

Trabalho de Formatura
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**ESTUDO DA GOVERNANÇA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA (UGRHI-22)**

Aluna: Gabrielle Marani Bazzano

Orientador: Prof. Dr. Didier Gastmans

Co-orientadora: Me. Carolina Stager Quaggio

Rio Claro (SP)

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
CÂMPUS DE RIO CLARO

GABRIELLE MARANI BAZZANO

ESTUDO DA GOVERNANÇA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA (UGRHI-22)

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Ambiental.

Rio Claro - SP
2025

B364e	Bazzano, Gabrielle Marani Estudo da governança e disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22) / Gabrielle Marani Bazzano. -- Rio Claro, 2025 83 p. : tabs., mapas Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro Orientador: Didier Gastmans Coorientadora: Carolina Stager Quaggio 1. Geociencias Sensoriamento remoto. 2. Bacias hidrográficas Brasil. 3. Vegetação e clima. I. Título.
-------	--

Gabrielle Marani Bazzano

ESTUDO DA GOVERNANÇA E DISPONIBILIDADE
HÍDRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO
PARANAPANEMA (UGRHI-22)

Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Didier Gastmans (orientador)

Eng^a Júlia Noale

Prof. Dr. Lucas Moreira Furlan

Rio Claro, 25 de junho de 2025

RESUMO

A governança da água configura o estabelecimento de processos e mecanismos pelos quais distintos grupos sociais articulam seus objetivos e decisões sobre como gerir os recursos hídricos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a gestão dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Pontal Paranapanema (UGRHI-22), com base nos Princípios de Governança da Água da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), em que foi realizada a avaliação integrada do monitoramento de variáveis climáticas. Para isso, foram utilizados modelos climáticos globais e produtos do sensoriamento remoto, comparados com os dados existentes, disponibilizados pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH – PP), além dos resultados dos monitoramentos de poços tubulares. Foram analisados os relatórios de situação da bacia no período de 2010 a 2022 e o plano de bacia hidrográfica, buscando avaliar a evolução histórica do balanço hídrico e a governança da água na bacia. Na região da UGRHI-22 existem dois poços de monitoramentos no Sistema Aquífero Bauru, que foram comparados com os dados de precipitação e balanço hídrico. Os poços, localizados em Narandiba (SP) e Teodoro Sampaio (SP), possuem comportamentos característicos e os seus picos de alta e estresse hídrico se coincidem quando analisados os comportamentos desses dois indicadores, em que foi possível identificar a influência da recarga na disponibilidade hídrica subterrânea. Essa avaliação permite identificar os impactos das atividades humanas e das mudanças climáticas sobre esses sistemas. Ao comparar os produtos de sensoriamento remoto do modelo FLDAS (Famine Early Warning Systems Network Land Data Assimilation System) e dados do Mapbiomas de uso e cobertura da terra, foi possível identificar que a Unidade de Planejamento Hídrico (UPH) – Laranja Doce é uma região que apresenta condições de alta vulnerabilidade ambiental, com escoamento elevado e intensa atividade agrícola, especialmente com culturas como a cana-de-açúcar, que agrava a fragilidade do solo. Para a UPH Baixo Paranapanema Margem Direita foram identificados elevados níveis de estresse hídrico no mapa do balanço hídrico e níveis de fragilidade do solo, e a região possui o maior índice de vegetação nativa da UGRHI-22, sendo em sua maioria pequenos fragmentos, que são alvos de efeito de borda, resultado direto de alterações morfoclimáticas no contato entre os remanescentes e o seu entorno. Como análise da governança hídrica, foi possível observar deficiências dos dados quantitativos nos documentos fornecidos pelo CBH-PP, sendo notória a

falta de dados relacionados a eventos climáticos. Dessa forma, torna-se essencial a coleta e sistematização de dados ambientais por meio de tecnologias de monitoramento, como o sensoriamento remoto, a fim de aprimorar a governança hídrica na bacia.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto na gestão hídrica. Governança hídrica na UGRHI-22. Bacia hidrográfica do Pontal do Paranapanema.

ABSTRACT

Water governance involves the establishment of processes and mechanisms through which different social groups articulate their goals and decisions regarding how to manage water resources. Thus, the objective of this study was to evaluate water resources management in the Pontal do Paranapanema Watershed (UGRHI-22), based on the Water Governance Principles of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), through an integrated assessment of the monitoring of climatic variables. For this purpose, global climate models and remote sensing products were used and compared with existing data made available by the Pontal do Paranapanema River Basin Committee (CBH-PP), in addition to results from monitoring tubular wells. The basin situation reports from 2010 to 2022 and the River Basin Plan were analyzed to assess the historical evolution of the water balance and water governance in the basin. In the UGRHI-22 region, two monitoring wells in the Bauru Aquifer System were evaluated and compared with precipitation and water balance data. The wells, located in the municipalities of Narandiba and Teodoro Sampaio (São Paulo State), showed characteristic behaviors, with peaks of high and low water availability coinciding when these two indicators were analyzed, allowing the identification of recharge influence on groundwater availability. This assessment enables the identification of human activities and climate change impacts on these systems. By comparing remote sensing products from the FLDAS model (Famine Early Warning Systems Network Land Data Assimilation System) with MapBiomas land use and land cover data, it was possible to identify that the Water Planning Unit (UPH) – Laranja Doce is a region with high environmental vulnerability, marked by high runoff and intensive agricultural activity, especially with crops such as sugarcane, which further exacerbates soil fragility. In the UPH Baixo Paranapanema Right Bank, high levels of water stress and soil fragility were observed in the water balance maps. This region also has the highest rate of native vegetation within UGRHI-22, mostly composed of small forest fragments subject to edge effects, a direct consequence of morphoclimatic changes in the interface between forest remnants and their surroundings. As part of the water governance analysis, deficiencies in quantitative data were observed in the documents provided by CBH-PP, particularly a notable lack of information related to climatic events. Therefore, the collection and systematization of environmental data through monitoring technologies such as remote sensing are essential to improve water governance in the basin.

Keywords: Remote sensing in water management. Water Governance in UGRHI-22. Pontal do Paranapanema Watershed.

LISTA DE ABREVIATURA

Análise Multicritério de Decisão (AMD)
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)
Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22)
Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH PP)
Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs)
Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH)
Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)
DataGeo – Plataforma de Geoinformação Ambiental do Estado de São Paulo (DataGeo)
Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET)
Famine Early Warning Systems Network Land Data Assimilation System (FLDAS)
Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO)
Google Earth Engine (GEE)
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)
Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS)
Land Information System (LIS)
Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR)
Modelo Digital de Elevação (MDE)
Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)
Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH)
Plano Integrado de Recursos Hídricos do Rio Paranapanema (PIRH Paranapanema)
Política de Gestão de Recursos Hídricos de São Paulo (PGRH-SP)
Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)
Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS)
Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs)
Serviço Geológico do Brasil (SGB)
Sistema Aquífero Bauru (SAB)
Sistema de Informação Geográfica (SIG)
Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos (SEADE)
Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH)
Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH)
Sistema Nacional de Saneamento Hidráulico (SNSH)

Unidade de Conservação (UC)

Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs)

Unidades de Planejamento de Recursos Hídricos (UPRHs)

Unidades de Planejamento Hídrico (UPHs)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma do Sistema de Gestão das Águas no Brasil.	16
Figura 2 - Modelo FPEIR proposto pelos Relatórios de situação da UGRHI-22.	19
Figura 3 - Esquematização dos 12 Princípios da OCDE.....	25
Figura 4 - Localização da UGRHI-22 no Estado de São Paulo	27
Figura 5 - Modelo Digital de Elevação da UGRHI-22.	28
Figura 6 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema.....	30
Figura 7 - Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS) na UGRHI-22.....	31
Figura 8 - Fluxograma da metodologia aplicada.	33
Figura 9 - Método de cálculo da Recarga Potencial conforme proposto por Healy (2010)....	35
Figura 10 - Aplicação de álgebra de mapas na análise do balanço hídrico.....	36
Figura 11 - Hidrograma da vazão de referência Q7,10 para o período de 2010 a 2022.	42
Figura 12 - Balanço hídrico em relação a vazão de referência Qmédio para o período de 2010 a 2022.....	43
Figura 13 - Balanço hídrico em relação a vazão de referência Q95% para o período de 2010 a 2022.....	44
Figura 14 - Balanço hídrico em relação a reserva explotável para o período de 2010 a 2022.	45
Figura 15 - Mapa de Distribuição Espacial de Precipitação na UGRHI-22 no período de 1991 até 2020.	46
Figura 16 - Mapa da Distribuição Espacial da Evapotranspiração na UGRHI-22 nos períodos de 1991 a 2020.....	47
Figura 17 - Mapa de Distribuição Espacial de Escoamento Superficial na UGRHI-22 no período de 1991 até 2020.	48
Figura 18 - Mapa de Fragilidade Potencial e Emergente do Relevo da UGRHI-22.	49
Figura 19 - Mapa da Distribuição Espacial da Temperatura na UGRHI-22 no período de 1991 a 2020.....	51
Figura 20 - Gráfico comparativo dos dados médios de precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e temperatura na região da UGRHI-22.....	52
Figura 21 - Mapa do Balanço hídrico da UGRHI-22 no período de 1991 a 2020.	53

Figura 22 - Balanço Hídrico nas Unidades de Planejamento Hídrico (UPH) a partir de Dados Geoespaciais, no período de 2007 a 2021.	54
Figura 23 - Relação entre Vazões de outorga de referência, extraídos dos dados do Relatório de Situação e Balanço Hídrico das Unidades de Planejamento Hídrico: Análise Comparativa.	55
Figura 24 - Gráfico de evolução do nível d'água no poço MNT/SP/NB01 em Narandiba.	56
Figura 25 - Comparativo dos dados de precipitação da UGRHI-22 e balanço hídrico da UPH Baixo Paranapanema Margem Direita em comparação com os dados de nível de água do poço Narandiba.	57
Figura 26 - Gráfico de evolução do nível d'água no poço MNT/SP/TS01 em Teodoro Sampaio.	58
Figura 27 - Comparativo dos dados de precipitação da UGRHI-22 e balanço hídrico das UPHs Baixo Paranapanema Margem Direita e Tributários Rio Paraná, em comparação com os dados de nível de água do poço Teodoro Sampaio.	59
Figura 28 - Diferenças no ciclo da água entre vegetação natural e monoculturas.	61
Figura 29 - Mapa de Uso e Cobertura da terra na UGRHI-22 nos períodos de 1991 até 2021.	62
Figura 30 - Análise dos princípios da OCDE na Governança Hídrica da UGRHI-22.	70

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. A Gestão de Recursos Hídricos no Brasil: Estruturas, Políticas, Aplicações no Contexto do Pontal do Paranapanema	14
2.1.1. O Sistema de Gestão das Águas no Brasil.....	14
2.1.2. Política Nacional de Recursos Hídricos	16
2.1.3. Política de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo	17
2.1.4. Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema.....	17
2.1.5 Metodologia para elaboração dos Relatórios de Situação da UGRHI-22	18
2.2. Conceitos gerais de hidrologia superficial e subsuperficial	19
2.2.1. Bacias hidrográficas	19
2.2.2. Escoamento superficial.....	20
2.2.3. Evapotranspiração	20
2.2.4. Precipitação.....	21
2.2.5. Águas subterrâneas.....	21
2.2.6. Águas superficiais	22
2.2.7. Vazões de referência	22
2.2.8. Recarga potencial	22
2.2.9. Métodos de estimativa de recarga.....	23
2.3. Indicadores da Governança da Água.....	23
3.1. Aspectos Físicos e Cultivo da Terra: UGRHI-22 Pontal do Paranapanema	26
3.2. Contexto socioeconômico da UGRHI-22.....	30
4.MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1. Revisão bibliográfica.....	33
4.2. Cálculo do balanço hídrico	34

4.3. Álgebra de mapas para análise do balanço hídrico utilizando o Sistema de Informação Geográfica - SIG	36
4.4. Produto do balanço hídrico por meio de dados do software Giovanni - NASA.....	37
4.5. Análise anual da disponibilidade hídrica com base nos dados do relatório de situação ...	38
4.6. Análise do uso e conversão da terra pelos dados do MapBiomas	39
4.7. Comparação com os dados dos poços de monitoramento	39
4.8. Avaliação da Governança Hídrica da UGRHI-22.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1. Avaliação de Vazões de Referência e disponibilidade hídrica nos relatórios de situação do Comitê do Pontal do Paranapanema (CBH – PP).....	42
5.2. Balanço hídrico da UGRHI-22	45
5.3. Análise do balanço hídrico para os períodos de 1991 – 2020 a partir do modelo FLDAS52	
5.4. Comparação entre Balanço Hídrico, Precipitação e Nível dos Poços de Monitoramento	55
5.5. Impactos da homogeneização do uso da terra e priorização de sub-bacias para restauração ecológica.....	61
5.6. Avaliação da Governança Hídrica de acordo com os indicadores da OCDE	65
6. CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

1. INTRODUÇÃO

A escassez de água no Brasil, e no mundo, é agravada em virtude da desigualdade social e da falta de manejo e usos sustentáveis dos recursos naturais. Assim, garantir o acesso à água com qualidade e em quantidade suficiente é um requisito básico no combate a muitos dos problemas que ameaçam a vida humana, como a pobreza e a fome, conforme preconizado pelo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) – Água Potável e Saneamento, que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água para todos (ONU, 2015). Em regiões onde a situação de falta d'água já atinge índices críticos de disponibilidade, é notório o aumento de doenças como a malária, por exemplo, que ocasiona cerca de 1,6 a 2,5 milhões de mortes ao ano, ressaltando a estreita relação entre a água e a saúde pública, temática central do ODS 3 – Saúde e Bem-Estar (ONU, 2015). Esta realidade é vivenciada em muitos países, cuja parcela mais pobre da população é que vem sofrendo as consequências do descaso frente a estas questões (FERREIRA, 2019).

O debate em torno da crise hídrica global passa então a compor a agenda política de discussões de organismos internacionais a partir dos anos 2000, com a Agenda 21, reconhecendo que a crise global da água, na realidade, é uma crise de governança (ROGERS et al., 2003). No Brasil, os problemas de disponibilidade hídrica decorrem fundamentalmente da combinação do crescimento exagerado de demandas localizadas (urbanas e rurais) e da degradação da qualidade das águas, tornando-se necessário estabelecer diretrizes de uso racional sobre usos consuntivos (BRANCO, 2006). Sendo assim, é imprescindível que a gestão de bacias hidrográficas progrida na melhoria da prestação de serviços diretamente relacionados com a qualidade ambiental dos ecossistemas e, conseqüentemente, atrelada à qualidade dos recursos hídricos e às questões de saúde pública (FERREIRA, 2019).

O ciclo hidrológico é um sistema integrado que conecta os compartimentos atmosférico, superficial e subterrâneo, destacando-se como um processo dinâmico e interdependente. As alterações em qualquer um desses compartimentos pode desencadear impactos em todo o sistema. Por exemplo, as mudanças climáticas afetam diretamente o ciclo hidrológico, influenciando padrões de precipitação, evaporação e infiltração. Regiões que enfrentam excesso de chuvas são mais suscetíveis a enchentes e erosão, enquanto outras enfrentam escassez hídrica, intensificando a desertificação e a perda de produtividade agrícola (IPCC, 2021). Essas alterações impactam a recarga subterrânea, um componente crítico para a sustentabilidade dos

recursos hídricos, o que reforça a urgência das ações previstas no ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima (ONU, 2015).

A influência humana sobre o ciclo hidrológico é evidente, especialmente por meio da conversão do uso do solo, urbanização e atividades agroindustriais. A impermeabilização do solo reduz a infiltração e, conseqüentemente, compromete a recarga dos aquíferos, além de aumentar o escoamento superficial e os riscos de enchentes (BENINI; MENDIONDO, 2015). Ademais, a exploração intensiva dos recursos hídricos subterrâneos para fins consuntivos também gera impactos significativos, como o rebaixamento do nível dos aquíferos e a salinização de áreas costeiras (HIRATA et al., 2019).

Diante do crescente aumento da demanda por recursos hídricos superficiais, a exploração das águas subterrâneas apresenta-se como uma alternativa imediata para o abastecimento, em razão de sua maior disponibilidade e qualidade, especialmente quando comparada às águas superficiais, mais expostas e vulneráveis à contaminação (ELSHALL et al., 2020). No entanto, a utilização sustentável dessas reservas enfrenta desafios técnicos significativos, já que a remediação de aquíferos é um processo oneroso e complexo. Isso se deve ao fato de que os estudos hidrogeológicos geralmente se baseiam em métodos indiretos, como imagens de satélite e dados geofísicos, tornando difícil a tarefa de estimar a quantidade real de água disponível (HIRATA et al., 2019). Assim, o recurso hídrico subterrâneo tornou-se uma fonte estratégica de água para o desenvolvimento da sociedade e, portanto, deve ser protegido contra a poluição e a superexploração, priorizando sempre o uso racional d'água.

Segundo o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (DAEE, 2022), mais de 70% dos poços tubulares profundos em operação no estado não possuem outorga ou cadastro regularizado, o que representa um desafio significativo para o controle e a gestão das águas subterrâneas. Com essa elevada taxa de ilegalidade, o controle sobre a qualidade da construção dos poços é menor e a gestão da informação hídrica é prejudicada. O desconhecimento dos riscos por parte de muitos usuários e a fiscalização insuficiente do poder público são as principais causas da ilegalidade (HIRATA et al., 2019).

Além dos desafios relacionados à regularização dos poços, a gestão eficiente dos recursos hídricos subterrâneos depende diretamente do conhecimento sobre sua recarga. A determinação da recarga das águas subterrâneas é uma ferramenta essencial na administração desses recursos (HEALY, 2010), pois permite avaliar a contribuição da água subterrânea para os rios e, por meio de análises em séries temporais, compreender os efeitos de fatores como mudanças climáticas e exploração com base na disponibilidade hídrica (SONE et al., 2022).

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar a governança da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22), situada no extremo oeste do Estado de São Paulo, com foco na análise da disponibilidade hídrica — um elemento essencial para a gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos. A análise será realizada por meio da comparação entre diferentes fontes de dados, incluindo relatórios oficiais do Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH-PP) sobre a situação da bacia, informações de poços tubulares e dados climáticos globais produtos do sensoriamento remoto. Esses dados são analisados à luz dos Indicadores de Governança da Água (OCDE), permitindo identificar possíveis melhorias na governança hídrica.

Neste estudo, o cálculo do balanço hídrico foi realizado considerando as variáveis de precipitação, evapotranspiração potencial e escoamento superficial, com base em produtos globais de sensoriamento remoto, extraídos da plataforma Giovanni NASA. Essa análise, em conjunto com a análise de dados de monitoramento de poços, fornece informações fundamentais para a compreensão da dinâmica da recarga, contribuindo para uma gestão hídrica mais eficaz.

Diante disso, torna-se evidente que o cálculo do balanço hídrico em uma bacia subterrânea é um dado essencial para a compreensão da recarga hídrica e para uma gestão eficiente. A recarga, definida como o processo pelo qual um fluxo descendente de água alcança a zona saturada, é fundamental para o armazenamento do aquífero. Esse processo pode variar temporal e espacialmente, influenciado por fatores como topografia, uso do solo, geologia e tendências climáticas (HIRATA et al., 2019). Portanto, é imprescindível considerar o ciclo hidrológico de maneira integrada, uma vez que cada compartimento afeta a disponibilidade e a qualidade da água subterrânea, especialmente em cenários de mudanças climáticas e pressões antrópicas sobre os recursos naturais.

Nesse contexto, a governança hídrica emerge como um elemento essencial para enfrentar os desafios da escassez hídrica e da gestão dos recursos subterrâneos. Segundo Hirata et al. (2019), uma governança eficiente é crucial para garantir o equilíbrio entre exploração e preservação dos recursos hídricos, promovendo a sustentabilidade e a equidade no acesso à água. Dessa forma, a análise da governança hídrica torna-se indispensável, não apenas para mitigar os impactos das atividades humanas sobre o ciclo hidrológico, mas também para assegurar que políticas públicas e estratégias de gestão estejam alinhadas com as demandas sociais e ambientais contemporâneas. A avaliação da governança das águas, ao ser integrada ao monitoramento, é fundamental para otimizar a gestão hídrica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo abordará o sistema de gestão de recursos hídricos, os conceitos fundamentais de hidrogeologia e governança hídrica, fornecendo a base teórica necessária para a compreensão e contextualização deste estudo. Esses conceitos serão apresentados de forma a oferecer suporte técnico e científico para a análise e interpretação dos dados discutidos ao longo do trabalho.

2.1. A Gestão de Recursos Hídricos no Brasil: Estruturas, Políticas, Aplicações no Contexto do Pontal do Paranapanema

2.1.1. O Sistema de Gestão das Águas no Brasil

No Brasil, a gestão dos recursos hídricos é realizada pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), cujo objetivo central é coordenar a gestão integrada das águas, implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, planejar, regular e controlar o uso, a prevenção e a recuperação dos recursos hídricos. O sistema é composto por órgãos colegiados, como o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, entidades de controle e gestão, como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e organizações civis, incluindo associações intermunicipais de bacias hidrográficas e instituições de ensino e pesquisa (Figura 1). Tais estruturas promovem a integração de informações sobre águas superficiais e subterrâneas, harmonizando diretrizes para a gestão de aquíferos e sistematizando dados necessários à caracterização das bacias hidrogeológicas. Nos casos de aquíferos transfronteiriços ou interestaduais, o sistema busca alinhar os esforços entre os diferentes níveis de governo e os países envolvidos, promovendo acordos que assegurem a sustentabilidade hídrica. Adicionalmente, os Conselhos Estaduais e do Distrito Federal atuam na resolução de conflitos, enquanto o Conselho Nacional exerce papel decisivo em instâncias superiores.

No âmbito estadual, destaca-se o modelo adotado no estado de São Paulo, organizado em Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs), que representam uma estratégia para descentralizar a gestão e integrar as demandas locais com as metas estaduais, considerando as especificidades das áreas de recarga, práticas de reuso e estratégias de recarga artificial.

Segundo o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2021), o estado de São Paulo abrange três regiões hidrográficas brasileiras: a bacia do Paraná, que ocupa 85% do território e tem grande potencial hidrelétrico; a bacia do Atlântico Sudeste, cobrindo 14% da área com rios que deságuam no oceano, e a bacia do Atlântico Sul, que representa 1% do estado com pequenos rios costeiros. Além das bacias hidrográficas nacionais, o Estado de São Paulo é dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs), cada uma associada a uma bacia hidrográfica específica, cobrindo todos os 645 municípios do estado.

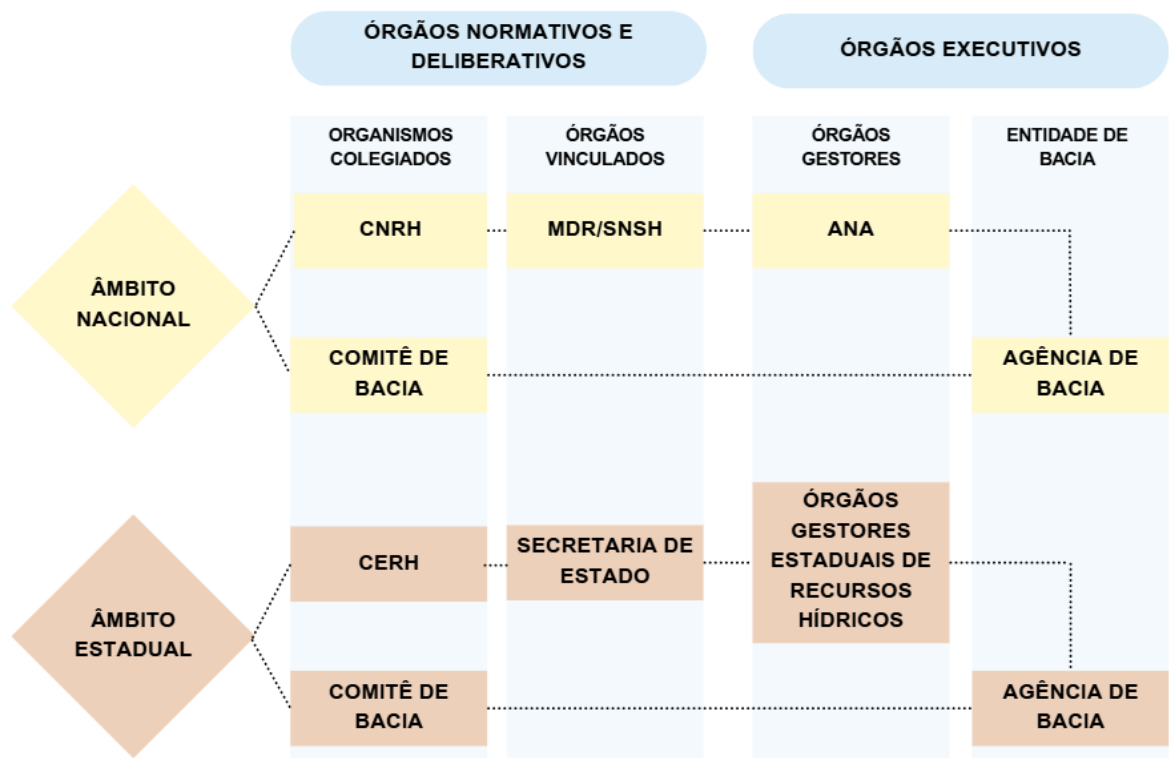
As Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) foram instituídas no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) como divisões territoriais que visam facilitar o planejamento e a gestão descentralizada das águas. No estado de São Paulo, essas unidades consideram critérios naturais, sociais e econômicos, garantindo que a divisão por bacias hidrográficas esteja em consonância com os princípios da Política Estadual de Recursos Hídricos e com a estrutura do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 1991).

