

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A PROTEÇÃO DE ZONAS DE RECARGA DE AQUÍFEROS SEDIMENTARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

André de Andrade Kolya¹ & Mariza Fernanda da Silva²

Abstract: This study presents the methodology and results of a project aimed at identifying priority areas for the protection and restoration of sedimentary aquifer recharge zones in the State of São Paulo, Brazil. The initiative was developed focusing on water sustainability and the strategic use of geospatial tools. Hydrogeological, environmental, and operational criteria were considered, including outcropping of high-productivity sedimentary units, land use and cover, and municipalities under Sabesp's concession. The analysis was conducted using GIS software (ArcGIS Pro 3.1) and official datasets, resulting in a classification of areas into three priority levels. The final product was a thematic map at a 1:750,000 scale, highlighting regions with the greatest potential for conservation and groundwater recharge. The study supports territorial planning and public policy development for water security, aligning with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) 6, 11, 13, and 17.

Resumo: Este trabalho apresenta os métodos e os resultados de um estudo voltado à identificação de áreas prioritárias para a proteção e recuperação de zonas de recarga de aquíferos sedimentares no Estado de São Paulo. A iniciativa foi desenvolvida com foco na sustentabilidade hídrica e com uso estratégico de ferramentas de geoprocessamento. Foram considerados critérios hidrogeológicos, ambientais e operacionais, como afloramento de unidades sedimentares de alta produtividade, uso e ocupação do solo, e municípios sob concessão da Sabesp. A análise foi realizada em ambiente SIG (ArcGIS Pro 3.1), com base em dados públicos, e resultou na classificação das áreas em três categorias de prioridade. O produto final foi um mapa temático na escala 1:750.000, que destaca regiões com maior potencial para ações de conservação e recarga hídrica. O estudo contribui para o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas voltadas à segurança hídrica, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, 11, 13 e 17 da Agenda 2030 da ONU.

Palavras-Chave – Recarga de Aquíferos; Geoprocessamento; ODS.

INTRODUÇÃO

A gestão sustentável dos recursos hídricos representa um dos principais desafios contemporâneos, especialmente diante das pressões induzidas pelas mudanças climáticas e pelo crescimento populacional. Alterações nos regimes de precipitação, evaporação e vazão de corpos hídricos, somadas ao aumento da demanda por água e mudanças no hábito de consumo, intensificam a necessidade de estratégias integradas de planejamento e conservação dos recursos hídricos (Tundisi, 2008; SABESP, 2021; OECD, 2022). As áreas de recarga de aquíferos correspondem às regiões onde

1) Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), R. Sumidouro, 448 - Pinheiros, São Paulo - SP, 05428-010, (11) 3388-8152, akolya@sabesp.com.br

2) Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), R. Sumidouro, 448 - Pinheiros, São Paulo - SP, 05428-010, (11) 3388-9313, marizafernanda@sabesp.com.br

a água da chuva ou de rios infiltra-se no solo e alimenta os sistemas aquíferos subterrâneos. Essas zonas são fundamentais para a manutenção do equilíbrio hidrológico, pois garantem o abastecimento contínuo de água subterrânea, que representa cerca de 97% da água doce disponível em estado líquido no planeta, e corresponde ao total de 40% de abastecimento das sedes urbanas com uso exclusivo desta fonte no Brasil (BRASIL, 2021).

A falta de proteção de áreas de recarga de aquíferos pode ocasionar perda de qualidade e quantidade nos mananciais subterrâneos. A proteção dessas áreas é essencial, especialmente diante dos crescentes processos de urbanização desordenada, desmatamento e uso inadequado do solo, que comprometem a permeabilidade do terreno e reduzem drasticamente a capacidade de infiltração. O solo coberto por vegetação natural, como florestas e matas ciliares, promove maior infiltração e menor escoamento superficial, favorecendo a recarga dos aquíferos (TUCCI, 2008).

Paralelamente, a expansão acelerada das tecnologias digitais, como inteligência artificial, computação em nuvem, big data, internet das coisas, blockchain, entre outras, tem impulsionado o desenvolvimento de grandes centros de processamento de dados (*data centers*), cuja operação depende de infraestrutura intensiva em uso de energia e água. O resfriamento dos equipamentos é um dos principais fatores de consumo hídrico nesses empreendimentos. Estimativas mostram que grandes *data centers* podem utilizar até 760 milhões de litros de água por ano (Zhang, 2024).

