

Diagnóstico dos recursos hídricos da sub-bacia do Ribeirão Baguaçu e propostas de soluções sustentáveis

José Paulo Vanzela

Universidade Brasil, Brasil

jpvanzela@yahoo.com.br

ORCID iD 0009-0000-7291-8310

Gisele Herbst Vazquez

Professora Doutora Universidade Brasil, Brasil

gisele.vazquez@ub.edu.br

ORCID iD 0000-0002-0957-329X

Evandro Roberto Tagliaferro

Professor Doutor, Universidade Brasil, Brasil

tagliaferro@etagli.com.br

ORCID iD 0000-0003-2557-031X

Luiz Sérgio Vanzela

Professor Doutor, Universidade Brasil, Brasil

luiz.vanzela@ub.edu.br

ORCID iD 0000-0002-2192-9252

Roberto Andreani Junior

Professora Doutora Universidade Brasil, Brasil

roberto.andreani@universidadebrasil.edu.br

ORCID iD 0000-0002-0290-3356

Diagnóstico dos recursos hídricos da sub-bacia do Ribeirão Bagaçu e propostas de soluções sustentáveis

RESUMO

Objetivo: foi avaliar a disponibilidade hídrica da sub-bacia do Ribeirão Bagaçu, no Estado de São Paulo, fornecendo subsídios para a gestão sustentável dos recursos hídricos e propondo soluções para mitigar riscos de escassez.

Metodologia: Foram analisados dados de oferta e demanda hídrica, bem como características ambientais, fisiográficas e morfométricas da sub-bacia.

Originalidade/relevância: A pesquisa se destaca por integrar análises de dados socioeconômicos, ambientais, fisiográficos, morfológicos, pedológicos, do regime das precipitações médias anuais e de uso os recursos hídricos, possibilitando o diagnóstico detalhado em escala local. Essa abordagem permite não apenas identificar a redução da disponibilidade hídrica ao longo do tempo, mas também relacionar os impactos de padrões de ocupação antrópica territorial, fornecendo evidências robustas para a gestão integrada e sustentável de recursos hídricos em bacias críticas.

Resultados: os dados indicaram que apenas 4,62% da área permanece coberta por vegetação nativa, sendo o atual uso do solo um fator que favorece processos erosivos e assoreamento. Entre 2010 e 2024, observou-se uma redução de 6,44% na média anual de precipitações, atingindo 8,41% de 2020 a 2024. Essa diminuição refletiu na oferta hídrica (Q7-10), com reduções de 10,12% (2010-2024) e 13,35% (2020-2024). A maior demanda outorgada refere-se à captação superficial, sendo o abastecimento público e as atividades industriais os principais consumidores.

Contribuições teóricas/metodológicas: A análise integrada de oferta e demanda hídrica evidenciou déficit estrutural e risco de colapso em períodos de escassez, reforçando a necessidade de planejamento e gestão adaptativa.

Contribuições sociais e ambientais: O estudo aponta para a urgência de ações de preservação, recuperação e conservação do manancial, com envolvimento articulado entre poder público, órgãos ambientais, setor produtivo e sociedade civil. Tais medidas são fundamentais para assegurar a disponibilidade de água para as futuras gerações, reduzir conflitos pelo uso do recurso e promover equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Escassez Hídrica. Recursos Hídricos. Uso e ocupação do solo.

Diagnosis of Water Resources in the Ribeirão Bagaçu Sub-Basin and Proposals for Sustainable Solutions

ABSTRACT

Objective: This study aimed to assess the water availability of the Ribeirão Bagaçu sub-basin, in the State of São Paulo, providing support for sustainable water resource management and proposing solutions to mitigate scarcity risks.

Methodology: Data on water supply and demand, as well as environmental, physiographic, and morphometric characteristics of the sub-basin, were analyzed.

Originality/relevance: The research stands out for integrating socioeconomic, environmental, physiographic, morphological, pedological, rainfall regime, and water use data, enabling a detailed diagnosis at a local scale. This approach not only identifies the reduction in water availability over time but also links the impacts of anthropic land occupation patterns, providing robust evidence for integrated and sustainable management of water resources in critical basins.

Results: The data indicated that only 4.62% of the area remains covered by native vegetation, with current land use favoring erosive processes and siltation. Between 2010 and 2024, a 6.44% reduction in average annual rainfall was observed, reaching 8.41% between 2020 and 2024. This decrease affected water supply (Q7-10), with reductions of 10.12% (2010–2024) and 13.35% (2020–2024). The largest granted demand refers to surface water abstraction, with public supply and industrial activities as the main consumers.

Theoretical/methodological contributions: The integrated analysis of water supply and demand highlighted a structural deficit and the risk of collapse during periods of scarcity, reinforcing the need for adaptive planning and management.

Social and environmental contributions: The study points to the urgency of preservation, recovery, and conservation actions for the water source, involving coordinated efforts among public authorities, environmental agencies, the productive sector, and civil society. Such measures are essential to ensure water availability for future generations, reduce conflicts over resource use, and promote a balance between economic development and environmental preservation.

KEYWORDS: Water Scarcity. Water Resources. Land Use and Occupation.

Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Subcuenca del Ribeirão Baguaçu y Propuestas de Soluciones Sostenibles

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de este estudio fue evaluar la disponibilidad hídrica de la subcuenca del Ribeirão Baguaçu, en el Estado de São Paulo, proporcionando insumos para la gestión sostenible de los recursos hídricos y proponiendo soluciones para mitigar los riesgos de escasez.

Metodología: Se analizaron datos de oferta y demanda de agua, así como características ambientales, fisiográficas y morfométricas de la subcuenca.

Originalidad/relevancia: La investigación se destaca por integrar el análisis de datos socioeconómicos, ambientales, fisiográficos, morfológicos, pedológicos, del régimen de precipitaciones medias anuales y del uso de los recursos hídricos, lo que permite un diagnóstico detallado a escala local. Este enfoque no solo identifica la reducción de la disponibilidad hídrica a lo largo del tiempo, sino que también relaciona los impactos de los patrones de ocupación antrópica del territorio, proporcionando evidencias sólidas para la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos en cuencas críticas.

Resultados: Los datos indicaron que solo el 4,62% del área permanece cubierta por vegetación nativa, siendo el uso actual del suelo un factor que favorece los procesos erosivos y el azolvamiento. Entre 2010 y 2024 se observó una reducción del 6,44% en la precipitación media anual, alcanzando el 8,41% entre 2020 y 2024. Esta disminución se reflejó en la oferta hídrica (Q7-10), con reducciones del 10,12% (2010–2024) y del 13,35% (2020–2024). La mayor demanda otorgada corresponde a la captación superficial, siendo el abastecimiento público y las actividades industriales los principales consumidores.

Contribuciones teóricas/metodológicas: El análisis integrado de oferta y demanda de agua evidenció un déficit estructural y riesgo de colapso en períodos de escasez, reforzando la necesidad de planificación y gestión adaptativa.

Contribuciones sociales y ambientales: El estudio señala la urgencia de acciones de preservación, recuperación y conservación de la fuente hídrica, con un involucramiento articulado entre el poder público, los organismos ambientales, el sector productivo y la sociedad civil. Tales medidas son fundamentales para asegurar la disponibilidad de agua para las futuras generaciones, reducir conflictos por el uso del recurso y promover el equilibrio entre desarrollo económico y preservación ambiental.

PALABRAS CLAVE: Escasez de Agua. Recursos Hídricos. Uso y Ocupación del Suelo.

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de recursos hídricos, assegurando o acesso à água em quantidade e qualidade adequadas, exerce papel fundamental no equilíbrio ambiental e no bem-estar humano, sendo essencial para a manutenção dos ecossistemas terrestres e aquáticos (Marinova *et al.*, 2025). A água é um insumo indispensável à vida, e sua gestão responsável é estratégica para o desenvolvimento socioeconômico sustentável de uma região ou nação, uma vez que o crescimento econômico, a segurança alimentar, a saúde pública e a conservação ambiental dependem diretamente desse recurso (Von Sperling, 2005; Heller; Pádua, 2010).

Reconhecendo essa importância, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu, em 2015, os dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a serem alcançados até 2030. Entre eles, destaca-se o ODS 6, que trata especificamente de água potável e saneamento, propondo metas como: universalizar o acesso à água de qualidade; reduzir a poluição hídrica; aumentar a eficiência do uso da água; proteger e restaurar ecossistemas relacionados; ampliar a participação social na gestão dos recursos hídricos; e fomentar tecnologias para saneamento, dessalinização, reciclagem e reúso da água (ONU, 2023).

A qualidade da água destinada ao abastecimento público é um fator crítico para a saúde coletiva (BRASIL, 2011). O consumo de água fora dos padrões sanitários pode causar agravos significativos à saúde humana, afetando a capacidade de aprendizado e trabalho, e desencadeando impactos socioeconômicos expressivos, como aumento das internações hospitalares e elevação dos custos com medicamentos e tratamentos (Barroso *et al.*, 2024; Paiva *et al.*, 2025). Historicamente, as políticas públicas voltadas à avaliação, controle e gestão hídrica priorizaram grandes bacias hidrográficas (Marinova *et al.*, 2025). Entretanto, estudos em escala local, especialmente em sub-bacias, são cada vez mais necessários, pois essas unidades, interligadas, compõem o sistema hidrológico de uma bacia e apresentam especificidades que influenciam diretamente a disponibilidade e a qualidade da água. A compreensão mais precisa das condições específicas dessas sub-bacias, assim como das ações dos usuários individuais de água e dos seus efeitos cumulativos sobre o equilíbrio hidrológico, é crucial para uma gestão eficaz e integrada (Teixeira *et al.*, 2024; Teixeira; Ribeiro, 2025).