As UGRHIs possuem uma relação direta com as bacias hidrográficas, pois foram delimitadas de forma a respeitar os limites naturais dessas bacias, que são consideradas unidades essenciais para o planejamento e a gestão integrada dos recursos hídricos. Conforme a ANA, as UGRHIs permitem que a gestão hídrica seja descentralizada e participativa, considerando as especificidades de cada bacia, como disponibilidade hídrica, usos predominantes e características socioeconômicas. Buscando promover o uso sustentável da água por meio de instrumentos de planejamento, outorga, cobrança pelo uso da água e a atuação de Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs). Sendo esses comitês os principais agentes de implementação dessa política, funcionando como instâncias colegiadas responsáveis por promover a gestão compartilhada dos recursos hídricos (SARMENTO, 2007).

Os CBHs reúnem representantes do poder público, usuários de água e sociedade civil, atuando como fóruns de debate e deliberação, embora não possuam personalidade jurídica. Suas principais funções incluem debater e articular as ações relacionadas à gestão da água, arbitrar conflitos administrativos em primeira instância, aprovar e acompanhar a execução do plano de recursos hídricos da bacia, propor critérios para outorgas e isenções de uso de recursos hídricos, estabelecer mecanismos e sugerir valores de cobrança pelo uso da água e compatibilizar os planos de bacias hidrográficas com os planos nacionais ou estaduais de recursos hídricos. Além disso, os CBHs aprovam propostas das Agências de Água, submetem planos de recursos

hídricos a audiências públicas e desenvolvem ou apoiam iniciativas de Educação Ambiental, promovendo a sustentabilidade hídrica e a participação social na gestão local (SARMENTO, 2007).

Figura 1- Fluxograma do Sistema de Gestão das Águas no Brasil.



Fonte: Modificado de Brasil, 2025.

2.1.2. Política Nacional de Recursos Hídricos

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, também conhecida como Lei das Águas, estabelece princípios, diretrizes e fundamentos gerais para a gestão das águas no Brasil, tendo como principais pilares a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a descentralização da gestão e a criação do SINGREH, que inclui instituições nos níveis federal, estadual, distrital e das bacias hidrográficas. Para orientar a implementação dessa política e nortear a atuação do SINGREH, foi criado o Plano Nacional de Recursos Hídricos, servindo como um guia para ações estratégicas voltadas à gestão sustentável da água, cujo objetivo principal é garantir a qualidade e a quantidade de água para as gerações futuras.

A fim de alcançar esse objetivo, a política promove uma gestão participativa e descentralizada, envolvendo diversos atores, como a sociedade civil, os usuários e o poder público, além de mediar conflitos relacionados ao uso dos recursos hídricos. A política também define as funções dos Comitês de Bacia Hidrográfica, atribuindo-lhes a responsabilidade de criar o Plano de Bacia e os Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos. Conforme Jacobi (1996), a criação de políticas públicas participativas está estreitamente ligada às mudanças na estrutura sociopolítica do Brasil, especialmente durante o período de redemocratização, quando se questionou o papel do Estado como o único agente das políticas sociais.

Nesse contexto, Pereira e Formiga-Johnson (2005) destaca que a descentralização prevista pela política possibilitou a criação de instâncias colegiadas, como comitês e conselhos, onde o poder de decisão é compartilhado entre sociedade civil, usuários locais e governo. Dessa forma, retirou-se do Estado o monopólio da gestão da água, permitindo uma administração mais inclusiva e eficaz desse recurso. A inclusão desses múltiplos atores, cada qual com diferentes interesses, visões e responsabilidades na tomada de decisão sobre os recursos hídricos, reflete um modelo participativo e colaborativo que caracteriza o conceito de governança. Essa abordagem visa assegurar uma gestão mais democrática, transparente e eficiente, promovendo o equilíbrio entre as demandas sociais, econômicas e ambientais.

2.1.3. Política de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

A Lei nº 7.663/1991 estabelece normas de orientação e práticas quanto à Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Auxiliando para complementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, com base na especificidade do estado, onde o estado possui autonomia para criar políticas próprias que se alinhem com as condições regionais, como características socioeconômicas, geográficas, climáticas e ambientais de cada região (SÃO PAULO, 1991). A Política é, portanto, uma maneira de ajustar as diretrizes nacionais ao contexto local, respeitando as variações entre as bacias hidrográficas estaduais e as demandas da população e setores econômicos de cada região (DIONEL, 2021).

2.1.4. Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema

O Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH-PP) atua como um fórum de debates e deliberação, implementando os princípios da Política Nacional de Recursos

Hídricos (PNRH). Sua principal função é promover uma gestão participativa das águas, considerando aspectos como quantidade e qualidade do ciclo hidrológico, além de proteger a UGRHI-22 contra poluição, inundações, secas, erosão do solo e assoreamento dos rios. Essas ações visam alinhar o uso dos recursos hídricos ao desenvolvimento sustentável da região, reforçando a governança das águas.

Para alcançar esses objetivos, o CBH-PP elabora periodicamente planos de bacia e relatórios de situação específicos para a bacia hidrográfica do Pontal do Paranapanema. O comitê é composto por 39 membros, incluindo representantes do poder público, usuários de água e organizações da sociedade civil. Atualmente, conta com 13 representantes de órgãos estaduais, 13 prefeitos dos municípios que integram a UGRHI-22 e 13 representantes da sociedade civil (CBH-PP, 2024).

2.1.5 Metodologia para elaboração dos Relatórios de Situação da UGRHI-22

A entrega dos relatórios de situação pelos comitês de bacias hidrográficas no Brasil está prevista de acordo com a Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Embora a lei não detalhe explicitamente a frequência ou formato dos relatórios de situação, ela estabelece a base de atuação dos comitês, que inclui o monitoramento e a avaliação quantitativa e qualitativa das bacias hidrográficas, promovendo a gestão integrada e sustentável dos recursos (BRASIL, 1997).

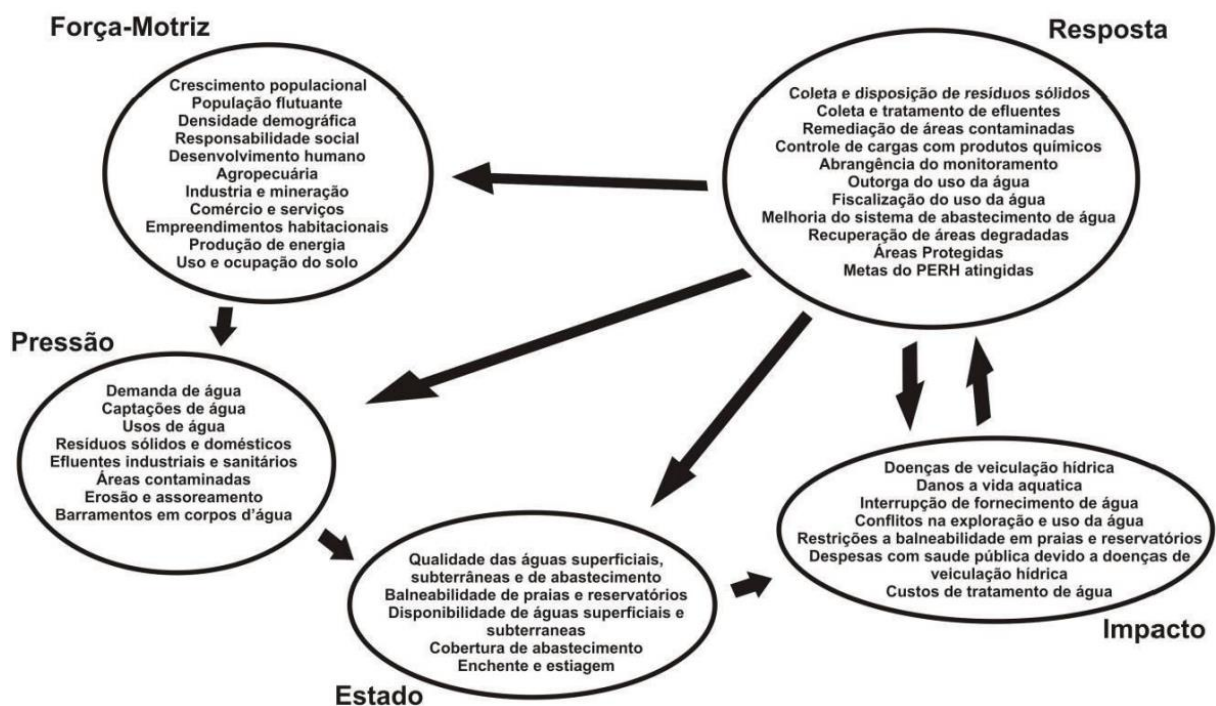
O Relatório sobre a Situação da Bacia do Pontal do Paranapanema é elaborado anualmente pelo CBH-PP e aborda tópicos semelhantes aos discutidos no plano de bacia da região. O relatório inclui a caracterização geral da UGRHI, o desenvolvimento econômico e a situação dos recursos hídricos locais. Além disso, seguem um método específico para analisar esses indicadores, auxiliando para uma avaliação contínua dos aspectos tratados no plano de bacia.

Este relatório utiliza o método FPEIR (Força, Pressão, Estado, Impacto e Resposta) para estudar o impacto ambiental e levantar indicadores ambientais. O método FPEIR é projetado para avaliar e comunicar a situação socioambiental de uma bacia hidrográfica, fornecendo informações cruciais para a tomada de decisão e o desenvolvimento de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos (CBH-PP, 2020).

O modelo metodológico de indicadores ambientais FPEIR sugere que a Força-Motriz, ou ação humana, gera Pressões sobre o meio ambiente. Essas pressões podem alterar o Estado

do meio ambiente, o que pode resultar em Impactos nos ecossistemas e na saúde humana. Como Resposta, a sociedade toma ações que visam intervir em qualquer variável do sistema. Ou seja, o método FPEIR avalia diversos indicadores (Figura 2), incluindo dados quantitativos (CBH-PP, 2020), que são o foco principal do presente estudo. Além disso, no Relatório situação, há uma indicação dos instrumentos para gestão em pontos críticos identificados, além de recomendações de ações para tomada de decisão, a fim de auxiliar a gestão das águas.

Figura 2 - Modelo FPEIR proposto pelos Relatórios de situação da UGRHI-22.



Fonte: CBH-PP, 2020.

2.2. Conceitos gerais de hidrologia superficial e subsuperficial

2.2.1. Bacias hidrográficas

Uma bacia hidrográfica é uma unidade geográfica e hidrológica definida por um divisor de águas, onde toda a precipitação escoar para um ponto comum por meio de uma rede de drenagem. Sua dinâmica hídrica é influenciada por fatores naturais, como o arcabouço geológico, que abrange rochas, solos e formas de relevo, os quais afetam diretamente a disponibilidade e o comportamento dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos (TUCCI, 2001).

A interação entre relevo e variações topográficas resulta de processos geológicos endógenos e exógenos ao longo do tempo, influenciando as características de porosidade e permeabilidade das rochas. Esses atributos determinam a infiltração ou a restrição da percolação da água da chuva, que representa a principal fonte de recarga hídrica da bacia. O clima, por sua vez, exerce um controle direto sobre a dinâmica das águas superficiais e subterrâneas, regulando o ciclo hidrológico e os balanços hídricos da região. Dessa forma, a relação entre geologia, relevo e clima define os processos de escoamento superficial, infiltração no subsolo e evapotranspiração, condicionando o comportamento da água na bacia hidrográfica (TUCCI, 2001).

2.2.2. Escoamento superficial

O escoamento superficial é determinado pelo movimento da água na superfície do solo quando este está saturado de umidade ou é impermeável. Essas águas, provenientes da precipitação, podem gerar enxurradas, cursos d'água, lagos e, eventualmente, rios. O escoamento pode ser classificado em difuso e concentrado, originando fluxos temporários ao longo do solo, dependendo da intensidade das chuvas e das características da superfície, como vegetação, inclinação do relevo, topografia e tipo de solo. Solos com baixa permeabilidade ou já saturados tendem a aumentar o escoamento superficial (EMBRAPA, 2000). Por outro lado, a fragilidade do solo refere-se à sua suscetibilidade à degradação, incluindo a erosão. Solos frágeis, especialmente aqueles com pouca cobertura vegetal ou submetidos a práticas agrícolas inadequadas, são mais propensos à erosão quando expostos ao escoamento superficial intenso. O destino desse escoamento pode ser porções baixas do terreno, como fundos de vales, onde se formam rios, que em última instância conduzem a água até o mar, completando o ciclo hidrológico (VILLELA; MATTOS, 1975).

2.2.3. Evapotranspiração

A evapotranspiração é o processo pelo qual a água é transferida da superfície terrestre para o ar, combinando dois mecanismos: a evaporação e a transpiração das plantas. A transpiração ocorre quando a água é liberada do interior das plantas por meio de aberturas na epiderme vegetal, facilitando as trocas gasosas com o ambiente. Já a evaporação corresponde à conversão da água líquida presente no solo ou em corpos d'água em vapor, que se dissipa na

atmosfera. Esses processos, em conjunto, regulam a perda de água da superfície e sua incorporação ao ciclo hidrológico (ALLEN et al., 1998).

2.2.4. Precipitação

A precipitação é o processo pelo qual o vapor d'água atmosférico se condensa e se acumula, resultando na queda ou deposição sobre a superfície terrestre. Isso ocorre devido à combinação de dois mecanismos: o resfriamento e aumento da umidade, que levam a saturação da atmosfera com vapor d'água, ou seja, o ar fica saturado com vapor d'água e quando não pode reter mais umidade, momento em que a atmosfera atinge 100% de sua umidade relativa, a precipitação ocorre (TUCCI, 2001). A precipitação é entendida na área de hidrologia, como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, granizo, chuvas, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes do estado da água que integram o parâmetro de precipitação (TUCCI, 2001).

2.2.5. Águas subterrâneas

A água subterrânea é definida como toda água que ocorre abaixo da superfície da terra, onde os espaços vazios estão preenchidos com água. As formações geológicas de armazenamento das águas subterrâneas são classificadas quanto a sua capacidade de armazenamento e transmissão de água, e são divididas em três categorias: aquíferos, aquitardes ou aquicludes (FETTER, 2000).

Um aquífero é uma formação geológica capaz de armazenar e conduzir água, permitindo seu movimento em quantidades consideráveis sob condições naturais (FETTER, 2000). A distribuição dos aquíferos é heterogênea e está relacionada à formação do continente, incluindo a ordem de deposição das rochas e processos erosivos ao longo do tempo geológico. Os aquíferos podem ser classificados com base na pressão que suportam ou no tipo de rocha que os compõe. Essas características influenciam o tempo de residência da água, a velocidade do fluxo, as taxas de recarga dos reservatórios e sua vulnerabilidade à contaminação.

Já os aquitardes são formações geológicas que possuem baixa permeabilidade, permitindo o armazenamento de água, mas com uma transmissão extremamente lenta, o que dificulta ou impede sua exploração econômica. Os aquicludes são formações geológicas que armazenam água em seu interior, mas não possuem a capacidade de transmiti-la (ANA, 2022).

2.2.6. Águas superficiais

As águas superficiais são aquelas que acumulam na superfície da terra, abrangendo rios, lagos, córregos, lagoas e reservatórios. Para Suguio (2001), as águas superficiais são essenciais no sistema do ciclo hidrológico e fundamentais para as atividades humanas e a manutenção da biodiversidade, representando uma das principais fontes para consumo, geração de energia e irrigação.

2.2.7. Vazões de referência

Segundo Ribeiro (2017), as vazões de referência $Q_{7,10}$ e Q_{95} são indicadores importantes na gestão de recursos hídricos. A vazão $Q_{7,10}$ representa a menor vazão média de sete dias consecutivos que ocorre, em média, uma vez a cada dez anos, sendo amplamente utilizada para avaliar situações críticas de escassez hídrica. Já a Q_{95} corresponde à vazão que é igualada ou superada em 95% do tempo, servindo como referência para a disponibilidade mínima de água em um curso d'água. Já a $Q_{\text{médio}}$ refere-se à média de vazões ao longo de um determinado período, representando uma condição mais comum de fluxo. Esses indicadores são essenciais para estabelecer limites de uso sustentável.

2.2.8. Recarga potencial

A recarga é o fluxo descendente de água que, ao infiltrar no solo, alcança o sistema aquífero, contribuindo para o aumento do volume do reservatório subterrâneo (Lerner et al., 1990). Esse processo pode ocorrer a partir da infiltração da água da chuva, do degelo ou da percolação de lagos e rios. As áreas dentro de uma bacia hidrográfica que permitem essa infiltração são conhecidas como áreas de recarga (ANA, 2022).

A estimativa da recarga é essencial para avaliar a disponibilidade hídrica e planejar a gestão dos recursos subterrâneos. O conhecimento da taxa de alimentação de um aquífero permite a tomada de decisões estratégicas, evitando impactos ambientais adversos, como os gerados pela superexploração desses reservatórios (EILERS, 2004).

A recarga pode ocorrer de forma natural, por meio da infiltração da água da chuva e da percolação em leitos de rios, canais e lagos, ou ser induzida por atividades humanas, como

irrigação, vazamentos em redes de distribuição e processos decorrentes da urbanização (LERNER et al., 1990).

2.2.9. Métodos de estimativa de recarga

Diversos métodos para a estimativa de recarga são discutidos em literatura especializada, com revisões abrangentes e abordagens realizadas por autores como Lerner et al. (1990). Os métodos apresentados pelos autores são divididos em três categorias principais: (i) método de análise empírica, estabelecendo uma relação entre a precipitação e recarga; (ii) métodos que se baseiam em medições diretas de processos físicos específicos e (iii) modelos numéricos que utilizam equações, como a Lei de Darcy, como base para as estimativas de dados (EILERS, 2004).

Segundo Eilers (2004), as estimativas das taxas de recarga de água apresentam alta margem de erro, devido à complexidade da definição dos métodos e à disponibilidade limitada de informações. A precisão na estimativa de recarga exige um entendimento detalhado do comportamento da água em meio não saturado e a criação de um modelo conceitual que represente corretamente os processos físicos envolvidos, como a interação entre água, solo e vegetação (EILERS, 2004).

Contudo, muitas vezes os dados disponíveis são insuficientes para representar adequadamente esses processos. Em tais casos, métodos mais complexos, que exigem grandes quantidades de dados e longos trabalhos de campo, podem não ser viáveis. Assim, a escolha da metodologia para analisar a recarga potencial deve equilibrar a qualidade do modelo conceitual com a realidade dos dados disponíveis.

2.3. Indicadores da Governança da Água

Os Indicadores da Governança da Água da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) constituem uma estrutura valiosa para avaliar, fortalecer e orientar a gestão dos recursos hídricos, promovendo maior eficiência, transparência, participação social e sustentabilidade. Estruturados em 12 princípios distribuídos em três dimensões complementares — eficácia, eficiência e confiança/compromisso —, esses indicadores fornecem diretrizes práticas para políticas públicas mais claras e adaptáveis.

A dimensão eficácia busca garantir metas bem definidas e sustentáveis, promovendo sua implementação em todos os níveis de governo. A eficiência está relacionada à otimização dos benefícios da boa governança, evitando desperdícios e contribuindo para a melhoria da qualidade de vida. Já a dimensão de confiança e compromisso enfatiza a importância da participação inclusiva, da transparência nas decisões e do fortalecimento institucional, incentivando o engajamento dos diversos atores sociais.

Os 12 princípios da OCDE distribuem-se entre essas três dimensões e propõem diretrizes práticas para melhorar a governança hídrica: (1) atribuição de papéis e responsabilidades claras; (2) escalas apropriadas no quadro de uma gestão de bacias; (3) coerência das políticas e coordenação entre setores; (4) capacitação para o desempenho das atribuições; (5) dados e informações consistentes; (6) uso eficiente dos recursos financeiros; (7) quadros regulatórios sólidos; (8) práticas inovadoras de governança; (9) promover a integridade e a transparência; (10) comprometimento das partes interessadas; (11) compromissos equilibrados entre utilizadores, regiões rurais, urbanas e geradores e (12) monitorização e avaliação regular das políticas, conforme Figura 3 (OCDE, 2015).

Esses princípios abrangem aspectos como a clarificação de funções e responsabilidades, a coerência entre políticas setoriais, a gestão em escalas adequadas, a capacitação institucional, a inovação e a mobilização de recursos financeiros (OCDE, 2015). Também destacam a necessidade de governança baseada em dados confiáveis e marcos regulatórios eficazes, promovendo o equilíbrio entre diferentes interesses e garantindo a sustentabilidade a longo prazo (GONZÁLEZ-GÓMEZ et al., 2019).

Estudos como o de Silva et al. (2021) reforçam a importância dessa abordagem, demonstrando que a adoção dos princípios da OCDE contribui significativamente para a eficácia das políticas hídricas, especialmente quando acompanhada de monitoramento contínuo, permitindo ajustes e melhorias no setor.

Contudo, é importante reconhecer que a governança da água não segue um modelo único: ela deve ser adaptada às realidades locais, considerando as especificidades de cada região (OCDE, 2015). Nesse contexto, a existência de um sistema de monitoramento estruturado é essencial para fomentar a capacitação contínua, a troca de conhecimento entre os atores e a tomada de decisões mais informadas. Essa dinâmica fortalece a governança e promove uma gestão mais integrada e sustentável dos recursos hídricos.

Figura 3 - Esquematisação dos 12 Princípios da OCDE.



Fonte: OCDE, 2015.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

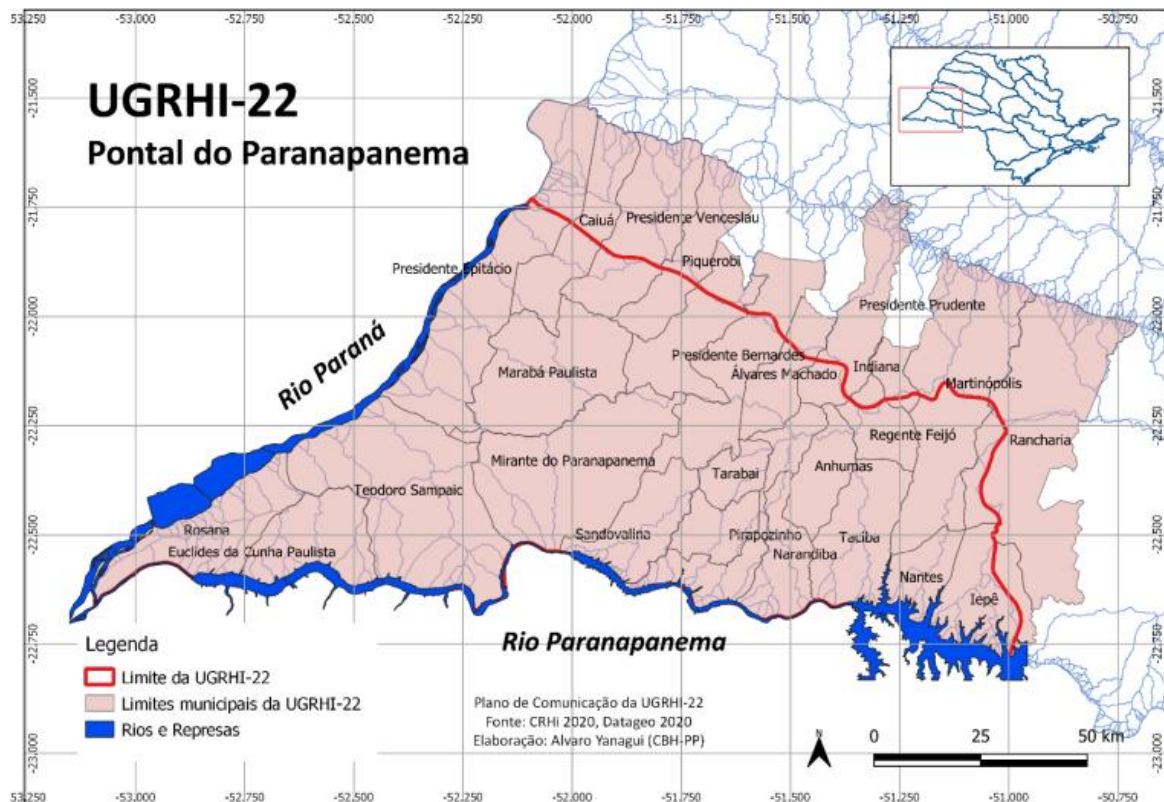
3.1. Aspectos Físicos e Cultivo da Terra: UGRHI-22 Pontal do Paranapanema

A UGRHI-22, conhecida como Pontal do Paranapanema, está situada na região oeste do Estado de São Paulo. Seu limite ao sul é definido pelo Rio Paraná, que também delimita a divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul e, a oeste, com o Estado do Paraná. Ao Norte, os limites são estabelecidos pelo divisor de águas que se inicia no Rio Paraná, entre o Ribeirão Caiuá e o Ribeirão do Veado, seguindo pela linha divisória entre o Rio do Peixe e o Rio Santo Anastácio até alcançar a UGRHI-17 (CBH-PP, 2016). Ao Leste, a UGRHI-22 é limitada pelo divisor de águas entre o Rio Paranapanema e a UGRHI-17 e UGRHI-21.

