutido na NTam\_3 a presença de silvicultura do eucalipto pode causar a retirada de água do solo, diminuindo ou até mesmo interrompendo o afloramento da água do aquífero freático.

O resultado da nascente NTam\_6 foi “ruim”. Dentre as nascentes avaliadas para a microbacia do Ribeirão do Tamanduá, esta apresentou condições que indicam uma forte degradação ambiental. Esta nascente está represada formando uma lagoa, fato que impacta

negativamente as propriedades físico-químicas e microbiológicas da água, obtendo-se uma concentração de Coliformes Totais de 560 UFC/100ml e uma turbidez de 43 UNT. Esses valores denotam contaminação microbiológica e presença de sólidos suspensos na água. Da mesma forma, a condutividade elétrica com valor de 3100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mostra a forte presença de sais e sólidos dissolvidos.

A principal interferência nesta nascente está relacionada ao represamento da água, que alterou totalmente o fluxo e a função hidrológica da nascente. Este represamento provavelmente foi realizado com fins de captação para irrigação, já que ao redor existe uma grande influência de atividades agrícolas de cana-de-açúcar. A baixa movimentação da água e as grandes quantidades de nutrientes (nitratos e fosfatos) provenientes do escoamento de efluentes poluídos com insumos agrícolas geraram a eutrofização em nível intermediário da lagoa, mesmo sem a determinação química da concentração destes nutrientes as evidências de eutrofização denotam sua presença na água (Akinnowo, 2023). Outras consequências desse represamento são os indícios de deslocamento do afloramento da água a jusante, já que o canal de escoamento natural de água formado foi interceptado e barrado.

Na APP desta nascente encontram-se voçorocas, ravinas e grandes sulcos que denotam a erosão ocasionada pelo efeito sinérgico das enxurradas, a ausência de vegetação e a lavoura da terra para cultivo de cana-de-açúcar. A utilização de maquinários e ferramentas agrícolas e a construção de estradas de terra também causaram a alta compactação do solo na APP e na área de interface. O uso e ocupação do solo no entorno desta nascente está caracterizado pelo cultivo de cana-de-açúcar, existindo também uma plantação de eucalipto na área de interface. A vegetação natural é inexistente e a lagoa encontra-se desprotegida e rodeada de capim braquiária. A presença de resíduos sólidos comuns e perigosos foi evidenciada na água e na APP, assim como alguns indícios de práticas de queimadas, condições que intensificam as características observadas e avaliadas desta nascente.

O resultado da nascente NTam\_7 foi “ruim”, mesmo com a observação da categoria de monitoramento qualitativo da água ter sido considerada em boas condições. As interferências antrópicas observadas foram críticas, identificando-se o escoamento de água pluvial e de efluentes contaminados com insumos agrícolas em direção a esta nascente. Também, como consequência das fortes chuvas ocorridas em dias anteriores à visita de campo, o afloramento da água encontrava-se a montante da APP em um local desmatado e situado no meio de um cultivo de cana-de-açúcar em época de entressafra (pousio).

Durante a visita, evidenciou-se a presença intensiva de processos erosivos e assoreamento, assim como a alta compactação do solo, no entorno da nascente, caracterizando-se o seu uso e ocupação pelo cultivo de cana-de-açúcar. A vegetação natural tanto na APP como na área de interface foi considerada inexistente e foi identificado o despejo inadequado de resíduos sólidos comuns e perigosos, como as embalagens de produtos agrícolas.

### **Microbacia hidrográfica do córrego Mineirinho.**

A nascente NMin\_1 (Ver Figura 2) encontra-se localizada ao lado de uma praça pública e recebeu uma avaliação “ruim” de acordo com a escala de Likert. A alta concentração de Coliformes Totais (5120 UFC/100ml) indica, além da forte contaminação microbiológica da água desde sua origem, um risco à saúde pública. Da mesma forma, a condutividade elétrica da água obteve um valor muito alto de 9300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando contaminação físico-química.