Dentre as diversas sub-bacias do Estado de São Paulo, destaca-se no presente estudo a do Ribeirão Bagaçu. Esta sub-bacia se situa a noroeste do Estado de São Paulo, cuja nascente se localiza no município de Coroados – SP. Em seu trajeto até a foz no Rio Tietê, percorre áreas de mais três municípios: Bilac, Birigui e Araçatuba. Na área de abrangência da sub-bacia do Ribeirão Bagaçu, por meio do curso principal ou por seus afluentes e pequenos tributários, o manancial fornece água bruta para diferentes usos, com destaque para abastecimento público, produção industrial, agroindústria, pecuária e agricultura. No entanto, práticas inadequadas de ocupação e uso do solo sem a devida preservação das vegetações nativas remanescentes, principalmente, das matas ciliares nativas, associado ao crescimento das demandas hídricas e a sazonalidade nas médias anuais precipitadas, comprometem a sustentabilidade dos usos consuntivos, sobretudo no abastecimento público (Barroso *et al.*, 2024; Paiva *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, a implementação de um planejamento e gerenciamento integrado dos recursos hídricos em escala local, alinhado aos princípios do ODS 6, apresenta-se como alternativa viável para mitigar impactos e promover a sustentabilidade. Isso requer diagnóstico criterioso da disponibilidade hídrica, considerando fatores edafoclimáticos, físicos e fisiográficos, bem como análise detalhada das ofertas e demandas (Bilalova *et al.*, 2023).

Este estudo concentrou-se na seção do Ribeirão Baguaçu localizada na zona urbanizada do município de Araçatuba – SP, ponto à jusante da captação de água bruta para o abastecimento público local. Como a sub-bacia hidrográfica foco do estudo se constitui na nascente do Ribeirão Baguaçu, a nomenclatura de sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Baguaçu será convencionada.

2 OBJETIVOS

A partir da delimitação da área, os seguintes objetivos foram traçados: (a) caracterizar aspectos socioeconômicos e ambientais da sub-bacia (clima, solos, topografia, uso e ocupação do solo, saneamento básico, distribuição populacional e atividades econômicas), suas características fisiográficas (dimensões físicas e morfométricas), a oferta e a qualidade das águas superficiais (vazões médias e mínimas), e as demandas hídricas, com foco na demanda superficial; (b) diagnosticar os principais problemas; e (c) propor soluções fundamentadas em ações participativas, envolvendo poder público, órgãos ambientais, concessionárias e sociedade civil.

3 METODOLOGIA

3.1 Aspectos gerais da Bacia do Baixo Tietê

Os dados referentes aos aspectos e características gerais da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê (BBT) foram extraídos do “Relatório de Situação 2022”, ano base 2021, elaborado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê - UGRHI 19 (Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, 2022); do Plano da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê – UGRHI-19 – Relatório I – 2016/2019 (PBH BT, 2016/2019) elaborado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê - CBH BT; e do Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, 2016-2018, publicado em 2019 pela CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019).

3.2 Localização e delimitação do divisor de águas e rede de drenagem

A localização e delimitação do divisor de águas que compõe a rede de drenagem da sub-bacia do Ribeirão Baguaçu, a partir da seção de estudo, foi determinada por sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagem de satélite CIBERS 4A (USGS, 2021) e da *DigitalGlobe* (Google Inc., 2021) datadas de 2021, apoiada em curvas de níveis vetorizadas de cartas topográficas 1:50.000 preparadas pelo Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo (IGGSP, 1967) e disponibilizada pelo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2025).

3.3 Distribuição percentual territorial dos municípios na área da sub-bacia

Os polígonos dos limites territoriais municipais foram obtidos junto à Secretaria da Casa Civil, Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo (IDESP), vetorizados a partir da análise de diversas Leis Estaduais interpretadas com o auxílio de cartas topográficas elaboradas pelo IBGE/IGGSP/IGCSP (GEOPORTAL IGC, 2021). A distribuição percentual das áreas

municipais parcialmente dentro da sub-bacia foi determinada por meio da sobreposição das linhas do divisor de águas da rede de drenagem da sub-bacia e dos limites territoriais municipais.

3.4 Obtenção dos dados socioeconômicos

As informações socioeconômicas dos municípios interceptados pela área de drenagem da sub-bacia hidrográfica como dados de distribuição populacional, situação de saneamento básico e economia foram obtidos a partir de informações do IBGE (IBGE – CIDADES, 2022), do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022) e da Fundação SEADE Municípios – Economia (SEADE MUNICÍPIOS, 2021).

3.5 Características Edafoclimáticas

3.5.1 Mapa de solos e de vulnerabilidade à erosão hídrica: O mapa de tipo de solos e classificação pedológica associado foi elaborado de acordo com Rossi (2017) e o da vulnerabilidade a erosão hídrica foi obtido por meio da plataforma PRONASOLOS – Programa Nacional de Solos do Brasil (PRONASOLOS, 2018).

3.5.2 Dados climáticos de precipitações: Os dados climáticos referentes às precipitações das séries históricas foram obtidos de duas bases de dados: estações pluviométricas C7-085 (instalada no município de Bilac – SP) e C7-072 (instalada no município de Araçatuba – SP), ambas pertencentes ao banco de dados da SP Águas (SP ÁGUAS, 2024).

3.5.3 Identificação do bioma, tipo de vegetação e cobertura vegetal: O bioma e a fisionomia vegetal de ocorrência regional foram obtidos a partir dos mapas temáticos de biomas e regiões fitoecológicas do Estado de São Paulo, desenvolvidos e disponibilizados pelo IBGE (IBGE, 2004) em cooperação com o Ministério do Meio Ambiente e projeto RADAM/BRASIL. O percentual da cobertura vegetal nativa na área de influência da sub-bacia foi obtido por meio de mapa temático produzido e disponibilizado pela coordenadoria de planejamento ambiental da Secretaria de Meio Ambiente (SMA/CPLA, 2009), com base na união de tabelas alfanuméricas fornecidas pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo. Ambos disponibilizados pelo Sistema Ambiental Paulista – DATAGEO (DATAGEO, 2025).

3.5.4 Desenvolvimento dos mapas de altitude, declividade e de uso e ocupação do solo: Os mapeamentos de uso e ocupação dos solos, altitude e declividade foram desenvolvidos por geoprocessamento de dados a partir da vetorização de cartas topográficas 1:50.000 elaboradas pelo IBGE e digitalização manual por interpretação visual sob as imagens de satélite CIBERS 4A (USGS, 2021) e Google Earth integrando um sistema de informações geográficas (SIG), ambos desenvolvidos com o uso do software QGIS.

3.6 Fisiografia da Morfometria da Sub-Bacia

Conforme Villela e Mattos (1975), a dinâmica do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica está intrinsicamente ligada às suas características físicas quantitativas e morfológicas. As características fisiográficas dimensionais da sub-bacia relacionados à sua

geometria, rede de drenagem e topografia foram obtidos através de mapas e plantas gerados por sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens de satélite (Cibers 4A, resolução espacial 2,0 m) compondo sistema de informações geográficas (SIG) elaborado por meio de software QGis, tendo como base cartográfica cartas topográficas 1:50.000 disponibilizadas pelo IBGE. Os parâmetros morfométricos, que possibilita uma análise entre as características físicas quantitativas e à dinâmica hídrica da sub-bacia, foram determinados a partir das fórmulas descritas nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1. Métodos empregados para a determinação de características das sub-bacias de interesse. Variáveis (V): geométricas (G), rede de drenagem (RD) e topográficas (T).

V	Características Físicas e Parâmetros Morfométricos	Método de cálculo/unidades	Significado
G	Área da Sub-bacia (A_b)	Medidas diretas, obtido por geoprocessamento de imagens integrado ao Sistema de Informações Geográfica (SIG)/(km ²)	Área do Polígono plano formado pela linha que define o divisor de águas da rede de drenagem da sub-bacia em relação à seção de estudo considerada.
	Perímetro da Sub-bacia (P)	Medidas diretas, obtido por geoprocessamento de imagens integrado ao Sistema de Informações Geográfica (SIG)/(km)	Comprimento total da linha do Polígono que define o divisor de águas de uma rede de Drenagem da sub-bacia em relação à seção de estudo considerada.
	Fator de Forma (K_f) ⁽¹⁾	$kf = \frac{A}{L^2}$ (Adimensional)	O fator de forma constitui um índice indicativo da maior ou menor tendência para enchentes em relação a seção de estudo considerada.
	Coeficiente de compacidade da bacia (k_c) ⁽²⁾	$kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$ (adimensional)	Quanto mais próximo de 1,0 a bacia se aproxima de formato circular e é mais suscetível a grandes cheias.
RD	Comprimento do Leito Principal (L_p)	Medidas diretas por obtido por geoprocessamento de imagens integrado ao Sistema de Informações Geográfica (SIG) (km)	Curso d'água de maior comprimento dentro sub-bacia, considerando a partir da seção de estudo até sua nascente.
	Comprimento total dos cursos d'água (L_t)	Medidas diretas, por meio de geoprocessamento de imagens integrado ao Sistema de Informações Geográfica (SIG) (km)	Somatória de todos os cursos d'água, afluentes ou tributários existentes na área da sub-bacia.
	Densidade de Drenagem (D_d) ⁽¹⁾	$D_d = \frac{L_t}{A}$ (km km ⁻²)	Reflete a grandeza da rede de drenagem na área da sub-bacia hidrográfica.
	Extensão do percurso superficial (Eps) ⁽²⁾	$Eps = \left(\frac{1}{2D_d}\right) 10^3$ (m)	Distância média percorrida pela água da chuva até encontrar o canal de água permanente mais próximo.
	Número de Ordem (N) ⁽³⁾	Medidas direta, obtido por geoprocessamento de imagens integrado ao Sistema de Informações Geográfica (SIG) e método aplicado. Adimensional.	O número de ordem reflete o grau de ramificação do sistema de drenagem desta bacia.
T	Amplitude altimétrica (H)	$H = C_{máx} - C_{mín}$ (m). Medidas direta, obtido por geoprocessamento de imagens integrado ao Sistema de Informações Geográfica (SIG) e método aplicado. Adimensional.	Diferença de nível entre a máxima e mínima altitude.