A região abrange os rios Paraná e Paranapanema, conhecidos pelos grandes volumes de água e pela presença de barragens e reservatórios destinados à geração de energia elétrica. Os principais corpos d'água incluem o Rio Santo Anastácio, o Ribeirão Anhumas, o Ribeirão Laranja Doce e o Ribeirão Pirapozinho, além de afluentes menores. Esses rios têm papel fundamental na hidrografia regional, caracterizada por grandes volumes de água e a integração com outros sistemas hidrográficos (CBH-PP, 2016).

A UGRHI-22 engloba 26 municípios, parcial ou totalmente incluídos na sua área de gestão, reforçando sua importância estratégica para o Estado de São Paulo (Figura 4). A compreensão detalhada da dinâmica hídrica dessa unidade é essencial para garantir a gestão eficiente dos recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental da região.

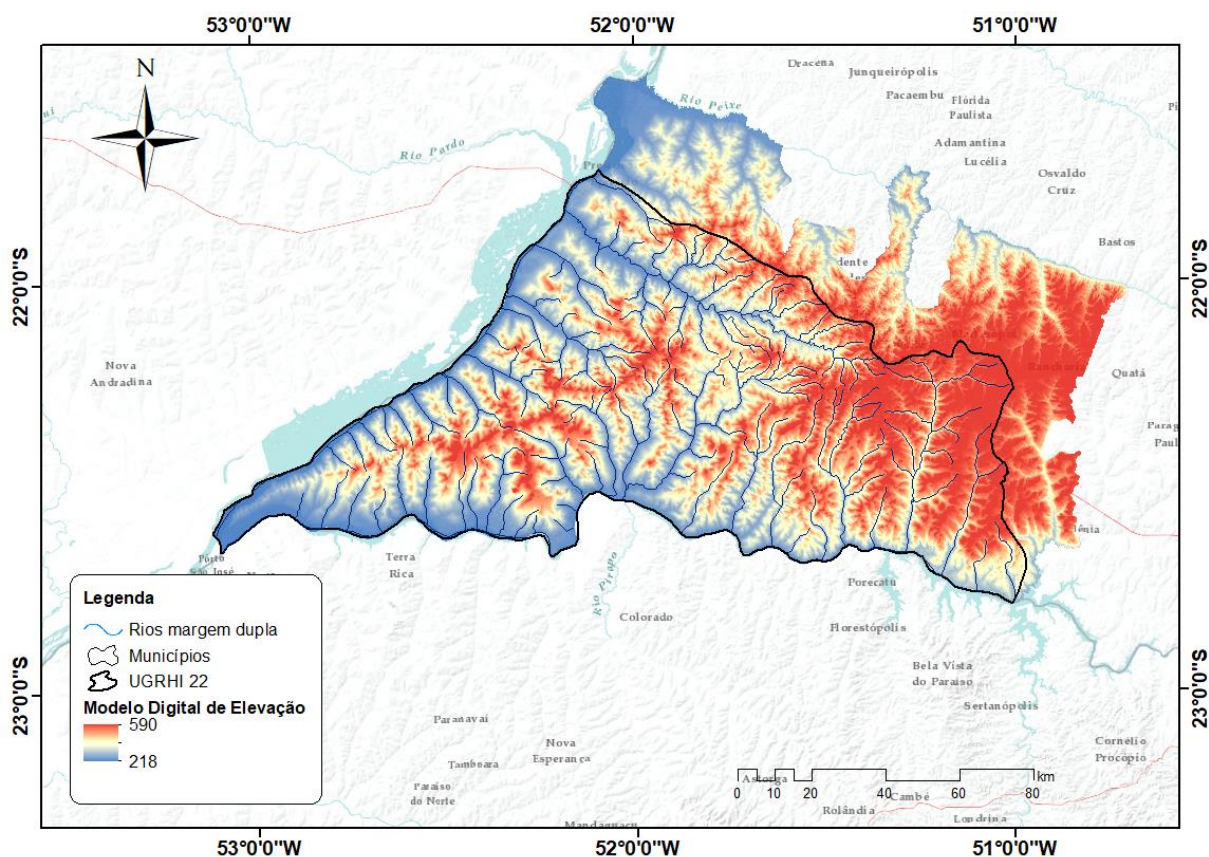
Figura 4 - Localização da UGRHI-22 no Estado de São Paulo.



Fonte: CBH-PP, 2020.

O mapa apresentado (Figura 5) é uma representação do Modelo Digital de Elevação (MDE) da UGRHI-22, localizada na região do Pontal do Paranapanema, no estado de São Paulo. Esse modelo geoespacial utiliza variações altimétricas para caracterizar a topografia da região, permitindo uma análise detalhada do relevo. No MDE, é possível identificar a presença de planícies associadas aos vales fluviais e áreas mais elevadas em zonas de topo. Observa-se também a distribuição altimétrica que varia de 218 metros até 590 metros.

Figura 5 - Modelo Digital de Elevação da UGRHI-22.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Embora a UGRHI-22 não seja uma bacia hidrográfica no sentido estrito, devido ao fato de seus limites serem definidos por rios e não exclusivamente por divisores de água, ela funciona como um sistema integrado, onde o volume de água precipitado (entrada) e o volume escoado pelos exutórios (saída) são as principais variáveis analisadas. As perdas intermediárias, como evaporação, transpiração e infiltração, também desempenham um papel significativo nesse balanço hídrico (TUCCI, 1993). Esses processos são fundamentais para análises de governança hídrica e planejamento sustentável.

Para aprimorar a gestão dos recursos hídricos, a primeira versão do plano de bacia do Pontal do Paranapanema dividia as Unidades de Planejamento Hídrico (UPHs) em quatro áreas. No entanto, com o objetivo de alinhar-se à subdivisão adotada no Plano Integrado de Recursos Hídricos do Rio Paranapanema (PIRH Paranapanema) e facilitar a comparação entre os parâmetros, o CBH-PP ajustou essa divisão para cinco UPHs, agora denominadas: UPH Baixo Paranapanema M.D (margem direita), UPH Laranja Doce, UPH Pirapozinho, UPH Santo Anastácio e UPH Tributários do Rio Paraná.

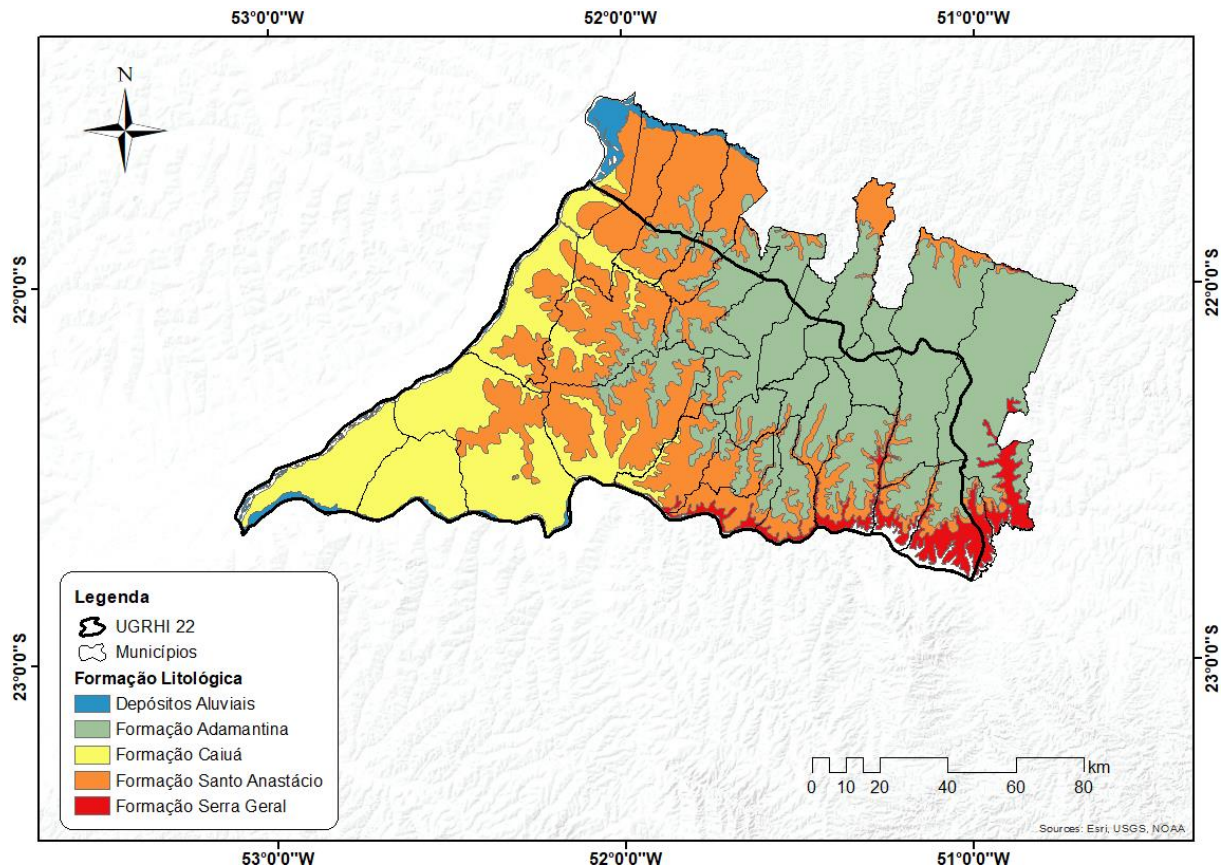
O clima da região, segundo a classificação de Koppen-Geiger, é predominantemente continental, dividido em dois tipos. O primeiro é o clima Tropical Úmido (Aw), que abrange uma estreita faixa próxima ao Rio Paraná, com verões chuvosos, invernos secos e temperaturas anuais entre 22°C e 24°C. O segundo é o clima Mesotérmico (Cwa), que cobre o restante da área, com temperaturas médias anuais abaixo de 22°C e chuvas concentradas principalmente no verão, típicas de regiões tropicais (PEEL et al., 2007).

A área da UGRHI-22 está inserida em formações geológicas predominantes, como as formações Santo Anastácio, Adamantina e Caiuá, que influenciam diretamente as características hidrogeológicas da região (Figura 6). A UGRHI-22 apresenta formação litológica predominante composta por arenitos finos (Grupos Santo Anastácio, Caiuá e Adamantina) e ígneas basálticas do Grupo Serra Geral, que fazem parte da Bacia do Paraná (SÃO PAULO, 2024).

O aquífero explorado na bacia é o Sistema Aquífero Bauru (SAB), composto pelos aquíferos Marília, Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá, sendo este último o principal aflorante na região de estudo (CBH-PP, 2022). As águas do SAB são pouco mineralizadas, com predominância das bicarbonatadas, que se dividem entre cálcicas e sódicas (ELSHALL et al., 2020).

Trata-se de um aquífero livre cuja recarga ocorre diretamente pela precipitação pluvial, tendo como base de drenagem os rios Paranapanema, Tietê, Grande e Paraná, além de suas redes de afluentes distribuídas por toda a área de afloramento (CBH-PP, 2022).

Figura 6 - Mapa Geológico simplificado da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

3.2. Contexto socioeconômico da UGRHI-22

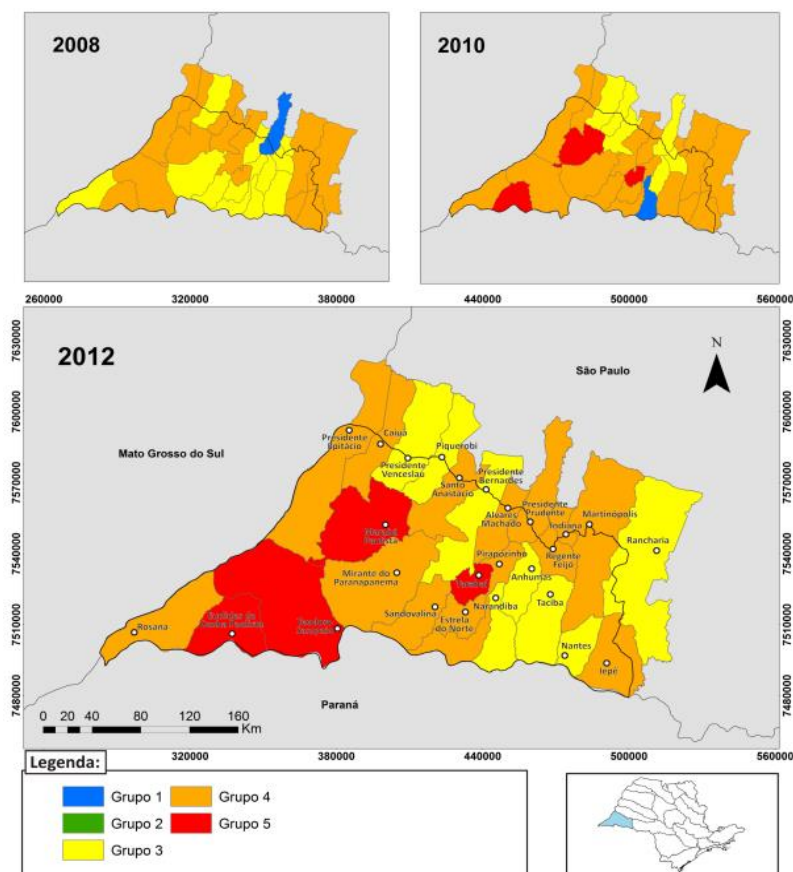
No Pontal do Paranapanema, predominam vastas áreas de terra com baixa densidade populacional. De acordo com a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos (SEADE, 2015), considerando os municípios totalmente contidos e os que estão com mais de 50% de sua área na UGRHI, a região conta com um total de 383.119 moradores e 34.276 áreas rurais (CBH-PP, 2016). Cerca de 21 municípios (80,76%) da bacia possuem densidade demográfica inferior a 50 habitantes por quilômetro quadrado, enquanto em 4 municípios (15,38%) a densidade varia entre 50 e 100 habitantes por quilômetro quadrado. O município de Presidente Prudente se destaca, com uma densidade de 383,1 habitantes por quilômetro quadrado.

Para classificar os municípios de acordo com a evolução socioeconômica, o CBH-PP utiliza o Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS), desenvolvido pela Fundação SEADE (Figura 7). O IPRS é um indicador social que avalia renda, escolaridade e longevidade,

preservando as dimensões do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). O indicador também considera particularidades regionais, o que permite acompanhar a evolução socioeconômica dos municípios paulistas de maneira mais precisa. O IPRS agrupa os municípios em cinco grupos com base em semelhanças nas condições de vida, formando grupos homogêneos, o que auxilia na elaboração de políticas públicas específicas (CBH-PP, 2016).

O Grupo 1 inclui municípios com alta riqueza e bons indicadores sociais. O Grupo 2 abrange locais com boa riqueza, mas cujos indicadores sociais ficam abaixo dos registrados no Grupo 1. O Grupo 3 é formado por municípios com baixa riqueza, porém bons indicadores sociais. O Grupo 4 reúne municípios com baixa riqueza e níveis intermediários de longevidade e/ou escolaridade. O Grupo 5 engloba municípios tradicionalmente pobres, com baixos níveis de riqueza, longevidade e escolaridade, concentrando os mais desfavorecidos do Estado.

Figura 7 - Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS) na UGRHI-22.



Fonte: CBH-PP, 2016.

Considerando as divisões por grupo, é possível identificar que, no ano de 2012 não houve mais municípios enquadrados no grupo 1, como o caso do município de Presidente

Prudente, que foi classificado como grupo 4 devido ao seu índice de riqueza estar abaixo do nível estadual. Os municípios integrantes do grupo 5 em 2012, como Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista, Marabá Paulista e Tarabai, apresentaram as menores porcentagens nos índices de riqueza e níveis de escolaridade (CBH-PP, 2016).

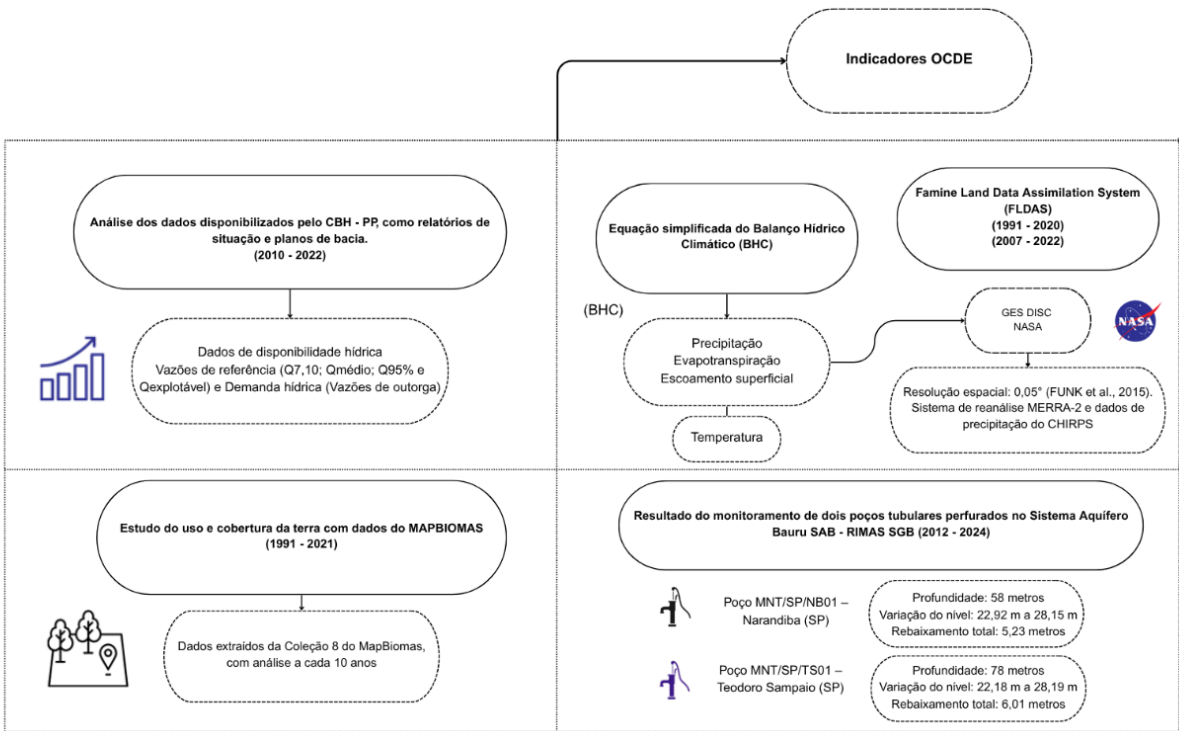
No que se refere à dinâmica econômica da região, o Pontal do Paranapanema é fortemente sustentado pela indústria agroalimentar, com destaque para as usinas de açúcar e álcool. Além disso, conta com agroindústrias, como abatedouros, frigoríficos e indústrias alimentícias de óleos e gorduras vegetais. A região também se caracteriza por um elevado grau de mecanização agrícola, especialmente nas extensas áreas de cultivo de pastagens, milho, cana-de-açúcar e soja (CBH-PP, 2016).

Na zona rural da bacia hidrográfica em estudo, predominam as pastagens artificiais, com algumas áreas restritas dedicadas ao cultivo de milho e cana-de-açúcar. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2016), a Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema é majoritariamente ocupada por pastagens, que abrangem 6.818,10 km². As culturas temporárias correspondem a 25,2% da área, sendo a cana-de-açúcar o principal cultivo agrícola, representando 19,2% do total.

4.MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada foi estruturada em cinco etapas principais, abrangendo: a análise de dados pré-existentes disponibilizados pelo Comitê de Bacia; o processamento e interpretação de informações geoespaciais; a avaliação de dados provenientes dos poços de monitoramento; e, por fim, a análise dos indicadores relacionados à governança dos recursos hídricos, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma da metodologia aplicada.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2025.

4.1. Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica incluiu uma análise aprofundada sobre os conceitos hidrogeológicos, o funcionamento do sistema de gestão hídrica no Brasil e os métodos de estimativa do balanço hídrico, com o objetivo de avaliar os dados quantitativos apresentados nos relatórios do Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH-PP). Para isso, foi fundamental compreender a Política Nacional de Recursos Hídricos e o papel do Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema na gestão dos recursos hídricos da

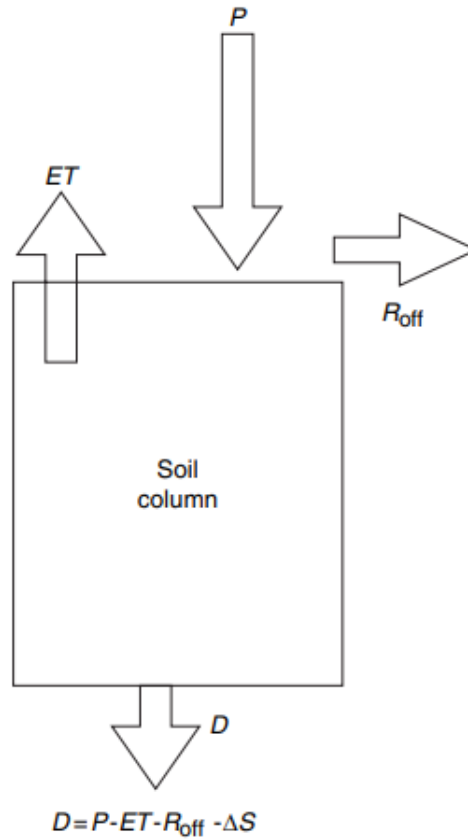
URGHI-22. E por fim, a revisão bibliográfica buscou definir a governança das águas, com base nos indicadores OCDE.

4.2. Cálculo do balanço hídrico

Após a definição da equação de balanço hídrico e das variáveis envolvidas, os dados espaciais foram organizados no software ARCMAP 10.8. As etapas incluíram o recorte para a área da UGRHI-22, projeção para o sistema de coordenadas geográficas e padronização da resolução espacial. Para cada componente da equação, foram produzidas camadas raster anuais, permitindo a aplicação integrada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ao longo da série temporal de 1991 a 2020, viabilizando análises espaciais e temporais consistentes dos dados.

O balanço hídrico pode ser obtido pela equação 1, proposta por Healy (2010), ilustrado na figura 9.

Figura 9 - Método de cálculo da Recarga Potencial conforme proposto por Healy (2010). Onde: D é a drenagem profunda, ET é evapotranspiração, R_{off} é o escoamento superficial, P é precipitação e ΔS é a mudança no armazenamento. Equação 1 representada na base do diagrama.



(1)

Fonte: Healy, 2010.

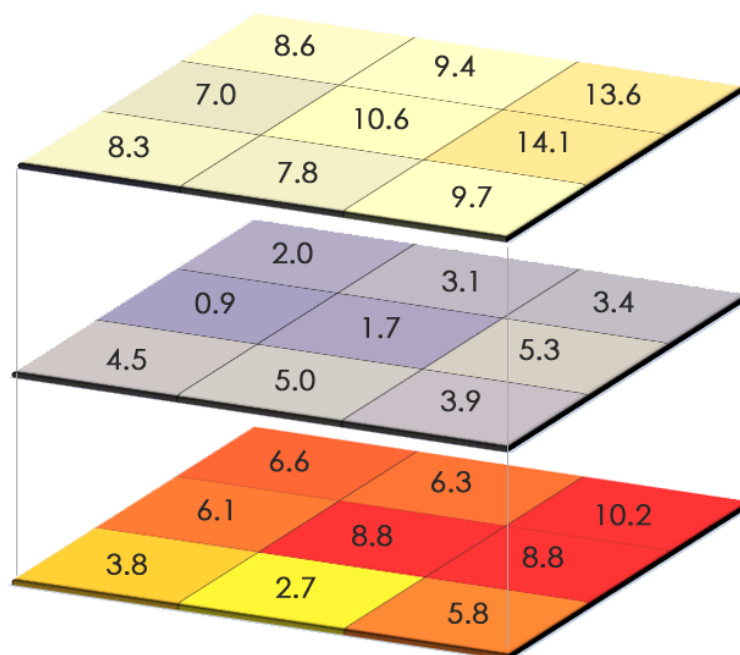
De acordo com Healy (2010), o primeiro passo para a análise de balanço hídrico é a definição do volume de controle a ser estudado, que, neste caso, corresponde à UGRHI-22 Pontal do Paranapanema. Com o intuito de comparar os resultados com os dados já apresentados no Relatório de Situação, a equação do balanço hídrico foi inicialmente aplicada em uma escala temporal anual, de 2010 até 2022. Contudo, ao longo do estudo, a análise foi expandida para uma escala temporal mais ampla, de 1991 a 2022 para análise do ciclo hidrológico, com o objetivo de avaliar a governança hídrica de forma mais aprofundada. Essa ampliação considerou a inclusão de dados geoespaciais obtidos por meio de imagens de satélite, permitindo uma avaliação mais robusta da dinâmica hídrica ao longo do tempo. A escolha desse período se justifica tanto pela disponibilidade dos relatórios oficiais quanto pela necessidade de um horizonte temporal extenso. Segundo a OCDE (2015), a avaliação da governança da água

exige análises de longo prazo que possibilitem o monitoramento da eficácia das políticas e a adaptação às mudanças ao longo do tempo.