Dentre as interferências nesta nascente, a presença e o lançamento de esgoto e de águas pluviais constituem os impactos mais severos. A avaliação desses parâmetros foi realizada com base na observação da cor da água, na percepção do cheiro característico do esgoto e na identificação do escoamento de efluentes aparentemente contaminados. Além disso, observou-se que o fluxo da água tem sofrido intervenção por uma tubulação para auxiliar o afloramento de água desta nascente. No entanto, a cor e odor da água que emerge dessa tubulação, indicam possíveis ligações cruzadas (clandestinas) para o lançamento de esgoto. Ainda foram observados animais de criação como galinhas, patos, porcos e cavalos na área de interface desta nascente.

A integridade física do solo encontrou-se em condições críticas, pela ocorrência de fortes processos erosivos evidenciados tanto na APP quanto na área de interface, assim como pela existência de uma grande voçoroca, na qual a nascente está inserida, representando um risco de segurança e saúde para transeuntes. Do mesmo modo, observou-se um processo de compactação avançado como consequência da urbanização adensada ao redor da nascente e de grandes quantidades de sedimentos e lama depositados no canal do corpo d'água a jusante.

Embora existam estruturas de cercamento e placas informativas da existência da APP, a vegetação natural é de baixa densidade. O uso e ocupação urbana da área de entorno desta nascente denota o alto grau de antropização, evidenciando-se também a disposição inadequada de excessiva quantidade de resíduos sólidos comuns e perigosos.

O resultado da nascente NMin\_2 foi “ruim”, apresentando a condição mais crítica das nascentes avaliadas no córrego do Mineirinho. A qualidade da água encontrava-se afetada pela contaminação microbiológica, sendo a concentração de Coliformes Totais no valor significativamente alto de 11040 UFC/100ml. Do mesmo modo, a condutividade elétrica da água obteve um elevado valor de 21300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dentre as interferências nas nascentes, foram constatadas como as mais severas a presença permanente do lançamento de esgoto ou efluentes contaminados e o escoamento de água pluvial, sendo estes impactos avaliados com base na cor e no odor da água, que são características indicadoras da presença de esgoto. Também foi observada a existência de tubulação na nascente que despeja líquido com aspecto contaminado no canal do curso d'água.

O fluxo da água desta nascente encontra-se com intervenção antrópica devido à modificação do canal do corpo d'água a jusante, como consequência da forte erosão de suas margens. Na área de interface, foram observados animais de criação e processos erosivos severos. Com relação à integridade física do solo, na APP e na área de interface, esta nascente encontra-se totalmente soterrada como consequência de o assoreamento

com a evidência do solo estar em um avançado estágio de compactação por conta da urbanização e do próprio uso da nascente para disposição de resíduos de construção civil, despejos de resíduos, dentre outros.

A vegetação natural é totalmente ausente na APP e na área de interface desta nascente, evidenciando-se predomínio da urbanização adensada, denotando antropização, assim como a existência de movimentação de terra com ferramentas e/ou maquinários na área de entorno desta nascente.

Resultados da identificação de ações de conservação e recuperação de nascentes

De acordo com os critérios específicos definidos para esta fase do PANÁgua, os resultados obtidos indicaram a existência de documentos que estabelecem ações de conservação e recuperação de nascentes nas microbacias estudadas, tais como:

