

Análise do Nível de Conservação das APPs de Nascentes no Estado de São Paulo

Giulia K. R. Tomazeli¹

¹Computação Aplicada – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
CEP 12.227-010 – São José dos Campos – SP – Brazil

giulia.tomazeli@inpe.br

Abstract. *The integrity of watercourses depends on the protection of springs and their Permanent Preservation Areas (PPAs). Federal Law 12.651/2012 establishes PPAs within a 50-meter radius around springs. However, field inspection involves high costs. In this context, this study proposed the use of geotechnologies to analyze the conservation of spring PPAs in the state of São Paulo between 2008 and 2024. The results indicated increases of 2.27% and 2.85% in the “High Conservation” and “Moderate Conservation” classes, respectively. Despite this progress, nearly half of the PPAs remain in the lowest conservation class, confirming the importance of using geotechnologies for environmental monitoring.*

Resumo. *A integridade dos cursos d’água depende da proteção das nascentes e de suas Áreas de Preservação Permanente (APPs). A Lei Federal 12.651/2012 estabelece APPs em um raio de 50 metros ao redor de nascentes. Entretanto, a fiscalização em campo apresenta custos elevados. Nesse contexto, este trabalho propôs utilizar geotecnologias para analisar a conservação das APPs de nascentes do estado de São Paulo entre os anos de 2008 e 2024. Os resultados indicaram aumento de 2,27% e 2,85% nas classes “Alta Conservação” e “Conservação Moderada”, respectivamente. Apesar desse avanço, quase metade das APPs permanece na pior classe de conservação, confirmando a importância do uso de geotecnologias para o monitoramento ambiental.*

1. Introdução

A água é um recurso fundamental para diversas atividades antrópicas, desde a manutenção da vida até atividades econômicas e de lazer [LIMA 2001]. A conservação da quantidade e qualidade dos cursos d’água é crítica para manter o acesso a esse recurso e o bem-estar coletivo. Preservar as nascentes das bacias hidrográficas faz parte desse processo. As nascentes podem ser definidas como um afloramento do lençol freático que dá origem a algum curso d’água ou fonte de água de acúmulo, como córregos e lagoas, respectivamente. Elas são elementos fundamentais no equilíbrio do ciclo hidrológico [SPILKI et al. 2014].

A crise hídrica enfrentada pela região metropolitana de São Paulo nos anos de 2014 e 2015 foi o resultado de forte escassez pluviométrica aliada à má gestão dos recursos hídricos, o que levou a decisões rigorosas para manter o fornecimento de água [SABESP 2015]. Nascentes preservadas garantem a vazão de base aos cursos d’água mesmo em períodos de estiagem [SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE 2009]. Com

isso, proteger essas áreas é essencial para tornar o estado resiliente às mudanças climáticas e aos consequentes impactos no ciclo hidrológico.

Preservar nascentes envolve proteger a vegetação no seu entorno. A mata ciliar auxilia a estabilizar as margens, evitando a erosão e o assoreamento [SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE 2009]. Nesse contexto, a Lei Federal 12.651/2012 [BRASIL 2012], popularmente conhecida como Novo Código Florestal, estabeleceu a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP) em um raio de 50 metros ao redor de nascentes e definiu 22 de julho de 2008 como marco temporal para caracterizar áreas rurais consolidadas, referência utilizada para a regularização ambiental.

As APPs são áreas protegidas com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade [BRASIL 2012]. Monitorar essas áreas é necessário para garantir o cumprimento da legislação. A simples existência da lei não assegura que os 50 metros de raio de preservação sejam respeitados. Por exemplo, no estado de São Paulo, a área agrícola produtiva chegou a 2,66 milhões de hectares na safra 24/25 [SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL 2025]. Esse processo de avanço da agricultura pode trazer muitos custos socioambientais, como a degradação dos recursos hídricos, seja por contaminação do solo ou por meio do desmatamento em regiões próximas às áreas de preservação [MARTINELLI et al. 2011].

Desse modo, fiscalizar essas APPs é essencial para verificar a conformidade com a lei e possibilitar a devida penalização pelo seu descumprimento, além de permitir a recuperação das regiões degradadas. No entanto, o estado de São Paulo possui milhares de propriedades rurais, o que torna logisticamente inviável a fiscalização pelo método convencional.