Declividade média (Dm) ⁽²⁾	Dm (%), calculada por geoprocessamento de imagens e cartas topográficas vetorizadas, integrada ao Sistema de Informações Geográfica (SIG) e método aplicado.	Declividade média do terreno na bacia, influenciando o escoamento.
Textura topográfica (Tt) ⁽⁴⁾	$\log Tt = 0,219649 + 1,115 \log Dd$ (adimensional)	Representa o estágio erosivo (geológico) da bacia.

OBS: P (perímetro da bacia, km); A (área da bacia, km²); Cmáx (altitude máxima da bacia, m); Cmín (altitude mínima da bacia, m); Lt (comprimento total dos cursos d'água, km). ⁽¹⁾ Horton, 1932; ⁽²⁾ Vilela & Mattos, 1975; ⁽³⁾ Sthraler, 1957; ⁽⁴⁾ França, 1968.

Quadro 2. Métodos empregados para a determinação de características dos talvegues analisados.

Característica	Método de cálculo
Amplitude altimétrica (Δz)	$\Delta z = C_{máx} - C_{mín}$ (m). Medidas direta, obtido por geoprocessamento de imagens integrado ao Sistema de Informações Geográfica (SIG) e método aplicado. Adimensional.
Declividade média (Dt) ⁽⁵⁾	$Dt = \frac{\Delta z}{L}$ (m km ⁻¹)
Declividade equivalente do talvegue (I_{eq}) ⁽⁵⁾	$I_{eq} = \left(\frac{L}{\frac{L_1}{j_1} + \frac{L_2}{j_2} + \dots + \frac{L_n}{j_n}} \right)^2$ (m km ⁻¹)

OBS: Cmáx (altitude máxima do talvegue, m); Cmín (altitude mínima do talvegue, m); Lt (comprimento total do talvegue, km); L1, L2, ..., Ln (comprimentos de cada trecho do talvegue, km); j1, j2, ..., jn (declividades de cada trecho do talvegue, m km⁻¹). ⁽⁵⁾ Tucci, 2005.

3.7 Disponibilidade hídrica superficial

A dominialidade e competência da gestão dos recursos hídricos no Brasil é regulamentada inicialmente pela Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997). A ANA – Agência Nacional das Águas é responsável por regular os usos inerentes aos Rios de interesse da União, de forma geral cursos d'água interestaduais. No Estado de São Paulo a Lei Estadual nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, estabelece normas e orientação à Política Estadual dos Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 1991). Com isso, no Estado de São Paulo a regulação do uso dos recursos hídricos interiores é realizada por meio da SP Águas. A disponibilidade hídrica superficial ou vazão máxima outorgável (Q_{maxout}) a ser considerada, para fins de controle da gestão na concessão/autorizações, cadastro e/ou dispensa de outorgas de usos dos recursos hídricos superficiais tem como referência a vazão mínima de 7 dias consecutivos para um período de retorno de 10 anos (Q7-10), que representa a oferta de água no balanço hídrico da sub-bacia considerada (ANA, 2020). O balanço hídrico é um dos principais mecanismos de gestão de uso dos recursos hídricos e consiste na relação entre oferta (Q7-10) e demanda das águas superficiais utilizadas nas diversas atividades humanas.

No Estado de São Paulo, as disponibilidades hídricas podem ser quantificadas com a utilização de procedimentos e equacionamentos típicos resultantes de estudos de regionalização hidrológica (DAEE, 1988). Para a concessão das outorgas destinadas às captações superficiais diretas em curso d'água, o DAEE convencionou a disponibilidade hídrica ou vazão máxima outorgável (Q_{maxout}) numa dada seção como 50%Q7-10, sendo os outros 50%Q7-10 a garantia de manutenção da vazão à jusante do ponto de captação.

A vazão de referência (Q7-10), que é calculada por regionalização hidrológica, considera, dentre outros dados, a variação das séries históricas das precipitações médias anuais. Esses dados foram obtidos nas estações pluviométricas (SP Águas, 2024) instaladas nos municípios de Araçatuba e Bilac, respectivamente, com prefixos C7-073 (período de 1970-2024) e C7-085 (período de 1984-2024). Devido a localização e área de influência de cada estação pluviométrica na sub-bacia, para a determinação da precipitação média anual das séries históricas, utilizou-se a média ponderada dos dados.

Para fins de verificação da variação na oferta hídrica ao longo do período (1970-2024) ocasionado pela diminuição ou sazonalidade no regime das precipitações médias anuais bem como a alteração da sua distribuição espacial, é proposto a separação dos dados das séries históricas das precipitações médias anuais, agrupando-os por períodos. Com isso, foi possível realizar uma análise da oferta hídrica (Q7-10) a partir de dados de precipitação da média ponderada (Estações: Araçatuba, C7-073 e Bilac, C7-085) dos últimos 15 anos (2010-2024) e dos últimos 5 anos (2020-2024).

3.8 Demandas hídricas superficiais

As demandas hídricas superficiais ou vazões superficiais consumidas estão relacionadas aos diversos usos consuntivos outorgados na área da sub-bacia hidrográfica a partir da seção do curso d'água considerada. Para a obtenção dessas demandas hídricas superficiais considerou-se as cadastradas no banco de dados oficiais disponibilizado por meio do sistema de outorgas eletrônicas (SOE) da SP Águas (SP ÁGUAS, 2025).

As outorgas são concedidas aos setores de atividades variadas como doméstico, rural e industrial, com "n" valores de vazões associadas a "t" tempo de funcionamento, podendo estas "n" atividades funcionar ao mesmo tempo ou não, acarretando "P" possibilidades nas demandas das vazões consumidas por não haver controle nos horários de operação, ou seja, poderá ocorrer situação de máximo e mínimo consumo se, no mesmo tempo, todos os usos estiverem em funcionamento ou desligados e de consumo médio se todos os dispositivos de captação operar dentro das condições previstas nas outorgas. Com isso, uma forma pragmática e de fácil aplicação para a análise da situação de sub-bacias hidrográficas, relativo ao consumo de água, é proposto por meio da determinação das vazões de demanda máxima, média e mínima (Vanzela et al., 2018).

As vazões de demanda máxima ($QD_{máx}$) foram obtidas pela seguinte equação:

$$QD_{máx} = \sum Q_{i_h}, \text{ sendo:}$$

Q_{i_h} – vazão horária do sistema de captação "i" ($m^3 h^{-1}$) cadastrado no banco de dados da SP Águas.

A vazão de demanda média (QD_{med}) foi obtida pela seguinte expressão:

$$QD_{med} = \sum Q_{i_{med}}, \text{ sendo:}$$

$Q_{i_{med}}$ – vazão de demanda média do sistema de captação "i" ($m^3.d^{-1}$) sendo calculada por:

$$Q_{i_{med}} = Q_{i_h} \times T_d, \text{ sendo:}$$

Q_{i_h} – Vazão horária outorgada ($m^3.h^{-1}$);

T_d – Horas de funcionamento por dia ($h.d^{-1}$);

Já a vazão de demanda mínima ($QD_{mín}$) foi determinada pela seguinte expressão:

$$QD_{mín} = \sum Q_{i_{24-7-4-12}},$$

sendo:

$Q_{i24-7-4-12}$ – vazão horária dos sistemas de captação “i” que funcionam 24 horas por dia, em 7 dias por semana, em 4 semanas por mês e em 12 meses por ano ($m^3 h^{-1}$). Para a determinação das demandas hídricas superficiais na avaliação dos recursos hídricos, não se considerou no balanço hídrico, à montante da seção de estudo, os usos relacionados ao lançamento superficial.

3.9 Avaliação dos recursos hídricos

Para a avaliação da situação do Ribeirão Baguaçu, na seção considerada, é proposto metodologia de classificação de disponibilidade hídrica superficial em quatro níveis: confortável, preocupante, muito preocupante e crítico. A atribuição dos níveis de classificação é norteada pela análise comparativa de valores entre a vazão máxima outorgável (Q_{maxout}) e vazões de demandas máximas (QD_{max}), médias (QD_{med}) e mínimas (QD_{min}) (Vanzela et al., 2018) (Quadro 3).