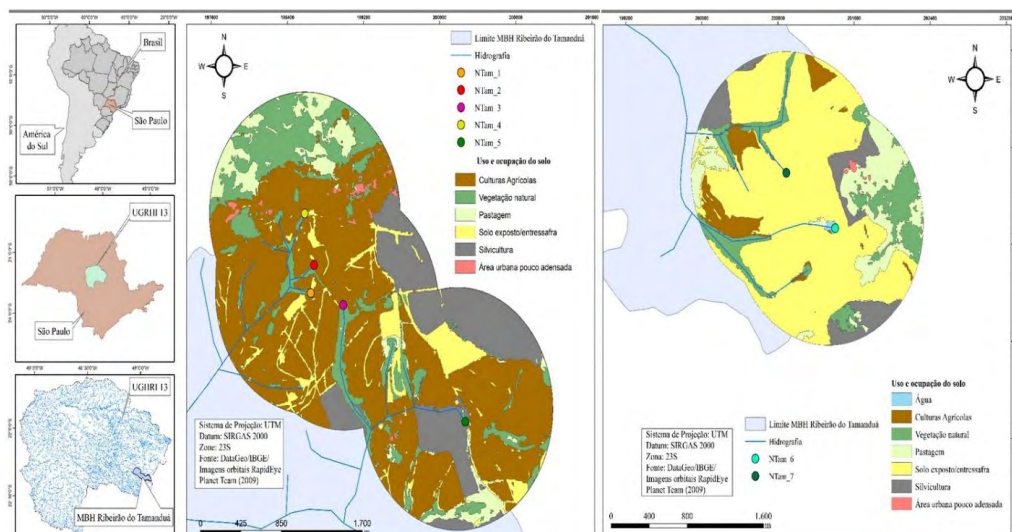
- Estabelecimento e ponderação de critérios para definir áreas prioritárias para projetos de restauração florestal, considerando as áreas de nascentes constantes no Plano Diretor de Restauração Florestal;
- Elaboração de um banco de dados de cada sub-bacia da UGRHI 13 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré, do estado de São Paulo, na qual as microbacias estudadas estão abrangidas) que contemple informações como: a área de APP de Rios e nascentes e o Índice de Vegetação Remanescente das APPs das nascentes (Plano Diretor de Restauração Florestal);
- Mapeamento para identificação e caracterização das nascentes da bacia hidrográfica (para compor o Plano Diretor de Restauração Florestal);
- Diagnóstico das APPs das nascentes da UGRHI 13 (Plano de bacia da UGRHI 13);
- Elaboração de projetos executivos para a restauração de nascentes e matas ciliares (proposição de estratégias e metas no Plano de bacia da UGRHI 13);
- Elaboração de atividades de sensibilização ambiental sobre a importância da conservação e uso sustentável dos recursos hídricos, incluindo as nascentes (Plano de bacia da UGRHI 13).

A identificação dessas ações e a existência de instrumentos de gestão permitiram estabelecer que tanto na microbacia do Ribeirão do Tamanduá quanto no Córrego Mineirinho, tem se desenvolvido algumas ações para a conservação das nascentes, obtendo uma nota intermédia de 3 para todos os casos (Ver Tabela 1).

#### **Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)**

Os mapas da Figura 3 apresentam o recorte das classes de uso e ocupação do solo no entorno das nascentes das duas bacias, utilizando como área de análise a circunferência com raio de 1 km. Pode-se observar a clara predominância de culturas agrícolas (cana-de-açúcar) ao redor de todas as nascentes, seguida da silvicultura e da vegetação natural.