4.3. Álgebra de mapas para análise do balanço hídrico utilizando o Sistema de Informação Geográfica - SIG

Os mapas temáticos correspondentes a cada critério avaliado foram integrados por meio de modelagem cartográfica, utilizando a álgebra de mapas para gerar um mapa que sintetiza o balanço hídrico (Figura 10). A álgebra de mapas é executada através de uma linguagem definida por um script, conforme descrito por Longley et al. (2013).

Figura 10 - Aplicação de álgebra de mapas na análise do balanço hídrico.



Fonte: HEALY, 2010.

Neste estudo, a linguagem de álgebra de mapas refere-se à utilizada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com o software ARCMAP 10.8. Especificamente, foram empregadas duas funções principais, o “*Raster Calculator*” e o “*Zonal Statistics*”. A primeira permite a execução de operações de sobreposição, combinação e análise de dados raster, com cálculos realizados por pixel, viabilizando uma avaliação integrada dos dados espaciais, como o cálculo do balanço hídrico. Já a ferramenta *Zonal Statistics* foi utilizada para realizar análises

estatísticas dentro de áreas definidas, permitindo a obtenção de informações específicas, como médias e somatórios, em zonas delimitadas, aprimorando a precisão e a interpretação dos dados espaciais.

4.4. Produto do balanço hídrico por meio de dados do software Giovanni - NASA

Para a criação dos mapas de balanço hídrico, foram utilizadas as variáveis de precipitação, escoamento superficial, e evapotranspiração, complementados pelos mapas de temperatura do ar na superfície. Os dados foram extraídos do modelo FLDAS (Sistema de Assimilação de Dados Terrestres), disponibilizado na plataforma Giovanni – uma ferramenta de acesso livre da NASA. Essa plataforma oferece informações espaço-temporais provenientes de diversos satélites e modelos climáticos globais, sendo especialmente útil para compreender processos hidrológicos e climáticos em diferentes regiões. Os dados disponibilizados pelo Giovanni são pré-processados e podem ser baixados em múltiplas escalas temporais, o que facilita a análise detalhada de fenômenos ambientais.

O projeto FLDAS, utilizado neste estudo, é desenvolvido pelo *Famine Early Warning Systems Network* (FEWS NET), utilizando a estrutura personalizada do NASA *Land Information System* (LIS). Essa estrutura, originalmente concebida para modelagem hidrológica terrestre de alta qualidade, sustenta não apenas o FLDAS, mas também outros produtos bem-sucedidos, como o Sistema Global de Assimilação de Dados Terrestres (GLDAS) da NASA e o Sistema de Assimilação de Dados Terrestres da América do Norte (NLDAS) (GES DISC, 2018).

O modelo FLDAS utilizado no presente estudo é resultado de duas fontes principais de dados para gerar as simulações e análises de variáveis, os produtos do MERRA 2 e do CHIRPS. A Análise Retrospectiva da Era Moderna para Pesquisa e Aplicações, versão 2 (MERRA-2) possui uma análise climática em tempo quase real contínua (GELARO et al., 2017). Enquanto o Grupo de Riscos Climáticos Precipitação Infravermelha com Estações (CHIRPS) é uma fonte abrangente de dados sobre precipitação, cobrindo quase todo o globo terrestre (entre 50° S e - 50° N). Este conjunto de dados oferece informações diárias, em períodos de cinco dias e mensais, com uma resolução espacial de, aproximadamente, 30 km² (FUNK et al., 2015).

Os dados FLDAS são produzidos pelo modelo de superfície terrestre (LSM) NOAH versão 3.6, com execução de simulação em “C” regionalmente, isso significa que este modelo usa dados climatológicos globais para gerar previsões regionais. Sendo utilizada a versão mais

atual da simulação “C_GL” para precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e temperatura, como indicado pelo código (FLDAS_NOAH01_C_GL_M_v001) (NASA, 2020).

Para obtenção do mapa, foi utilizada a função “*Time Average Map*” da plataforma Giovanni, usada para criar mapas que representam a média temporal de uma variável específica ao longo de um período. No presente estudo foram acessados os dados de janeiro de 1991 até dezembro de 2020, em uma divisão por 5 períodos temporais (1991 - 1996; 1997 - 2002; 2003 - 2008; 2009 - 2014 e 2015 - 2020), extraídos para as quatro variáveis escolhidas (precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração e temperatura do ar na superfície).

Os dados disponíveis estão expressos em $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em uma escala mensal e uma resolução espacial aproximada de 122 km^2 . Os dados de temperatura do ar são disponíveis em kelvin (K) (GES DISC, 2018). Os dados foram baixados no formato GeoTIFF. Após download, as unidades em $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foram convertidas para mm/ano, para padronização dos dados, e a temperatura convertida em graus Celsius.

4.5. Análise anual da disponibilidade hídrica com base nos dados do relatório de situação

A análise do balanço hídrico da bacia encontra-se no Relatório de Situação na categoria “Estado” e permite avaliar a relação entre demanda e disponibilidade hídrica, abrangendo tanto as águas superficiais quanto subterrâneas.

A avaliação dessas vazões de referência é fundamental para comparar a vazão outorgada e garantir que o uso autorizado não comprometa a disponibilidade hídrica, principalmente em períodos de estiagem. Os resultados disponíveis sobre o balanço hídrico nos relatórios de situação foram comparados com o balanço hídrico calculado durante a análise geoespacial. O período analisado vai de 2010 a 2022, com o estudo do balanço hídrico realizado por UPH (Unidade de Planejamento Hídrico), conforme recomendado nas melhorias propostas nos relatórios de situação da bacia do Pontal do Paranapanema.

4.6. Análise do uso e conversão da terra pelos dados do MapBiomias

A alteração do uso e cobertura da terra influencia diretamente a gestão dos recursos hídricos, uma vez que o crescimento agrícola intensivo e as monoculturas aumentam a demanda por água e nutrientes, alterando os padrões naturais de transpiração, recarga e precipitação. Em contraste, vegetações nativas e diversificadas apresentam sistemas radiculares mais complexos, que promovem maior retenção de umidade e resiliência à seca (LEVIA et al., 2020). A substituição dessas comunidades por monoculturas e a ausência de práticas conservacionistas intensificam a erosão e o assoreamento, agravando a fragilidade hídrica da UGRHI-22.

Diante desse cenário, torna-se essencial estudar o uso e a cobertura da terra para compreender os impactos sobre o ciclo hidrológico e orientar uma gestão eficiente dos recursos hídricos. O projeto MapBiomias, uma iniciativa do Observatório do Clima em parceria com universidades e empresas de tecnologia e geoprocessamento, tem como foco mapear e monitorar as mudanças no uso e cobertura da terra no Brasil.

Segundo Souza et al. (2020) o Mapbiomas utiliza algoritmos “*Random Forest*” aplicadas a imagens de satélite processadas no GEE, assim, utilizando imagens de satélite e inteligência artificial, ela gera mapas detalhados, anuais e históricos, que registram as transformações dos biomas e regiões do país desde 1985. Esses dados são essenciais para apoiar políticas públicas, pesquisas e ações de conservação ambiental, fornecendo informações de alta resolução espacial sobre diversos aspectos, como desmatamento, degradação florestal e áreas urbanas (SOUZA et al., 2020). A plataforma também permite a análise de tendências e comparações ao longo do tempo, sendo uma ferramenta crucial para a gestão sustentável dos recursos hídricos. As informações são disponibilizadas abertamente para o público.

No presente estudo, foram extraídos mapas da plataforma MapBiomias, focando em dados de uso e ocupação da terra na região da UGRHI-22, para analisar as tendências da vegetação local entre o período de 1991 até 2020.

4.7. Comparação com os dados dos poços de monitoramento

O Serviço Geológico do Brasil (SGB), com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre os principais aquíferos do país, criou e está agora coordenando e operando o projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS). Essa iniciativa envolve atividades sistemáticas e contínuas, incluindo a seleção de aquíferos e regiões a serem

monitoradas, a realização de estudos diagnósticos para a perfuração de poços e a implantação e operação de estações de monitoramento. Além disso, o projeto engloba a consistência e a disponibilização das informações coletadas para os usuários por meio da plataforma RIMAS WEB (ANA, 2024).

A RIMAS WEB é uma ferramenta online que organiza e valida os dados hidrogeológicos obtidos pelos poços de monitoramento, facilitando a análise e o compartilhamento dessas informações. Os dados coletados, provenientes de medições horárias dos níveis d'água nos aquíferos, são processados para gerar valores diários consistentes por meio de medianas, garantindo maior precisão (ANA, 2024). No presente estudo, utilizou-se dados da RIMAS WEB para comparar dados de recarga potencial extraídos do software Giovanni com as informações de dois poços de monitoramento.

Um dos poços utilizados neste estudo é identificado pelo código 3500029467 e está localizado na Área Verde do Parque dos Ingás II, no município de Narandiba (SP), na região Sul da UGRHI-22. Instalado em 21 de novembro de 2011 pela CPRM – SUREG/SP, o poço é classificado como ponto de monitoramento, utilizado exclusivamente para a coleta de dados hidrogeológicos, sem finalidade de extração ou uso da água. Situado a 432 metros acima do nível do mar, suas coordenadas geográficas são 22°24'57" S e 51°31'34" W (SGB, 2014).

Outro poço de monitoramento utilizado é identificado pelo código 3500029468 e está localizado no Campo de Futebol do Distrito Planalto do Sul, em Teodoro Sampaio (SP), também no estado de São Paulo. Instalado em 31 de outubro de 2011, este poço integra o sistema da RIMAS desde 5 de novembro de 2014, quando foi equipado com um medidor automático de nível. Inserido na bacia hidrográfica do Rio Paraná, mais especificamente na sub-bacia que engloba os rios Paraná, Iguaçu e outros afluentes, o poço desempenha um papel crucial no registro das variações do nível do aquífero. Com uma altitude de 385,02 metros acima do nível do mar, o poço está localizado nas coordenadas 22°18'40" S e 52°14'42" W (SGB, 2014). Ambos os poços estão ativos e contribuem significativamente para o monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos na região.

4.8. Avaliação da Governança Hídrica da UGRHI-22

O monitoramento da governança das águas permite antecipar desafios, como a gestão da segurança hídrica e os conflitos pelo uso da água. Ao prever esses problemas, é possível adotar uma postura proativa, essencial para a estabilidade dos sistemas hídricos e para a

prevenção de crises. Além disso, o monitoramento possibilita avaliar a representatividade dos diferentes organismos envolvidos, garantindo que as decisões sejam equilibradas e compatíveis com as realidades locais (OCDE, 2015).

A análise de dados quantitativos oriundos dos planos de bacia e relatórios de situação dos comitês de bacia hidrográfica complementa esse processo, pois permite acompanhar o tempo e o esforço empregados nas ações dos diversos atores. Esse acompanhamento favorece a transparência e viabiliza o redirecionamento de estratégias, quando necessário, promovendo uma governança mais responsiva e adaptável.

Dessa forma, avaliar a governança da água é um passo fundamental não apenas para entender se as estruturas estão funcionando, mas também para aprimorá-las continuamente. Ao garantir metas claras, processos eficientes e uma participação social ativa, a avaliação fortalece a capacidade de resposta dos sistemas de governança e assegura o uso sustentável da água. A governança da UGRHI-22 foi avaliada em relação aos princípios orientadores da OCDE.

Para essa análise, foram utilizados os 12 Princípios da Governança da Água da OCDE como referência, examinando documentos oficiais disponíveis no site do Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH-PP), como as atas de reuniões das Câmaras Técnicas, o plano de bacia 2016 – 2027 e os relatórios anuais de situação. A avaliação considerou a aplicação das políticas públicas, a interação entre os três setores (governo, sociedade civil e iniciativa privada) e o grau de descentralização do poder nas decisões e nos planos de ação, permitindo compreender de forma mais ampla como esses elementos se articulam para promover uma gestão mais integrada e eficaz dos recursos hídricos na região.

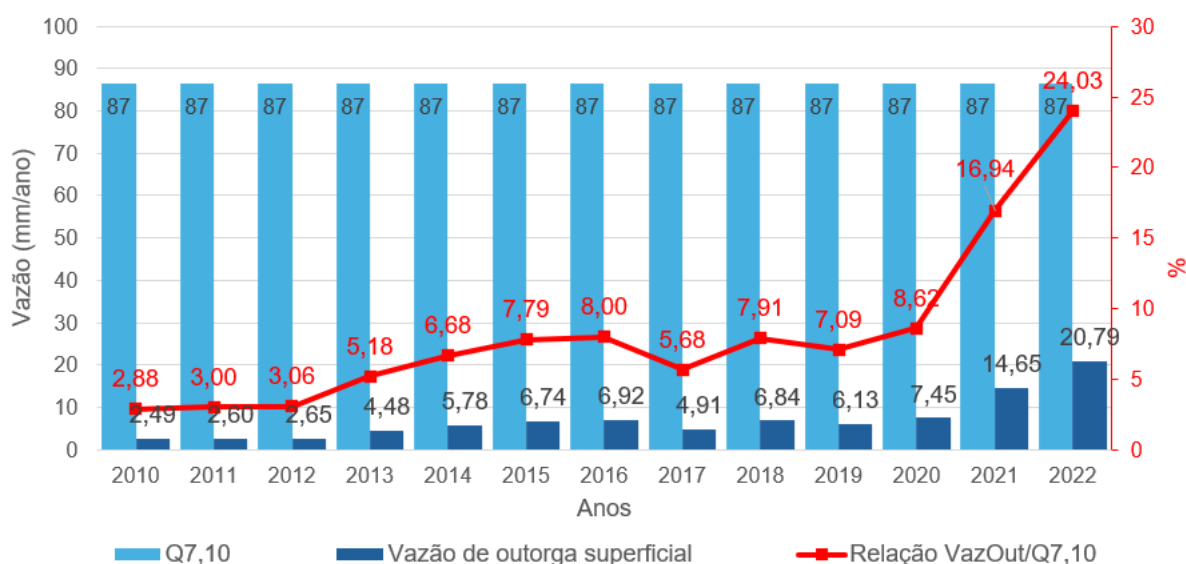
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Avaliação de Vazões de Referência e disponibilidade hídrica nos relatórios de situação do Comitê do Pontal do Paranapanema (CBH – PP)

Nos Relatórios de Situação do CBH-PP, foram analisados os dados de demanda hídrica e vazões de referência no período de 2010 a 2022. Para fins de comparabilidade com os dados do balanço hídrico, os valores originalmente expressos em metros cúbicos por segundo (m^3/s) foram convertidos para milímetros por ano (mm/ano), de forma a uniformizar as unidades de medida utilizadas na análise. Essa conversão foi realizada por meio da transformação do volume em lâmina d'água (L/m^2), utilizando-se a área total da UGRHI 22 para calcular a espessura da lâmina em milímetros (mm). Inicialmente, os valores de vazão (m^3/s) foram convertidos em volume anual (m^3/ano), considerando o número de segundos em um ano. Em seguida, esse volume foi dividido pela área da UGRHI, expressa em metros quadrados, resultando na lâmina d'água, convertida para milímetros.

A Figura 11 apresenta a evolução da vazão de referência Q7,10 e da vazão de outorga superficial nesse período.

Figura 11 - Hidrograma da vazão de referência Q7,10 para o período de 2010 a 2022.

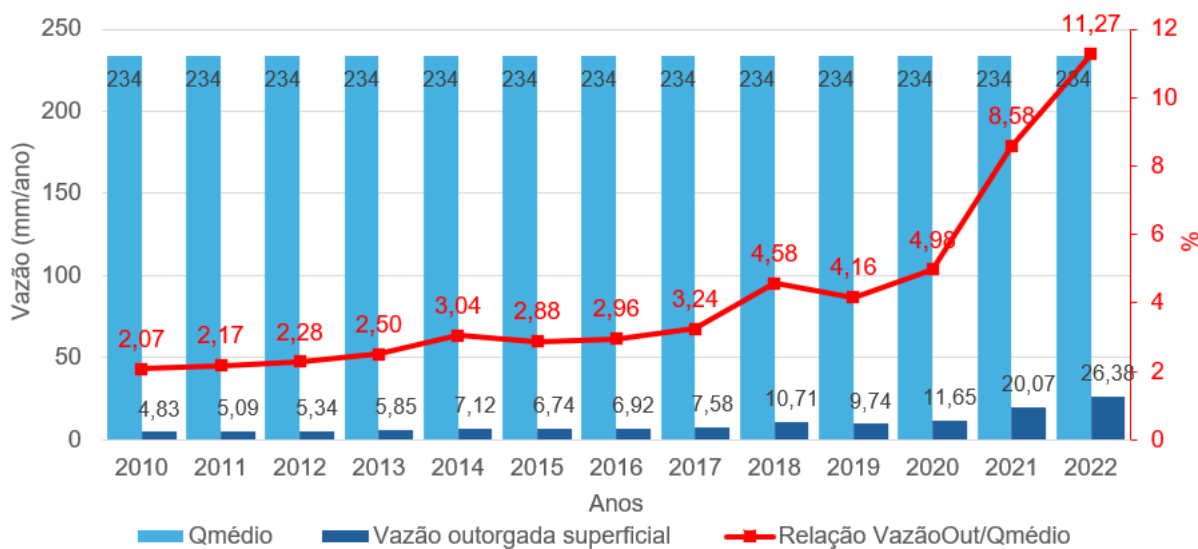


Fonte: Adaptado de CBH-PP, 2022.

Observa-se que a Q7,10 foi mantida constante em 87 mm/ano, enquanto a vazão outorgada superficial aumentou de 2,49 mm/ano em 2010 para 20,79 mm/ano em 2022, representando um crescimento de 734,94%. Consequentemente, a relação entre a vazão outorgada e a Q7,10 passou de 2,88% para 24,03%, indicando uma tendência de intensificação do uso hídrico, ainda que dentro do limite máximo recomendado de 30% (CBH-PP, 2022). No entanto, esse crescimento expressivo, aliado à constância do parâmetro de referência, levanta preocupações quanto à segurança hídrica futura.

A adoção de valores fixos para parâmetros que deveriam refletir a variabilidade hidrológica é uma limitação significativa. Estudos como os de Chang et al. (2008) e Zuffo (2013) ressaltam que a dinâmica fluvial é influenciada por variações sazonais, uso do solo, evapotranspiração e alterações climáticas. Portanto, valores como a Q7,10 e a Qmédio deveriam ser recalculados periodicamente. A Figura 12 apresenta o balanço hídrico baseado na vazão média (Qmédio), que também se manteve constante no relatório.

Figura 12 - Balanço hídrico em relação a vazão de referência Qmédio para o período de 2010 a 2022.

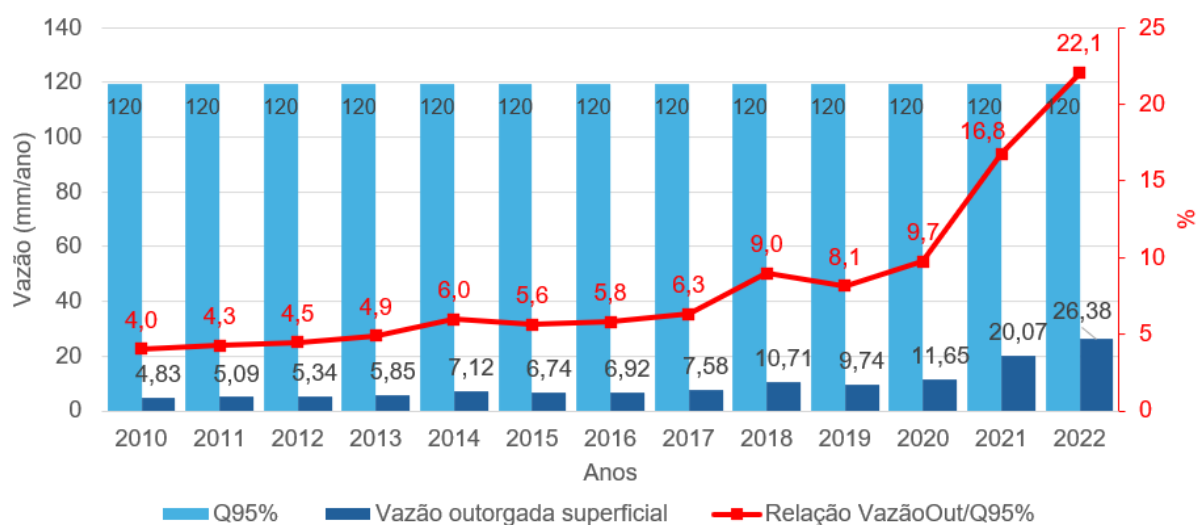


Fonte: Adaptado de CBH-PP, 2022.

O valor total estimado em termos de vazão média de longo período para as águas superficiais da bacia foi de 234 mm/ano (CBH-PP, 2022).

A Figura 13, por sua vez, apresenta a evolução da relação entre a vazão outorgada e a Q95%, vazão que representa condições mais frequentes de escoamento.

Figura 13 - Balanço hídrico em relação a vazão de referência Q95% para o período de 2010 a 2022.

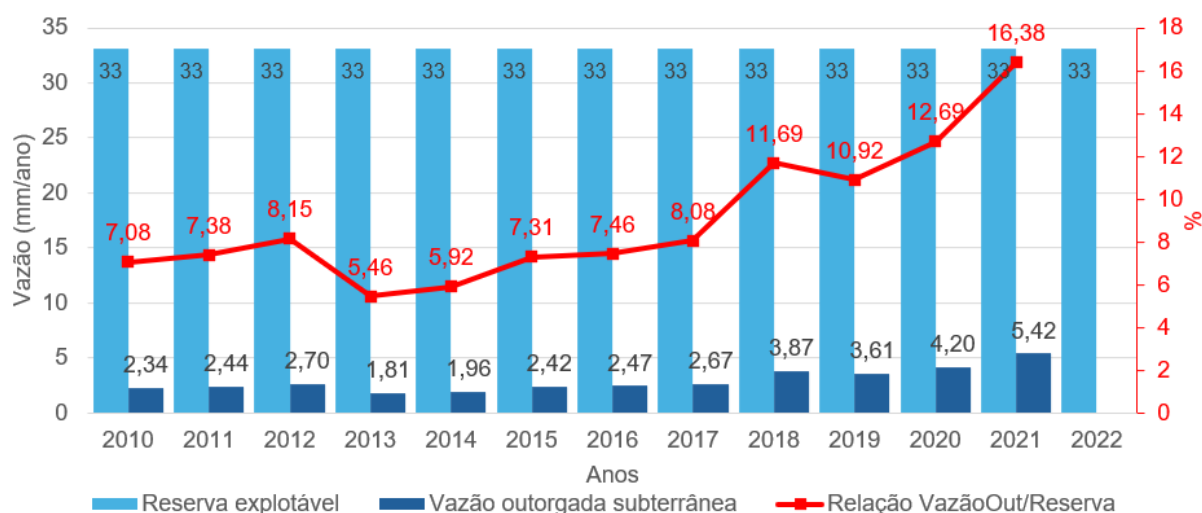


Fonte: Adaptado de CBH-PP, 2022.

A vazão superficial adotada pelo Relatório de Situação foi de 120mm/ano. Isso significa que se assume que durante aproximadamente 347 dias do ano (95% dos dias), a vazão na região da bacia é igual ou superior a 120 mm/ano. Entre 2010 e 2022, a vazão outorgada superficial passou de 4,83 mm/ano para 26,38 mm/ano, aumentando a relação com a Q95% de 4,0% para 22,10 %. Apesar de o relatório considerar "boa" uma relação inferior a 30%, o crescimento acentuado desde 2020 reforça a tendência de pressão crescente sobre os corpos hídricos, especialmente preocupante em anos de estiagem. Além das águas superficiais, o relatório também aborda os usos de águas subterrâneas.

A Figura 14 apresenta a relação entre a reserva explotável da bacia hidrográfica e a vazão outorgada subterrânea de 2010 a 2021. A reserva explotável, mantida constante em 33mm/ano, representa a quantidade de água disponível para uso de forma sustentável. A vazão de outorga subterrânea, que variou de 2,34 mm/ano em 2010 para 5,42 mm/ano em 2021, indica o volume de água concedido para uso. A relação entre a vazão outorgada e a reserva explotável, expressa em porcentagem, aumentou de 7,08% para 16,38% no período analisado, sugerindo uma pressão crescente sobre os recursos hídricos subterrâneos.

Figura 14 - Balanço hídrico em relação a reserva explotável para o período de 2010 a 2021.



Fonte: Adaptado de CBH-PP, 2022.