Quadro 3. Metodologia para avaliar a situação da disponibilidade hídrica superficial na sub-bacia hidrográfica.

Consumo hídrico superficial	Disponibilidade hídrica superficial
$Q_{maxout} > QD_{max}$	Confortável
$QD_{max} > Q_{maxout} > QD_{med}$	Preocupante
$QD_{med} \geq Q_{maxout} > QD_{min}$	Muito preocupante
$QD_{min} \geq Q_{maxout}$	Crítico

Fonte: Vanzela, et al., 2018.

4 RESULTADOS

O estudo mostrou a importância socioeconômica e ambiental da sub-bacia do Ribeirão Baguaçu na mesorregião onde está inserida, estando sua área de 50.306,56 ha totalmente sobreposta nas áreas parciais dos territórios de 4 municípios: Araçatuba, Bilac, Birigui e Coroados, cuja população é de 331.822 habitantes (IBGE – CIDADES, 2022) e o PIB somado da ordem de R\$ 13.476.699.887,00 (SEADE, 2021) (Tabela 1).

Tabela 1. Percentual da ocupação da área da sub-bacia por município.

Município	Áreas (ha)			Percentual (%) de ocupação da Sub-bacia
	Total do Município	Dentro da Sub-bacia	Sub-bacia	
Araçatuba	116.625,51	18.386,30	50.306,56	36,55%
Bilac	15.791,67	12.216,80		24,28%
Birigui	52.966,52	14.694,03		29,21%
Coroados	24.665,27	5.009,43		9,96%
Totais	210.048,96	50.306,56	50.306,56	100,00%

O manancial formado pela sub-bacia fornece água bruta para usos e finalidades diversas por meio da concessão de outorgas. Quanto as outorgas concedidas para captação superficial (SP Águas, 2025), verifica-se que os municípios de Bilac e Birigui possuem apenas usos com finalidade voltadas à irrigação, enquanto Araçatuba possui usos ligados a irrigação, indústria e, especialmente, ao abastecimento público destinado ao consumo e necessidades humanas, ratificando a importância regional da sub-bacia nas atividades socioeconômicas e ambiental (Quadro 4).

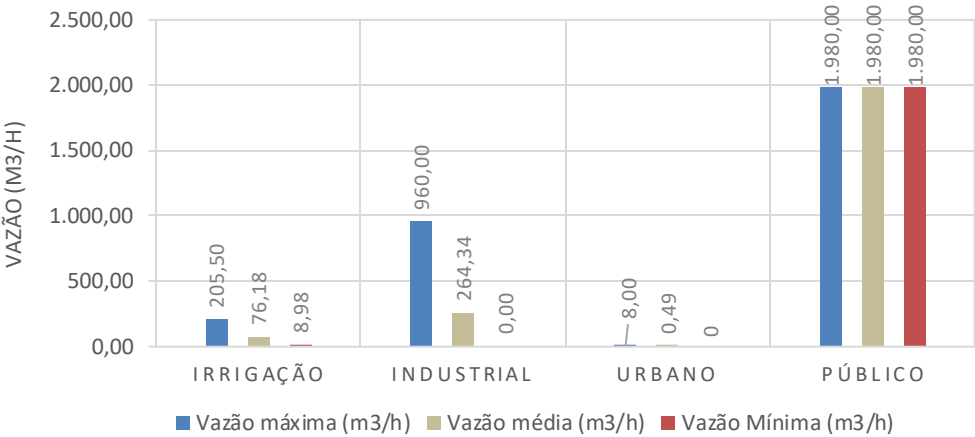
Quadro 4. Captação superficial: distribuição numérica das outorgas por município.

Município	Tipo/Uso	Finalidade	Quantidade Outorgada
Araçatuba/SP	Captação superficial	Industrial	2
		Público/Urbano	2
		Irrigação	3
Bilac/SP	Captação superficial	Irrigação	5
Birigui/SP	Captação superficial	Irrigação	3

Fonte: SP Águas, 2025. Sistema de Outorgadas Eletrônicas (SOE).

Embora os usos outorgados à captação superficial com finalidade voltada à irrigação contemplem o maior número de outorgas na sub-bacia, quando se compara as vazões horárias máximas, médias e mínimas, captadas por finalidades, fica evidenciado que o uso para fins de abastecimento público se configura como o maior consumidor (Figura 1).

Figura 1. Captação superficial: vazões máximas, médias e mínimas outorgadas por finalidade.



A demanda hídrica destinada ao abastecimento público de Araçatuba, atualmente é a de maior vazão superficial da sub-bacia, sendo direcionada para áreas/bairros específicos do município (Figura 2, destaque em alaranjado). Conforme dados do IBGE (IBGE – CIDADES, 2022), a população estimada em 2024 para Araçatuba é de 207.775,00 habitantes. A captação, tratamento e distribuição de água tratada na ETA atende a aproximadamente 50% dessa população, 103.888 habitantes. Em 2020 o volume médio diário captado e tratado na ETA foi de 37.113.373,72 litros segundo dados da SAMAR – Soluções Ambientais de Araçatuba S.A., concessionária do sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário do município.

Figura 2. Delimitação dos bairros atendidos pela ETA.

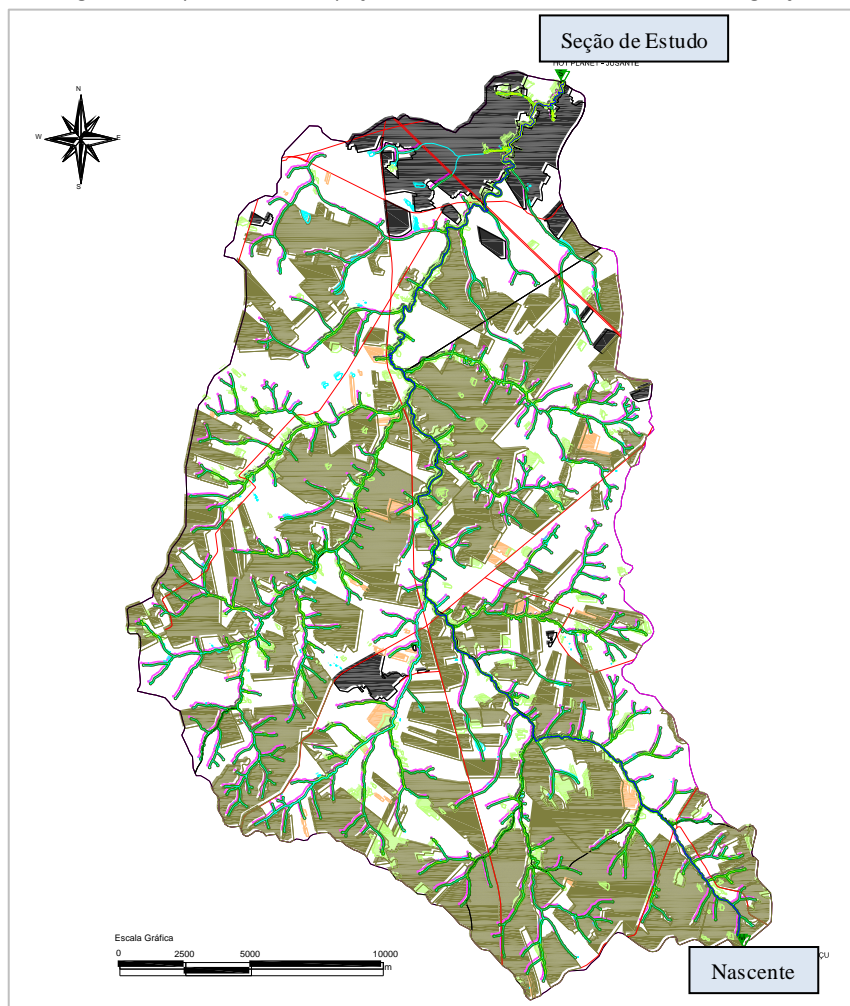


Fonte: Sobreposição de imagens do Google Earth com informações da SAMAR, adaptadas pelo autor (2025).

Contudo, o manancial apresenta fortes indicadores de que a segurança hídrica pode estar em risco. Diversos são os fatores que corroboram o fato, vegetação nativa remanescente degradada, relevo, tipos e classificação dos solos quanto a vulnerabilidade à erosão hídrica da região, alterações climáticas e demandas hídricas superficiais excessivas.

No mapa usos e ocupação dos solos gerado por meio de geoprocessamento de imagens espaciais, da Figura 3 e Quadro 5 associado, é possível observar diversos aspectos inerentes a importância socioeconômica e da atual situação ambiental da área da sub-bacia. Da área total da sub-bacia (50.306,56 ha), 84,03% são ocupadas por atividades agrícolas com predominância da pecuária e cana-de-açúcar. As áreas florestais na sua maioria em estágios sucessionais iniciais ou médios, estão fragmentadas em diversas localidades e representam apenas 4,62% da área total da sub-bacia, ou seja, 2.322 ha. E do total das áreas (3.168,80 ha) de preservação permanente (APP) dos afluentes, pequenos tributários e do Ribeirão Baguaçu, 75% está degradada ou sem vegetação remanescente.

Figura 3. Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Baguaçu.



Fonte: Autor, 2024.