**Figura 3. Mapa de uso e ocupação do solo das nascentes (NTam1 a NTam7) do Ribeirão do Tamanduá**



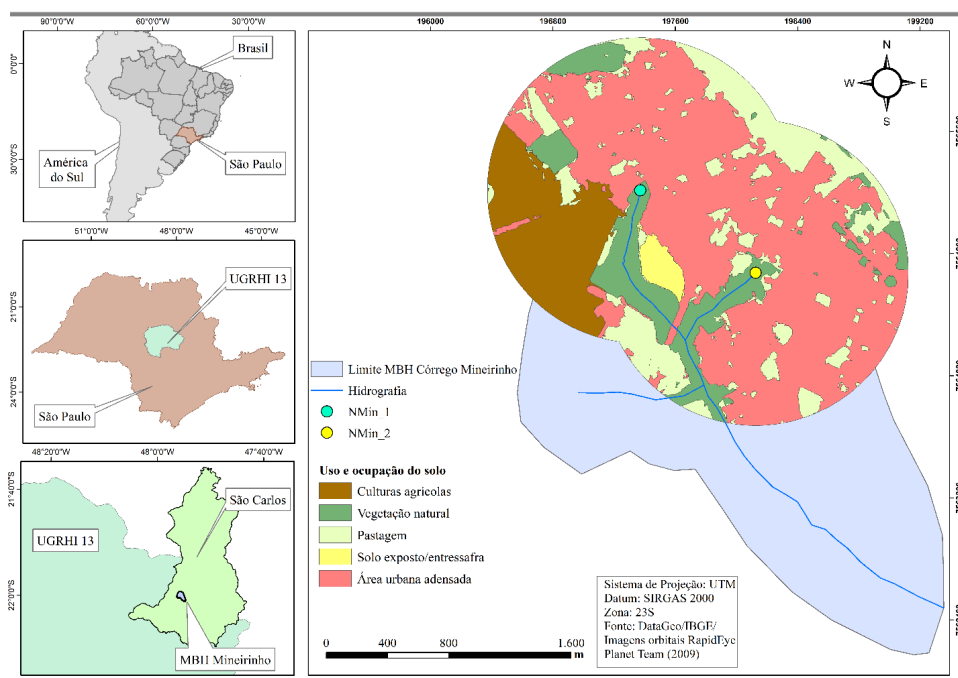
Fonte: Os autores, 2025.

Os resultados desta etapa permitiram concluir que o raio de vegetação natural na maioria das nascentes esteve abaixo do valor mínimo estabelecido pelo Código Florestal Brasileiro (50 metros). Sendo que, em algumas destas, a vegetação é inexistente. O Índice de Quantidade de Fragmentos (IQF) mostrou que a única nascente que supera 20% de vegetação natural foi a NTam\_4.

Por último, foi determinado o grau de antropização do uso e ocupação do solo com base na escala da hemerobia (BELEM e NUCCI, 2011). As nascentes com predominância de culturas agrícolas foram avaliadas como meso-hemerobióticas e receberam nota 3. Por outro lado, as nascentes com predominância de agricultura em época de entressaia de cultivos agrícolas (solo exposto) foram consideradas como eu-hemerobióticas, recebendo nota 2.

Na Figura 4, apresenta-se o mapa das classes de uso e ocupação do solo para as nascentes da microbacia do Córrego Mineirinho, que permite concluir a predominância da classe “área urbana adensada”, já que grande parte da microbacia está dentro do limite urbano do município de São Carlos.

**Figura 4.** Mapa de uso e ocupação do solo das nascentes do Córrego Mineirinho



Fonte: Os autores, 2025

Em relação ao raio de delimitação da área da APP, pode-se observar que nenhuma das nascentes atingiu o valor de 50 metros estabelecido no Código Florestal brasileiro. Por sua vez, o grau de antropização determinado a partir da escala de hemerobia foi dado pela classe “área urbana adensada” que predominou em ambas as nascentes, classificando-se como meta-hemerobiótico e recebendo nota 1.

### Resultado do estado de conservação das nascentes avaliadas

Os resultados da integração de todas as etapas de acordo com os pesos estabelecidos na Tabela 1 indicaram que as nascentes NTam\_6 e NTam\_7 (Ribeirão do Tamanduá) apresentaram condições ambientais críticas, recebendo o conceito “ruim” no estado de conservação. A avaliação destas nascentes resultou na identificação de processos de contaminação físico-química e microbiológica na água, de interferências de diferentes origens e da degradação severa da integridade física do solo e da vegetação natural. Todos esses impactos e pressões afetam a dinâmica ecológica das nascentes e, consequentemente, a manutenção do ciclo hidrológico da microbacia. Assim, foi determinado que os impactos existentes são consequência da atividade agrícola e da silvicultura que se desenvolvem na APP e na área de interface. Segundo o estudo de Luiz (2019) na região de Analândia localizada a 20 km de Itirapina, pelo menos oito nascentes foram categorizadas como prioritárias para o restauro devido a afetações de origem antrópica no estado de conser-