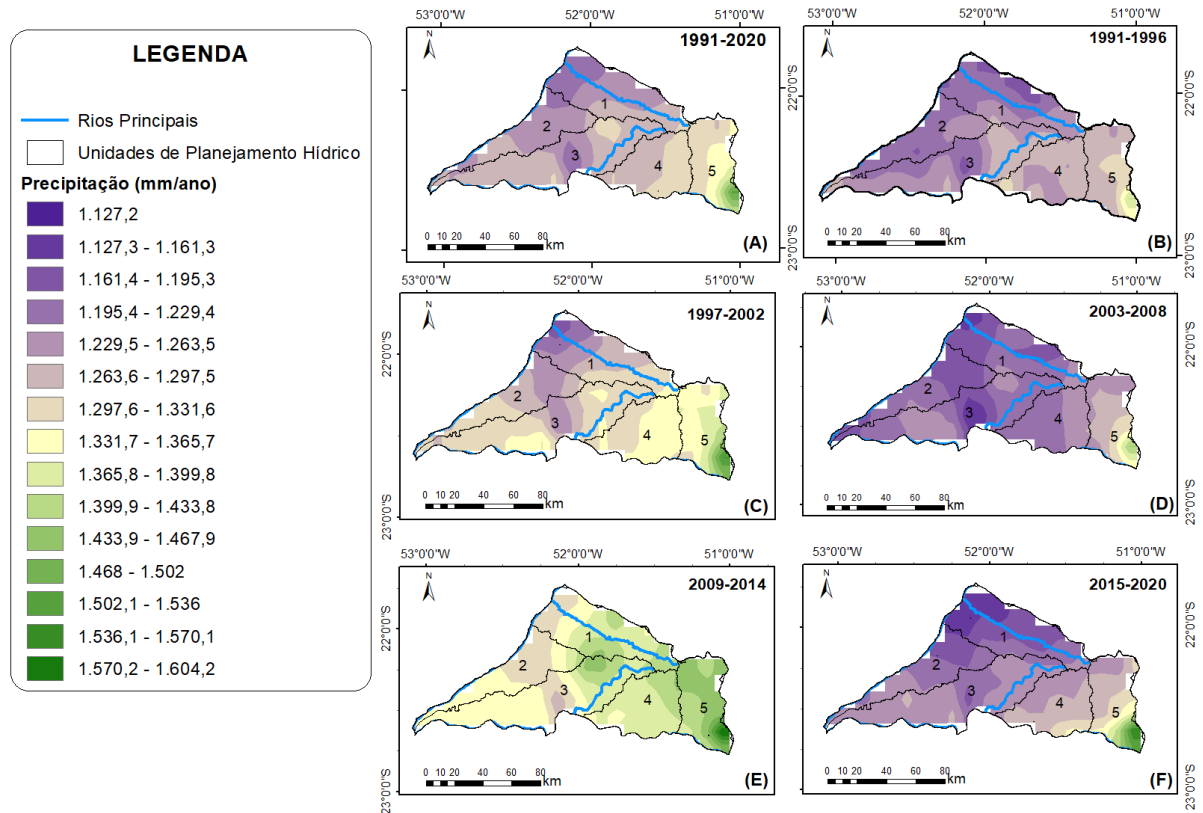
A escolha da vazão de referência varia conforme a garantia necessária para os usos planejados na bacia. A Q7,10 é indicada para cenários mais conservadores, por representar períodos de seca extrema (VIESSMAN; LEWIS; KNAPP, 1989), enquanto a Q95% reflete condições mais frequentes de escoamento, sendo útil para estimar a disponibilidade hídrica sem superestimar os recursos (TUCCI, 1993).

5.2. Balanço hídrico da UGRHI-22

As áreas numeradas correspondem às Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (UPHs) da UGRHI-22, sendo: UPH Santo Anastácio (1), UPH Tributários do Rio Paraná (2), UPH Baixo Paranapanema – Margem Direita (3), UPH Pirapozinho (4) e UPH Laranja Doce (5).

Conforme observado na Figura 15, a maior concentração de precipitação ocorre na porção do extremo leste da UGRHI-22, especialmente na região da UPH Laranja Doce (5). Por outro lado, áreas como a UPH Santo Anastácio (1) e a UPH Baixo Paranapanema – Margem Direita (3) apresentaram os menores índices de precipitação, padrão que também se reflete nas menores taxas de evapotranspiração (Figura 16) e escoamento superficial, conforme apresentado na Figura 17.

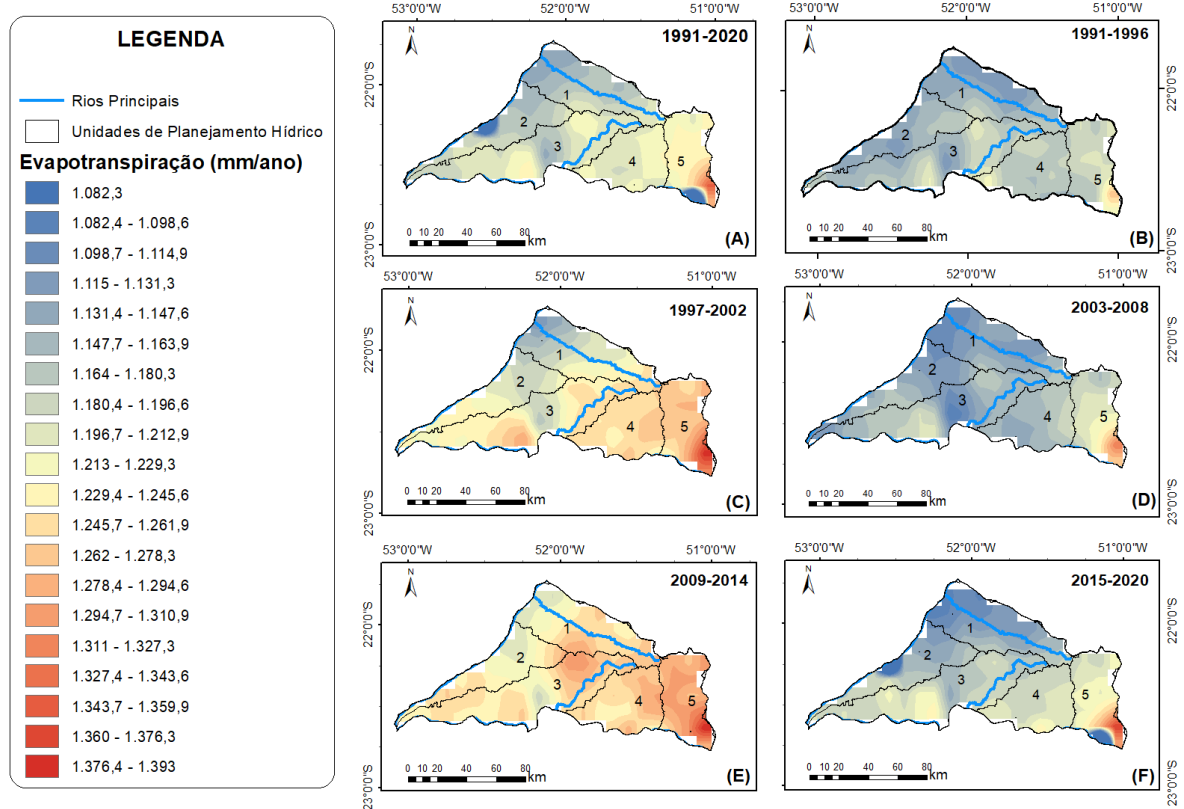
Figura 15 - Mapa de Distribuição Espacial de Precipitação na UGRHI-22 no período de 1991 até 2020.



Fonte: elaborado pela autora, 2025.

Segundo a Figura 15, a UPH Laranja Doce (5) é a região que apresenta maior precipitação, ficando mais evidente no período de 2009 – 2014 (Figura 15 – E), enquanto a UPH Santo Anastácio (1) e UPH Baixo Paranapanema M.D (3) destaca-se por apresentar os menores valores de precipitação ao longo do período analisado.

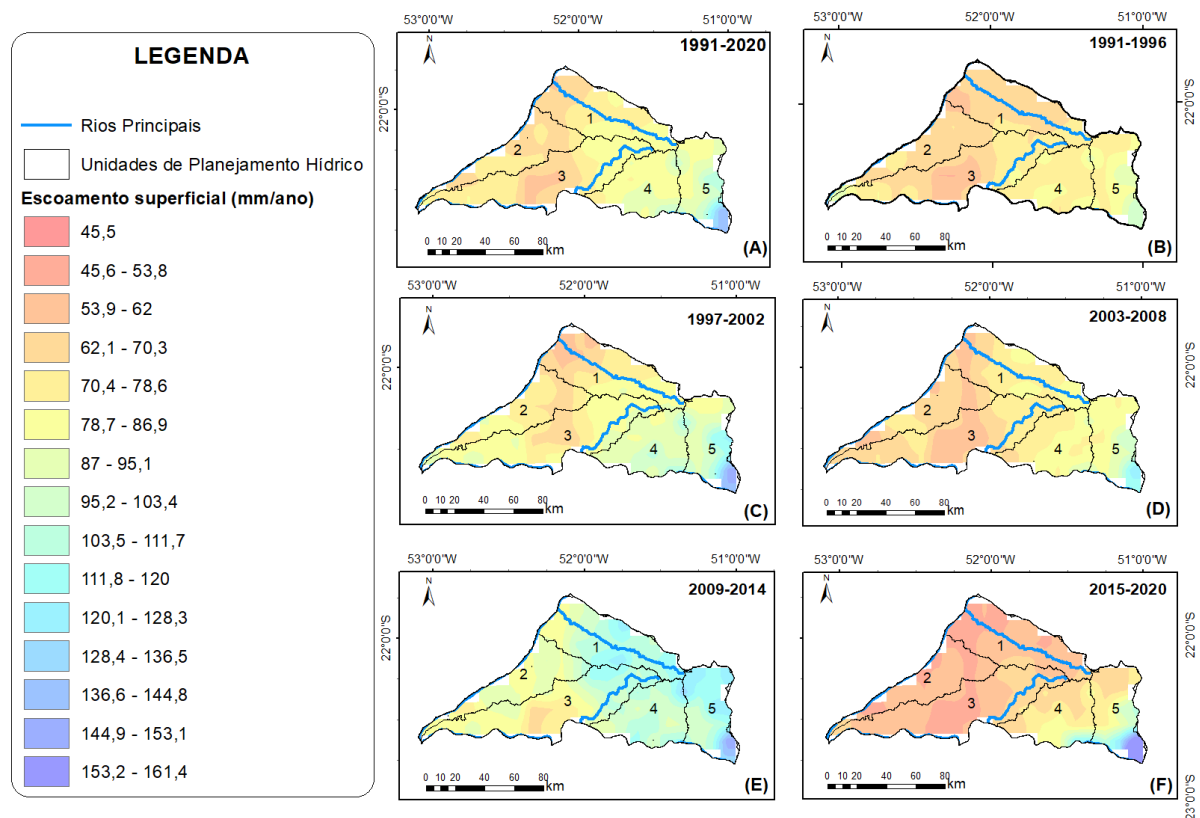
Figura 16 - Mapa da Distribuição Espacial da Evapotranspiração na UGRHI-22 nos períodos de 1991 a 2020.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Segundo a Figura 16, a UPH Laranja Doce (5) é a região que apresenta maior evapotranspiração, enquanto a UPH Santo Anastácio (1) e UPH Baixo Paranapanema Margem Direita (3), destacam-se por apresentar os menores valores de evapotranspiração ao longo do período analisado. Essa diferença é mais evidente nos períodos representados pelas Figuras 16 - B e 16 - D. No período de 2015 a 2020 (Figura 16 - F), também é possível perceber uma maior concentração da evapotranspiração na região norte, compreendendo a UPH Santo Anastácio (1). Essa avaliação é relevante em regiões com intensa atividade agrícola, como a UGRHI-22, onde a compreensão da evapotranspiração pode orientar práticas de irrigação mais eficientes.

Figura 17 - Mapa de Distribuição Espacial de Escoamento Superficial na UGRHI-22 no período de 1991 até 2020.



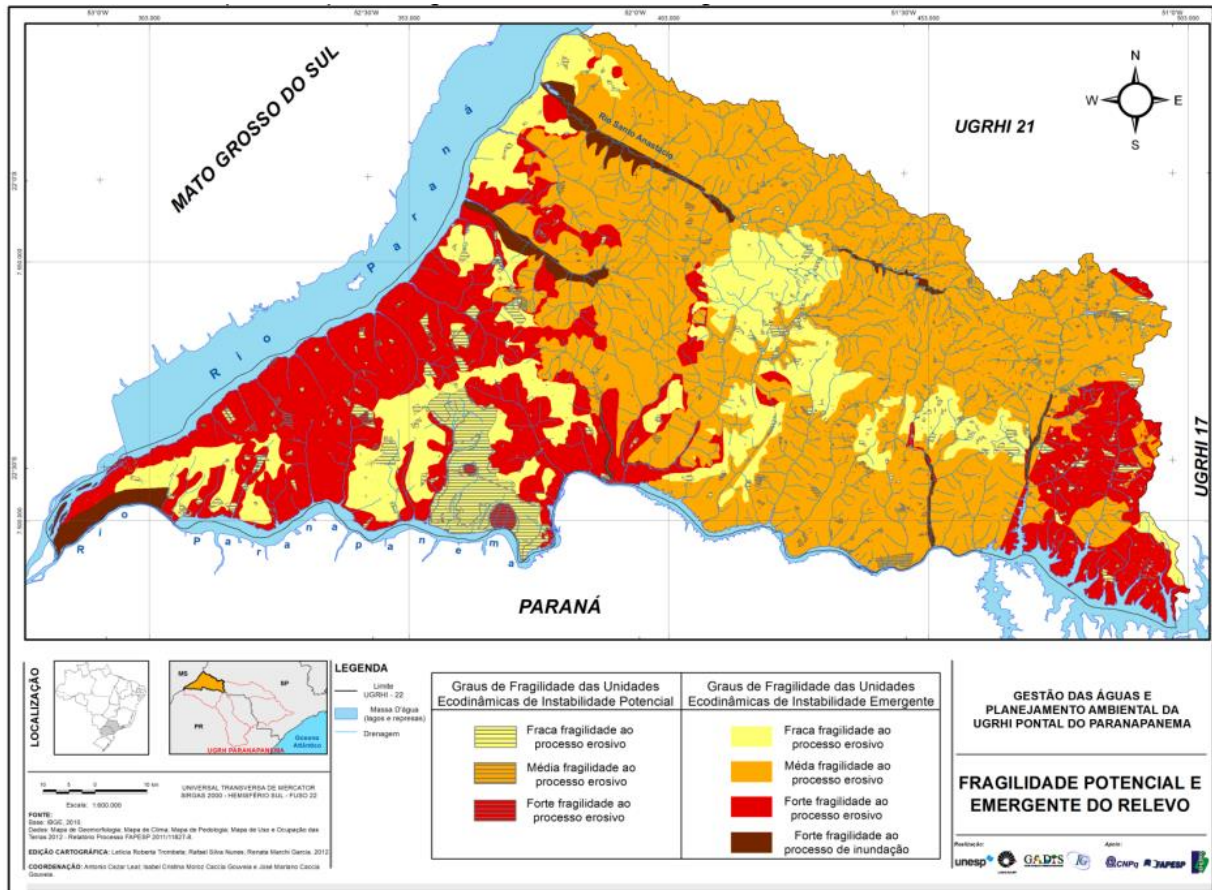
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Na Figura 17 é possível identificar nos mapas para as áreas de maior escoamento superficial, localizada nas regiões mais ao leste da UGRHI-22. Desde o período entre 1991 e 1996 (Figura 17 – B) é notório que a região da UPH Laranja Doce (5) possui os valores mais altos de escoamento superficial. Comparando ao mapa da Figura 16, é possível identificar que a mesma região, UPH – Laranja Doce (5) também tem os maiores índices de evapotranspiração, isso ocorre em todos os mapas desde 1991 até 2020, sendo a Figura 16 – E o período com maior expressão desse aumento na região leste da bacia.

As áreas na Figura 18 foram divididas em regiões de fragilidade potencial e emergente de moderada a alta para todas as regiões da UGRHI-22, principalmente com relação a presença aos processos erosivos, caracterizadas pela existência de ravinas e voçorocas. Esses fenômenos alteram o relevo e provocam a desagregação do solo, contribuindo para o assoreamento dos cursos d'água. Na Figura 18 é possível analisar que as regiões de leste e oeste da UGRHI-22 possuem forte fragilidade ao processo erosivo. A área com maior concentração do grau de fragilidade é a porção oeste da UGRHI, compreendendo a região da UPH Tributários Rio

Paraná e UPH Baixo Paranapanema Margem Direita. E na região ao Leste, a UPH Laranja Doce.

Figura 18 - Mapa de Fragilidade Potencial e Emergente do Relevo da UGRHI-22.



Fonte: CBH – PP, 2016.

A região da UPH Baixo Paranapanema M.D. concentra uma relevante Unidade de Conservação (UC), conforme apontado pelo plano de bacia da UGRHI-22, o Parque Estadual Morro do Diabo. Localizado no município de Teodoro Sampaio é considerado uma das últimas porções significativas de Mata Atlântica existente no interior paulista conforme o Instituto Florestal do Estado de São Paulo (2025), e ainda existem diversas Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) que contribuem para a preservação da biodiversidade local. Dados apresentados pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH-PP) indicam que cerca de 8% da área total da UGRHI-22 ainda é coberta por vegetação nativa remanescente. Essa informação reforça a relevância ecológica da região, que, embora impactada por diferentes formas de uso do solo, ainda conserva áreas essenciais para a manutenção da biodiversidade, e deve ser levada em consideração para análise do estudo de

restauração e proteção ecológica, uma vez que também apresenta um percentual alto de fragilidade do solo.

Pela Figura 18 também é possível identificar uma porção significativa de fragilidade na região leste, porção esta que abrange a região da UPH Laranja Doce, com maior índice de precipitação (Figura 15) de evapotranspiração (Figura 16) e escoamento superficial (Figura 17). Contudo, apesar de elevados índices de precipitação, o aumento do escoamento superficial pode indicar baixa infiltração da água no solo, o que compromete a recarga dos aquíferos e favorece processos erosivos e o transporte de sedimentos. Esse comportamento é frequentemente relacionado à degradação da cobertura vegetal e à compactação do solo, fatores que reduzem a capacidade de infiltração e aumentam as perdas hídricas na bacia hidrográfica, conforme apontado por estudos sobre hidrologia urbana e dinâmica do escoamento superficial (TUCCI, 2001).

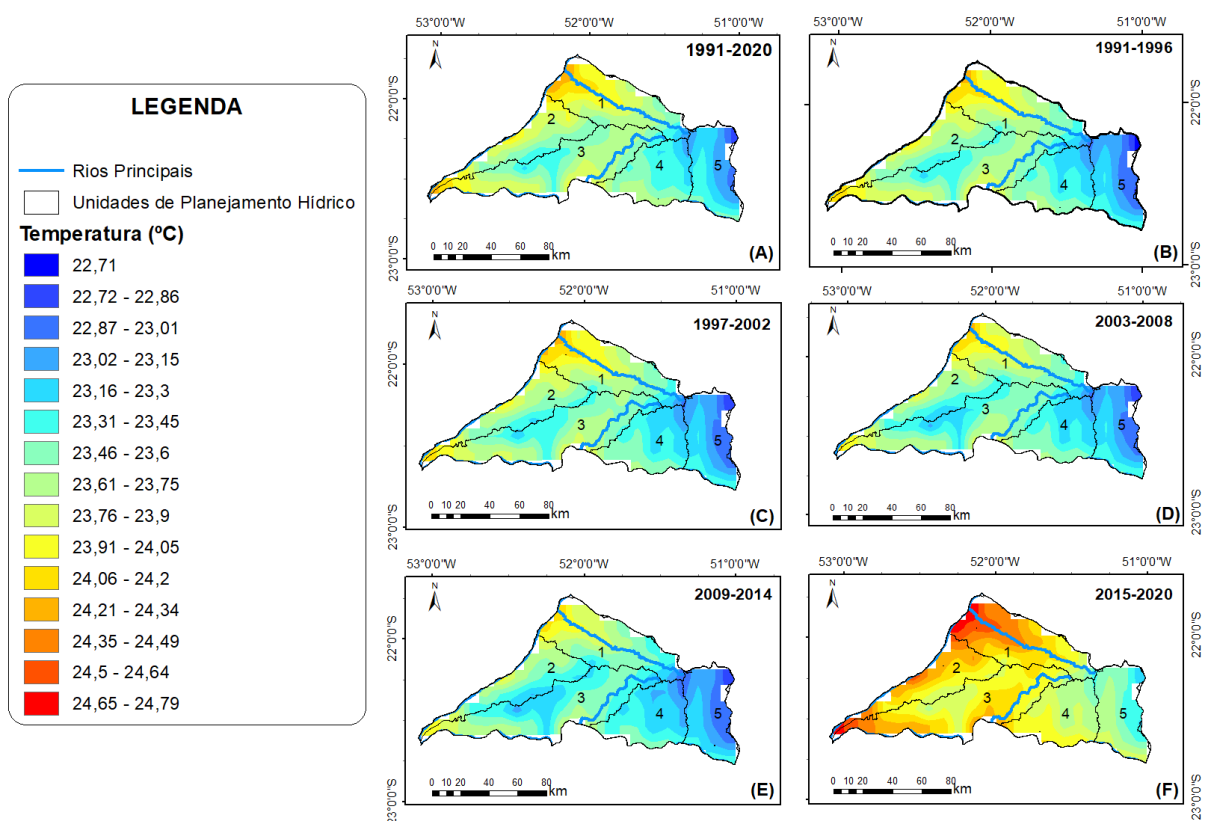
Ao analisar o mapa de fragilidade do solo (Figura 18) com o mapa de escoamento superficial (Figura 17) podemos entender melhor essa relação do escoamento com os processos erosivos, em que desde 2009 tivemos um aumento no escoamento e, no período de 2015 a 2020 (Figura 17 - F), a maior concentração na região leste, compreendendo a região da UPH Laranja Doce (5).

O uso do solo, predominantemente agrícola ou de pastagem, também influencia o aumento do escoamento, pois áreas com menor cobertura vegetal natural tendem a apresentar menor capacidade de retenção de água. Segundo Ross 1990, as regiões ecodinâmicas estáveis possuem como principal característica a cobertura vegetal nativa e densa, capaz de controlar o desencadeamento dos processos mecânicos de alteração do relevo, com isso equilibrar o escoamento superficial, e a região da UPH Laranja Doce possui um aumento quanto ao plantio agrícola de cana de açúcar, o que pode justificar o aumento do escoamento superficial.

O aumento do escoamento superficial, em áreas como a UPH Laranja Doce, sugere a necessidade de um manejo cuidadoso dos recursos hídricos na região, especialmente em termos de contenção de erosão e de gestão da água em períodos chuvosos. A alta taxa de escoamento pode impactar as áreas a jusante do rio Paranapanema, assim, alterando a disponibilidade hídrica e aumentando o risco de inundações, um indicador já analisado como forte potencial de fragilidade na região, o que sugere a necessidade de estratégias de governança hídrica quanto ao risco do aumento de inundações.

Entre outros fatores que contribuem para que haja uma variabilidade nas manifestações do ciclo hidrológico pode se citar a temperatura, que foi analisada, também para o período de 1991 até 2020, considerando cinco intervalos. De acordo com a Figura 19, a temperatura também apresenta maior aumento no UPH Santo Anastácio (1), e nos limites do UPH Tributários Rio Paraná (2) e do UPH Baixo Paranapanema M. D (3), como indicado pela Figura 19 - (F).

Figura 19 - Mapa da Distribuição Espacial da Temperatura na UGRHI-22 no período de 1991 a 2020.

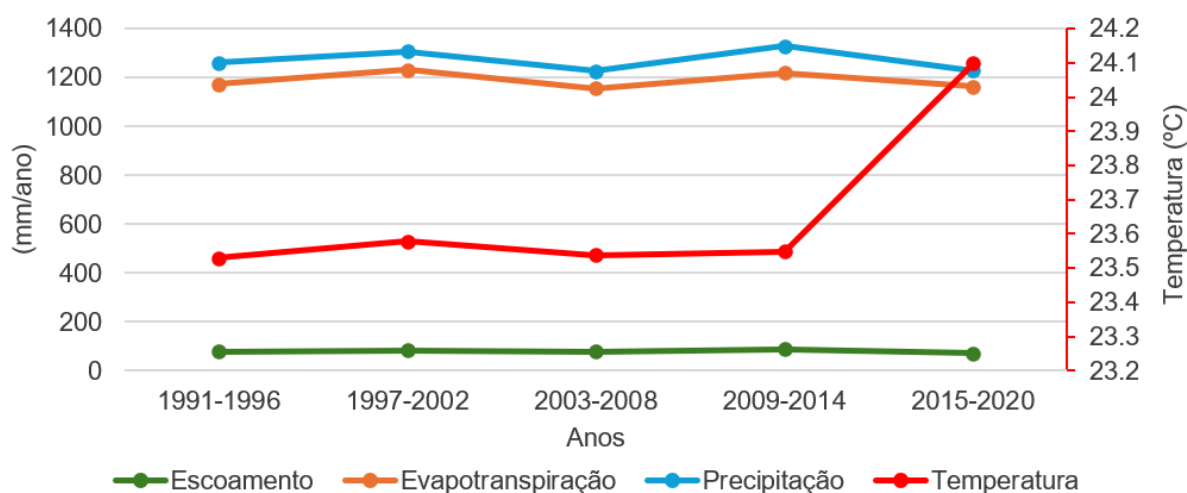


Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Ao observar o comportamento dos dados na Figura 20 ao longo dos períodos analisados, verifica-se que entre 1991 e 2008 há uma proporcionalidade de variação entre os valores de precipitação acumulada, evapotranspiração acumulada e temperatura média, indicando uma coerência entre os fenômenos. No período de 2015 a 2020, observa-se uma mudança mais acentuada no regime climático local, marcada por um aumento expressivo da temperatura média, acompanhado da contínua redução tanto da precipitação quanto da evapotranspiração. Esse comportamento pode ser reflexo de um processo de estresse hídrico, diminuição da

umidade do solo, mudanças no uso e cobertura do solo ou ainda indícios de um cenário mais crítico de aquecimento regional, comprometendo o equilíbrio natural observado nos períodos anteriores, conforme também apontado no Relatório de Situação da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH-PP, 2022), que corrobora a intensificação do uso do solo na atividade agrícola e a redução da disponibilidade hídrica na região.