Embora tecnologias como sistemas de resfriamento de circuito fechado e o uso de água reciclada tenham contribuído para a redução da retirada de água do meio ambiente, os *data centers* ainda dependem fortemente da disponibilidade hídrica. Essa relação se mostra particularmente relevante em regiões metropolitanas, onde a competição entre diferentes usos da água é mais intensa (Ashtine e Mytton, 2023).

No Brasil, a priorização dos usos da água é regulamentada pela Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Essa legislação estabelece que o uso prioritário da água é o consumo humano e a dessedentação de animais, especialmente em situações de escassez. Para orientar as ações de mitigação e compensação de impactos causados por empreendimentos com significativo impacto ambiental destaca-se o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, regulamentado pelo Decreto nº 4.340/2002.

Neste contexto, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), com o objetivo de desenvolver ações voltadas à sustentabilidade hídrica e importância estratégica dos aquíferos sedimentares, elaborou subsídios técnicos para a definição de áreas prioritárias para conservação e recuperação de zonas de recarga de aquíferos. Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o método utilizado para identificar e classificar zonas prioritárias de recarga de aquíferos no estado de São Paulo, contribuindo para a formulação de políticas públicas e estratégias corporativas de gestão hídrica sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa do trabalho consistiu no levantamento documental e discussões sobre possíveis áreas prioritárias para reflorestamento que incluíssem a variável de recarga de aquíferos como ponto central dos benefícios obtidos.

Com base nessa análise, foi definido o escopo de atuação da equipe técnica de geologia, que incluiu a delimitação das zonas prioritárias para recarga de aquíferos, considerando critérios hidrogeológicos, ambientais e operacionais. Os critérios adotados foram os seguintes:

1. Afloramento de unidades sedimentares de alta produtividade: áreas de afloramento de aquíferos livres, caracterizadas por maior vulnerabilidade e potencial de recarga direta por águas superficiais.

2. Uso e ocupação do solo com cobertura permeável e não florestal: áreas com potencial de infiltração hídrica e passíveis de recuperação ambiental por meio de reflorestamento.

3. Municípios sob concessão da Sabesp: delimitação espacial baseada nos municípios onde a Sabesp opera, com ênfase na captação de águas subterrâneas.

A partir desses critérios, foi desenvolvido um projeto em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software ArcGIS Pro 3.1, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo dos dados e processamentos aplicados no projeto SIG

Título	Fonte	Processamentos aplicados	Escala
Limites municipais	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025	filtragem dos municípios operados pela Sabesp	N/A
Poços tubulares profundos operados pela Sabesp	Sabesp, 2025	N/A	N/A
Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico	Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do estado de São Paulo, 2014	filtragem das unidades sedimentares aquíferas	1:750.000
Cobertura da Terra do estado de São Paulo	Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do estado de São Paulo, 2013	filtragem das classes "Cobertura arbustiva" e "Solo exposto"	1:100.000

Após os processamentos iniciais, as camadas foram processadas de forma integrada por meio de operações de interseção espacial, resultando na classificação das zonas de recarga em três categorias:

Alta prioridade: áreas de afloramento aquífero com cobertura de solo exposto.

Média prioridade: áreas de afloramento aquífero com cobertura arbustiva.

Baixa prioridade: demais áreas fora dos critérios anteriores.