vação e evidenciou-se que mesmo com a permanência da APP requerem-se ações para a restauração da área de contribuição. Da mesma forma, outra pesquisa desenvolvida em Analândia indicou que o 47,7% das nascentes da região incluída no estudo encontram-se degradadas e 33,3% perturbadas (Silva De Abreu; Braz-Mesquita; Murillo-Bermudez, 2021), o que reforça a importância de investimentos para a restauração do seu entorno e confirma os resultados obtidos nesta pesquisa.

Por outro lado, o mapeamento do uso e ocupação do solo da área no entorno destas nascentes mostrou a predominância de culturas como a cana-de-açúcar, ampliando as informações coletadas em campo e permitindo concluir com maior confiança que os impactos identificados estão sendo ocasionados por esta atividade.

Assim, considerando as escassas ações de conservação e recuperação das nascentes desta pesquisa, se faz necessário exigir aos órgãos e autoridades ambientais uma maior atenção para essa problemática, cujos efeitos podem inclusive comprometer a disponibilidade hídrica da microbacia e afetar a saúde e o bem-estar da população.

Em relação às nascentes urbanas do Córrego Mineirinho, o estado de conservação, em ambos os casos, foi avaliado como “ruim”. Alguns dos impactos avaliados estiveram presentes com maior intensidade na microbacia do Córrego Mineirinho do que na microbacia do Ribeirão Tamanduá, tais como a disposição inadequada de resíduos sólidos comuns e perigosos, as práticas de queimadas e o lançamento de esgoto e/ou de água pluvial nas nascentes. Estes impactos são consequência da dinâmica das microbacias urbanas, nas quais as diferentes atividades antrópicas e o desenvolvimento insustentável impactam as características do meio físico-biótico e geram pressões sobre os recursos naturais. Em relação ao uso e ocupação do solo no entorno das nascentes, houve uma clara e lógica predominância da classe “área urbana adensada”. Porém, foi possível evidenciar que nas proximidades da NMin\_1, são desenvolvidas atividades agrícolas. Esse fato torna importante o monitoramento do estado de conservação das nascentes, tendo em vista que o efeito sinérgico dessas duas classes pode agravar e/ou intensificar os impactos. Contudo, vale precisar que aplicação do PANÁgua nesta pesquisa, foi realizada em um único momento do ano, sendo recomendado para futuros projetos estabelecer comparativos entre a avaliação do estado de conservação durante a chuva e época seca, a fim de determinar a influência de variáveis climatológicas.

O estudo das nascentes das bacias hidrográficas do Ribeirão do Tamanduá e Mineirinho permitiu visibilizar a relação direta que existe entre o uso e ocupação do solo ao redor das nascentes e o estado de conservação destas, entendendo-se que, quanto maior a magnitude das pressões geradas pelas atividades antrópicas sobre as nascentes, maior a degradação ambiental da bacia hidrográfica como um todo. Esse fato parece simples e lógico, mas denota a forte dependência do equilíbrio hidrológico da bacia à conservação das nascentes.

O PANÁgua conseguiu tipificar os impactos, evidenciando as diferenças no estado de conservação de nascentes inseridas nos contextos urbano e o rural, mostrando a eficiência e alta aplicabilidade da ferramenta em vários contextos ambientais e geográficos. Os resultados da avaliação da bacia do Ribeirão do Tamanduá refletem os impactos gerados