Relativo à manutenção e recuperação das áreas florestais deficitárias, tomando como norte o Código Florestal, 20% da área total da sub-bacia deve ser instituída como reserva legal. Considerando que a sub-bacia possui 4,62% de vegetação nativa, seria necessário a recomposição florestal com o plantio de árvores nativas em área equivalente a 7.738,41 ha (15,38% da área total da sub-bacia), iniciando preferencialmente por áreas identificadas como prioritárias, ou seja, áreas degradadas de preservação permanente (APP) das nascentes e cursos d'água dos afluentes, pequenos tributários e do Ribeirão Baguaçu.

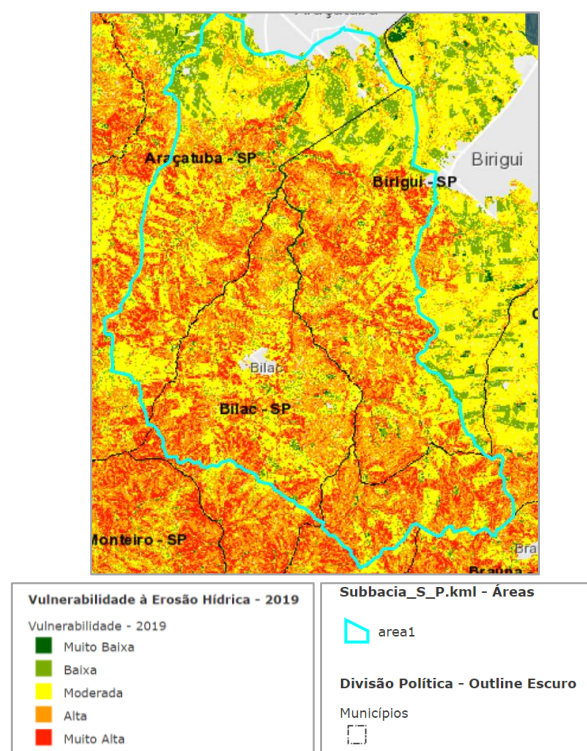
Quadro 5. Áreas e percentual do uso e ocupação do solo na área da sub-bacia do Ribeirão Bagaçu.

PRINCIPAIS USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO	Áreas		
	Km²	ha	PERCENTUAL*
ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP) TOTAL - RIB. BAGUAÇU E AFLUENTES	31,69	3.168,80	6,30%
VEGETAÇÃO NATIVA TOTAL	23,23	2.322,00	4,62%
CULTURA: CANA-DE-AÇÚCAR	191,90	19.190,00	38,15%
CULTURAS PERENES	3,79	379,10	0,75%
OUTROS USOS (PASTAGENS, CULTURAS DIVERSAS, SEDES,...)	227,05	22.705,51	45,13%
ESPELHO D' ÁGUA (BA)	1,66	166,20	0,33%
ESPELHO D' ÁGUA (CURSOS AFLUENTES)	0,94	93,81	0,19%
ESPELHO D' ÁGUA (CURSO PRINCIPAL)	0,27	26,79	0,05%
RODOVIAS PRINCIPAIS	3,71	370,73	0,74%
ETE (BILAC)	0,02	1,91	0,00%
ÁREA URBANIZADA	27,88	2.788,20	5,54%

*Referente a área total da sub-bacia do Ribeirão Bagaçu - ÁREA TOTAL: 50.306,56 ha.

Os mapas de tipo e classificação de solos e declividade, também gerados por meio de geoprocessamento de imagens espaciais, ratificado pela sobreposição da área da sub-bacia no mapa de vulnerabilidade a erosão hídrica disponibilizado pela EMBRAPA (PRONASOLOS, 2018) (Figura 4), indicaram que a sub-bacia está situada em região de “Alta ou muito Alta Vulnerabilidade à Erosão Hídrica”.

Figura 4. Mapa Diagnóstico – Vulnerabilidade a Erosão hídrica da área da sub-bacia do Ribeirão Bagaçu.



Fonte: PRONASOLOS (2018).

Deve ser ressaltado que pela associação desses fatores, como a área com alta ou muito alta vulnerabilidade a erosão hídrica e cobertura florestal do solo deficitária concomitante ao manejo inadequado do solo nas práticas agrícolas, acarretam acelerados processos erosivos aumentando o fluxo de carreamento de sedimentos aos corpos hídricos causando

assoreamentos e poluição das águas, além de dificultar o processo de recarga dos aquíferos subterrâneos.

No que tange à classificação dos recursos hídricos, o Decreto Estadual nº10.755/77 (SÃO PAULO, 1977) que dispõe sobre o enquadramento de corpos d'água conforme as classes previstas no Decreto Estadual nº8.468/76 (SÃO PAULO, 1976), o Ribeirão Bagaçu se enquadra em duas (Figura 5): (a) Classe II, da nascente até a confluência com o córrego Machadinho, à jusante da Estação de Tratamento de água de Araçatuba – SP; (b) Classe IV, da confluência com o córrego Machadinho até a confluência com o Rio Tietê.

Quanto aos usos preponderantes a Resolução CONAMA nº 357/2005 orienta (BRASIL, 2005):

[...] Art. 4º As águas doces são classificadas em:

(...)

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e

e) à aquicultura e à atividade de pesca.

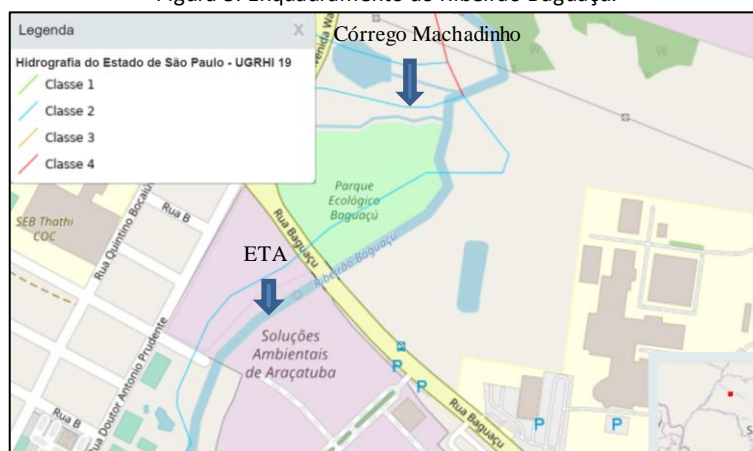
(...)

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

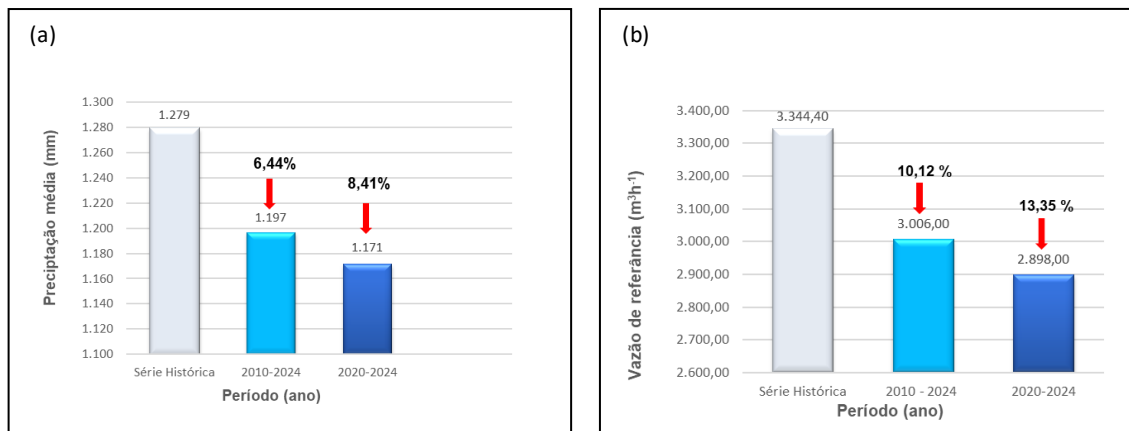
Figura 5. Enquadramento do Ribeirão Bagaçu.



Fonte: Autor, 2024.

Sobre a qualidade das águas, o Ribeirão Bagaçu apresenta Índice de Qualidade das Águas (IQA) 57 considerada boa. No estudo da disponibilidade hídrica foram considerados aspectos relevantes no cálculo da vazão de referência (Q7-10) como os agrupamentos de dados das precipitações médias anuais por períodos (2010 a 2024 e 2020 a 2024), revelando que, em relação à média da série histórica (1970 a 2024), os volumes médios precipitados sofreram reduções e que essas reduções impactaram significativamente na oferta hídrica, conforme resultados da Figura 6 (a e b). Os resultados demonstram que variações nas médias anuais precipitadas, como redução de 6,44% no período de 2010 a 2024, acarretou diminuição de 10,12% na oferta hídrica (Q7-10). E, redução de 8,41% nas médias anuais precipitadas no período de 2020 a 2024, resultou redução de 13,35% na oferta hídrica (Q7-10).

Figura 6. Variação percentual por agrupamento de períodos das precipitações médias anuais (a) e o impacto na oferta hídrica (Q7-10) do Ribeirão Baguaçu (b).