Com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto, tornou-se possível analisar grandes volumes de dados derivados de imagens de satélites com maior precisão [LEI et al. 2019]. Apesar disso, a aplicação dessas técnicas ao monitoramento de áreas de preservação de nascentes ainda é limitada. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar e comparar o nível de conservação da vegetação nativa no entorno de nascentes no estado de São Paulo entre os anos de 2008 e 2024, a fim de avaliar as mudanças ocorridas após a implementação da lei.

2. Metodologia

A área de estudo deste trabalho compreende todo o estado de São Paulo (Figura 1). A Figura 2 apresenta as etapas da metodologia adotada.

2.1. Dados

Os dados de localização das APPs de nascentes do estado de São Paulo foram obtidos a partir da plataforma do Cadastro Ambiental Rural (CAR), e os dados de uso e cobertura da terra, referentes aos anos de 2008 e 2024, foram extraídos da Coleção 10 do MapBiomas [MAPBIOMAS BRASIL 2025]. Também foram utilizados os limites das Unidades Federativas, dos municípios e das regiões intermediárias de São Paulo disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

2.2. Pré-Processamento

Os dados do CAR foram filtrados para selecionar apenas as APPs de nascentes. Em seguida, as geometrias foram corrigidas, uma vez que foram identificadas geometrias



Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo

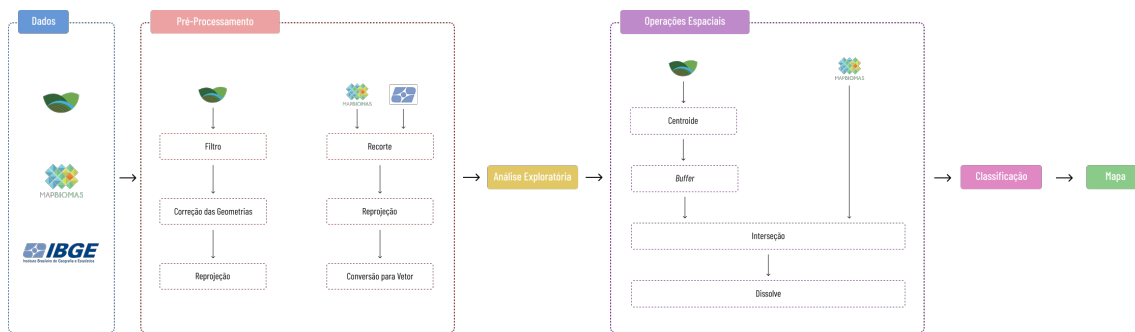


Figura 2. Fluxograma da Metodologia

inválidas no conjunto de dados. Os rasters de uso e cobertura da terra foram recortados utilizando o limite estadual de São Paulo. Na sequência, a camada de APPs e os rasters foram reprojitados para o sistema de referência EPSG:5880 (SIRGAS 2000 / Brazil Polyconic), por se tratar de um sistema de coordenadas projetadas adequado para cálculos de área. Por fim, os rasters foram convertidos para camadas vetoriais, a fim de possibilitar a interseção com as APPs de 50 metros e o cálculo das áreas ocupadas por cada classe de uso e cobertura da terra.

2.3. Análise Exploratória dos Dados

Na análise exploratória, realizada com Python e QGIS, foram extraídas estatísticas descritivas das APPs de nascentes e identificadas as regiões intermediárias e os municípios de São Paulo com maior concentração de nascentes. Também foi calculada a proporção, para cada ano analisado, da área ocupada por cada classe em todo o estado de São Paulo para analisar as mudanças ocorridas ao longo do período estudado.

2.4. Operações Espaciais

As APPs foram recalculadas devido às inconsistências geométricas observadas em alguns polígonos do CAR. Para isso, foram obtidos os centroides das APPs e gerados *buffers*

com raio de 50 metros ao redor desses pontos. Em seguida, foi realizada a interseção entre as APPs recalculadas e as camadas vetoriais de uso e cobertura da terra dos anos de 2008 e 2024. Posteriormente, foi aplicada a operação *Dissolve* por classe e por APP, com o objetivo de agrupar os fragmentos pertencentes à mesma classe em cada APP.