pela atividade pecuária e agrícola, observou-se como o acesso de animais de criação às nascentes ocasiona poluição microbiológica e deterioro da integridade física do solo, da mesma forma, a supressão da APP, como consequência das lavouras, intensifica os processos de assoreamento, contaminação do recurso hídrico e a erosão e, a silvicultura, altera a dinâmica do próprio afloramento de água por causa do rebaixamento do lençol freático (Carvalho Neto, 2021). No caso da bacia do Mineirinho, encontraram-se nascentes em estado de degradação crítica, evidenciando-se alterações totais da integridade física do solo, poluição por redes de esgoto clandestinas e disposição inadequada de resíduos sólidos, supressão total de qualquer tipo de vegetação ao redor e inclusive condições sanitárias que já representam um risco para a saúde humana (Taloor, 2020). Assim, mostra-se a potencialidade do PANÁgua como ferramenta inovadora para a gestão e planejamento de bacias hidrográficas.

## Conclusões

As condições ambientais das nascentes estudadas nas microbacias Ribeirão do Tamanduá e Córrego Mineirinho foram determinadas utilizando o Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua), que mostrou ser uma ferramenta completa, útil e eficiente para o desenvolvimento deste processo, ainda na aplicação em nascentes com condições ambientais, geográficas e de uso e ocupação diferentes, fato que destaca a versatilidade da ferramenta.

O PANÁgua integra parâmetros e indicadores que permitem a avaliação de diferentes aspectos e condições das nascentes e, com a ponderação dessas avaliações, propõe a metodologia de análise hierárquica, baseando-se no estabelecimento de valores de importância entre os diferentes parâmetros. Cinco das nascentes da microbacia do Ribeirão do Tamanduá foram valoradas com o conceito “bom”, pois apresentaram alguns impactos relacionados à qualidade microbiológica e físico-química da água, aos processos erosivos e de compactação leves e à baixa densidade da cobertura de vegetação natural. Esses impactos foram ocasionados pela influência de atividades agrícolas, pecuárias e de silvicultura desenvolvidas ao redor das nascentes. Em contrapartida, as últimas duas nascentes encontram-se em condições ambientais críticas, sendo seu estado de conservação avaliado com o conceito “ruim”. Os impactos ambientais identificados derivam-se principalmente do cultivo de cana-de-açúcar e foram considerados intensivos, havendo uma forte contaminação microbiológica e físico-química da água e afetações severas ao fluxo e à integridade física do solo, sendo possível observar voçorocas, sulcos, assoreamento e movimentação de terra com maquinários e/ou ferramentas agrícolas. Além disso, estas nascentes encontraram-se completamente desprotegidas e a vegetação natural foi considerada inexistente.

Também, foram avaliadas as nascentes da microbacia do Córrego Mineirinho, localizadas na área urbana do município de São Carlos (SP), mostrando a versatilidade e capacidade de resposta do PANÁgua para avaliar nascentes com diferentes condições e situações ambientais e geográficas. A adequada implementação da ferramenta também se evidenciou durante as visitas de campo, pois as condições de uso e ocupação do solo

verificadas foram consistentes e consequente com os resultados do PANÁgua, indicando que a ferramenta atingiu o objetivo para o qual foi elaborada e poderá ser utilizada como ferramenta de avaliação de nascentes inseridas em outras bacias hidrográficas do país. As informações levantadas nesta pesquisa são de interesse para o subsídio a diferentes órgãos ambientais na elaboração e implementação de ações, programas, projetos e políticas de conservação de nascentes.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento desta pesquisa.