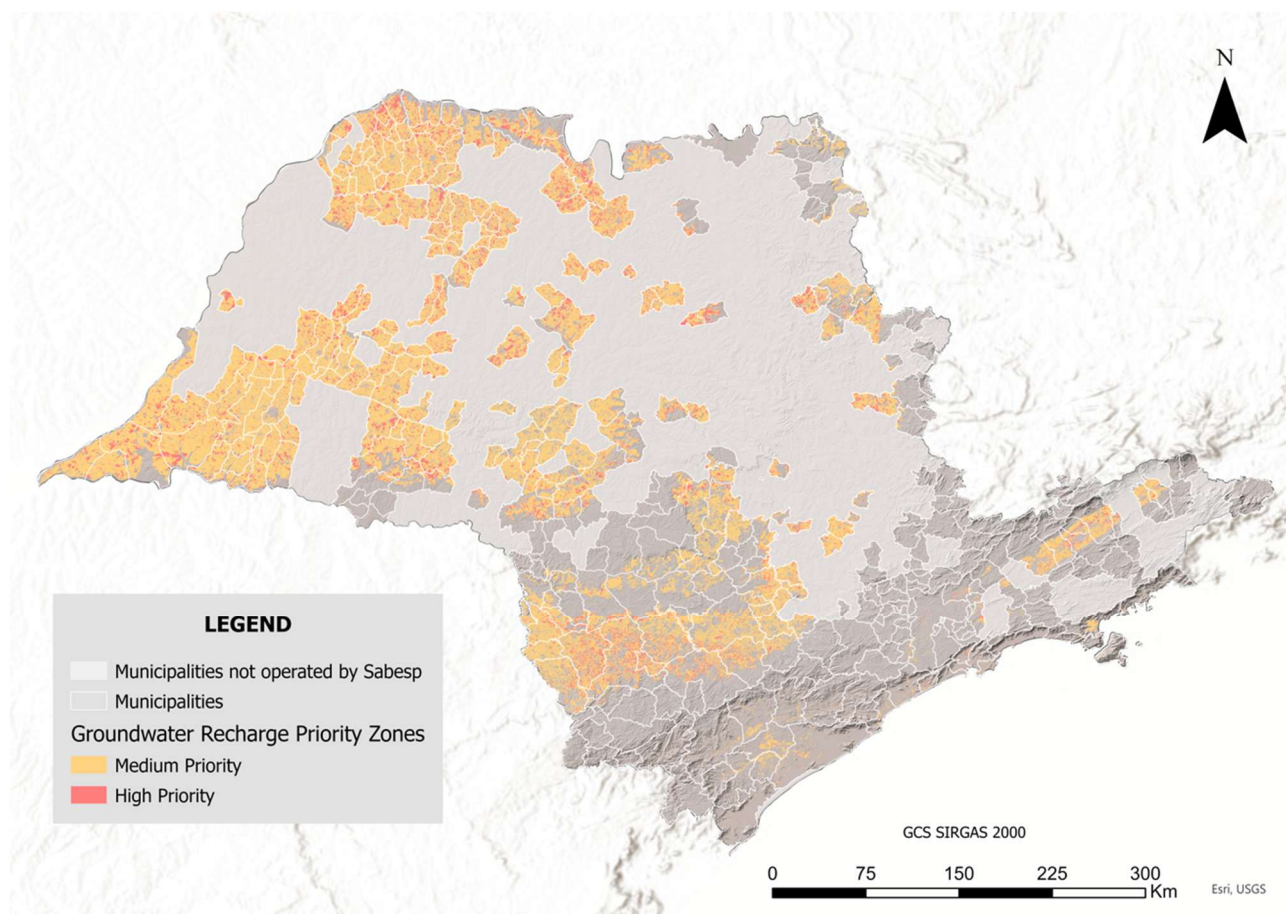
A classificação acima refere-se exclusivamente ao escopo do projeto e está limitada à escala 1:750.000, que consiste na escala de menor detalhamento dos dados fonte. Essa característica implica que os resultados indicam amplas regiões de interesse, sujeitas a estudos de maior resolução para a definição de áreas específicas de intervenção.

Como produto final, foi gerado um mapa temático para todo o Estado de São Paulo, com destaque para os municípios inseridos na área focal. Em cada município, foram identificados os poços operados pela Sabesp, permitindo a avaliação da relevância das águas subterrâneas para o abastecimento local.

RESULTADOS

O principal produto gerado foi um mapa temático, na escala 1:750.000, representando o zoneamento de áreas prioritárias para a proteção e recuperação de zonas de recarga de aquíferos nos municípios sob concessão da Sabesp no estado de São Paulo (Figura 1). O mapa classifica as áreas em duas classes de prioridade: alta (representada em vermelho) e média (em amarelo). As áreas em cinza correspondem a regiões não mapeadas ou classificadas como de baixa prioridade.

Figura 1 – Mapa de áreas prioritárias para a proteção e recuperação de zonas de recarga de aquíferos sedimentares nos municípios sob concessão da Sabesp, na escala 1:750.000



As zonas prioritárias concentram-se, predominantemente, nas regiões norte e oeste do estado, além do Vale do Paraíba. Essa distribuição espacial reflete a ocorrência de afloramentos de unidades sedimentares aquíferas de alta produtividade (mais especificamente aquíferos Guarani, Taubaté, Tubarão e Bauru), associadas a extensas áreas rurais com uso do solo voltado à agricultura e pastagens.