2.5. Classificação e Mapa

A classificação dos níveis de conservação das APPs de nascentes foi realizada utilizando Python. Para isso, foi necessário definir quais classes do MapBiomas seriam consideradas como áreas conservadas ou não. As classes foram agrupadas em dois conjuntos: Cobertura Natural, correspondente às áreas consideradas conservadas, e Uso Antrópico, que inclui as classes associadas a atividade e uso humano (Tabela 1).

Tabela 1. Agrupamento das Classes de Uso e Cobertura da Terra do MapBiomas.

| Grupo de Classificação | Classes do MapBiomas |
|------------------------|--------------------------------|
| Cobertura Natural | Floresta |
| | Vegetação Herbácea e Arbustiva |
| | Rio, Lago e Oceano |
| Uso Antrópico | Agropecuária |
| | Área não vegetada |
| | Aquicultura |

Os critérios utilizados para classificar o nível de conservação das APPs de nascentes [FERRAZ et al. 2017] estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Critérios para a Classificação dos Níveis de Conservação.

| | Alta Conservação | Conservação Moderada | Baixa Conservação |
|-------------------|------------------|----------------------|-------------------|
| Cobertura Natural | > 75% | 25% a 75% | < 25% |

Por fim, a partir dos resultados obtidos, foram elaboradas tabelas comparativas e mapas de classificação das APPs de nascentes para os dois anos analisados.

3. Resultados e Discussões

As principais alterações no uso e cobertura da terra ocorridas no período de 2008 a 2024 dentro das APPs de nascentes foram observadas nas classes Floresta, Agropecuária e Área não Vegetada. A área ocupada pela classe Floresta e pela classe Área não Vegetada apresentou aumento de 3,8% e 0,12%, respectivamente, enquanto a área de Agropecuária reduziu 3,75%. Esses resultados estão detalhados na Tabela 3.

Apesar do aumento da classe Floresta e da redução da classe Agropecuária, mais da metade da área das APPs de nascentes permanece ocupada por áreas agropecuárias. O aumento da classe Área não Vegetada possivelmente está relacionado à expansão urbana durante o período analisado.

As APPs de nascentes classificadas como “Alta Conservação” e “Conservação Moderada” apresentaram aumento de 2,27% e 2,85%, respectivamente, entre os anos de 2008

Tabela 3. Classes de Uso e Cobertura da Terra dentro das APPs (2008 - 2024).

| Classes | 2008 | | 2024 | |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| | Área (km ²) | Porcentagem (%) | Área (km ²) | Porcentagem (%) |
| Floresta | 843,32 | 39,52 | 924,53 | 43,32 |
| Vegetação Herbácea e Arbustiva | 48,10 | 2,25 | 45,37 | 2,13 |
| Agropecuária | 1.236,80 | 57,95 | 1.156,68 | 54,20 |
| Área não Vegetada | 2,30 | 0,11 | 4,82 | 0,23 |
| Rio, Lago e Oceano | 3,64 | 0,17 | 2,76 | 0,13 |
| Aquicultura | 0,00 | < 0,01 | 0,00 | < 0,01 |
| Total da Área (km²) | | | | 2.134,16 |

e 2024. Por outro lado, as APPs classificadas como “Baixa Conservação” apresentaram redução de 5,12% (Tabela 4).

Tabela 4. Área dos Níveis de Conservação (2008 - 2024).

| Nível de Conservação | 2008 | | 2024 | |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| | Área (km ²) | Porcentagem (%) | Área (km ²) | Porcentagem (%) |
| Alta Conservação | 714,97 | 33,50 | 763,48 | 35,77 |
| Conservação Moderada | 365,75 | 17,14 | 426,60 | 19,99 |
| Baixa Conservação | 1.053,44 | 49,36 | 944,08 | 44,24 |
| Total da Área (km²) | | | | 2.134,16 |

Para visualizar espacialmente a classificação das APPs de nascentes, foi elaborado um mapa temático, apresentado na Figura 3.