Figura 20 - Gráfico comparativo dos dados médios de precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e temperatura na região da UGRHI-22.

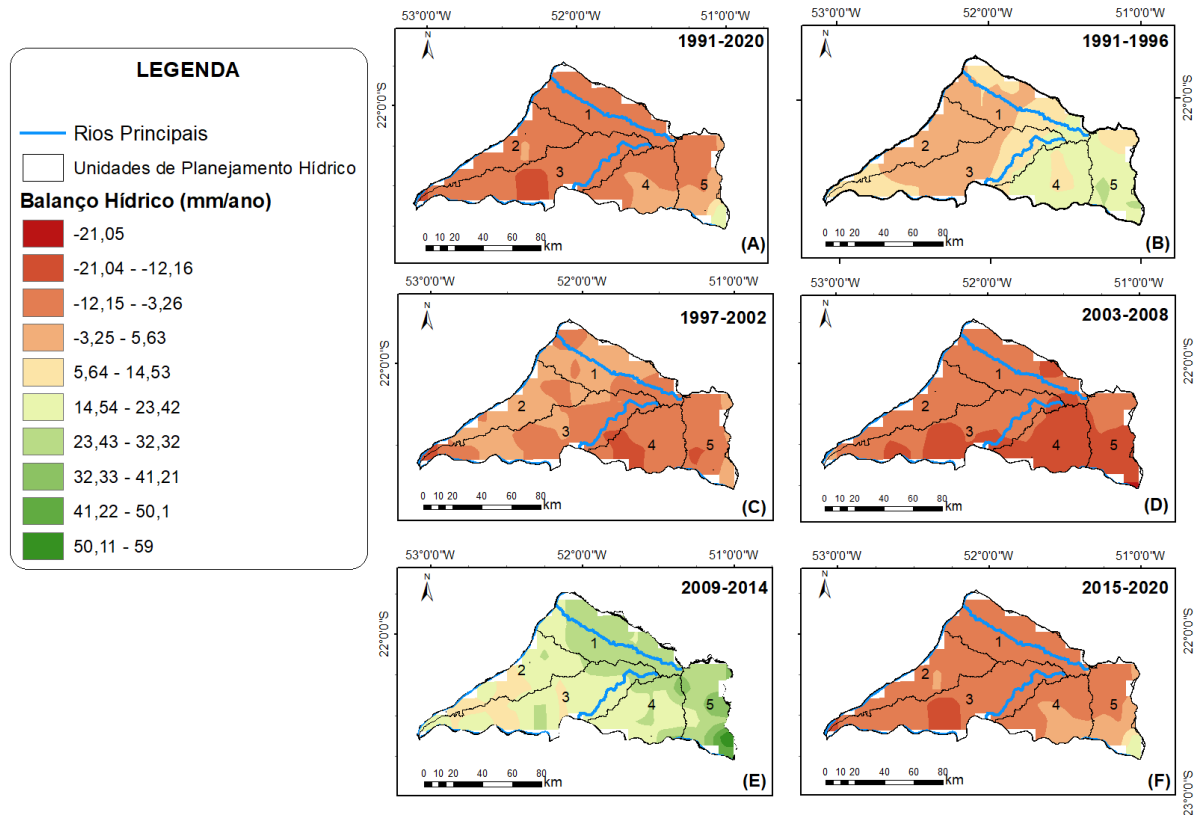


Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

5.3. Análise do balanço hídrico para os períodos de 1991 – 2020 a partir do modelo FLDAS

Ao observar os dados da Figura 21, é possível identificar que para os períodos iniciais, de 1991 – 1996 (Figura 21 – B) a região com valores negativos de balanço era a região Oeste da bacia. Já em 1997 – 2002 (Figura 21 – C) o balanço hídrico foi próximo de zero e moderados dados negativos, principalmente na porção Leste da bacia. No período entre 2003 e 2008 (Figura 21 – D), é possível observar, também na porção Leste, compreendendo a região da UPH Pirapozinho (4) e UPH Laranja Doce (5), que houve um estresse hídrico representado pelos valores negativos.

Figura 21 - Mapa do Balanço hídrico da UGRHI-22 no período de 1991 a 2020.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

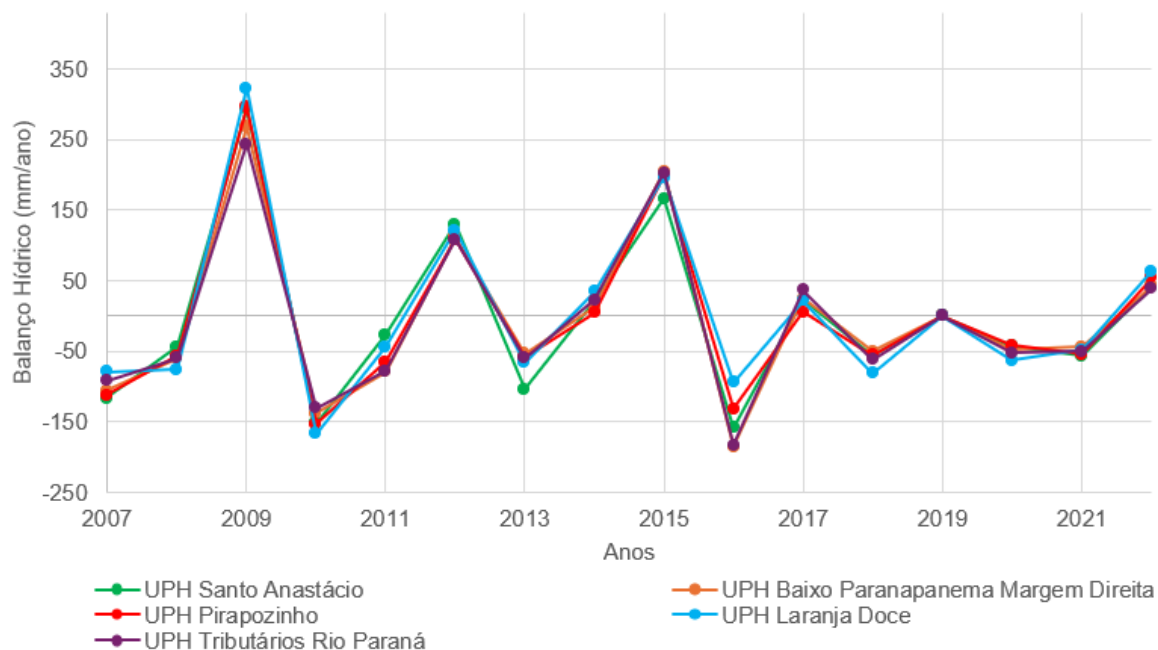
Entretanto, entre 2009 e 2014 (Figura 21 – E), percebe – se um aumento nas áreas com balanço hídrico positivo, principalmente em regiões onde a coloração verde é mais intensa, indicando um possível aumento na disponibilidade hídrica, inclusive na porção leste. Já no período mais recente, 2015 – 2020 (Figura 21 – F) há um retorno a condições de estresse hídrico na região Norte e Oeste, mas há um valor de excedente hídrico na UPH Laranja Doce (5).

Usando o cálculo da álgebra de mapas em imagens, foi possível analisar que os maiores níveis de estresse hídrico ocorrem na região da UPH Pirapozinho (4), UPH Baixo Paranapanema Margem Direita (3) e UPH Laranja Doce (5) durante todo o período analisado.

O gráfico apresentado pela Figura 22 indica períodos de estresse e excedente hídrico na região da UGRHI-22, com base no balanço hídrico. É possível analisar que a média dos valores de balanço hídrico são em sua maioria negativos durante o período, principalmente nos anos de 2010 e 2016, característica de anos de estresse hídrico.

Já os valores positivos indicam excedente hídrico, refletindo maior precipitação do que o normal e consequente recarga hídrica, como ocorrem nos anos de 2009, 2012 e 2015.

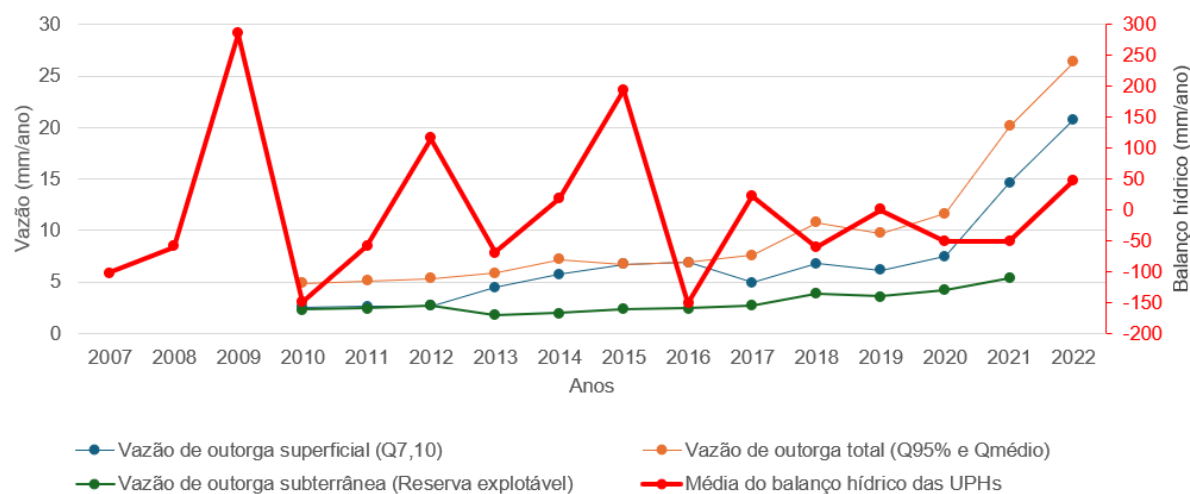
Figura 22 - Balanço Hídrico nas Unidades de Planejamento Hídrico (UPH) a partir de Dados Geoespaciais, no período de 2007 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Ao analisar a Figura 23, é possível identificar um comportamento padrão entre as vazões de referência (Q7,10, Q95 e Qmédio) no período de 2010 a 2022. Essas vazões seguem uma tendência semelhante ao longo do tempo. No período de 2017 a 2020, observa-se uma relação inversa entre os dados de vazão outorgada e o balanço hídrico. Em 2017, há um aumento no excedente hídrico, acompanhado pela redução da vazão de outorgas no período. Em contrapartida em 2018, verifica-se uma redução do balanço hídrico, enquanto a vazão outorgada apresenta um crescimento, e esse comportamento perpetua até 2020.

Figura 23 - Relação entre Vazões de outorga de referência, extraídos dos dados do Relatório de Situação e Balanço Hídrico das Unidades de Planejamento Hídrico: Análise Comparativa.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2025.

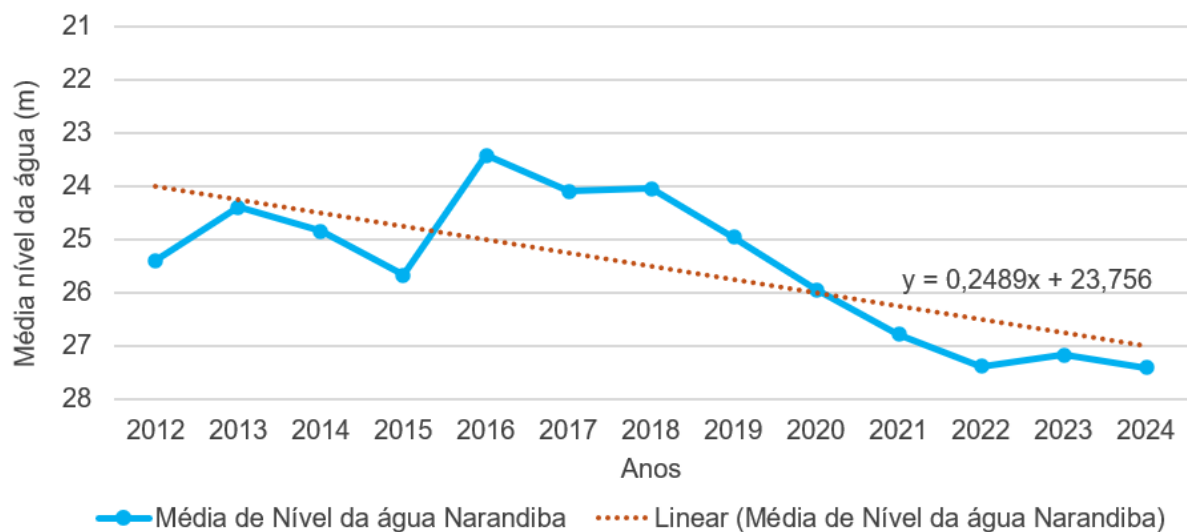
Além disso, é possível observar que as vazões de outorga superficial apresentam valores sistematicamente superiores às de outorga subterrânea, o que evidencia uma maior dependência dos recursos hídricos superficiais para atendimento das demandas. No entanto, ambas as modalidades de outorga registram crescimento ao longo da série histórica, o que sugere uma intensificação do uso dos recursos hídricos da bacia como um todo. O fato de as vazões de outorga terem aumentado substancialmente enquanto o balanço hídrico permaneceu constante ou negativo pode levantar preocupações sobre a sustentabilidade do uso da água a longo prazo. Se essa tendência continuar, pode haver um risco de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis, principalmente se a demanda continuar crescendo sem um aumento correspondente na recarga da bacia.

5.4. Comparação entre Balanço Hídrico, Precipitação e Nível dos Poços de Monitoramento

Para este estudo, foram analisados os dados dos poços de monitoramento MNT/SP/NB01, localizado no Parque dos Ingás II, em Nandiba (SP), com profundidade aproximada de 58 metros, e MNT/SP/TS01, localizado no Campo de Futebol do Distrito Planalto do Sul, em Teodoro Sampaio (SP), com profundidade de 78 metros. Em ambos os poços, observou-se variações nos níveis da água subterrânea entre 2012 e 2024, com

identificação de picos de alta e períodos de rebaixamento. No poço de Narandiba, o nível variou entre 22,92 e 28,15 metros (Figura 24), com rebaixamento total de 5,23 metros, enquanto no poço de Teodoro Sampaio a variação foi de 22,18 a 28,19 metros, resultando em um rebaixamento de 6,01 metros (Figura 26). Para ambos os casos, os gráficos consideraram a média dos níveis registrados ao longo do período analisado.

Figura 24 - Gráfico de evolução do nível d'água no poço MNT/SP/NB01 em Narandiba.



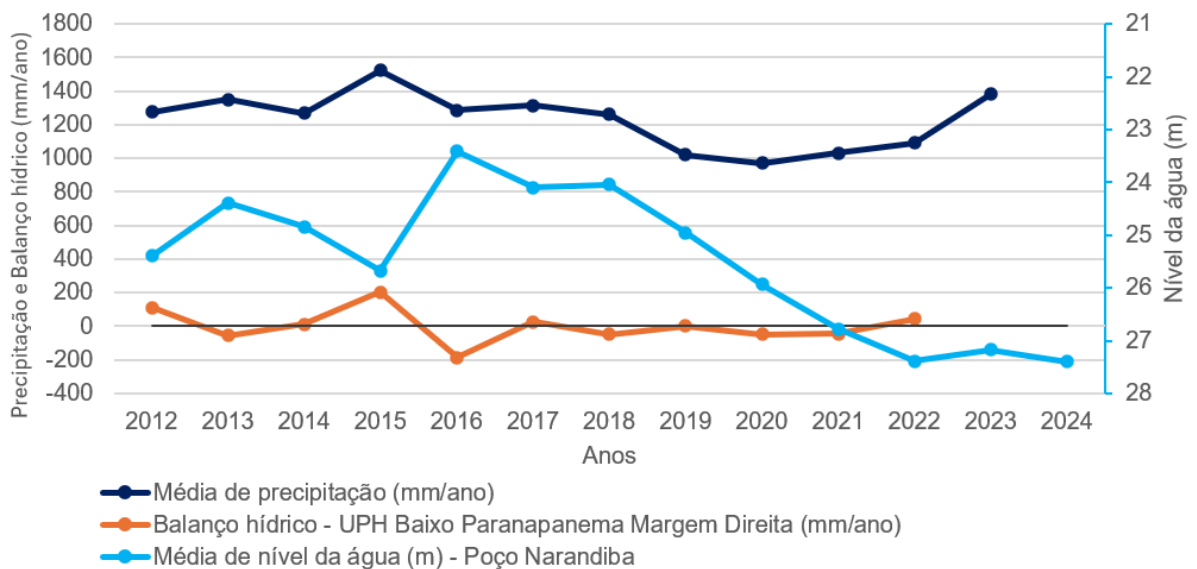
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Os dados do poço de Narandiba correspondem a uma série histórica do nível da água subterrânea. Os dados mostram que entre 2013 e 2015 houve oscilações significativas no nível de água subterrânea, sendo o pico de alta em 2016. No entanto, a partir de 2016, observa-se uma tendência de rebaixamento mais acentuada, com menor recuperação, indicando uma diminuição progressiva do volume de água subterrânea. Segundo Torres, Braga e Mendingo (2017), a crise hídrica de 2014-2015, quando os principais reservatórios do estado enfrentaram níveis críticos, incluindo o Sistema Cantareira, resultou em uma intensificação do uso de aquíferos na região Sudeste do Brasil, alterando significativamente os níveis de água subterrânea. Esse evento pode justificar uma parte da queda no nível da água a partir de 2014. A continuidade da queda no nível da água após 2016 pode estar associada a diversos fatores como alteração na recarga do aquífero e o aumento da exploração dos recursos hídricos subterrâneos devido ao crescimento das vazões de outorga (Figura 23). Ademais, o aumento das vazões de outorga superficiais também influencia no nível de água apresentado no poço,

uma vez que o Aquífero Bauru de natureza arenosa, apresenta forte interação com as águas superficiais.

Como aponta Tucci (1993), é importante realizar a comparação entre os dados de nível de água subterrânea, precipitação e balanço hídrico, uma vez que os elementos estão inter-relacionados e permitem entender como a recarga influencia na disponibilidade hídrica ao longo do tempo, realizado na Figura 25.

Figura 25 - Comparativo dos dados de precipitação da UGRHI-22 e balanço hídrico da UPH Baixo Paranapanema Margem Direita em comparação com os dados de nível de água do poço Narandiba.



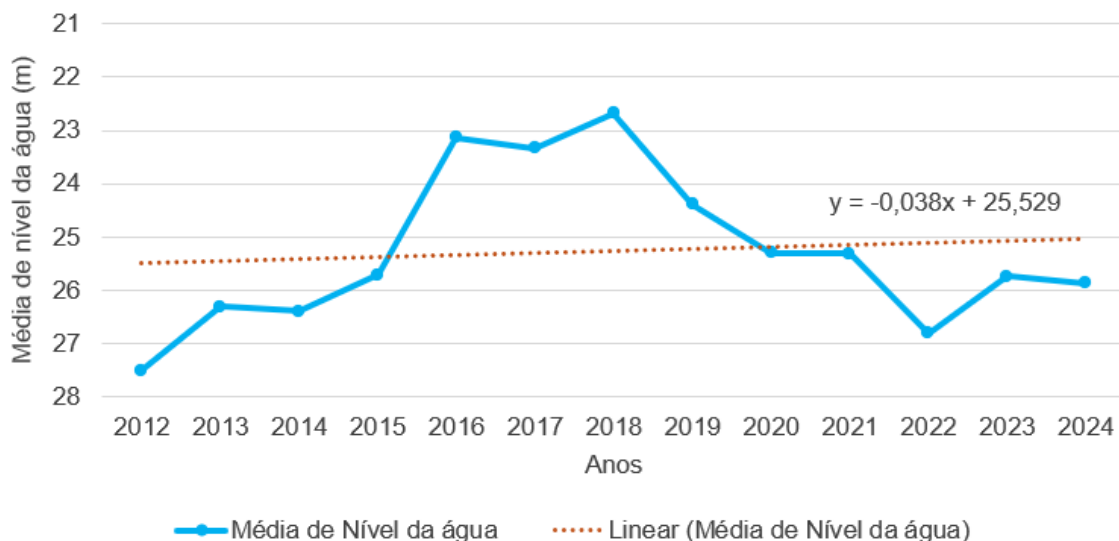
Fonte: Elaborado pela Autora, 2025.

Analisando os dados da Figura 25, podemos observar que logo nos primeiros anos (2012 - 2014), há um comportamento proporcional entre nível de água e precipitação. Observando os três parâmetros para o ano de 2015, nota-se que esse foi o período de maior pico registrado nos dados de precipitação ao longo do estudo. Contudo, o nível da água do poço não apresentou o mesmo aumento nesse ano, um fenômeno associado ao tempo de resposta do aquífero, refletindo a redução da precipitação de 2014. O aumento da precipitação no intervalo entre 2014 e 2015 é sentido nos poços em 2015 e 2016. Para Sophocleous (2002) a recarga dos aquíferos não ocorre de forma imediata e pode levar meses ou anos, dependendo das condições

geológicas e climáticas da região. Entretanto, a partir de 2018 é notória a redução na precipitação, e ela é sentida no nível da água, de forma constante.

Contudo nos anos seguintes, verifica-se uma tendência de rebaixamento progressivo. Essa tendência pode estar associada a um aumento na exploração dos recursos subterrâneos, como evidenciado na Figura 23, que mostra o crescimento contínuo das vazões de outorga para captação subterrânea. A tendência de queda no nível da água no poço se torna ainda mais evidente após 2019, caracterizada por oscilações pontuais, mas com um padrão geral de declínio. O uso intensivo dos aquíferos, aliado a possíveis mudanças na infiltração de água no solo, pode comprometer a capacidade de recuperação dos lençóis freáticos.

Figura 26 - Gráfico de evolução do nível d'água no poço MNT/SP/TS01 em Teodoro Sampaio.

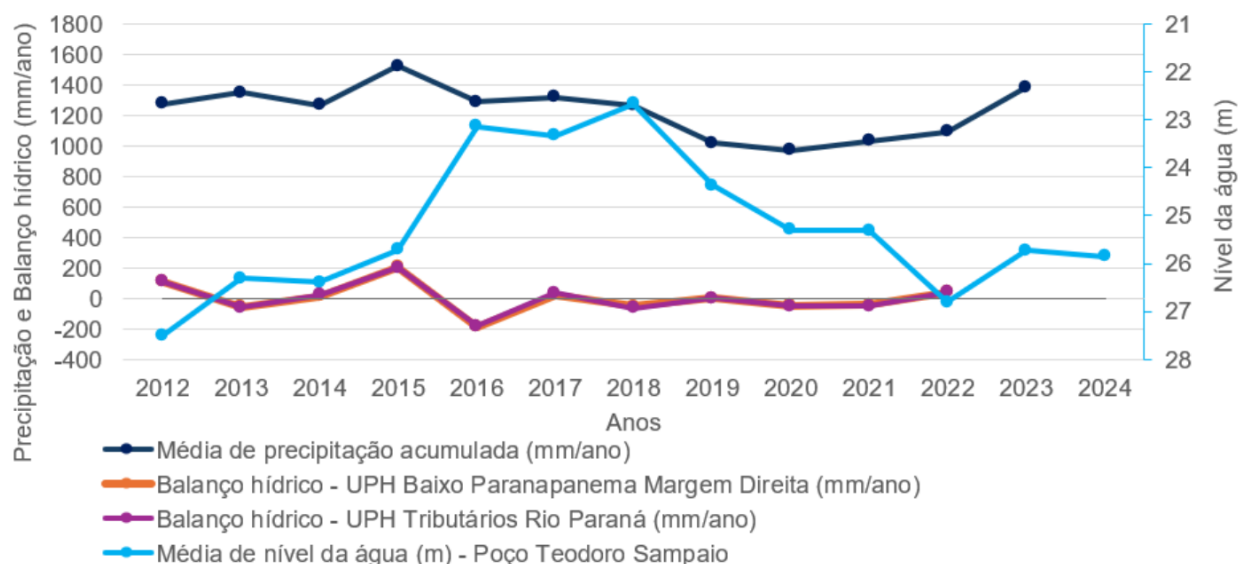


Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Os dados da Figura 26 correspondem a série histórica do nível da água subterrânea do poço de Teodoro Sampaio. Assim como o poço de Narandiba (Figura 24), foram observadas variações nos níveis, com identificação de picos de alta entre 2016 e 2018 e tendência de declínio, com oscilações marcantes até 2023.

A linha de tendência pontilhada sugere uma leve elevação ao longo dos anos, embora as variações indiquem períodos de redução e recuperação no nível d'água subterrâneo que variam conforme a precipitação (Figura 27).

Figura 27 - Comparativo dos dados de precipitação da UGRHI-22 e balanço hídrico das UPHs Baixo Paranapanema Margem Direita e Tributários Rio Paraná, em comparação com os dados de nível de água do poço Teodoro Sampaio.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

O pico de alta da precipitação foi no ano de 2015, mas o reflexo do aumento da precipitação no poço é identificado apenas em 2016. O padrão de precipitação se torna constante a partir de 2016 a 2018. A partir de 2021, observa-se uma tendência de aumento na precipitação média anual.