Considerando ou não o agrupamento de dados das séries históricas das médias anuais precipitadas e seu impacto na oferta hídrica, observa-se que as vazões das demandas hídricas superficiais máximas (QD_{\max}), médias ($QD_{\text{méd}}$) e mínimas (QD_{\min}) outorgadas na sub-bacia, a partir da seção considerada, superam a disponibilidade hídrica superficial (50%Q7-10) em qualquer situação analisada (Tabela 2).

Tabela 2. Comparativo das demandas hídricas e vazão máxima outorgável.

Demandas Hídricas x Vazão máxima outorgável - $Q_{\max\text{out}}$ (50%Q7-10)						
Período	$Q_{\max\text{out}}$ (m³h⁻¹)	QD_{\max} (m³/h⁻¹)	$QD_{\text{méd}}$ (m³/h⁻¹)	QD_{\min} (m³/h⁻¹)	Condição	Situação
1970-2024	1.672,20	3.153,50	2.321,01	1.988,98	$QD_{\min} \geq Q_{\max\text{out}}$	Crítico
2010-2024	1.503,00	3.153,50	2.321,01	1.988,98	$QD_{\min} \geq Q_{\max\text{out}}$	Crítico
2020-2024	1.449,00	3.153,50	2.321,01	1.988,98	$QD_{\min} \geq Q_{\max\text{out}}$	Crítico

A Figuras de 7 a 9 apresentam o déficit da disponibilidade hídrica em relação às demandas hídricas superficiais. Os cenários analisados demonstram que o manancial se apresenta em situação crítica em relação às demandas superficiais das vazões, sobretudo, considerando dados de precipitação média anual no período de 2020 a 2024, quando a demanda de vazão máxima (QD_{\max}) superou a disponibilidade (50%Q7-10) em 217,63%. A ausência de regulação e de adequação das demandas hídricas previstas nas outorgas pode agravar, em médio e longo prazos, o desequilíbrio entre oferta e demanda de água na sub-bacia. Tal cenário se torna especialmente preocupante diante da perspectiva de aumento da demanda hídrica, impulsionado pelo contínuo desenvolvimento das atividades econômicas na região, aliado ao crescimento populacional e à consequente expansão urbana na área de influência da sub-bacia. Nesse contexto, os potenciais conflitos intersetoriais pelo uso dos recursos hídricos configuram-se como um risco significativo que deve ser considerado nas estratégias de gestão. A administração dos usos múltiplos da água torna-se particularmente complexa em situações de escassez hídrica, especialmente diante do que estabelece a legislação brasileira vigente.

Figura 7. Déficit da disponibilidade hídrica em relação à demanda hídrica máxima (QD_{max}).

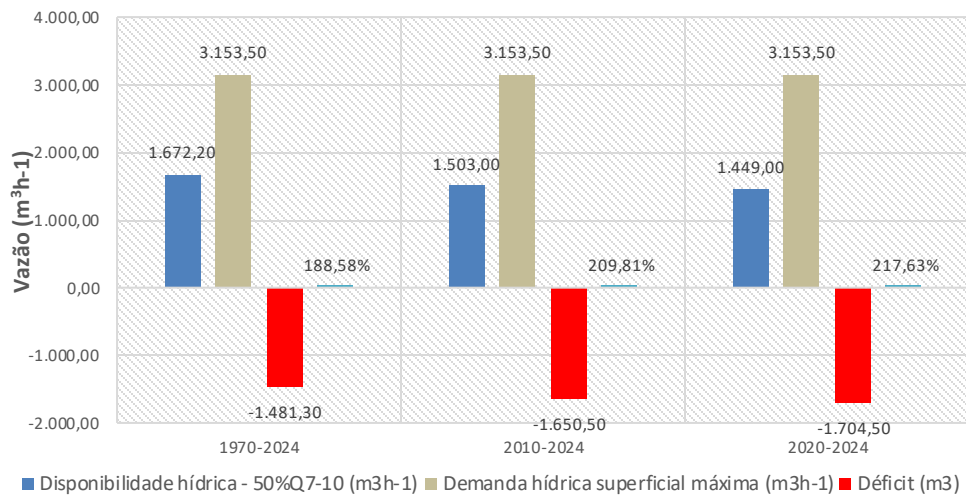


Figura 8. Déficit da disponibilidade hídrica em relação à demanda hídrica média (QD_{med}).

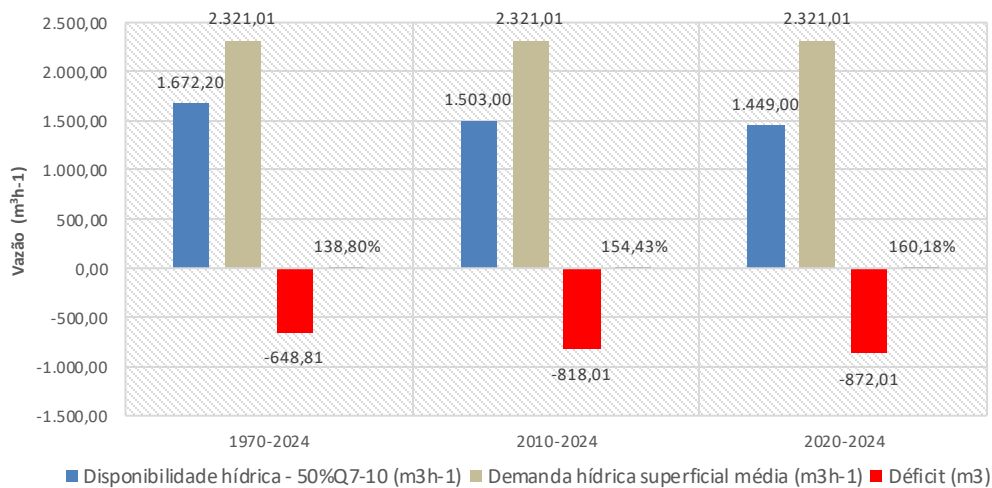
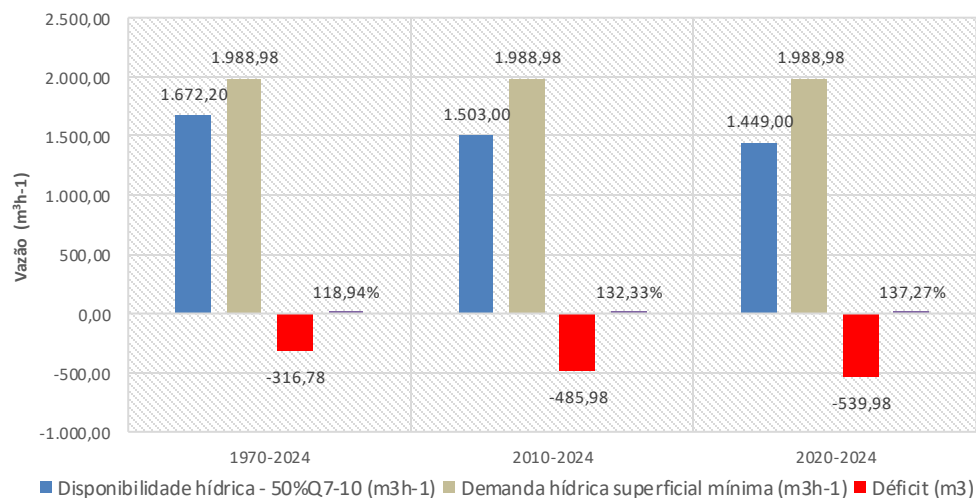


Figura 10. Déficit da disponibilidade hídrica em relação à demanda hídrica mínima (QD_{min}).



No Brasil a Lei Federal nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, prevê, em casos de restrição de disponibilidade, a priorização do

abastecimento humano e da dessedentação de animais. No Estado de São Paulo a Lei nº 7.663 de 30/12/91 (SÃO PAULO, 1991), estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos hídricos, possibilitando desta forma que a sociedade, através dos Comitês de Bacia, disponha de mecanismos de controle e gerenciamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, protegendo-os contra ações que possam comprometer sua qualidade e quantidade. A referida lei determinou como órgão gestor, no que tange à quantidade dos recursos hídricos no Estado de São Paulo, o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, incumbindo-lhe da aplicação do Decreto Estadual nº 41.258, de 31/10/96 (SÃO PAULO, 1996), revogado pelo Decreto Estadual nº 63.262, de 09 de março de 2018 (SÃO PAULO, 2018), que regulamenta os artigos 9º a 13º da Lei Estadual nº 7.663 de 30/12/91 (SÃO PAULO, 1991), colocando em prática um dos instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos que é a Outorga e a Fiscalização destes usos, cujas normas e procedimentos foram estabelecidos nas Portarias DAEE nº 1.630 de 30/05/2017 (DAEE, 2017a), reti-ratificada em 22/03/2018 e nº 1.631 de 30/05/2017 (DAEE, 2017b), respectivamente.

Esta mesma Lei criou os Comitês de Bacias Hidrográficas, estabelecendo-lhes entre outras atribuições, a de aprovar seus correspondentes planos de bacias hidrográficas, base para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos, que por sua vez, integra a Política Estadual de Recursos Hídricos, conforme disposto em seu Artigo 17, em cujo teor está estabelecido que os planos de bacias hidrográficas deverão contemplar, entre outros elementos importantes ao gerenciamento dos recursos hídricos, uma proposta de utilização prioritária destes recursos. Posteriormente ambas as portarias foram revogadas e substituídas por outras.