Apesar da melhora, quase metade das APPs ainda é classificada com o pior nível de conservação. Isso evidencia que o aumento da fiscalização e do monitoramento nessas áreas é essencial para propor iniciativas de recuperação e garantir a devida responsabilização daqueles que descumprem a lei.

4. Conclusões

Este trabalho propôs analisar e comparar o nível de conservação das APPs de nascentes do estado de São Paulo entre os anos de 2008 e 2024. O objetivo foi investigar se a Lei Federal 12.651/2012 apresentou efeitos positivos nesse período.

Os resultados obtidos indicaram melhoria no nível de conservação das APPs de nascentes ao longo do período analisado. As APPs classificadas como “Baixa Conservação” apresentaram redução superior a 5%. Contudo, a agropecuária ainda ocupa mais de 54% da área legalmente protegida das nascentes paulistas. Além disso, quase metade dessas APPs permanece classificada no pior nível de conservação. Portanto, embora o cenário apresente evolução positiva, os resultados evidenciam que o estado de São Paulo precisa fortalecer o monitoramento, a fiscalização e a recuperação ambiental voltados à proteção de suas nascentes.

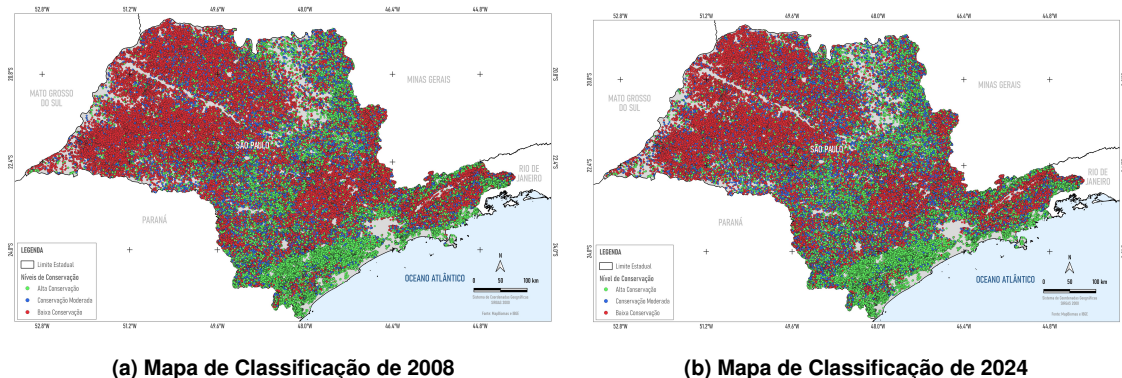


Figura 3. Comparativo dos Níveis de Conservação das APPs de Nascentes

Para trabalhos futuros, pretende-se explorar alternativas aos mapas de uso e cobertura da terra do MapBiomias baseados em imagens Landsat com resolução espacial de 30 metros. Outros avanços mais audaciosos incluem analisar séries temporais para identificar mudanças e padrões ao longo do tempo e utilizar Redes Neurais Artificiais para monitorar o nível de conservação das APPs de nascentes por meio de imagens de satélite.

Referências

- BRASIL (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (código florestal brasileiro).
- FERRAZ, F., LAGO, G., and BARGOS, D. C. (2017). Mapeamento e classificação do nível de degradação das nascentes da microbacia do ribeirão dos passos (mbrp) como subsídio ao planejamento ambiental. *Caminhos de Geografia*, 18:78–90.
- LEI, M. et al. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152:166–177.
- LIMA, J. E. F. W. (2001). Recursos hídricos no brasil e no mundo. Technical Report 33, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.
- MAPBIOMAS BRASIL (2025). Coleção 10 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do brasil.
- MARTINELLI, L. A. et al. (2011). Sugar and ethanol production as a rural development strategy in brazil: evidence from the state of são paulo. *Agricultural Systems*, 104(5):419–428.
- SABESP (2015). Crise hídrica, estratégias e soluções.
- SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL (2025). São paulo amplia área produtiva e produtividade e chega a 11,6 milhões de toneladas de grãos na safra 24/25.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (2009). *Preservação e recuperação das nascentes de água e vida*. Number 1 in Cadernos da Mata Ciliar. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- SPIILKI, F. et al. (2014). *Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro*. Academia Brasileira de Ciências, São Paulo.