Ao comparar os dados do Poço de Teodoro Sampaio (MNT/SP/TS01) com o poço de Narandiba (MNT/SP/NB01), é possível observar um comportamento similar de recuperação hídrica e picos de alta entre 2015 e 2018 para os três parâmetros. No poço MNT/SP/NB01, assim como no MNT/SP/TS01, verifica-se um comportamento semelhante de rebaixamento em 2019. Essa avaliação permite identificar os impactos das atividades humanas e das mudanças climáticas sobre os sistemas hídricos subterrâneos. O rebaixamento expressivo dos níveis nos poços de Narandiba (5,23 m) e Teodoro Sampaio (6,01 m) ao longo do período analisado indica uma possível pressão antrópica sobre o uso da água subterrânea, associada à redução da recarga natural do aquífero. Esse comportamento pode ser correlacionado com o aumento das temperaturas médias nos últimos anos, conforme demonstrado na Figura 20. O aumento da temperatura intensifica os processos de evapotranspiração e pode reduzir significativamente a infiltração da água no solo, diminuindo a recarga dos aquíferos (TANIGUCHI; CHUNG; YAMAMOTO, 2000). Assim, a combinação entre maior demanda hídrica e alterações climáticas pode comprometer a disponibilidade de água subterrânea a longo prazo.

A análise dos dados dos dois poços evidencia uma dinâmica semelhante na variação dos níveis de água ao longo do tempo, sugerindo uma influência regional compartilhada, possivelmente associada à precipitação. Observa-se que ambos apresentam um período de recuperação entre 2016 e 2018. A precipitação é um dos principais parâmetros para explicar essa recuperação, uma vez que mudanças climáticas regionais podem impactar de maneira semelhante diferentes pontos de captação subterrânea. Vale ressaltar também a importância de entender sobre o tempo de resposta do aquífero, uma vez que, não necessariamente no ano de maior precipitação, também será o ano correspondente de maior nível de excedente hídrico pela análise do balanço hídrico.

Ao comparar as linhas de tendência do poço Narandiba (Figura 24) com as do poço de Teodoro Sampaio (Figura 26), observa-se um maior declínio no nível da água subterrânea no primeiro. Esse comportamento pode estar associado a área onde se localiza o poço de Teodoro Sampaio estar próxima a uma unidade de conservação, o que contribui para uma maior estabilidade dos níveis freáticos. Segundo Ribeiro (2017), a vegetação nativa exerce um papel essencial na proteção dos recursos hídricos subterrâneos, favorecendo a infiltração da água no solo e reduzindo perdas por evaporação.

Embora ambos os municípios apresentem atividades agropecuárias relevantes — com destaque para a cana-de-açúcar e as pastagens —, a diferença na presença de vegetação nativa e áreas protegidas pode explicar a discrepância no comportamento dos níveis de água subterrânea entre os poços. Estudos recentes indicam que solos cobertos por vegetação florestal apresentam um potencial de recarga hídrica até 350% superior ao de áreas de pastagem extensiva (IPE, 2023).

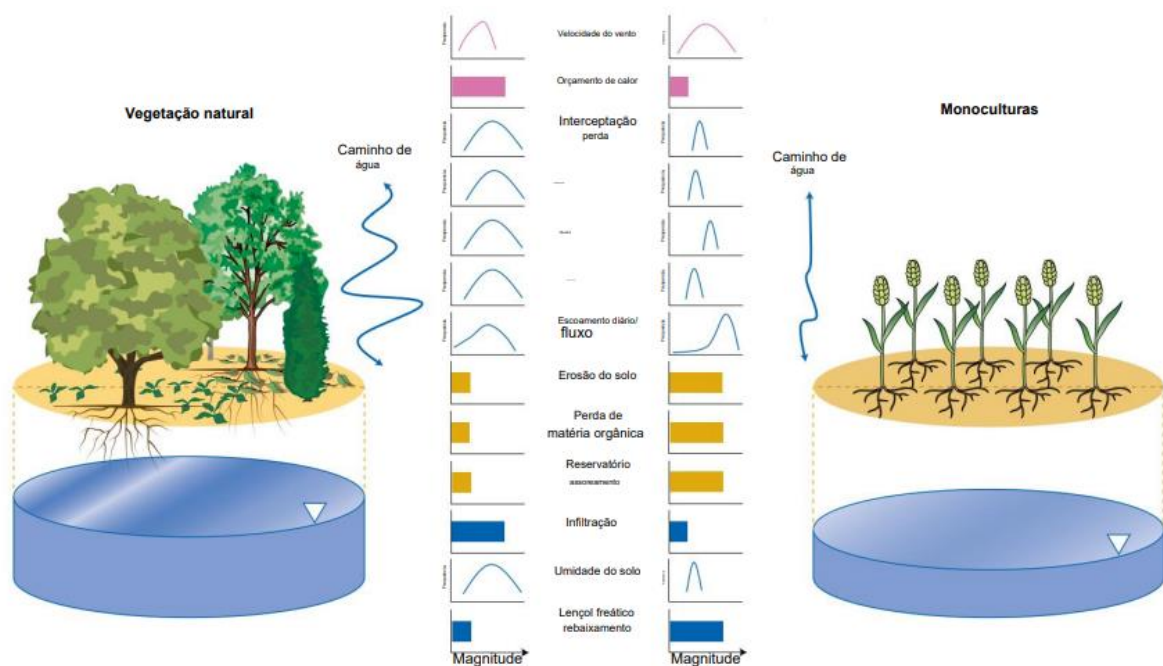
A médio e longo prazos, os resultados obtidos pelo monitoramento dos poços permitem a identificação de impactos no aquífero decorrentes da dinâmica de uso do solo, além de possibilitar a estimativa da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo. As informações geradas por esses pontos de observação são fundamentais para a gestão sustentável da água na bacia hidrográfica do Rio Paraná, subsidiando políticas públicas voltadas à conservação ambiental. Nesse contexto, a RIMAS, com seu conjunto integrado de dados e ferramentas, torna-se um instrumento indispensável para a compreensão dos recursos hídricos subterrâneos e para a definição de estratégias eficazes de uso racional e preservação (SGB, 2014).

5.5. Impactos da homogeneização do uso da terra e priorização de sub-bacias para restauração ecológica

A região da UGRHI-22 se destaca por suas características singulares, localizada no extremo oeste do Estado de São Paulo, delimitada por corpos d'água e marcada por conflitos sociais e exploração desenfreada de recursos naturais, resultando em sérios problemas ambientais. O mapeamento de uso e ocupação da terra é essencial para estudos de planejamento ambiental e compreensão das atividades desenvolvidas na região, sendo fundamental para propor intervenções e projetos de melhoria (CBH-PP, 2016).

Assim, o monitoramento do uso e cobertura da terra é crucial para compreender a dinâmica do espaço geográfico, com o geoprocessamento desempenhando um papel fundamental no planejamento ambiental e na tomada de decisões (LEVIA et al., 2020). Ao analisar os dados de uso e cobertura da terra na bacia, é possível visualizar o aumento de atividades agrícolas na região e a retirada da cobertura vegetal nativa para estes fins. E, com isso, a capacidade de infiltração e armazenamento será comprometida pela presença da monocultura, conforme ilustrado na Figura 28.

Figura 28 - Diferenças no ciclo da água entre vegetação natural e monoculturas.

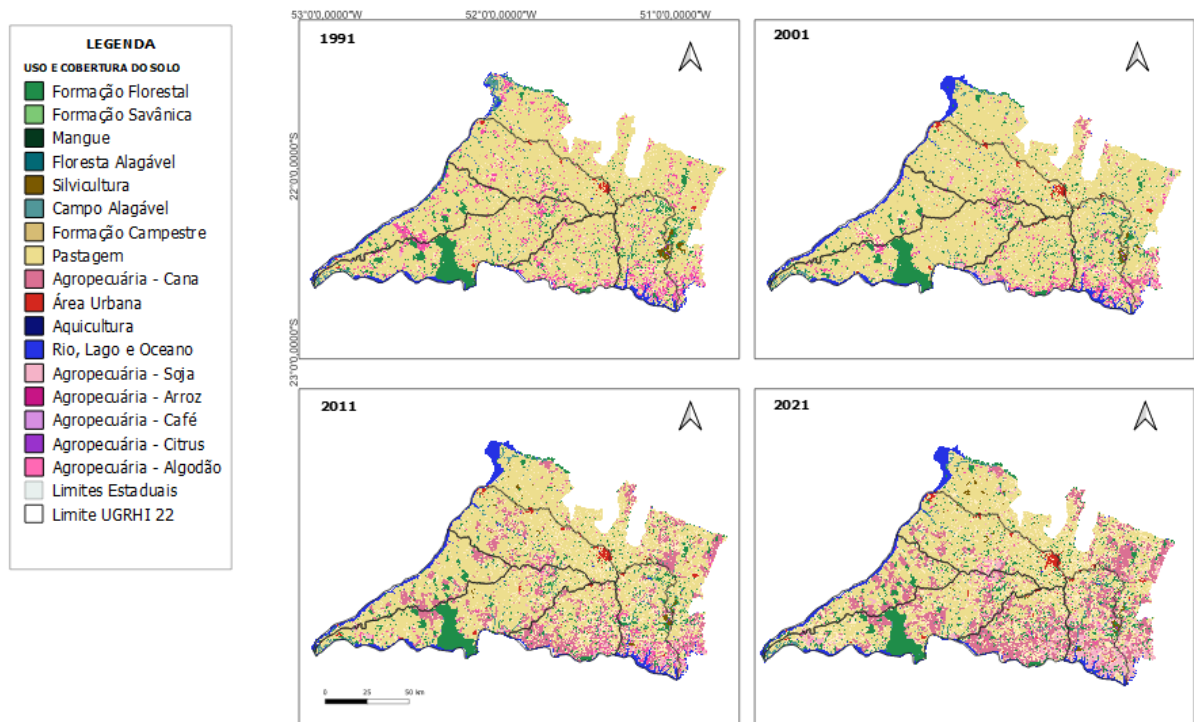


Fonte: LEVIA et al., 2020.

Ao longo das últimas décadas, houve uma grande mudança no uso da terra na região da UGRHI-22. O aumento das monoculturas, em especial a da cana de açúcar, leva um aumento da demanda hídrica e da perda de umidade do solo (LEVIA et al., 2020). A partir da figura 29, é possível identificar que nas últimas décadas analisadas houve um aumento expressivo da área destinada a atividade da cana de açúcar, principalmente entre o período de 2011 a 2021.

O plantio da cana de açúcar demanda muita água para o seu desenvolvimento, o que pode aumentar a transpiração das plantas e o aumento da evapotranspiração. Além disso, o manejo do solo para cultivo pode expor maior superfície à evapotranspiração direta, contribuindo para o aumento da evapotranspiração total (LIMA; SILVA; MOURA, 2013).

Figura 29 - Mapa de Uso e Cobertura da terra na UGRHI-22 nos períodos de 1991 até 2021.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Na região da UPH Baixo Paranapanema Margem Direita, há uma concentração significativa de formação florestal do bioma Mata Atlântica. Fora dessa área, observa-se que a vegetação nativa é escassa, estando dispersa em muitos pequenos fragmentos (Figura 29). A retirada da cobertura vegetal nativa para fins agrícolas, como na estratificação para a produção de monocultura da cana-de-açúcar, reduz a capacidade de escoamento e armazenamento de

água nos cursos d'água, além de diminuir a infiltração de água para aquíferos subterrâneos (LEVIA et al., 2020).

A homogeneização da vegetação tem o potencial de afetar diretamente o ciclo hidrológico de duas maneiras distintas: de forma direta, ao modificar os volumes de água em trânsito e reduzir a infiltração devido às diferenças no sistema radicular e à redução da porosidade do solo; e de forma indireta, ao impactar negativamente a qualidade da água (LEVIA et al., 2020). Dessa forma, práticas agrícolas convencionais, como o cultivo de cana-de-açúcar na região da UGRHI-22, podem gerar impactos ambientais significativos, reforçando a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis e do manejo adequado dos solos para mitigar os efeitos negativos sobre o ciclo hidrológico e os recursos hídricos locais. A interferência na vegetação também altera o comportamento do escoamento superficial. Para Tucci (1993) a vegetação na superfície do solo altera o comportamento do escoamento, uma vez que a vegetação contribui para obstaculizar o escoamento superficial, favorecendo a infiltração, e posterior aumento da recarga potencial da bacia hidrográfica.

De acordo com a Legislação Florestal Brasileira, conhecida também como “Novo Código Florestal”, regulamentada de acordo com a Lei Federal 12.651/2012, são estabelecidas áreas específicas que devem ser preservadas ou restauradas como Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL), Áreas de Uso Restrito (AUR) e outras áreas com vegetação nativa. Os principais desafios da aplicação dessa lei, envolvem identificar possíveis áreas que precisam ser recuperadas e priorizadas (FREIRE et al., 2019). Essas dificuldades também foram observadas no plano de bacia. Segundo Pinto (2006), a vegetação remanescente do bioma Mata Atlântica enfrenta pressões significativas devido a atividade antrópica. Essa vegetação encontra-se fragmentada, gerando impactos negativos para a fauna e flora local. Esse cenário de atividades exploratórias também ocorre no bioma Cerrado. Depois da Mata Atlântica, o bioma Cerrado é o que mais sofreu com as modificações nas últimas décadas, principalmente devido ao aumento da expansão agrícola. Esse mesmo panorama se reflete na UGRHI-22, onde abrange os dois biomas, Mata Atlântica e Cerrado, e apresenta conversão do uso da terra para monocultura.

A escolha de áreas prioritárias para restauração ecológica pode variar conforme o foco de cada estudo, com diferentes fatores sendo levados em consideração. De modo geral, os SIGs têm sido amplamente utilizados para essa identificação.

Neste sentido, é fundamental definir as áreas que demandam maior atenção a fim de priorizar as ações de restauração. Para análise dos projetos de prioridade, o Plano de bacia

realizou o estudo com base nos pilares socioeconômicos, regiões de vegetação nativa e parâmetros qualitativos da água. Com base nesses indicadores, o plano de bacia do CBH – PP citou como prioritário a bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, a região do entorno do Parque Estadual Morro do Diabo e a área de várzea do Rio Paranapanema (CBH – PP, 2016).

No plano de bacia, como principal indicador social dos municípios da UGRHI-22, foi utilizado o Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS). Esse índice preserva as dimensões que compõem o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), como renda, escolaridade e longevidade, porém com algumas especificidades a fim de priorizar as áreas para a tomada de ação, permitindo uma abordagem mais direcionada e eficiente na gestão dos recursos hídricos. Dentro desse contexto, a região prioritária para a restauração ecológica identificada no plano de bacia foi a Unidade de a UPH Santo Anastácio. Essa unidade se destaca por possuir a maior área urbana entre as cinco UPHs analisadas, abrangendo o município mais populoso da região, Presidente Prudente. Como consequência, a concentração populacional exerce uma elevada pressão sobre os recursos hídricos, resultando em impactos ambientais mais intensos. Outro critério determinante para a priorização dessa região foi a expressiva presença de áreas de pastagem, que correspondem a aproximadamente 14% da área total da UPH Santo Anastácio. O uso extensivo da terra para pastagem pode contribuir para processos de degradação ambiental, como compactação do solo, redução da infiltração de água e aumento do escoamento superficial, o que reforça a necessidade de intervenções voltadas à recuperação ecológica dessa unidade.

A metodologia utilizada para definir planos de ação na UGRHI-22 baseia-se na relação de indicadores socioeconômicos. Entretanto, é importante destacar que essa abordagem frequentemente considera, principalmente, ações e atividades antrópicas, sem incorporar de maneira significativa as alterações climáticas e padrões quantitativos de análise do ciclo hídrico como um todo. Essa limitação pode comprometer a efetividade das estratégias propostas, uma vez que a dinâmica dos recursos hídricos está intrinsecamente relacionada a fatores climáticos e ecológicos que vão além das atividades humanas diretas. Neste trabalho, ao avaliar o ciclo hidrológico, disponibilidade hídrica com relação ao balanço hídrico da UGRHI-22 e o mapa de fragilidade potencial e emergente do relevo (Figura 18), a análise seria prioritariamente direcionada às UPHs Laranja Doce e Baixo Paranapanema Margem Direita.

A UPH Laranja Doce se destaca pela alta fragilidade do solo, elevado índice de escoamento superficial e um crescimento expressivo da atividade agrícola intensiva em sua região. Já a UPH Baixo Paranapanema Margem Direita merece atenção especial devido à maior

concentração de vegetação nativa como unidades de conservação, sendo em sua maioria pequenos fragmentos, são alvos de efeito de borda, resultado direto de alterações morfoclimáticas no contato entre os remanescentes e o seu entorno, o que reduz ainda mais a sua área efetiva (FREIRE et al., 2019). O aumento da proteção no entorno desses fragmentos e sua conectividade são medidas importantes para redução desse impacto.

5.6. Avaliação da Governança Hídrica de acordo com os indicadores da OCDE

A avaliação da governança hídrica da UGRHI-22 foi conduzida com base nos indicadores da OCDE (Tabela 1), cuja aplicação se mostrou apropriada diante da disponibilidade de informações públicas relacionadas à gestão do CBH-PP. Para subsidiar a análise, foram examinados o plano de bacia (2016 – 2027), os Relatórios Anuais de Situação e as atas das reuniões do comitê, com foco na identificação de práticas, pontos fortes e oportunidades de aprimoramento da governança.

Tabela 1 – Consolidação da avaliação da governança hídrica segundo indicadores OCDE na UGRHI-22.

	Princípio OCDE	Descrição
E F I C Á C I A	1. Papéis e responsabilidades claras	Situação: Comitê estruturado em instâncias (plenária, diretoria, câmaras técnicas e grupos de trabalho) com representação tripartite (estado, municípios e sociedade civil). Constituídos grupos de trabalho de caráter temático e consultivo, voltados, por exemplo, a área de proteção e recuperação do manancial. Pontos fortes do Comitê: Ampla participação de segmentos, incluindo universidades e entidades civis como do Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (CIESP), União das Entidades de Presidente Prudente (UEPP) e setor produtivo; documentação pública das atas de reuniões. Pontos a melhorar: Falta categorização clara dos membros nas atas de reuniões, difícil identificar o segmento representado em cada atividade. Solução proposta: Melhorar a documentação das atas com identificação dos segmentos representados e funções de cada membro.
	2. Gerenciamento de bacias em escala apropriada	Situação: A expansão do agronegócio na UGRHI-22, com destaque para o cultivo da cana-de-açúcar, tem intensificado a demanda por recursos hídricos. Paralelamente, a região apresenta um dos menores índices de cobertura vegetal do Estado de São Paulo, com remanescentes florestais altamente fragmentados e vulneráveis ao efeito de borda. Essa degradação compromete a conservação da biodiversidade e a estabilidade dos ecossistemas locais. O plano de bacia 2016–2027 propõe ações divididas entre Ações de Gestão (AG) — como estudos, pesquisas, educação ambiental e mobilização social — e Ações de Intervenção (AI), que envolvem obras e serviços voltados à proteção, conservação e recuperação dos

	Princípio OCDE	Descrição
		recursos hídricos. Contudo, a aplicação prática dessas ações ainda enfrenta limitações. Pontos fortes do Comitê: Avanços em ações sociais e em programas de monitoramento de poços, com melhorias observadas desde 2024. Pontos a melhorar: Fortalecer as medidas de proteção no entorno dos fragmentos de vegetação nativa e implementar estratégias que aumentem a conectividade entre eles; Superar a limitação de ações centradas apenas em diagnósticos genéricos e ampliar projetos que integrem efetivamente o uso e a cobertura da terra aos estudos de recuperação do solo e controle da erosão e intensificar a implementação das Ações de Intervenção (AI), promovendo a vinculação entre os dados técnicos levantados e medidas práticas de conservação. Solução proposta: Executar projetos de recuperação do solo vinculados ao uso da terra e ampliar as ações práticas com base em diagnósticos técnicos, promovendo conectividade ecológica e maior efetividade na gestão hídrica.
	3. Coerência e coordenação das políticas	Situação: As atribuições entre órgãos e municípios existem, mas são pouco articuladas e geram sobreposição ou lacunas de responsabilidade. Pontos fortes do Comitê: Há uma estrutura tripartite e Câmaras técnicas ativas, indicando potencial de integração. Pontos a melhorar: Observa-se falta de clareza nas competências institucionais e baixa integração entre os setores responsáveis pela gestão dos recursos hídricos. Além disso, há carência de instâncias especializadas dentro da estrutura de governança, como, por exemplo, uma câmara técnica voltada exclusivamente para a temática das águas subterrâneas. Solução proposta: Mapear responsabilidades, disponibilizar ao público e capacitar gestores para melhorar a articulação institucional.
	4. Capacitação para desempenho de atribuições	Situação: No plano de bacia estão previstas capacitações técnicas para o comitê. Os treinamentos incluem SIG para mapeamento e monitoramento dos recursos hídricos, capacitação em educação ambiental e comunicação social, permitindo que os membros atuem na sensibilização e no engajamento da sociedade. Pontos fortes do Comitê: Parcerias com universidades para formação profissional. Pontos a melhorar: Aplicabilidade técnica dos treinamentos não é refletida nos relatórios. Solução proposta: Monitorar e reportar resultados práticos dos treinamentos; integrar ferramentas de SIG nas análises de forma padronizada.
	5. Dados e informações consistentes	Situação: Uso do método FPEIR para formulação dos relatórios de situação, um modelo que organiza e interpreta os fatores que afetam a bacia desde as forças motrizes até as respostas às modificações do Estado e site do Comitê reformulado com promessas de integração com o DataGeo. Pontos fortes do Comitê: Estrutura metodológica clara para análise e avanço com nova interface do site. Pontos a melhorar: Modelo FPEIR apresenta limitações, pois concentra-se predominantemente em impactos antrópicos,

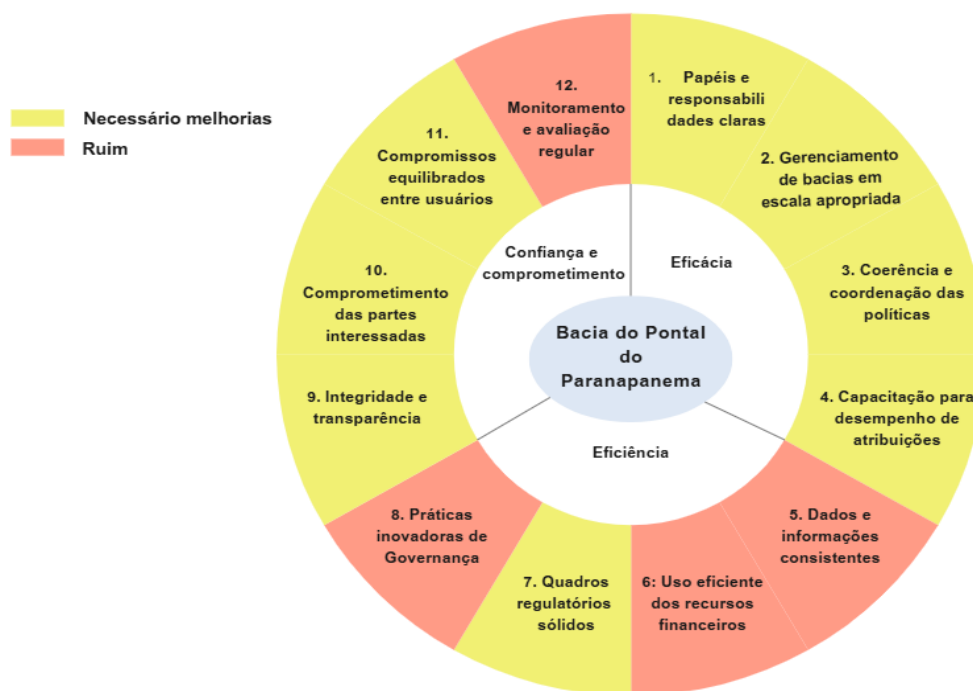
	Princípio OCDE	Descrição
E F I C I Ê N C I A		subestimando a influência de eventos naturais como a variabilidade climática e as interações no ciclo hidrológico. Por sua natureza mais qualitativa, o modelo não integra de forma abrangente o estudo da disponibilidade hídrica, a influência da precipitação, a infiltração, escoamento superficial ou a variação na temperatura local. Outro fator que compromete a interpretação dos dados no relatório de situação é o uso da vazão de referência constante no estudo da disponibilidade hídrica. Essa abordagem simplificada dificulta uma avaliação mais precisa, pois desconsidera a variação natural da vazão ao longo do tempo, que deveria se ajustar às condições climáticas e aos padrões sazonais da região. Solução proposta: Incluir variáveis climáticas e dinâmicas naturais nas análises; ajustar vazão de referência com base em séries temporais e incorporar outras metodologias avaliativas nos relatórios de situação, como, por exemplo, a Análise Multicritério de Decisão (AMD), integrando uma abordagem mais quantitativa ao estudo.
	6. Uso eficiente dos recursos financeiros	Situação: Recursos priorizam combate à erosão, drenagem urbana e saneamento. Pontos fortes do Comitê: Investimentos distribuídos por temas relevantes; foco em mitigação. Pontos a melhorar: Há uma baixa prioridade à recomposição florestal; e falta conexão entre ações. Solução proposta: Reavaliar distribuição de recursos considerando ações preventivas como recomposição vegetal integrada à erosão.
	7. Quadros regulatórios sólidos	Situação: O CBH – PP desempenha um papel fundamental na implementação das diretrizes do Plano Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo e Plano Nacional de Recursos Hídricos, como promover o gerenciamento descentralizado, participativo e integrado dos recursos hídricos. Pontos fortes do Comitê: Legalidade e institucionalização da gestão descentralizada e participativa. Pontos a melhorar: Relatórios não aprofundam parâmetros qualitativos nem evoluem metodologias. Desde 2007 é discutida a demanda, disponibilidade de água e a relação de vazão outorgada pelas vazões de referência. Limitando uma análise mais centralizada por região ou UPH. Solução proposta: Atualizar metodologias de análise e incluir novos indicadores quantitativos por região.
	8. Práticas inovadoras de governança	Situação: Apesar dos avanços em ações socioambientais, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH–PP) ainda não apresenta indicativos de adesão ao Protocolo do Observatório da Governança das Águas (OGA), tampouco de aplicação dos indicadores de governança recomendados pela OCDE. Pontos fortes do Comitê: Avanços na mobilização social. Pontos a melhorar: Falta de adesão ao Protocolo OGA e ausência de estudos sistemáticos com base nos indicadores da OCDE; Carência de mecanismos formais de avaliação contínua da governança hídrica e necessidade de integração mais efetiva entre os planos de gestão e critérios ecológicos de conservação territorial. Solução proposta: Aderir ao Protocolo do Observatório da Governança das Águas (OGA), adotar os indicadores da OCDE como ferramenta de avaliação contínua da governança hídrica e incentivar a implantação de corredores ecológicos, aumentando a conectividade