### **Referências**

- Agência Nacional de Águas. (2020). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020. <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura-2020>
- Akinnowo, S. O. (2023). Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environmental Challenges*, 12, Article e100733. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
- Balbinot, R., Kaminski de Oliveira, N., Vanzetto, S. C., Pedroso, K., & Valerio, A. F. (2008). O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. *Ambiência*, 4(1), 131–149.
- Belem, A. L. G., & Nucci, J. C. (2011). Hemerobia das paisagens: Conceito, classificação e aplicação no bairro Pici – Fortaleza/CE. *Raega – O Espaço Geográfico em Análise*, 21, 204–233. <https://doi.org/10.5380/raega.v21i0.21247>
- Calheiros, R. O., Tabai, F. C. V., & Bosquilia, S. V. (2004). Preservação e recuperação das nascentes (da água e da vida). *Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ*.
- Carpenter, S., Bhawsar, A., & Bhat, M. A. (2018). Comparative study of physicochemical characteristics of groundwater and surface water in Bhopal city, India. *International Journal of Current Research in Life Sciences*, 7(2), 923–926.
- Carvalho Neto, L. M. (2021). Uso e ocupação do solo da área de preservação permanente (APP) da microbacia do córrego Barreiro, Uberaba (MG). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 1(2), 29–41.
- Fumagalli, N., Senes, G., Ferrario, P. S., & Toccolini, A. (2017). A minimum indicator set for assessing fontanili (lowland springs) of the Lombardy region in Italy. *European Countryside*, 9(1),

1–16. <https://doi.org/10.1515/euco-2017-0001>

Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22, 55. [https://legacy.voteview.com/pdf/Likert\\_1932.pdf](https://legacy.voteview.com/pdf/Likert_1932.pdf)

Luiz, J. D. S. (2019). Caracterização das nascentes e ecossistemas dependentes das águas subterâneas: Estudo de caso no município de Analândia–SP [Dissertação de mestrado]. <https://www.researchgate.net/publication/342943790>

Moura, A. B. A. P., & Zaidan, R. T. (2018). Análise multitemporal e possíveis impactos da expansão da silvicultura de eucalipto no município de Carrancas–MG. *Caderno de Geografia*, 27(48), 142–155. <https://doi.org/10.5752/P2318-2962.2017v27n48p142>

Pal, M., Samal, N. R., Roy, P. K., & Roy, M. B. (2015). Electrical conductivity of lake water as environmental monitoring: A case study of Rudrasagar Lake. *IOSR Journal of Environmental Science*, 9(3), 2319–2399.

Planet Team. (2017). Education and research program. <https://www.planet.com/markets/education-and-research/>

Rodrigues, V. A., Rodrigues, L. M., & Pissarra, T. C. T. (2011). Degradação ambiental da micro-bacia do ribeirão Tamanduá em relação com sua morfometria. *Revista Forestal Venezolana*, 55, 23–28. <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/140383>

Rosso-Pinto, M. J. (2019). Avaliação de condições ambientais de nascentes de cursos de água: Ferramenta de subsídio à gestão de recursos hídricos e ao planejamento de bacias hidrográficas [Dissertação de mestrado]. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11741>

Santos, B. F., Trevisan, D. P., & Moschini, L. E. (2018). Avaliação da vulnerabilidade ambiental do município de Itirapina–SP. *Revista Geotemas*, 8(1), 42–59.

Silva de Abreu, A. E., Braz Mesquita, J. L., & Murillo Bermudez, L. F. (2021). Caracterização geológica e hidroquímica de nascentes visando sua proteção ambiental em Analândia, São Paulo, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44, Article 36479. [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_2021\\_44\\_36479](https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_36479)

Taloor, A. K., Rashid, I., Lone, M. A., & Romshoo, S. A. (2020). Spring water quality and discharge assessment in the Basantar watershed of Jammu Himalaya using GIS and water quality index. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, Article 100364. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100364>

Tarpani, R. R. Z., & Brandão, J. L. B. (2009). Análise ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Mineirinho–São Carlos/SP. In *Anais do VI Congresso de Meio Ambiente da Associação de Universidades Grupo de Montevideu (AUGM)*. Universidade Federal de São Carlos.