Do total de áreas classificadas como prioritárias, aproximadamente 15% (cerca de 800 mil hectares) foram identificadas como de alta prioridade, enquanto os 85% restantes (aproximadamente 4,6 milhões de hectares) foram classificadas como de média prioridade. As zonas de média prioridade apresentam maior continuidade espacial, com área média de aproximadamente 400 hectares por

polígono, ao passo que as zonas de alta prioridade são mais fragmentadas, com área média de 40 hectares por polígono.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho consistiu na elaboração de um mapa de zoneamento de áreas prioritárias para proteção e recuperação de zonas de recarga de aquíferos, com abrangência estadual e escala de 1:750.000. Este produto visa contribuir com a gestão territorial e a formulação de estratégias voltadas à reforçar a segurança hídrica, indicando regiões com maior potencial para ações de conservação e restauração ambiental.

Dada a escala adotada, os resultados devem ser interpretados como um panorama regional, útil para orientar a seleção de áreas para estudos de maior detalhamento. A dinâmica de uso e ocupação do solo reforça a necessidade de atualizações periódicas do estudo, com base em dados oficiais mais recentes e de maior resolução espacial.

Como recomendação metodológica, sugere-se a ampliação dos critérios de priorização, incorporando variáveis topográficas e hidrológicas adicionais. Um exemplo é o uso do Topographic Wetness Index (TWI), que integra informações de declividade e de área de contribuição para estimar o potencial de acúmulo de água no terreno, o que favorece a infiltração. A inclusão de índices como o TWI pode aprimorar a identificação de áreas com maior propensão à recarga dos aquíferos, contribuindo para uma abordagem mais integrada e precisa.

A adoção de ferramentas geoespaciais permite avançar na construção de estratégias de planejamento territorial orientadas à sustentabilidade. Em especial, nas regiões metropolitanas, onde os conflitos pelo uso da água são mais intensos, a gestão integrada das zonas de recarga é essencial para garantir a disponibilidade hídrica a longo prazo, em consonância com os princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas. O mapa gerado como produto deste trabalho, assim como as ações previstas no âmbito do projeto, tem potencial para contribuir diretamente com quatro dos ODS (Figura 4).

Figura 2 – ODS para os quais este trabalho contribui.



ODS 6 – Água Potável e Saneamento: proteção de fontes hídricas e redução de perdas.

ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis: planejamento urbano com foco em infraestrutura verde.

ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima: reflorestamento e soluções baseadas na natureza.

ODS 17 – Parcerias e Meios de Implementação: colaboração entre setor público, privado e sociedade civil.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. – Brasília: ANA, 2021, 332 p.
- ASHTINE, M.; MYTTON, D. (2023). The true cost of water-guzzling data centres. Department of Engineering Science, University of Oxford. Disponível em: <https://eng.ox.ac.uk/case-studies/the-true-cost-of-water-guzzling-data-centres/>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- BRASIL. Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Regulamenta a Lei nº 9.985/2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 ago. 2002.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). (2022). *Fostering water resilience in Brazil: turning strategy into action*. Paris: OECD Publishing. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/fostering-water-resilience-in-brazil_85a99a7c-en.html. Acesso em: 18 jun. 2025.
- SABESP. (2021). *Estratégias resilientes: um plano de adaptação às variações climáticas na gestão de recursos hídricos para o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo: Sabesp. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/livro_estrategias_resilientes.pdf. Acesso em: 18 jun. 2025.
- TUCCI, C. E. M. *Águas urbanas*. Estudos Avançados, Porto Alegre, v. 22, n. 63, p. 97-112, jan. 2008.
- TUNDISI, J.G. (2008). *Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções*. Estudos Avançados (22-63), pp. 7 – 16. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/7gyMPtTzfkYfWWsMHqVLTqm/>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- ZHANG, M. (2024). *Data Center Water Usage: A Comprehensive Guide*. Dgtl Infra. Disponível em: <https://dgtlinfra.com/data-center-water-usage/>. Acesso em: 17 jun. 2025.