	Princípio OCDE	Descrição
		entre fragmentos e o valor biológico da vegetação nativa, promovendo uma abordagem integrada entre conservação e gestão hídrica.
C O N F I A N Ç A E C O M P R O M I S S O	9. Integridade e transparência	Situação: A reestruturação do sistema online do Comitê tornou as informações mais acessíveis e organizadas. Pontos fortes do Comitê: Melhor organização das informações; plano de investimento da FEHIDRO para a região disponível no SigRH. Pontos a melhorar: No roteiro de pactuação das demandas do plano de bacia (2016 – 2027), menciona se que, na ausência de previsão de execução, um detalhamento das ações seria disponibilizado, mas esses dados não estão claramente apresentados pelo Comitê. O Plano de indicadores de investimentos da FEHIDRO 2024 está disponível no SigRH, destacando investimentos na implantação de galerias e sistemas de drenagem para a prevenção de inundações e controle de enchentes. No entanto, não foram identificados novos planos voltados para o monitoramento dos dados quantitativos. Sendo os principais parâmetros do plano de investimento para a FEHIDRO a erosão das áreas. O plano de bacia também cita a disponibilização dos dados via uma plataforma web integrada ao DataGeo, mas essa iniciativa ainda não foi implementada e não há informação sobre seu status. Também são citados programas de conservação e recuperação de áreas degradadas para aumentar a disponibilidade hídrica, porém, as atas não esclarecem o processo de tomada de decisão das ações e a conexão entre o setor agrícola em expansão e sua possível participação para melhorar esse indicador. Solução proposta: Disponibilizar vídeos e resumos detalhados das reuniões; priorizar e disponibilizar dados de áreas críticas via sistema web de dados como integração ao DataGeo e impulsionar o engajamento do setor agrícola para a implementação de técnicas de redução da erosão, como a criação de barraginhas e ampliação do terraceamento agrícola, ambas eficazes na redução do escoamento superficial e no controle da erosão, fortalecendo o monitoramento participativo.
	10. Comprometimento das partes interessadas	Situação: As atas de reuniões das Câmaras Técnicas indicam participação da sociedade civil e do setor municipal. Pontos fortes do Comitê: A definição dos ocupantes dos cargos de titular e suplente é conduzida por meio de um consenso e acordos estabelecidos no diálogo dentro de cada segmento. Quando o consenso não é alcançado, a escolha é feita por votação entre membros do setor. O CBH-PP está estruturado em diferentes instâncias de trabalho e tomada de decisão, como plenária, diretoria e câmaras técnicas, refletindo um modelo organização que combina uma participação democrática. Pontos a melhorar: Falta clareza sobre funções e objetivos das reuniões nas atas. Solução proposta: Esclarecer funções dos representantes nas atas; incluir objetivos de cada reunião de forma clara, bem como disponibilizar o andamento dos projetos.

	Princípio OCDE	Descrição
	11. Compromissos equilibrados entre usuários	Situação: Atas registram a dinâmica das reuniões, mas não detalham compromissos. Pontos fortes do Comitê: Inclusão de todos os setores no processo decisório e Câmaras Técnicas especializadas. Pontos a melhorar: Falta de dados que comprovem equilíbrio entre os interesses nos projetos aprovados. Solução proposta: Incluir tabela-resumo nas atas com nomes, funções e responsabilidades dos participantes. Mostrar nas atas a distribuição dos recursos por tipo de interesse e incluir notas sobre impactos sociais, ambientais e econômicos dos projetos.
	12. Monitoramento e avaliação regular	Situação: O monitoramento das águas subterrâneas na UGRHI-22 está em expansão, destacando-se a perfuração de poços nos aquíferos Bauru e Guarani. Essa expansão visa aprimorar o conhecimento hidrogeológico, porém ainda há desafios para integrar e utilizar plenamente esses dados na gestão hídrica regional. Pontos fortes do Comitê: Reconhecimento da necessidade de estudos específicos por Unidade de Planejamento Hídrico (UPH), avanços concretos no monitoramento, com a perfuração de sete poços no aquífero Bauru em 2024 e previsão de três novas medições no aquífero Guarani para 2025. Pontos a melhorar: As vazões estimadas e as outorgadas apresentam divergências significativas, indicando possíveis falhas na gestão do recurso, os impactos da operação dos poços ainda não são refletidos nos relatórios oficiais, comprometendo o acompanhamento e a transparência da gestão. Solução proposta: Espacializar e aprofundar os estudos por Unidade de Planejamento Hídrico, integrando dados geográficos e hidrológicos, incorporar os resultados das medições dos poços nos relatórios periódicos para permitir uma avaliação contínua e fortalecer os mecanismos de monitoramento e responsabilização, promovendo a melhoria constante das políticas públicas sobre a governança da água.

Para facilitar a compreensão da análise realizada com base nos indicadores, foi realizada uma figura (Figura 30) para esclarecer os níveis de qualidade da Governança da UGRHI-22, em que “verde” representa princípios com cenários ótimos, “amarelo” sendo necessário melhorias e “vermelho” um cenário ruim referente ao princípio indicado.

Figura 30 - Análise dos princípios da OCDE na Governança Hídrica da UGRHI-22.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Com base na análise representada no gráfico da Figura 30, pode destacar que a governança hídrica na UGRHI-22, em uma visão de análise dos dados quantitativos, apresenta avanços em aspectos como integridade e comprometimento das partes interessadas. No entanto, ainda há desafios significativos, especialmente no uso eficiente dos recursos financeiros, na implementação de práticas inovadoras e no monitoramento contínuo dos dados. Assim, a gestão da água na região exige esforços adicionais para fortalecer os princípios da OCDE, garantindo uma governança mais eficaz e sustentável.

Observa-se que a priorização proposta neste estudo difere significativamente da adotada pelo plano de bacia do CBH-PP. Enquanto o plano institucional se baseia majoritariamente em pressões antrópicas e metas qualitativas de gestão, como o enquadramento dos corpos hídricos, a metodologia aplicada neste estudo incorporou uma abordagem integrada e multidimensional. A análise desenvolvida utilizou parâmetros quantitativos derivados do Balanço Hídrico Climático, além de critérios geofísicos e geoespaciais, como uso e cobertura da terra, fragilidade dos solos, escoamento superficial e padrões de precipitação e evapotranspiração. Essa integração permitiu uma avaliação mais precisa e técnica das Unidades de Planejamento Hídrico (UPHs), contribuindo para uma tomada de decisão mais robusta e alinhada à realidade ambiental da bacia.

6. CONCLUSÕES

Diante do estudo abordado, é possível observar a importância da avaliação integrada do monitoramento das variáveis climáticas, através de modelos globais climáticos, produtos do sensoriamento remoto, adjunto ao estudo do monitoramento dos poços, em que foi possível avaliar a dinâmica hídrica da região da UGRHI-22.

Os resultados apresentados no balanço hídrico revelam-se fundamentais para a compreensão integrada da disponibilidade hídrica nas diferentes UPHs da bacia. Essa análise quantitativa permitiu correlacionar os volumes outorgados às condições reais de recarga e disponibilidade, apontando discrepâncias que impactam diretamente a gestão da água subterrânea.

Com base nos parâmetros de balanço hídrico, é possível analisar que há regiões que contribuem de forma significativa para a recarga hídrica do aquífero como a UPH Laranja Doce, que, apesar de possuir maior aporte de água via precipitação dentre as UPHs, é uma região que apresenta condições de alta vulnerabilidade ambiental, com escoamento elevado e intensa atividade agrícola, especialmente com culturas como a cana-de-açúcar, que agrava a fragilidade do solo, tornando a área mais sensível e menos eficiente em reter água, o que prejudica a recarga do aquífero. Como proposta, recomenda-se o fortalecimento da governança participativa, com o envolvimento ativo da comunidade local na adoção de práticas sustentáveis que favoreçam a infiltração da água no solo. Entre essas práticas, destacam-se a construção de barraginhas e a implementação do terraceamento agrícola, ambas eficazes na redução do escoamento superficial e no controle da erosão.

A UPH Baixo Paranapanema – Margem Direita, também identificada no estudo como área prioritária, apresenta elevados níveis de estresse hídrico. Paradoxalmente, trata-se da unidade com o maior índice de cobertura por vegetação nativa entre as UPHs, destacando-se a presença da Unidade de Conservação de proteção integral, o Parque Estadual Morro do Diabo. Ainda assim, a região está situada em uma área de alta vulnerabilidade a processos erosivos, o que evidencia a complexidade da sua gestão e a necessidade de ações integradas que considerem, simultaneamente, a conservação ambiental, a segurança hídrica e o controle da erosão — assim como já proposto para a UPH Laranja Doce. Nesse contexto, destaca-se o papel estratégico da vegetação nativa e da unidade de conservação na manutenção dos serviços ecossistêmicos, como a proteção da biodiversidade, a regulação do microclima e a conservação do solo, que devem ser incorporados como alta prioridade às estratégias de gestão hídrica da

bacia. Diferentemente da UPH Laranja Doce, a presença de uma estrutura institucional e legal já estabelecida na região da UPH Baixo Paranapanema Margem Direita, por meio da unidade de conservação, oferece oportunidades adicionais para o fortalecimento da governança territorial. Assim, recomenda-se a articulação entre os órgãos ambientais, os comitês de bacia e a sociedade civil para o desenvolvimento de projetos de restauração ecológica em áreas adjacentes, criação de corredores ecológicos e implementação do monitoramento participativo.

As análises dos poços de Narandiba e Teodoro Sampaio possibilitou identificar linhas de tendências e rebaixamentos que podem ser justificados devido ao aumento no número de vazões outorgadas, mas que se reflete de maneira posterior a precipitação, devido ao fenômeno de tempo de resposta do aquífero. Fenômeno este que deve ser levado em consideração nos estudos de concessão de outorgas para as cinco UPHs do estudo.

A aplicação dos princípios de governança hídrica da OCDE consistiu em leituras dos documentos disponibilizados como relatórios anuais de situação, o plano de bacia (2016 – 2027) e leitura das atas de reuniões. Com o uso dos indicadores da OCDE foi possível realizar uma análise abrangente, mas crítica da estrutura de gestão da bacia hidrográfica do Pontal do Paranapanema, bem como quais itens devem ser priorizados e os pontos fortes da gestão da bacia. Entre os pontos fortes do comitê, destacam-se a frequência de publicação dos relatórios de situação, sendo anual, e a recente modernização da plataforma de dados, que tende a favorecer a transparência e o engajamento das partes interessadas.

No entanto, lacunas ainda são evidentes, sobretudo na ausência de monitoramento contínuo de dados quantitativos como análises de poços de monitoramento e o uso de imagens de satélite para estudo da disponibilidade hídrica, na baixa integração entre o uso da terra e dos impactos ambientais para a priorização estratégica de investimentos. Os dados também demonstram que, embora haja avanços significativos em aspectos como participação social, ainda persistem desafios importantes relacionados à clareza institucional como melhor estruturação das atas de reunião a fim de conseguir distinguir o fluxo das ações prioritárias.

Dessa forma, conclui-se que a governança da UGRHI-22 dispõe de uma estrutura e de instrumentos com potencial, mas ainda carece de mecanismos que garantam maior efetividade, articulação intersetorial e integração entre dados quantitativos e qualitativos no processo de tomada de decisão. Recomenda-se, portanto, que o CBH-PP adote práticas de análise espacial integrada, promovendo a correlação entre os aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos por meio de uma Análise Multicritério de Decisão (AMD), incorporando critérios sociais, econômicos e ambientais ao plano de bacia. Adicionalmente, é fundamental fortalecer

o monitoramento da disponibilidade hídrica, com a ampliação da rede de poços de observação, bem como aprimorar a clareza institucional de seus processos e reuniões, buscando alinhamento progressivo com as boas práticas internacionais de governança da água.

Assim, os indicadores OCDE foram de extrema importância para identificação destes pontos a melhorar, bem como o entendimento dos pontos fortes, uma vez que permite analisar a gestão, o gerenciamento, tomadas de decisão e os possíveis métodos que podem ser incorporados para a melhoria da governança hídrica, e, portanto, é uma metodologia recomendada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). *Governança das águas subterrâneas: desafios e caminhos*. Brasília: ANA, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranapanema – PIRH Paranapanema*. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 30 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *RIMAS - Relatório de Informações sobre a Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil*. Disponível em: <https://rimasweb.sgb.gov.br/layout/apresentacao.php>. Acesso em: 5 out. 2024.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998.

BENINI, Rubens de Miranda; MENDIONDO, Eduardo Mario. Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na Bacia do Mineirinho. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 2, p. 211–222, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312220534_Urbanizacao_e_Impactos_no_Ciclo_Hidrologico_na_Bacia_do_Mineirinho. Acesso em: 6 mai. 2025.

BRANCO, Otávio. Avaliação da disponibilidade hídrica: conceitos e aplicabilidade. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-H%C3%addrica.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

BRASIL. 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 e dá outras providências. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 7 mai. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/sistema-nacional-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 19 mai. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA. *Relatório de Situação da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema – Ano Base 2019, Ano de*

Referência 2020. Pontal do Paranapanema: Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema, 2020.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA. *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 22 – Pontal do Paranapanema: ano base 2021, ano relatório 2022*. São Paulo: DAEE; Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <https://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 30 jun. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA. *Caracterização da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema*. Ano de referência 2025. Disponível em: <http://geobrasilis.com.br/pirh/ugrh/comites/sp/cbhpp/caracterizacao/>. Acesso em: 2 mai. 2025.

CHANG, F.J.; TSAI, M.J.; TSAI, W.P.; HERRICKS, E. *Assessing the ecological hydrology of natural flow conditions in Taiwan*. *Journal of Hydrology*, v. 354, p. 75-89, 2008.

CÔMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA – CBH-PP. *Plano de Bacia Hidrográfica*. 2016. Disponível em: <http://cbhpp.org/publicacoes-2/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA. *Apresentação*. Disponível em: <https://geobrasilis.com.br/pirh/ugrh/comites/sp/cbhpp/apresentacao/>. Acesso em: 11 set. 2024.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – 2022*. São Paulo: DAEE, 2022. Disponível em: <https://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 30 jun. 2025.

DIONEL, L. *Avaliação da governança das águas – experiência de aplicação de indicadores no Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sepotuba, Mato Grosso*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021. Acesso em: 11 set. 2024.

EILERS, V. H. M. *Recarga de aquíferos: avaliação e estimativa com base em modelos matemáticos e indicadores ambientais*. 2004. 195 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ELSHALL, Ahmed; ARIK, Aida; EL-KADI, Aly; PIERCE, Suzanne; YE, Ming; BURNETT, Kimberly; WADA, Christopher; BREMER, Leah; CHUN, Gregory. *Sustentabilidade das águas subterrâneas: uma revisão das interações entre ciência e política*. *IOPScience*, v. 15, n.

9, p. 1-57, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab8e8c>. Acesso em: 18 jun. 2024.

EMBRAPA. *Metodologia para determinação do escoamento superficial e da infiltração da água no solo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/337616/1/doc212000metodeterminacao.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

FERREIRA, Luciane. *O direito à água e a necessidade de proclamá-lo direito humano*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Direitos Humanos) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle>. Acesso em: 20 jun. 2024.

FETTER, Charles Willard. *Applied hydrogeology*. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.

FIGUEIRE, Alexandre Pedro; OLIVEIRA, Gustavo Godoy de. *Determinação de vazões de referência para outorga de direito de uso da água em bacias hidrográficas*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 16, n. 1, p. 131–142, jan./mar. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/4KrcLGwG4Y9bLKR6H9zqRkL/>. Acesso em: 23 abr. 2025.

FREIRE, Rodrigo Bernardes; LEAL, Antonio Cezar; DI MAURO, Cláudio Antonio. *Priorização de áreas para restauração ecológica na UGRHI 22 – Pontal do Paranapanema*, São Paulo, Brasil. *Formação*, 2019. Acesso em: 9 out. 2024.

FREIRE, Rodrigo Bernardes. *Priorização de áreas para restauração ecológica na UGRHI 22 – Pontal do Paranapanema*, São Paulo, Brasil. 2017. 118 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2017. Acesso em: 5 mar. 2025.

FREITAS, Marcos A. *Estatística Aplicada à Hidrologia*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 1, p. 45-58, 2014.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSEFELD, M. *The climate hazards infrared precipitation with stations — a new environmental record for monitoring extremes*. *Scientific Data*, v. 2, 150066, 2015. Acesso em: 17 mai. 2024.

GELARO, Ronald et al. *The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2)*. *Journal of Climate*, v. 30, n. 14, p. 5419-5454, 2017. Acesso em: 17 mai. 2024.

GES DISC. *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center. FLDAS Overview*. Greenbelt, MD: NASA, 2018. Disponível em: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/FLDAS_NOAH01_C_GL_MA_001/summary. Acesso em: 23 abr. 2025.

GONZÁLEZ-GÓMEZ, F.; GARCÍA-RUBIO, M. A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, J. *Beyond the public-private controversy in urban water management in Spain*. *Utilities Policy*, v. 60, p. 100940, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100940>. Acesso em: 25 jan. 2025.

HEALY, Richard. *Estimando a recarga de águas subterrâneas*. Nova York: Cambridge, 2010.

HIRATA, R. et al. *Revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento*. Instituto Trata Brasil, v. 1, p. 19, 2019. Acesso em: 15 jun. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 6 mai. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS – IPÊ. *Estudo inédito no Sistema Cantareira revela que solos de florestas têm potencial de recarga hídrica 350% maior quando comparado às áreas de pastagem extensiva*. 2023. Disponível em: <https://semeandoagua.ipe.org.br/estudo-inedito-no-sistema-cantareira-revela-que-solos-de-florestas-tem-potencial-de-recarga-hidrica-350-maior-quando-comparado-as-areas-de-pastagem-extensiva/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

JACOBI, Pedro Roberto. *Ampliação da cidadania e participação: desafios na democratização da relação poder público-sociedade civil no Brasil*. 1996. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

LERNER, D. N.; ISSAR, A. S.; SIMMERS, I. *Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge*. Heise: International Association of Hydrogeologists, 1990. (International Contributions to Hydrogeology, v. 8).

LEVIA, D. F. et al. *Homogenization of the terrestrial water cycle*. *Nature Geoscience*, v. 13, n. 10, p. 656–658, out. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41561-020-0641-y>. Acesso em: 04 abr. 2025.

LIMA, M. A.; SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B. *Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada no Submédio do Vale do São Francisco*. Engenharia Agrícola, v. 33, n. 2, p. 238-249, 2013.

LONGLEY, P. *et al.* *Sistemas, Ciência e Estudo: Sistemas e Ciências da Informação Geográfica*. 3. ed. [S. l.]: Bookman, 2013. p. 540.

NASA. Reprocessed FLDAS Data. *NASA Land Data Assimilation Systems*, 2020. Disponível em: <https://ldas.gsfc.nasa.gov/fldas/news/reprocessed-fldas-data>. Acesso em: 23 abr. 2025.

OCDE. *Princípios da OCDE sobre a Governança da Água*. Paris: OCDE Publishing, 2015. Disponível em: <https://apda.pt/site/upload/files/oecd-principles-water-portuguese.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2025.

OLIVEIRA, Karinna Pinheiro de; MATOS, Talisson Sátele; SOUSA JUNIOR, Marionei Fomaca de; ULIANA, Eduardo Morgan. *Vazões mínimas de referência Q95, Q90 e Q7,10 para a bacia do rio Jequitinhonha, Minas Gerais*. In: JORNADA ACADÊMICA DA ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, 5., 2017, Sinop. Anais [...]. Sinop: UFMT, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330853107>. Acesso em: 7 mai. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Brasília: Nações Unidas no Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 30 jun. 2025.

PEEL, Mc; FINLAYSON, Bi; MCMAHON, Ta. Mapa mundi atualizado da classificação climática de Koppen-Geiger. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/11/1633/2007>. Acesso em: 17 jun. 2024.

PEREIRA, Dilma Seli Pena; FORMIGA-JOHNSSON, Rosa Maria. *Descentralização da gestão dos recursos hídricos em bacias nacionais no Brasil*. 2005. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/65/bc3bcce562e51d8a75a094edb5dad7c2_eedc4682b96d8b2e55d4404d0bf33d6c.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025.

PINTO, L. P. Fragmentação e conservação da vegetação remanescente da Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Biologia*, São Carlos, v. 66, n. 2, p. 311–319, 2006.

RIBEIRO, R. L. D. *et al.* Determinação de vazões de referência com base em métodos estatísticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017,

Florianópolis. Porto Alegre: ABRHidro, 2017. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2508>. Acesso em: 19 mai. 2025.

ROGERS, P.; HALL, A. *Governança eficaz da água: Comitê Técnico da Parceria Global da Água (TEC)*. 7. ed. Stockholm: Global Water Partnership, 2003.

ROSS, J. L. S. *Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais do Brasil*. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 10., 1990, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: AGB, 1990.

RUSHTON, K. Estimation of natural groundwater recharge. In: SIMMERS, I. (ed.). *Numerical and conceptual models for recharge estimation in arid and semi-arid zones*. Dordrecht: Reidel Publishing Co., 1988. p. 223–238.

SÃO PAULO (Estado). 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. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, São Paulo, 31 dez. 1991. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>. Acesso em: 23 abr. 2025.

SÃO PAULO (Estado). *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – 2021*. São Paulo: DAEE; CETESB, 2021. Disponível em: <https://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SÃO PAULO (Estado). *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – 2024*. São Paulo: DAEE; CETESB, 2024. Disponível em: <https://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SÃO PAULO (Estado). SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/corhi/planoestadualderecursososhidricos>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SARMENTO, R. *Outorga de direito de uso de recursos hídricos*. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, 2007. (Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, v. 6). Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/71307139/outorga-de-direito-de-uso-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 7 mai. 2025.

SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. *Perfil dos Municípios Paulistas: Região do Pontal do Paranapanema*. São Paulo: SEADE, 2015. Disponível em: <https://www.seade.gov.br>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SGB – Serviço Geológico do Brasil. Dados do poço MNT/SP/NB01 na *Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS)*. Brasília: CPRM, 2014. Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br>. Acesso em: 26 ago. 2024.

SGB – Serviço Geológico do Brasil. Dados do poço MNT/SP/TS01 na *Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS)*. Brasília: CPRM, 2014. Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br>. Acesso em: 26 ago. 2024.

SILVA, L. C.; SANTOS, M. A.; PEREIRA, R. F. *Implementação dos Princípios de Governança da Água da OCDE no Brasil: desafios e perspectivas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 26, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120210060>. Acesso em: 25 jan. 2025.

SONE, Julian; ARAUJO, Tamires; GESUALDO, Gabriela; BALLARIN, André; CARVALHO, Glauber; OLIVEIRA, Paulo; WENLAND, Edson. *Segurança da água em um futuro incerto: realidades contrastantes de uma perspectiva de disponibilidade e demanda*. Gestão de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 2571-2587, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-022-03160-x>. Acesso em: 19 jun. 2024.

SOPHOCLEOUS, M. *Interactions between groundwater and surface water: the state of science*. Hydrogeology Journal, v. 10, n. 1, p. 52-67, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0170-8>.

SOUZA, C. M. Jr. et al. *MapBiomass: coleção 4 de mapas anuais da cobertura e uso do solo do Brasil*. São Paulo: MapBiomass Project, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SUGUIO, K. *Geomorfologia: O que é e como se estuda*. 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

TANIGUCHI, M.; CHUNG, S.; YAMAMOTO, K. Evaluation of the effects of climate change on groundwater resources. *Environmental Geology*, Heidelberg, v. 39, n. 11, p. 1321–1325, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s002540000107>. Acesso em: 30 jun. 2025.

TORRES, L.; BRAGA, B.; MENDIONDO, E. M. *Impactos da crise hídrica no abastecimento e na gestão dos recursos hídricos no estado de São Paulo*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 22, n. 3, p. 1–15, 2017.

TUCCI, Carlos E. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: ABRH, 1993.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VISSMAN, W.; LEWIS, G. L.; KNAPP, J. W. *Manual de hidrologia: uma introdução aos princípios da hidrologia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1989.

ZUFFO, Antonio Carlos. *Gestão e Planejamento dos Recursos Hídricos Frente às Mudanças Climáticas*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 3, p. 55-67, 2013. Acesso em: 02 out. 2024.