Teodoro, V. L. I., Teixeira, D., Costa, D. J. L., & Fuller, B. B. (2007). O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, 11(1), 137–156. <https://doi.org/10.25061/2527-2675/>

ReBraM/2007.v11i1.236

Terra Cerezini, M., Hanai, F. Y., Rosso Pinto, M., & Saito, C. H. (2025). Integrated water resource management (IWRM): Assessment and applicability of tools in the Brazilian context. *Agua y Territorio*, 26, Article e8263. <https://doi.org/10.17561/at.26.8263>

Trevisan, D. P., Moschini, L. E., & Santos, B. F. (2018). Avaliação da vulnerabilidade ambiental de São Carlos–SP. *Raega – O Espaço Geográfico em Análise*, 44, 272–288. <https://www.researchgate.net/publication/324999667>

Trick, T., & Custodio, E. (2004). Hydrodynamic characteristics of the western Doñana region (area of El Abalario), Huelva, Spain. *Hydrogeology Journal*, 12(3), 321–335. <https://doi.org/10.1007/s10040-003-0282-4>

Velho, G. (1995). Estilo de vida urbano e modernidade. *Estudos Históricos*, 8(16), 227–234.

**Mauricio José Rosso Pinto**

✉ mauriciorossop@correo.unicordoba.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3919-4127>

**Frederico Yuri Hanai**

✉ fredyuri@ufscar.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8428-0019>

**Giovanna Collyer Resende**

✉ collyer.giovanna@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3963-5973>

**Editor Responsável**

Pedro Roberto Jacobi

**Editor Associado**

Rylanneive Teixeira

Submetido em: 16/05/2023

Aceito em: 13/10/2025

2026;29:e00007

**Declaração de disponibilidade de dados:**

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

# Evaluación del estado de conservación de nacederos de agua: herramienta para la gestión del agua

Mauricio José Rosso Pinto  
Frederico Yuri Hanai  
Giovanna Collyer Resende

**Resumen:** Los manantiales permiten el mantenimiento de diversos servicios ecosistémicos, por lo que resulta fundamental conocer y garantizar su conservación. El objetivo de esta investigación fue proponer una herramienta con potencial para la evaluación integrada de manantiales en dos cuencas hidrográficas del sudeste de Brasil con diferentes condiciones ambientales y geográficas. La herramienta denominada PANÁgua determina el estado de conservación mediante monitoreo ambiental, revisión de literatura y análisis espacial. Los resultados evidenciaron la potencialidad y versatilidad de la herramienta, generando resultados coherentes con las características propias de cada ecosistema. Los manantiales del arroyo Mineirinho presentan un estado de conservación clasificado como deficiente debido a la intensa degradación ambiental, mientras que los manantiales del Ribeirão do Tamanduá se encuentran parcialmente conservados, aunque existen conflictos asociados al uso inadecuado del suelo y a la contaminación del agua. A partir de la evaluación realizada se observó que PANÁgua constituye una herramienta funcional para el diagnóstico de factores que alteran la dinámica ecológica, estructural y ambiental de los manantiales.

São Paulo. Vol. 29, 2026

*Artículo original*

**Palabras-clave:** Nacederos; Recursos hídricos; PANÁgua; Estado de conservación; Herramienta de gestión.

# Assessment of springs conservation status: a tool for managing water resources

Mauricio José Rosso Pinto  
Frederico Yuri Hanai  
Giovanna Collyer Resende

**Abstract:** Springs sustain multiple ecosystem services, highlighting the need to assess and ensure their conservation status. This study aimed to develop a tool for the integrated assessment of springs in two watersheds in southeastern Brazil characterized by contrasting environmental and geographic conditions. The tool, named PANÁgua, determines conservation status through environmental monitoring, literature review, and spatial analysis. The results demonstrated the tool's applicability and versatility, producing outcomes consistent with the specific characteristics of each ecosystem. Springs in the Mineirinho stream were classified as having poor conservation status due to significant environmental degradation, whereas springs in the Tamanduá watershed were considered partially conserved, despite existing conflicts related to inadequate land use practices and water pollution. The assessment indicated that PANÁgua is a functional tool for diagnosing factors that influence the ecological, structural, and environmental dynamics of springs.

**Keywords:** Springs; Water Resources; PANÁgua; Conservation status; Management tool.

São Paulo. Vol. 29, 2026

*Original Article*