No Estado de São Paulo, a vazão de referência (aquela que representa a disponibilidade hídrica do curso d'água, associada a uma probabilidade de ocorrência) é representada pela vazão mínima anual de sete dias consecutivos e período de retorno igual a dez anos (Q7-10). Já a vazão mínima remanescente (menor vazão a ser mantida no curso d'água a jusante de seções de controle), representada pelo valor de 50%Q7-10, é utilizada como limitante quando da análise de manifestações prévias, de outorgas de direito de uso de recursos hídricos e nas autorizações de interferências hidráulicas. Deve-se ressaltar que cabe ao outorgado manter a operação das estruturas hidráulicas de modo a garantir a continuidade do fluxo mínimo de água, a fim de que possam ser atendidos os usuários a jusante da obra ou serviço. As primeiras medidas foram as recomendadas pelo Artigo 14 da Lei 9.034 (27/12/1994) do Plano Estadual dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1994):

[...] Art. 14. Quando a soma das vazões captadas em uma determinada bacia hidrográfica, ou em parte desta, superar 50% (cinquenta por cento) da respectiva vazão de referência, a mesma será considerada crítica e haverá gerenciamento especial que levará em conta:

I - o monitoramento da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos, de forma a permitir previsões que orientem o racionamento ou medidas especiais de controle de derivações de águas e de lançamento de efluentes;

II - a constituição de comissões de usuários, supervisionadas pelas entidades estaduais de gestão dos recursos hídricos, para o estabelecimento, em comum acordo, de regras de operação das captações e lançamentos;

III - a obrigatoriedade de implantação, pelos usuários, de programas de racionalização do uso de recursos hídricos, com metas estabelecidas pelos atos de outorga.

A Lei Estadual nº 9.034/94 foi revogada pela Lei Estadual nº 16.337 de 14 de dezembro de 2016 – Dispõe Sobre o Plano Estadual dos Recursos Hídricos e dá providências correlatas, porém, mantendo as premissas de gerenciamento iniciais (SÃO PAULO, 2016). Observando o disposto nas legislações relativo à mitigação do risco de escassez hídrica e comprometimento da qualidade da água, o Plano Estadual dos Recursos Hídricos orienta a adoção de medidas, projetos, redirecionamento do uso da água, entre outros.

Outras medidas podem ser utilizadas no caso de escassez hídrica como, cessar quaisquer novos pedidos de licenciamento ou outorga que podem interferir no principal uso de utilidade pública, e reforçar as medidas públicas e privadas para a recuperação do manancial, assim como tornar mais participativa e eficiente a fiscalização dos órgãos reguladores, SP ÁGUAS e CETESB; apresentar junto ao Ministério Público denúncia sobre a atual situação da sub-bacia, onde juntamente com pedido do Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, solicita-se o decreto de portaria DAEE, determinando situação “crítica” na sub-bacia. Sabe-se que em 23 de setembro de 2014 foi expedido a PORTARIA DAEE nº 2.257 (DAEE, 2014), que trata no Artigo 1º a determinação de suspensão temporária de análises de requerimentos e as emissões de outorgas de Autorização de Implantação de Empreendimento e de Direito de Uso, para novas captações de água de domínio do Estado, localizadas nas áreas das bacias hidrográficas dos rios Turvo/Grande (UGRHI-15) e do rio São José dos Dourados (UGRHI-18), nas modalidades e condições de captações de águas superficiais e captações de águas subterrâneas, por poços escavados (cacimbas e cisternas) e por poços tubulares de até 30 metros de profundidade, localizados a menos de 200 metros de corpos hídricos superficiais e conforme o Artigo 3º, o DAEE poderia a seu critério, conceder outorgas para os tipos de captações referidas no Artigo 1º, em casos relacionados ao abastecimento de água para consumo humano e a execução de obras públicas, que seriam analisados em função de sua prioridade e de seu impacto no balanço hídrico regional. Sendo revogada em 20 de fevereiro de 2017 pela Portaria DAEE nº 573 (DAEE, 2017c).

Torna-se importante o poder público, promover a identificação e informar os órgãos reguladores, de forma que estes possam atuar de maneira rígida a fim de mitigar, ou até mesmo cessar os diversos usos dos recursos hídricos sem as devidas regularizações nesta bacia, uma vez que a alta demanda pública, mesmo em ótimas situações climáticas poderão ficar comprometidas, onde as interferências somente pioram a situação.

Um ponto estratégico a ser tratado com o poder público municipal, juntamente com outras autarquias, são as medidas a serem tomadas para a efetiva recuperação das áreas lindeiras, ou de interferência a sub-bacia da nascente do Ribeirão Baguaçu, uma vez que tanto de ordem pública ou privada tais responsabilidades devem ser delegadas a fim de evitar maiores danos aos recursos hídricos e meio ambiente em geral.

O zoneamento urbano nas regiões em que a malha urbana é atravessada pelo Ribeirão Baguaçu assume papel fundamental na prevenção da expansão desordenada em áreas de nascentes e de preservação permanente (APPs) de seus afluentes. Em trechos urbanos, é imprescindível atenção aos pontos de lançamento de águas pluviais diretamente nos corpos hídricos contribuintes da sub-bacia, uma vez que esses sistemas de drenagem podem carrear resíduos sólidos e lixo, contribuindo para o assoreamento dos leitos e a degradação da qualidade da água.

A implementação de programas de educação ambiental pelo poder público municipal constitui uma estratégia relevante. Tais iniciativas devem promover a conscientização da

população residente nas margens dos cursos d'água sobre práticas sustentáveis, como o descarte adequado de resíduos sólidos e a não utilização das APPs como locais de despejo de lixo e entulho, contribuindo assim para a conservação dos recursos hídricos.

No que se refere às práticas agrícolas nas propriedades rurais, a atuação conjunta da Prefeitura Municipal e da Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável, vinculada à Secretaria de Agricultura e Abastecimento, poderá viabilizar a implementação de programas voltados à recuperação dos solos agrícolas. Tais programas poderão incluir ações educativas, como cursos e orientações técnicas, além de atividades de fiscalização voltadas à prevenção de práticas inadequadas no uso dos recursos naturais nas áreas do entorno do manancial, visando à promoção da sustentabilidade ambiental e à proteção dos recursos hídricos.

Essa conjuntura evidencia não apenas a necessidade de articulação intersetorial, mas também a urgência na promoção da regularização fundiária e ambiental das áreas lindeiras, ou de interferência a sub-bacia do Ribeirão Baguaçu. As intervenções requeridas para a superação desse cenário, além de atenderem aos preceitos legais, possuem o potencial de reconhecer os agricultores como agentes estratégicos na conservação dos recursos hídricos — os chamados “guardiões das águas”. Tal reconhecimento, fundamentado em experiências exitosas tanto no Brasil quanto em outros países, pode resultar em benefícios múltiplos, especialmente no que se refere ao fortalecimento da segurança hídrica.

5 CONCLUSÃO

Este estudo possibilitou a identificação não apenas dos riscos associados à gestão dos recursos hídricos, mas também do expressivo potencial e da imprescindível necessidade de um esforço coletivo voltado à proteção das águas, bem natural finito e de interesse difuso, pertencente a toda a sociedade brasileira. Nesse contexto, destaca-se o papel estratégico da regulação, enquanto instrumento do Estado e expressão do interesse público, dotado de competência legal e de mecanismos apropriados para induzir comportamentos dos prestadores de serviços. Tais instrumentos podem promover a integração entre a atividade econômica das empresas do setor e os objetivos de segurança hídrica e conservação dos mananciais.

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2020. NOTA TÉCNICA Nº 75/2020/SPR. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/files/7ac42372-3605-44a4-bae4-4dee7af1a2f8/NT75_2020.pdf. Acesso em: mar./2025.

BARROSO, G. R. *et al.* Assessment of water quality based on statistical analysis of physical-chemical, biomonitoring and land use data: Manso River supply reservoir. *Science of the Total Environment*, v. 912, p. 169554, 2024.

BILALOVA, S. *et al.* Pathways to water sustainability? A global study assessing the benefits of integrated water resources management. *Journal of Environmental Management*, v. 343, p. 118179, 2023.

BRASIL, 1997. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da [Constituição](#) Federal, e altera o art. 1º da [Lei nº 8.001](#), de 13 de março de 1990, que modificou a [Lei nº 7.990](#), de 28 de dezembro de 1989. Publicação no [D.O.U de 09/01/1997, pág. nº 470](#). Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=09/01/1997&jornal=1&pagina=4&totalArquivos=64>. Acesso em: março/2024.

BRASIL, 2005. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no D.O.U nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450>. Acesso em: março/2024.

BRASIL, 2011. Ministério da Saúde. Portaria No 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 39. 2011.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ, 2022. UGRHI 19. Relatório de Situação 2022. Ano Base 2021. Diretoria do Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-BT/19506/relatorio-situacaors_2021_base_2022_bt_v-final.pdf. Acesso em 19 jan. 2023.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ. Plano da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê – UGRHI-19, Relatório I – 2016/2019 (PBH BT, 2016/2019). Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-BT/12364/relatorioi-pbh-cbh-bt.pdf>. Acesso em: Ago.2023.

DAEE, 1988. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo, 1988. Disponível em: < <https://www.spaguas.sp.gov.br/site/hidrologia/>>. Acesso em: fev./2024.

DAEE, 2017a. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Portaria DAEE nº 1.630 de 30 de maio de 2017. Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa para obtenção de manifestação e outorga de direito de uso e de interferência em recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo. Alterada pelas [Portarias DAEE nºs 3280](#) de 24/06/2020 e [832](#) de 10/02/2022. Disponível em: <<https://www.spaguas.sp.gov.br/site/portariasdeoutorgas/>>. Acesso em: agosto/2025.

DAEE, 2017b. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Portaria DAEE nº 1.631 de 30 de maio de 2017. Dispõe sobre usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos e reservatórios de acumulação que independem de outorga. Disponível em: <<https://www.spaguas.sp.gov.br/site/portariasdeoutorgas/>>. Acesso em: agosto/2025.

DAEE, 2017c. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Portaria DAEE nº 573 de 20 de fevereiro de 2017. Publicado no DOE em 24/09/2014.

DAEE, 2014. Departamento de águas e energia elétrica. Portaria nº 2.257, de 23 de setembro de 2014. Publicado no DOE em 24/09/2014.

DATAGEO, 2025. SMA/CPLA, 2009. Percentual de cobertura vegetal nativa por município. Disponível em: <<https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/>>. Acesso em: 23 fev. 2025.

França, G. V. de. *Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba*. 1968. 151 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GOOGLE INC. DigitalGlobe. [Título da imagem ou dados, se disponível]. [Localização da imagem, se disponível]. [Formato da imagem, se aplicável]. Disponível em: <link da imagem ou página de acesso>. Acesso em: 08 jan. 2025data de acesso].

GEOPORTAL IGC, 2021. Disponível em: <http://geoportal.igc.sp.gov.br/download_temporario/cartografia/MM/MALHA_MUNICIPAL_2024.zip>. Acesso em 08 de jan. 2025.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010

HORTON, R. Drainage basin characteristics. *Transactions, American Geophysical Union*, v. 13, p. 350-361, 1932.

IBGE, 2004. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Vegetação e Biomas do Brasil Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapas/biomas_e_sistema_costeiro_marinho_250mil.pdf>. Acesso em: jun. 2024.

IBGE – CIDADES, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE Cidades e Estados do Brasil. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

IBGE – CIDADES, 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE Cidades e Estados do Brasil. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

IGGSP, 1967. Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 12 mar. 2025.

MARINOVA, S. *et al.* Criticality assessment of global freshwater resource use: Adapting abiotic resource criticality frameworks – Water SCARCE. *Science of the Total Environment*, v. 966, p. 178676, 2025.

PAIVA, M. H. R. *et al.* Simulation of water quality and land use impacts in paired watersheds of the Doce River using Warm-GIS tools. *Ecohydrology & Hydrobiology, In Press*, 100652, 2025.

ONU. Site da Organização das Nações Unidas, 2023. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 27 jul. 2023.

PRONASOLOS, 2018. VULNERABILIDADE À EROSÃO HÍDRICA – 2019, disponibilizado pela EMBRAPA. Disponível em: <https://geoportal.sgb.gov.br/pronasolos/>. Acesso em: fev. de 2025.

ROSSI, M. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado*. São Paulo: Instituto Florestal, 2017, v. 1. 118p. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/wp-content/uploads/sites/234/2017/11/Livro_Solos1.pdf. Acesso em: nov. /2022.

SÃO PAULO, 1976. Decreto nº 8.468 de 8 de novembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado, p.4. Disponível em: <https://dobuscadijeta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=19760909&Caderno=Poder%20Executivo&NumeroPagina=4>. Acesso em: fev/2025.

SÃO PAULO, 1977. Decreto nº 10.755 de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação previstas no Decreto nº8.468 de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. Diário do Executivo, número 221. p.1. Governo do Estado. Disponível em: <https://dobuscadijeta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=19771123&Caderno=Poder%20Executivo&NumeroPagina=1>. Acesso em: fev./2025.

SÃO PAULO, 1991. Lei nº 7.663 de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Publicação no [DOE-I, 31/12/1991, p.2](#). Disponível em: <https://dobuscadijeta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=19911231&Caderno=DOE-I&NumeroPagina=2>. Acesso em: fev./2025.

SÃO PAULO, 1994. Lei nº 9.034 de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei n. 7.663, de 30/12/91, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. [DOE-I, 28/12/1994, p.3](#). Disponível em: <https://dobuscadijeta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=19941228&Caderno=DOE-I&NumeroPagina=3>. Acesso em: fev./2025.

SÃO PAULO, 1996. Decreto nº 41.258, de 31 de outubro de 1996. Aprova o Regulamento da outorga de direitos de uso dos recursos hídricos, de que tratam os artigos 9º a 13 da Lei 7.663, de 30/12/1991. [DOE-I, 01/11/1996, p.4](#). Disponível em: <https://dobuscadijeta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=19961101&Caderno=DOE-I&NumeroPagina=4>. Acesso em: fev./2025.

SÃO PAULO, 2016. Lei nº 16.337 de 14 de dezembro de 2016. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH e dá providências correlatas. [DOE-I, 15/12/2016, p.1](#). Disponível em: <https://dobuscadijeta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20161215&Caderno=DOE-I&NumeroPagina=1>. Acesso em: fev./2025.

SÃO PAULO. Decreto nº 63.262 de 09 de março de 2018. Aprova o novo Regulamento dos artigos 9º a 13 da Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. [DOE-I, 10/03/2018, p.4](#). Disponível em: <https://dobuscadijeta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20180310&Caderno=DOE-I&NumeroPagina=4>. Acesso em: fev./2025.

SEADE MUNICÍPIOS, 2021. ECONOMIA. Disponível em: <<https://populacao.seade.gov.br/>>. Acesso em: 18 de março de 2023.

SNIS, 2022. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/pmss/snis>>. Acesso em: 16 de fev. 2020.

SP ÁGUAS, 2024. Banco de dados Hidrológicos. Dados Pluviométricos. Disponível em: <<https://www.spaguas.sp.gov.br/site/hidrologia>>. Acesso em: 24 maio 2025.

SP ÁGUAS, 2025. SOE – SISTEMA DE OUTORGAS ELETRÔNICAS. Disponível em: <<https://cth.daee.sp.gov.br/soe/#7/-22.523/-46.527>>. Acesso em: 11 de jan. de 2025.

Sthraler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology.

Trans. American Geophysical Union, 38, 913-920.

TEIXEIRA, A. L. F. *et al.* Water security threats and solutions in the Grande River basin – One of the Brazilian agricultural frontiers. *Science of the Total Environment*, v. 906, p. 167351, 2024.

TEIXEIRA, C. S.; Ribeiro, M. M. R. Integrating resilience and socioeconomic demands through adaptive governance: Dilemmas in the Brazilian water sector. *Environmental Science & Policy*, v. 167, p. 104048, 2025.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 5. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

USGS. CIBERS 4A. 2021. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

VANZELA, L. S. *et al.* Proposta metodológica de avaliação da situação dos recursos hídricos superficiais nas bacias hidrográficas. *Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações*/Américo-Pinheiro, J. H. P.; Benini, S. M. (orgs). 1 ed. – Tupã: ANAP, 2018.

VILLELA, S. M.; Mattos, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975, 245 p.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** O autor José Paulo Vanzela teve a ideia central do estudo; A autora Gisele Herbst Vazquez ajudou a definir os objetivos e os autores José Paulo Vanzela, Gisele Herbst Vazquez, Roberto Andreani Junior, Luiz Sérgio Vanzela, e Evandro Roberto Tagliaferro, em conjunto, definiram a metodologia.
- **Curadoria de Dados:** O autor José Paulo Vanzela armazenou e organizou os dados; os autores Gisele Herbst Vazquez, Evandro Roberto Tagliaferro e Luiz Sérgio Vanzela verificaram os dados para garantir sua qualidade.
- **Análise Formal:** O autor José Paulo Vanzela realizou as análises dos dados, aplicando métodos específicos definidos anteriormente na metodologia.
- **Aquisição de Financiamento:** Não foi necessário investimentos para a elaboração da tese.
- **Investigação:** O autor José Paulo Vanzela conduziu a coleta e tabulação dos dados e realizou os trabalhos em ambiente SIG.
- **Metodologia:** Os autores José Paulo Vanzela, Gisele Herbst Vazquez, Evandro Roberto Tagliaferro e Luiz Sérgio Vanzela, em conjunto, definiram, desenvolveu e ajustaram as metodologias aplicadas no estudo.
- **Redação - Rascunho Inicial:** O autor José Paulo Vanzela escreveu a primeira versão do manuscrito.
- **Redação - Revisão Crítica:** A autora Gisele Herbst Vazquez e Roberto Andreani Junior revisaram o texto, melhorando a clareza e a coerência.
- **Revisão e Edição Final:** A autora Gisele Herbst Vazquez revisou e ajustou o manuscrito para garantir que atende às normas da revista.
- **Supervisão:** Os autores Gisele Herbst Vazquez e Luiz Sérgio Vanzela coordenaram o trabalho garantindo a qualidade geral do estudo.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, José Paulo Vanzela, Gisele Herbst Vazquez, Roberto Andreani Junior, Evandro Roberto Tagliaferro e Luiz Sérgio Vanzela, declaramos que o manuscrito intitulado " Diagnóstico dos recursos hídricos da sub-bacia do Ribeirão Baguaçu e propostas de soluções sustentáveis ":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
 2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado
-